

## ПЕТРОЛОГИЯ, ВУЛКАНОЛОГИЯ

УДК552.332; 549.76 (470.1)

**Особенности эволюции химического состава фосфатов как отражение многофазного становления щелочно-карбонатитовой флюидо-эксплозивной системы Среднего Тимана****И.И. Голубева, В.Н. Филиппов, А.С. Шуйский, И.Н. Бурцев**

Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Сыктывкар, ул. Первомайская, 54. E-mail: golubeva@geo.komisc.ru; filippov@geo.komisc.ru

*(Статья поступила в редакцию 16 мая 2023 г.)*

В щелочно-карбонатитовую флюидо-эксплозивную систему на Среднем Тимане входят карбонатиты, карбонатизированные флюидо-эксплозивные дайки и фенитизированные терригено-карбонатные породы рифея. Во всех породах кристаллизуются фосфаты, представленные монацитом и апатитом. Химический состав минералов свидетельствует о многофазности становления данной системы и едином источнике флюидов, участвовавших в ее формировании.

Ключевые слова: *монацит, апатит, флюидо-эксплозивная система, Средний Тиман.*

DOI: 10.17072/psu.geol.22.3.201

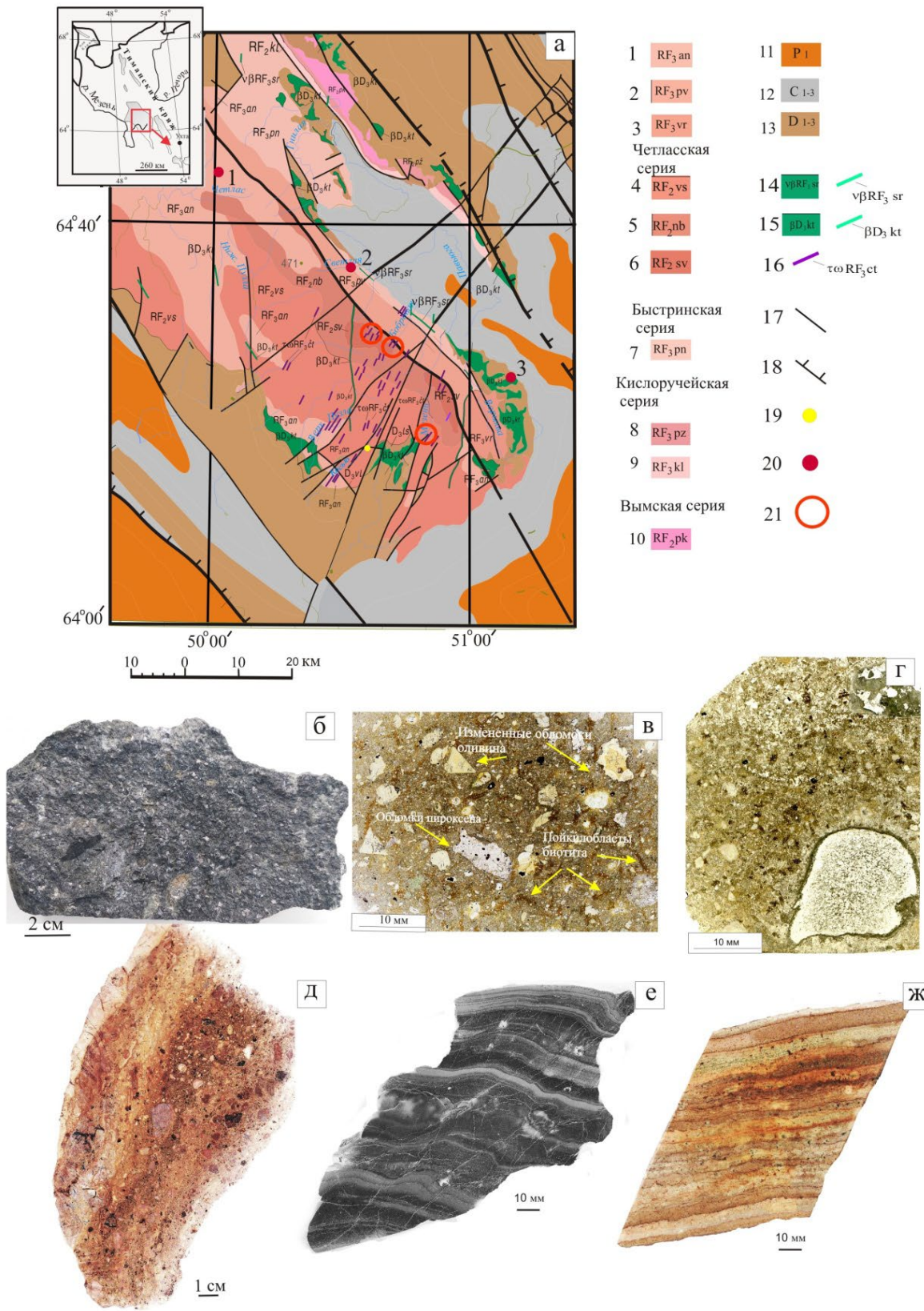
**Введение**

На Среднем Тимане выделена щелочно-карбонатитовая флюидо-эксплозивная система, объединяющая карбонатиты, карбонатизированные флюидо-эксплозивные дайки и мощную зону фенитизированных терригено-карбонатных пород рифея (Голубева и др., 2019; 2021). Все породы имеют аналогичные редкоземельно-редкометалльные и сульфидные минерализации. Карбонатитовое тело и парагенетически связанные с ним карбонатизированные флюидо-эксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса приурочены к серии разрывов трещинного типа северо-восточного простирания среди терригено-карбонатных пород среднего и верхнего рифея (рис. 1 а). Процесс становления флюидо-эксплозивной системы был довольно продолжительным и охватывает период времени предположительно с  $600 \pm 15$  млн лет (становление карбонатитов и даек) до 488 млн лет (формирование фенитов). Карбонатитовое тело доломит-анкерит-сидеритового состава, сформированное на этапе гидротер-

мально-метасоматического минералообразования, представлено штоком диаметром около 400 м, расширяющимся на глубине двух километров до 500 м (Костюхин, 1987; Степаненко, 1979).

В экзоконтактах карбонатитового тела фиксируются широкие (от 10–60 м) зоны дезинтегрированных вмещающих пород, образованных в результате взрывного отделения газов из карбонатитового расплава. Сами же карбонатиты также несут признаки дробления и деформаций (Макеев и др., 2008). Количество карбонатных минералов относительно объема породы составляет 60–65%, остальная часть представлена флогопитом, щелочным амфиболом, эгирином, калиевым полевым шпатом, альбитом, иногда кварцем. Рудопроявление карбонатитов имеет редкоземельную специализацию (Костюхин и др., 1987; Ковальчук и др. 2013; Недосекова и др. 2013).

Мощность флюидо-эксплозивных даек варьирует от десятков сантиметров до десятков метров в раздувах, протяженность достигает 3 км.



**Рис. 1.** Геологическая позиция щелочно-карбонатитовой флюидо-эксплозивной системы Среднего Тимана. Флюидо-эксплозивные породы дайкового комплекса, фенитизированные терригенно-карбонатные породы: **а** – фрагмент государственной геологической карты с упрощениями. (Мезенская площадь). Масштаб 1 : 000 000 (Пармузин и др., 2015) Условные обозначения: 1 – аныогская свита – кварциты и кварцито-песчаники; 2 – павьюгинская свита – доломитизированные строма-

толитовые известняки; 3 – ворыквинская свита – известняки, мергели; 4 – визингская свита – алевролиты, кварцито-песчаники; 5 – новобобровская свита – серицитовые, хлорит-кварцевые сланцы; 6 – светлинская свита – филлиты, кварцито-песчаники; 7 – паунская свита – кварц-хлорит-серицитовые, пиритизированные углеродистые сланцы; 8 – пижемская свита – известковистые сланцы; 9 – клеоновская свита – алевролиты; 10 – покьюская свита – метаалевролиты, углеродистые сланцы; 11 – пермь – глинистые известняки, доломиты, мергели, аргиллиты; 12 – карбон – глины, аргиллиты, мергели, известняки; 13 – девон – мергели, глины, песчаники; 14 – среднетиманский гипабиссальный метагаббро-долеритовый комплекс – дайки, штоки, силы; 15 – канино-тиманский гипабиссальный долеритовый комплекс; 16 – четласский комплекс щелочных даек; 17 – разломы; 18 – надвиги; 19 – расположение карбонатитового штока; 20 – фенитизированные карбонатные породы быстринской серии с редкоземельно-редкометальной минерализацией: 1 – местоположение керна, полученного при бурении депрессии на предмет обнаружения бокситовых залежей; 2 – коренные выходы на р. Светлая; 3 – местоположение фенитизированных толщ, обнаруженных при разведочных работах Щугорского месторождения бокситов; 4 – участки фенитизированных кварцитов четласской серии с редкоземельно-редкометальной минерализацией; б – флюидо-эксплозивная порода дайкового комплекса; в – отсканированный петрографический шлиф флюидо-эксплозивной породы дайкового комплекса; г – ксеногенный обломок фенитизированного кварцита в флюидо-эксплозивной брекчии; д – фенитизированная флюидо-эксплозивная брекчия с редкоземельно-редкометальной минерализацией (Мезенское рудопроявление); е – фенитизированные карбонатные породы (обнажение р. Светлая); ж – фенитизированная карбонатная порода (Щугорское бокситовое месторождение)

Отмечаются многочисленные апофизы и прожилки во вмещающих породах, образующие сложные штокверковые тела. В случае образования раздувов в дайках в приконтактных зонах во вмещающих породах происходит интенсивное брекчирование. Вмещающие породы в виде отторженцев присутствуют в составе дайкового тела в виде ксенолитов (Костюхин и др., 1987). Породы плотного сложения черного цвета характеризуются неоднородностью, обусловленной насыщенностью размерными обломками пород мантийного и корового происхождения, погруженными в связующую массу неоднородного состава. Ксеногенный материал, составляющий 30–50% (реже до 80%) от объема породы, сцементирован агрегатом метасоматических минералов: пироксеном, флогопитом, кальцитом и альбитом (рис. 1 б). Обломки мантийного происхождения представлены минералами – оливином, пироксеном, хромшпинелидом и породами – горнблендитом, оливиновым пироксенитом (рис. 1 в). Для одного из ксеногенных обломков оливинового пироксенита получена температура пород мантии – поставщика ксенолитов. Температура кристаллизации хромшпинелида, полученная по хромит-оливиновому геотермометру, составляет 1180°C, что практически совпадает с температурой кристаллизации пироксена – 1000°C, вычисленной с помощью двухпироксенового термометра в этом же образце (Голубева и др., 2020). Хромшпинелиды в мантийных ксенолитах по химическому со-

ставу относятся к среднехромистым разновидностям. Обломки корового происхождения представлены кварцевыми песчаниками и сланцами, а также их фенитизированными разновидностями (рис. 1 г). В брекчии за счет Ca-Na флюидного пропитывания образуются метасоматические ветвящиеся жилки и миндалевидные обособления кальцит-альбитового или кальцитового составов, в которых обнаружены редкоземельные карбонаты группы анкилита, торинанит, торит, алланит, марганцевый ильменит со средним содержанием оксида марганца до 8.9% (Недосекова и др. 2011; Голубева и др., 2018, 2021). На этих же участках диагностируются сульфиды: миллерит, пентландит, сфалерит, молибденит, халькопирит. В жильном кальците отмечается примесь SrO до 9,43%. Порода характеризуется составом (мас. %) SiO<sub>2</sub> – 39.0–45.21; MgO – 11.4–18.6; TiO<sub>2</sub> – 0.95–1.7; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 7.35–12.5. Содержание CaO – 8.16–20.92 мас. % – резко варьирует вследствие наложенной карбонатизации. Сумма оксидов железа в среднем составляет 8.5 мас. %. Высокая щелочность пород (мас. %) – Na<sub>2</sub>O – 0.3–1.76 и K<sub>2</sub>O – 2.04–4.11 – объясняется пропитыванием пород щелочными флюидами.

Флюидо-эксплозивные дайки ассоциируются с зонами фенитизации в кварцевых песчаниках в виде тонких жилок или мощных брекчиевых линейных зон протяженностью до 400 м (Ивенсен, 1964). Во всех случаях фенитизации сопутствует редкоземельно-редкометаллическая минерализация (ксенотим,

монацит, ильменорутит, колумбит и ферриторит). На Среднем Тимане выявлено четыре таких рудопоявления, приуроченных к зонам фенитизации кварцевых песчаников (Плякин и др., 2005). Брекчии представляют собой сцементированную смесь остроугольных или округленных обломков в разной степени фенитизированных и перекристаллизованных песчаников (рис. 1 д). Они характеризуются разным минеральным составом обломков и флюидалными текстурами, что не соответствует раннему их определению как тектонитов. В породах кварц не имеет признаков грануляции, характерной для пластических деформаций, а, как правило, рассеивается серией пересекающихся многочисленных криволинейных трещин. Обломки брекчий имеют разные минерально-структурные особенности, что не характерно для тектонических зон, исключая зоны меланжа. Таким образом, все известные рудовмещающие брекчиевые зоны на Среднем Тимане представляют собой флюидизированные взрывные образования, генетически связанные с карбонатит-щелочным магматизмом.

Фенитизация с редкоземельно-редкометалльной минерализацией в карбонатных рифейских толщах данного региона проявляется как раз без особого механического разрушения пород вследствие их пластичных свойств. Данные породы были обнаружены при разведочном бурении бокситовых залежей, но есть и редкие одиночные коренные выходы. Во всех случаях породы характеризуются своеобразной полосчатой текстурой, обусловленной просачиванием щелочных растворов вдоль плоскостей напластования (рис. 1 е, ж). В результате образуются полевошпатовые слои, переслаивающиеся с таковыми, содержащими фемические минералы: эгирин или магнезиально-железистые слюды. Метасоматизированным прослоям в некоторых случаях сопутствуют редкоземельно-редкометалльная, титановая и фосфатная минерализация.

В данной работе обсуждается авторский и заимствованный из литературы материал, характеризующий фосфатные минерализации в карбонатитах, карбонатизированных флюидо-взрывных дайках и фенитизированных терригенно-карбонатных породах, образовавшихся в ходе становления много-

фазной щелочно-карбонатной флюидо-взрывной системы Среднего Тимана.

### Методика и материалы исследования

Объектом исследования послужили фосфатные минералы, отобранные из кернов скважины № 55 глубиной 173 м, пробуренной в одной из пересекающихся даек штокверка, расположенного в долине р. Косью на Среднем Тимане (рис. 1); из коренных выходов и кернов фенитизированных терригенно-карбонатных пород. Микроскопическое изучение пород с фосфатной минерализацией проводилось на микроскопе OLYMPUS BX 51. Состав минералов определялся на сканирующих электронных микроскопах Tescan Vega 3 LMN с энерго-дисперсионной приставкой Oxford Instrument X-Max 50 mm<sup>2</sup> и JSM-6400 JEOL в ЦКП «Геонаука» в ИГ Коми НЦ УрО РАН. Содержание микроэлементов анализировалось методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 (PerkinElmer Instruments) (ИГиГ УрО РАН, г. Екатеринбург).

### Монацитовая минерализация

Монацит выявлен в карбонатитах, карбонатизированных флюидо-взрывных дайках и фенитизированных терригенно-карбонатных породах. В карбонатитах монацит является одним из основных носителей редкоземельных элементов. Содержание последних в упомянутых породах колеблется от 15 718.46 до 1 823.39 г/т (Ковальчук и др., 2011). Эволюция химического состава монацита в карбонатитах характеризуется постепенным обогащением минерала Nd за счет La (рис. 2 а). При этом наиболее неодимовый монацит не является частью единого непрерывного тренда, а образует с некоторым отрывом обособленную группу. Такой монацит примечателен также отсутствием стронция и высоким содержанием тория. При изотопных исследованиях было установлено, что именно карбонатиты с высоконеодимовым монацитом имеют наиболее изотопно-тяжелый кислород –  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 21.1\text{--}20.8\text{‰}$  (рис. 2 б). Данный факт свидетельствует о кристаллизации высоконеодимового монацита на последнем этапе становления карбонатитов за счет гидротермальных растворов, прини-

мавших участие также в фенитизации вмещающих пород с образованием подобного монацита. Возраст карбонатитов, принятый на сегодняшний день по датированному метасоматическому флогопиту, составляет  $600 \pm 15$  млн лет (Костюхин и др., 1987). Монацит с повышенным содержанием Nd в фенитизированных кварцитах, подобный по химическому составу «гидротермальному» карбонатитовому, имеет возраст 520–566 млн лет (Удоратина и др., 2013), а возраст фенитизированных карбонатных пород, полученный по альбиту, составляет 488 млн лет (Макеев и др., 2008). Таким образом, можно предположить, что процессы гидротермальных преобразований карбонатитов с минерализацией Nd-монацита значительно оторваны от них по времени.

В флюидо-эксплозивных породах дайкового комплекса монацит развивается в зонах альбитизации, цеолитизации, карбонатизации, встречается в ксенолитах фенитизированных кварцевых песчаников. С альбитом ассоциирует эгирин, а на участках кристаллизации кальцита развивается роговая обманка (рис. 2 в), замещаемая в свою очередь эгирином. Монацит встречается и в ксенолитах фенитизированных кварцевых песчаников. Содержание редкоземельных элементов в породе зависит от степени пропитывания карбонатно-щелочными растворами и составляет 221.0–436.1 г/т, тогда как (для сравнения) в незатронутом метасоматозом пироксенитовом ксенолите их содержание – 72.3 г/т. Содержание  $P_2O_5$  в породе составляет 0.31–0.62 мас. %. По элементам-примесям, таким как Th и Sr, флюидизированные эксплозивные породы и пироксенитовые ксенолиты (первичный мантийный материал, подвергшийся впоследствии флюидному насыщению) также резко разнятся. В дайковой породе содержание Th колеблется в пределах 10.6–45.6 г/т, а в ксенолите пироксенита данного элемента обнаружено всего 1.55 г/т. Содержание Sr в мантийном ксенолите составляет 148.4 г/т, тогда как в ксенолитсодержащей породе оно изменяется от 553.8 до 1501.9 г/т. Основными минералами-носителями данных элементов являются редкоземельные карбонаты, силикаты и оксиды тория.

Монацит, как правило, ассоциирует с апатитом (рис. 2 в). Процесс пропитывания

пород метасоматическими гидротермальными растворами происходил неравномерно, поэтому монацит в одном случае образует скопления, а в другом – встречается только как отдельные зерна. Например, на участках цеолитизации фиксируется высокая концентрация монацита в виде удлинённых зерен с неровными очертаниями и с размерами около 18–20 мкм. Необычная удлинённая форма зерен монацита в данном случае является унаследованной от псевдоморфно замещённого монацитом апатита (рис. 2 г). На рис. 2 д хорошо видно постепенное замещение апатита монацитом в его центральных частях. В некоторых случаях монацит замещает не только апатит, но и алланит (рис. 2 ж). Кроме того, монацит образует хорошо огранённые кристаллы (рис. 2 и), реже – скопления ксеноморфных зерен. На участках альбитизации обнаружен редкий случай кристаллизации этого минерала в виде причудливых гипи-диоморфных пойкилобласт с многочисленными включениями альбита (рис. 2 з). Монацит здесь имеет не только оригинальные формы развития, но и самые крупные размеры – до 0.25 мм в длину. Обычные размеры его индивидов лежат в пределах десятков микрон. Реже встречаются зерна менее одного микрона. Эволюция химического состава монацита в флюидо-эксплозивных дайках совпадает с таковой в карбонатитах (рис. 1 а), кристаллизовавшихся до проявления гидротермально-метасоматических процессов. При этом монацит в эксплозивных дайках отличается от монацита в карбонатитах повышенными содержаниями La и Nd. В карбонатитовом монаците содержание  $Se_2O_3$  составляет 28.59–34.31 мас. %, а  $Nd_2O_3$  – 3.47–5.98 мас. % (Ковальчук и др., 2011). В дайковом монаците такие содержания составляют соответственно 30.29–36.34 и 4.18–8.29 мас. % (табл. 1). Для монацита в дайковых породах характерны примеси  $ThO_2$  и SrO с содержанием соответственно 1.87–3.52 и 1.54–2.3 мас. %. Близость трендов концентраций La и Ce в монаците карбонатитов и эксплозивных даек свидетельствует об общности флюидов, участвовавших в формировании данных магматических комплексов. Высоконеодимовые монациты, образовавшиеся в карбонатитах на стадии гидротермально-метасоматической переработки, в эксплозивных дайках не об-

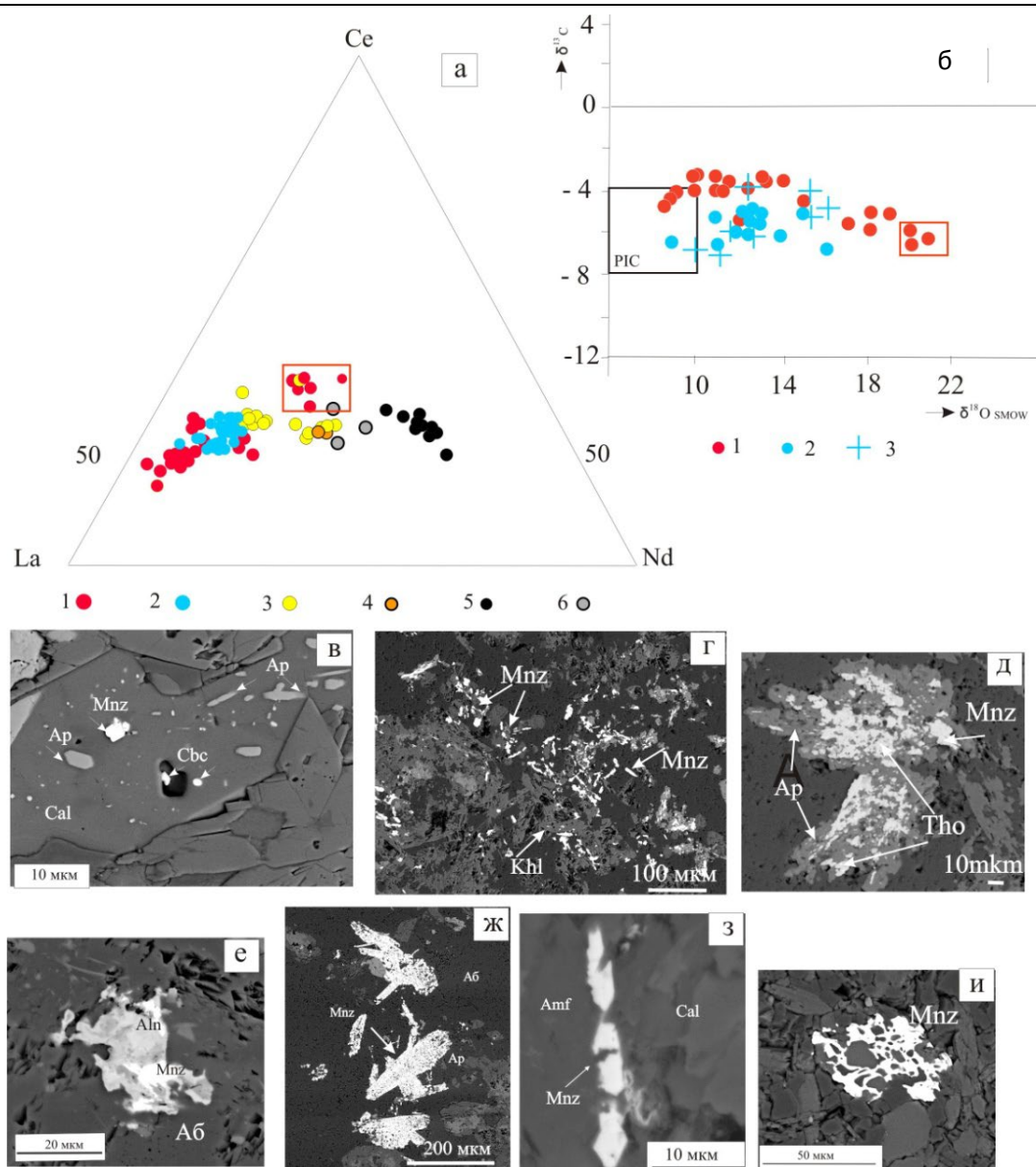
наружены, так как в систему становления дайкового комплекса, судя по изотопии кислорода (рис. 2 б), подобные гидротермальные флюиды уже не поступали.

С карбонатитовым магматизмом на Среднем Тимане, как уже отмечалось, связано мощное по протяженности проявление фенитизации вмещающих терригенно-карбонатных пород. Признаком фенитизации в терригено-карбонатных породах являются альбит, калиевый полевой шпат, эгирин и алюмоселадонит. Фенитизация кварцевых песчаников сопровождалась эксплозивными процессами, обусловленными образованием карбонатитов и флюидо-эксплозивных даек. В фенитизированных зонах на Среднем Тимане выявлены несколько редкоземельно-редкометалльных рудопроявлений, где главными продуктивными минералами являются ксенотим, монацит, колумбит, торит (Плякин и др., 2005). Карбонатные породы благодаря своей пластичности практически не несут признаков дробления. В них проявились только пластические деформации. Породы характеризуются необычной полосчатой текстурой, унаследованной от первичной осадочной слоистости (рис. 1 е, ж). Первичная осадочная слоистость послужила проводником для просачивающихся щелочных флюидов. Как раз вдоль межслоевых границ и происходило образование альбит-ортоклазовых горизонтов с примесью колумбита, монацита, торита, ильменорутила, бастнезита). Монацит, кристаллизовавшийся в фенитизированных породах, характеризуется повышенным содержанием Nd, что свойственно и для «карбонатитового» монацита, образовавшегося на поздних гидротермальных стадиях формирования массива. На треугольной диаграмме La – Ce – Nd (рис. 2 а) хорошо видно распределение фигуративных точек состава монацита из фенитизированных терригенно-карбонатных пород в области повышенного содержания неодима. Особенно выделяется монацит с высоким количеством Nd в фенитизированных кварцевых песчаниках Новобобровского редкоземельно-редкометалльного рудопроявления на Среднем Тимане.

Доказательством общности флюидов, участвовавших в становлении карбонатитов и фенитизации, являются результаты исследова-

ния монацита в фенитизированных карбонатных породах, обнаруженных в виде небольшого обнажения протяженностью около 3 м в правом борту р. Светлая (рис. 1 а). Породы здесь имеет темно-серый цвет, хорошо выраженную полосчатую текстуру, обусловленную развитием фенитизированных прослоев (рис. 1 е). Метасоматизированные слои с карбонатными реликтовыми участками имеют резкие контакты. Фенитизация характеризуется послонным развитием метасоматических минералов – слюды, отвечающей по составу сидерофиллиту-анниту (Голубева и др., 2021), и альбита.

Альбит кристаллизовался в виде мелкозернистого мозаичного агрегата или отдельных мелких зерен с размерами около 0.06 мм. В фенитизированных участках отмечается кристаллизация монацита, апатита и торита. Монацит с многочисленными включениями кальцита, как правило, образует ксеноморфные зерна с извилистыми очертаниями с размерностью несколько десятков микрометров (рис. 2 к). Химический состав (табл. 2) данных монацитов отражает импульсное поступление флюидов в зону развития флюидо-эксплозивной системы, так как на диаграмме La – Ce – Nd (рис. 2 а) отчетливо выделяются два поля концентраций фигуративных точек химического составов данного минерала. В одном случае составы монацита соответствуют таковым, развивающимся в дайковых породах, то есть имеют такой же эволюционный тренд изоморфного замещения La – Ce. Другая концентрация фигуративных точек химических составов располагается в области повышенных значений Nd, то есть в данном случае по химическому составу минерал практически соответствует «гидротермальному» карбонатитовому монациту с тенденцией накопления Nd. В монаците, кристаллизовавшемся в фенитизированных толщах, отмечается присутствие ThO<sub>2</sub> до 2.78 мас. %, но не фиксируется Sr. Последний факт примечателен тем, что в «гидротермальном» карбонатитовом монаците также отсутствует стронций, что очередной раз подтверждает общность флюидов, принимавших участие в завершающей гидротермальной стадии формирования карбонатитового массива и фенитизации вмещающих толщ.



**Рис. 2.** Монацитовая минерализация щелочно-карбонатной флюидо-эксплозивной системы Среднего Тимана: **а** – фигуративные точки химического состава монацита из пород флюидо-эксплозивной системы на диаграмме La – Ce – Nd. Монациты из пород: 1 – карбонатит (данные Ковальчук и др., 2011); 2 – флюидо-эксплозивные дайки (данные авторов); 3 – фенитизированные карбонатные породы рифея, р. Светлая (данные авторов); 4 – фенитизированные карбонатные породы, Щугорское месторождение бокситов (данные Макеева и др., 2008); 5 – фенитизированные кварцевые песчаники, р. Бобровая (данные Удоратиной, 2013); 6 – фенитизированные кварцевые песчаники, р. Косью (данные Varlatov and others; 2017). Красным квадратом обозначено поле химического состава монацита из карбонатитов с самыми тяжелыми изотопами кислорода (см. рис. 2 б); **б** – диаграмма  $\delta^{13}C$  –  $\delta^{18}O$  для составных членов карбонатито-щелочной флюидо-эксплозивной структуры: 1 – карбонатит (данные Шумиловой и др., 2012); 2 – фенитизированные флюидо-эксплозивные породы (данные автора); 3 – карбонатизированные флюидо-эксплозивные породы (данные Костюхина и др., 1987г). Красным квадратом обозначены данные изотопов  $\delta^{13}C$  –  $\delta^{18}O$  образцов карбонатитов, содержащих монацит с высоким содержанием Nd (см. рис. 2 а); **в** – кристаллизация монацита (Mnz), апатита (Ap) и карбоцернаита (Cbc) в карбонатизированном участке эксплозивной брекчии; **г** – развитие монацита в альбитовом агрегате; **д** – замещение апатита (Ap) монацитом (Mnz); **е** – замещение алланита (Aln) монацитом (Mnz); **ж** – пойкилобласты монацита (Mnz) в альбитовом (Ab) агрегате; **з** – гипидиоморфные кристаллики монацита (Mnz); **и** – пойкилобласт монацита в фенитизированной карбонатной породе рифея, р. Светлая. (Mnz)

Таблица 1. Химический состав монацитов из флюидо-эксплозивных даек (скважина № 55)

№ образца	№ зерна	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	SrO <sub>2</sub>	Сумма
55-41a	1	2.05	0.68	25.67	20.85	32.11	2.16	6.19	-	-	90.46
	2	1.26	0.92	26.81	21.7	33.43	3.20	8.29	-	-	95.61
	3	1.34	-	23.81	21.49	32.56	3.02	7.84	-	-	92.0
	4	2.93	1.38	24.46	23.01	31.06	2.62	6.88	1.87	-	94.21
	5	-	0.7	26.5	26.41	34.51	-	4.95	-	-	93.86
	6	1.03	0.4	27.29	21.69	34.65	3.78	8.28	-	-	97.12
	7	3.48	0.3	27.9	20.15	32.64	3.42	7.93	1.31	-	101.36
	8	1.91	-	28.08	25.01	31.92	-	5.97	-	-	94.17
	9	-	2.44	29.11	22.61	33.71	4.46	8.19	-	1.65	98.9
	10	1.93	-	30.71	23.97	35.4	-	6.48	-	1.67	101.34
	11	1.25	0.29	28.25	25.62	32.78	-	4.18	-	1.6	95.18
	12	-	-	28.83	26.15	36.66	3.44	6.54	-	-	102.71
	13	2.02	0.5	26.72	23.85	31.24	-	5.89	-	1.54	92.9
	14	1.13	0.83	27.4	23.93	31.59	2.56	5.69	-	-	93.13
	15	2.22	1.63	29.34	24.63	33.39	3.18	7.05	-	-	101.44
	16	-	0.7	24.16	22.06	35.5	4.23	8.97	-	-	95.62
55-42	1	-	0.37	29.22	27.76	35.5	2.35	6.03	1.09	-	100.32
	2	-	1.43	28.41	22.75	34.59	1.89	6.11	3.11	-	98.3
	3	-	0.41	29.22	25.38	34.29	1.91	5.84	2.62	-	99.66
	4	-	0.8	29.44	26.59	34.65	1.85	4.79	2.52	-	100.64
	5	-	0.21	29.34	25.7	36.34	2.4	5.53	1.37	-	100.9
	6	-	-	28.84	23.65	35.87	2.2	5.96	4.22	-	100.74
	7	-	0.22	24.02	22.87	33.3	1.97	5.56	3.52	-	92.68
	8	-	0.6	22.35	28.43	36.88	3.3	5.06	-	1.75	99.3
	9	1.31	1.79	24.35	27.49	35.66	3.17	6.74	-	1.57	101.91
	10	2.01	0.9	23.86	23.47	32.9	-	7.06	-	2.3	95.15
55-28	1	0.5	-	28.8	23.44	34.9	3.05	7.49	-	-	98.2
	2	-	-	28.87	23.98	35.88	2.31	6.23	-	-	97.27
	3	-	-	29.32	27.05	34.78	2.12	4.54	-	-	97.8
55-32	1	1.13	0.83	27.4	23.93	31.59	2.56	5.69	-	-	94.02
	2	2.22	1.63	29.34	24.63	33.39	3.18	7.05	-	-	101.7
	3	2.67	2.14	25.02	23.29	30.29	2.66	5.46	-	-	91.69
	4	-	1.49	27.1	24.09	32.4	-	6.88	-	-	94.7

## Эмпирические формулы монацитов из флюидо-эксплозивных даек

$(\text{Ce}_{0.49}\text{La}_{0.32}\text{Nd}_{0.09}\text{Pr}_{0.03}\text{Ca}_{0.03})_{0.96}[\text{PO}_4]_{0.9}[\text{SiO}_4]_{0.1};$   
 $(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.33}\text{Nd}_{0.12}\text{Pr}_{0.05}\text{Ca}_{0.04})_{1.05}[\text{PO}_4]_{0.95}[\text{SiO}_4]_{0.05};$   
 $(\text{Ce}_{0.55}\text{La}_{0.37}\text{Nd}_{0.13}\text{Pr}_{0.06})_{1.23}[\text{PO}_4]_{0.94}[\text{SiO}_4]_{0.06};$   
 $(\text{Ce}_{0.48}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.12}\text{Pr}_{0.04}\text{Th}_{0.02}\text{Ca}_{0.06})_{1.08}[\text{PO}_4]_{0.88}$   
 $[\text{SiO}_4]_{0.12};$   
 $(\text{Ce}_{0.56}\text{La}_{0.43}\text{Nd}_{0.08}\text{Ca}_{0.03})_{1.1}[\text{PO}_4];$   
 $(\text{Ce}_{0.53}\text{La}_{0.33}\text{Nd}_{0.12}\text{Pr}_{0.06}\text{Ca}_{0.02})_{1.06}[\text{PO}_4]_{0.96}[\text{SiO}_4]_{0.04};$   
 $(\text{Ce}_{0.44}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.10}\text{Pr}_{0.05}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.01})_{0.88}[\text{PO}_4]_{0.87}$   
 $[\text{SiO}_4]_{0.13};$   
 $(\text{Ce}_{0.46}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.08})_{0.9}[\text{PO}_4]_{0.93}[\text{SiO}_4]_{0.07};$   
 $(\text{Ce}_{0.50}\text{La}_{0.34}\text{Nd}_{0.12}\text{Ca}_{0.11}\text{Sr}_{0.04})_{1.21}[\text{PO}_4];$   
 $(\text{Ce}_{0.46}\text{La}_{0.32}\text{Nd}_{0.08}\text{Sr}_{0.03})_{0.86}[\text{PO}_4]_{0.93}[\text{SiO}_4]_{0.07};$   
 $(\text{Ce}_{0.48}\text{La}_{0.38}\text{Nd}_{0.06}\text{Th}_{0.01}\text{Sr}_{0.04}\text{Ca}_{0.0})_{0.97}[\text{PO}_4]_{0.95}[\text{SiO}_4]_{0.05};$   
 $(\text{Ce}_{0.55}\text{La}_{0.39}\text{Nd}_{0.1}\text{Pr}_{0.05}\text{Th}_{0.01})_{1.1}[\text{PO}_4];$   
 $(\text{Ce}_{0.48}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.09}\text{Ca}_{0.02})_{0.93}[\text{PO}_4];$   
 $(\text{Ce}_{0.45}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{0.04}\text{Sr}_{0.04}\text{Ca}_{0.04})_{1.04}[\text{PO}_4];$   
 $(\text{Ce}_{0.45}\text{La}_{0.34}\text{Nd}_{0.09}\text{Pr}_{0.04}\text{Ca}_{0.06})_{0.98}[\text{PO}_4];$   
 $(\text{Ce}_{0.57}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.14}\text{Pr}_{0.07}\text{Ca}_{0.03})_{0.93}[\text{PO}_4]_{0.9}[\text{SiO}_4]_{0.1};$



$(\text{Ce}_{0.53}\text{La}_{0.41}\text{Nd}_{0.09}\text{Pr}_{2.35}\text{Ca}_{0.02}\text{Th}_{0.01})_{1.09}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.53}\text{La}_{0.35}\text{Nd}_{0.09}\text{Th}_{3.11}\text{Pr}_{1.89}\text{Ca}_{0.06}\text{Th}_{0.03})_{1.06}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.38}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{1.91}\text{Ca}_{0.02}\text{Th}_{0.02})_{1.04}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.39}\text{Nd}_{0.07}\text{Pr}_{1.89}\text{Ca}_{0.03}\text{Th}_{0.02})_{1.05}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.54}\text{La}_{0.38}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{2.4}\text{Ca}_{0.01}\text{Th}_{0.02})_{1.06}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.54}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.09}\text{Th}_{0.04}\text{Pr}_{0.03})_{1.06}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.6}\text{La}_{0.41}\text{Nd}_{0.1}\text{Pr}_{0.04}\text{Th}_{0.04}\text{Ca}_{0.01})_{1.21}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.71}\text{La}_{0.55}\text{Nd}_{0.1}\text{Pr}_{0.06}\text{Sr}_{0.05}\text{Ca}_{0.06})_{0.93}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.6}\text{La}_{0.46}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.06}\text{Sr}_{0.04}\text{Ca}_{0.09})_{1.31}[\text{PO}_4]_{0.94}[\text{SiO}_4]_{0.06}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.54}\text{La}_{0.39}\text{Nd}_{0.11}\text{Th}_{0.02}\text{Sr}_{0.06}\text{Ca}_{0.04})_{1.14}[\text{PO}_4]_{0.91}[\text{SiO}_4]_{0.09}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.35}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.04})_{1.01}[\text{PO}_4]_{0.9}[\text{SiO}_4]_{0.1}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.54}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.09}\text{Pr}_{0.03})_{1.02}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.40}\text{Nd}_{0.07}\text{Pr}_{0.03})_{1.01}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.48}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.08}\text{Ca}_{0.04})_{0.96}[\text{PO}_4]_{0.89}[\text{SiO}_4]_{0.11}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.47}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{0.04}\text{Ca}_{0.10})_{0.98}[\text{PO}_4]_{0.94}[\text{SiO}_4]_{0.06}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.47}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.08}\text{Pr}_{0.04}\text{Ca}_{0.10})_{0.98}[\text{PO}_4]_{0.94}[\text{SiO}_4]_{0.06}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.52}\text{La}_{0.39}\text{Nd}_{0.11}\text{Ca}_{0.07})_{1.02}[\text{PO}_4]_{0.94}[\text{SiO}_4]_{0.06}$

**Таблица 2.** Химический состав монацитов из фенитизированных карбонатных пород рифея (обна-  
 жение, р. Светлая)

№ образца	№ зерна	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	Сумма
20–14	1	1,71	1,16	26.59	19.19	33.72	2.31	9.66	-	-	0.64	95.11
	2	0.72	0.45	28.94	23.3	34.8	1.86	7.41	-	-	2.2	96.62
	3	0.0	1.5	29.43	16.43	35.08	3.53	13.62	-	-	0.0	100.79
	4	1.05	0.4	29.9	16.91	33.91	3.41	12.14	-	-	0.0	97.25
	5	-	-	27.69	17.48	30.94	2.8	5.59	0.87	-	1.41	97.24
	6	0.95	1.25	29.37	21.21	34.71	2.13	8.22	0.0	-	2.16	95.11
	7	1.58	-	22.87	14.33	29.57	3.14	10.01	0.0	-	0.0	96.62
20–13a	1	-	-	26.61	21.79	34.71	2.65	8.03	0.79	-	2.18	100.8
	2	-	-	28.9	21.21	34.67	2.4	7.68	-	-	0.63	97.25
20–136	1	-	-	30.24	22.64	36.84	2.4	7.69	-	-	1.45	97.24
	2	-	-	30.4	22.16	36.47	2.33	8.55	-	-	1.27	95.11
20–13	1	-	-	27.51	16.88	28.37	1.89	6.67	-	-	1.8	96.62
	2	-	-	26.64	16.34	30.77	3.01	10.0	-	-	1.08	100.8
	3	-	-	31.0	21.66	34.88	2.2	7.97	-	-	1.62	97.25
	4	-	-	32.62	20.46	33.67	2.79	8.2	-	-	1.56	97.25
20–19	1	0.69	1.32	29.49	21.21	34.67	2.4	7.68	-	-	1.63	99.09
	2	1.5	0.36	28.64	21.88	34.34	2.04	7.28	-	-	2.78	98.82
	3	0.95	1.25	29.37	21.21	34.71	2.13	8.22	-	-	2.16	100.0
27–13	1	-	5.87	24.77	14.03	27.65	2.39	10.57	1.52	1.22	1.53	94.98
	2	0.76	0.24	29.82	15.33	32.09	3.42	13.07	2.02	1.22	1.41	99.04

### Эмпирические формулы монацитов из фенитизированных карбонатных пород

$(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.29}\text{Nd}_{0.14}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.05})_{1.03}[\text{PO}_4]_{0.93}[\text{SiO}_4]_{0.07}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.51}\text{La}_{0.34}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.02}\text{Ca}_{0.02})_{1.07}[\text{PO}_4]_{0.97}[\text{SiO}_4]_{0.03}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.52}\text{La}_{0.24}\text{Nd}_{0.2}\text{Pr}_{0.05}\text{Ca}_{0.06})_{1.07}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.47}\text{La}_{0.24}\text{Nd}_{0.16}\text{Pr}_{0.05}\text{Ca}_{0.02})_{0.94}[\text{PO}_4]_{0.96}[\text{SiO}_4]_{0.04}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.48}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.09}\text{Pr}_{0.04}\text{Sm}_{0.01}\text{Th}_{0.01})_{0.91}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.49}\text{La}_{0.30}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.03})_{0.99}[\text{PO}_4]_{0.96}[\text{SiO}_4]_{0.04}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.52}\text{La}_{0.25}\text{Nd}_{0.17}\text{Pr}_{0.05})_{1.01}[\text{PO}_4]_{0.92}[\text{SiO}_4]_{0.08}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.56}\text{La}_{0.36}\text{Nd}_{0.13}\text{Pr}_{0.04}\text{Th}_{0.02})_{0.91}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.52}\text{La}_{0.32}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.04}\text{Th}_{0.01})[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.53}\text{La}_{0.33}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01})_{1.01}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.52}\text{La}_{0.32}\text{Nd}_{0.12}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01})[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.45}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.10}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.02})_{0.87}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{La}_{0.50}\text{Ce}_{0.27}\text{Nd}_{0.16}\text{Pr}_{0.05}\text{Th}_{0.01})_{0.99}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{La}_{0.49}\text{Ce}_{0.30}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01})_{0.94}[\text{PO}_4]$

$(\text{Ce}_{0.45}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.04}\text{Th}_{0.01})_{0.88}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.50}\text{La}_{0.30}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.05})_{0.97}[\text{PO}_4]_{0.97}[\text{SiO}_4]_{0.03}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.49}\text{La}_{0.31}\text{Nd}_{0.10}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.05})_{0.99}[\text{PO}_4]_{0.94}[\text{SiO}_4]_{0.06}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.49}\text{La}_{0.30}\text{Nd}_{0.11}\text{Pr}_{0.03}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.05})_{0.99}[\text{PO}_4]_{0.96}[\text{SiO}_4]_{0.04}$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.48}\text{La}_{0.25}\text{Nd}_{0.18}\text{Pr}_{0.04}\text{Sm}_{0.02}\text{Gd}_{0.02}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.05})_{1.05}[\text{PO}_4]$ ;  
 $(\text{Ce}_{0.45}\text{La}_{0.22}\text{Nd}_{0.18}\text{Pr}_{0.05}\text{Sm}_{0.03}\text{Gd}_{0.02}\text{Th}_{0.01}\text{Ca}_{0.05})_{1.01}[\text{PO}_4]_{0.97}[\text{SiO}_4]_{0.03}$

## Минерализация апатита

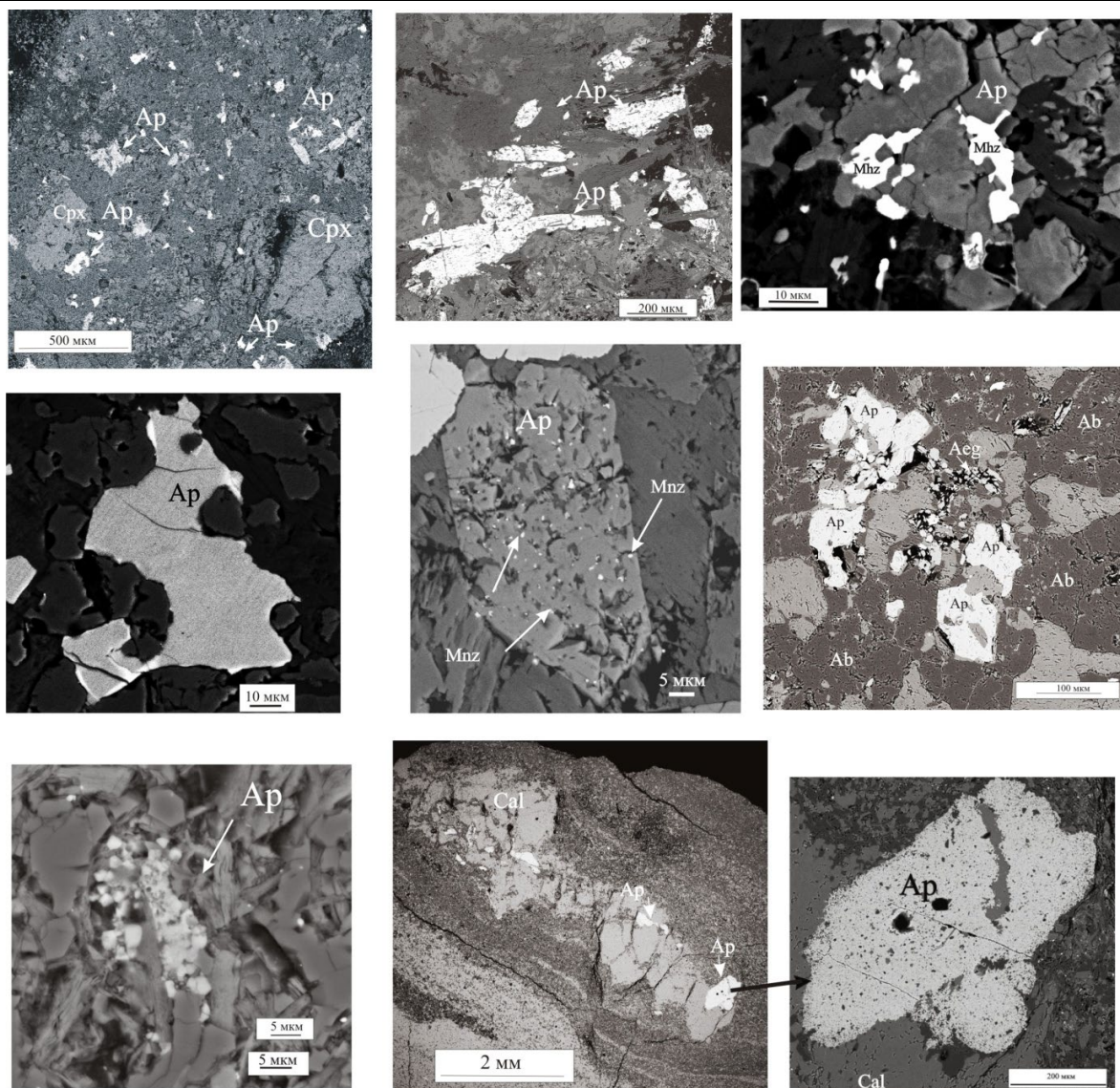
Апатит, кристаллизующийся в карбонатитах, флюидо-эксплозивных породах дайкового комплекса, фенитизированных вмещающих толщах, имеет более широкое распространение, чем монацит. Минерал в виде удлиненных кристаллов развивается в матрице эксплозивных брекчиях, хаотично распределяясь в межбломочном пространстве (рис. 3 а) или ориентируясь в одном направлении, подчеркивая струйчатое распределение флюидных потоков (рис. 3 б). Как уже отмечалось, апатит нередко ассоциирует с монацитом и имеет с ним разные взаимоотношения. В одном случае минералы образуют сростки (рис. 3 в), в другом – замещаются монацитом до полных псевдоморфоз (рис. 2 д). В редких случаях в апатите устанавливаются пойкилитовые включения монацита (рис. 3 д). На первых этапах замещения минерала отмечаются тонкие каемки с повышенными содержаниями редкоземельных элементов (рис. 3 г), которые впоследствии расширяются в виде вытянутых зон, проникающих вглубь зерна (рис. 3 в). На таких участках установлены относительно высокие содержания (мас. %):  $\text{SrO}_2$  до 2.63,  $\text{La}_2\text{O}_3$  до 0.9 и  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  до 1.60. Все зерна апатита, независимо от степени замещения, характеризуются фторсодержанием – 1.11–3.98 мас. %. Реже в минерале обнаруживаются (мас. %):  $\text{Cl} = 0.11\text{--}0.15\%$ ,  $\text{BaO} = 1.11$  мас. %,  $\text{MnO} = 0.31$  мас. %. Кроме того, постоянной примесью в апатите выступает Sr с содержанием 0.46–0.48 мас. %.

В фенитизированных карбонатных породах апатит представлен несколькими генерациями. Минерал кристаллизуется в виде единичных гипидиоморфных или сростшихся

ксеноморфных зерен (рис. 3 ж) размером 30–40 микрон. В некоторых случаях апатит образует мелкозернистые сахаровидные агрегаты, сложенные изометричными хорошо ограниченными кристалликами субмикронного размера. Отмечаются процессы перекристаллизации с укрупнением кристаллов апатита и кальцита в несколько раз (рис. 3 и, к). При этом состав перекристаллизованного апатита практически ничем не отличается от первичного с содержанием фтора 4.18–7.18 мас. %. Общее химическое свойство данных апатитов заключается в отсутствии в них примеси Sr в отличие от таковых во флюидо-эксплозивных породах. Отсутствие такой примеси сближает апатит с монацитом, кристаллизовавшимся в гидротермальном карбонатите и фенитизированных породах. Это объясняется тем, что флюиды, участвовавшие в гидротермальном минералообразовании в карбонатитах и фенитах, были уже обеднены стронцием, так как он на ранних стадиях формирования карбонатитового массива и эксплозивных дайковых пород уже вошел в составы редкоземельных минералов (анкилита, карбоцернаита, дациншанита, галгенбергита), барита и целистинобарита.

## Заключение

Щелочно-карбонатитовая флюидо-эксплозивная система на Среднем Тимане включает карбонатиты, флюидо-эксплозивный дайковый комплекс и фенитизированные терригенно-карбонатные породы. Во всех породах отмечается кристаллизация монацита и апатита. Химические составы минералов послужили индикаторами истории длительного многоэтапного становления флюидо-эксплозивной системы.



**Рис. 3.** Минерализация апатита в флюидо-эксплозивной системе Среднего Тимана

**а** – развитие апатита (Ap) в матриксе флюидо-эксплозивной породы; **б** – кристаллизация апатита (Ap) с подчеркиванием течения флюидального потока; **в** – срастание апатита (Ap) и монацита (Mnz). Светлые участки в апатите указывают на присутствие примеси редкоземельных элементов; **г** – начальные фазы замещения апатита редкоземельным фосфатом в виде тонких каемок; **д** – включения монацита (Mnz) в кристалле апатита (Ap); **е** – кристаллизация апатита в фенитизированной карбонатной породе, р. Светлая; **ж** – сахаровидный агрегат апатита в фенитизированной карбонатной породе, р. Светлая; **з** – перекристаллизация с укрупнением кальцита и апатита в фенитизированной карбонатной породе, р. Светлая; **и** – крупный апатит второй генерации в фенитизированной карбонатной породе

Карбонатно-щелочные флюиды, принимавшие участие в формировании данной системы, поступали пульсационно с разной химической спецификой. В химическом составе монацита в карбонатитах прослеживаются два эволюционных тренда смешения редкоземельных элементов. На магматической стадии формирования карбонатитового тела отмечается эволюция химического состава монацита в сторону обеднения La, а на

заключительном этапе становления с некоторым перерывом кристаллизовался монацит с тенденцией накопления Nd. Подобные эволюционные тренды прослеживаются и в монаците флюидо-эксплозивных даек, образовавшихся синхронно с карбонатитами. Монацит с повышенным содержанием Nd кристаллизовался на стадии гидротермальной переработки карбонатитов и в фенитизированных осадочных толщах, что свидетель-

ствуется об общности флюидов, принимавших участие в формировании пород, и одновременности событий. Во всех фосфатах, образованных на завершающей стадии формирования флюидо-эксплозивной системы, отсутствуют примеси стронция. Обоedнение растворов данным элементом объясняется развитием Sr-содержащей редкоземельно-карбонатной минерализации на ранних этапах становления флюидо-эксплозивной системы: в карбонатитах и карбонатизированных эксплозивных дайках. Эти же обстоятельства способствовали концентрации неодима в монаците, кристаллизовавшемся в постмагматическом гидротермальном карбонатите и соответственно в фенитизированных породах.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН №122040600012-2; №122040600011-5.

#### Библиографический список

- Голубева И.И., Леденцов В.А., Бурцев И.Н. Эволюция изотопии углерода и кислорода карбонатито-щелочной флюидо-эксплозивной структуры (Средний Тиман) // Современные направления развития геохимии. 2022. Т. 1, С. 138–142.
- Голубева И.И., Шуйский А.А., Филиппов В.Н., Бурцев И.Н. Обобщенный опыт изучения и диагностики конвергентных пород на примере карбонатизированных флюидоэксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса среднего Тимана // Вестник Пермского университета. 2021. Т. 20. № 1. С. 11–23.
- Голубева И.И., Шуйский А.С., Филиппов В.Н., Тропников Е.М., Исаенко С.И., Бурцев И.Н., Леденцов В.Н. Новые данные о титановой минерализации в фенитизированных докембрийских карбонатных породах быстринской серии Среднего Тимана // Вестник геонаук. 2021. № 6 (318). С. 38–47.
- Голубева И.И., Мокрушин А.В., Филиппов В.Н., Бурцев И.Н. Хромшпинелиды флюидо-эксплозивных даек Среднего Тимана // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 117–127.
- Голубева И.И., Ремизов Д.Н., Бурцев И.Н., Филиппов В.Н., Шуйский А.С. Флюидо-эксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса Среднего Тимана и их парагенетическая связь с карбонатитами // Региональная геология и металлогения. 2019. № 80. С. 30–44.
- Голубева И.И., Филиппов В.Н., Бурцев И.Н. Метасоматическая редкоземельная и редкометалльная минерализация в ультрамафитах дайкового комплекса на Среднем Тимане (поднятие Четлас) // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения – 2018). Сыктывкар. Геопринт. 2018. С. 30–31.
- Ивенсен Ю.П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.-Л.: Наука. 1964. 126 с.
- Ковальчук Н.С., Шумилова Т.Г., Козырева И.В. Морфология и особенности химического состава монацита в карбонатитах Косьюского массива (Средний Тиман) // Известия Коми научного центра УрО РАН. Выпуск 1(5). Сыктывкар. 2011. С. 49–53.
- Костюхин М.И., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука. 1987. 232 с.
- Макеев А.Б., Лебедев В.А., Брянчанинова Н.И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург, УрО РАН. 2008. 348 с.
- Недосекова И.Л., Владыкин Н.В., Удоратина О.В., Ронкин Ю.Л. Карбонатиты четласского комплекса (Средний Тиман): геохимические и изотопные данные // ЕЖЕГОДНИК-2012, Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. 2013. С. 150–158.
- Недосекова И.Л., Удоратина О.В., Владыкин Н.В., Прибавкин С.В., Гуляева Т.Я. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов Четласского комплекса (Средний Тиман) // ЕЖЕГОДНИК-2010, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 158, 2011, С. 122–130.
- Пармузин Н.М., Алексеев М.А., Вовшина А.Ю. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Мезенская серия – Лист Q-39 (Нарьян-Мар). Объяснительная записка. - СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ. 2015. 517 с.
- Плякин А.М., Беляев В.В. Твёрдые полезные ископаемые Тимана Ухта: УГТУ, 2005. 92 с.
- Степаненко В.И. Особенности геологического строения и состава карбонатитового комплекса Среднего Тимана // Магматические формации Европейского Северо-Востока. СССР. Труды ИГ Коми филиала АН СССР. 1979. Вып. 29. С. 52–60.
- Шумилова Т.Г., Ковальчук Н.С., Мингалев А.Н., Диваев Н.К. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов Косьюского массива (Средний Тиман). Вестник Коми НЦ УрО РАН. № 4. 2012. С. 9–13.
- Удоратина О.В., Вирус А., Козырева И.В., Швецова И.В., Капитанова В.А. Монацит гидротермально-метасоматических пород (Новобобровское рудное поле, Средний Тиман) // Сове-

менные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии. Сыктывкар. ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013. С. 275–277.

*Varlamov D.A., Udoratina O.V., Burakov N.N.* Unusual monazites and Ce segregation process dur-

ing alkaline metasomatism of acid substrates (Kosyu ore field, Middle Timan) // Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. XXXIII International conference. Abstract. Miass. 2017 P. 292–295.

## The Evolution of the Chemical Composition of Phosphates as an Evidence of the Multi-Phase Formation of the Alkaline-Carbonate Fluid-Explosive System of the Middle Timan

**I.I. Golubeva, V.N. Filippov, A.S. Shuyskiy, I.N. Burtsev**

Institute of Geology Komi SC Russian Academy of Sciences

54 Pervomayskaya Str., Syktyvkar 167982, Russia, E-mail: sukharev@geo.komisc.ru

E-mail: golubeva@geo.komisc.ru; filippov@geo.komisc.ru

The alkaline-carbonate fluid-explosive structure in the Middle Timan includes carbonatites, carbonatized fluid-explosive dikes, and fenitized terrigenous-carbonate rocks of the Riphean. Phosphates, represented by monazite and apatite, are formed in all rocks. The chemical composition of the minerals testifies to the multiphase formation of this structure and a single source of fluids involved in its formation.

Key words: *monazite, apatite, fluid-explosive system, Middle Timan*

### References

*Golubeva I.I., Ledentsov V.A. Burtsev I.N.* 2022. Evolyutsiya izotopii ugleroda i kisloroda karbonatno-shchelochnoy flyuido-eksplozivnoy struktury (Sredniy Timan) [Evolution of isotopes of carbon and oxygen of carbonatite-alkaline fluid-explosive structure (Middle Timan)]. *Sovremennyye napravleniya razvitiya geokhimii*. 1:138–142. (in Russian)

*Golubeva I.I., Shuyskiy A.A., Filippov V.N., Burtsev I.N.* 2021. Obobshchennyi opyt izucheniya i diagnostiki konvergentnykh porod na primere karbonatizirovannykh flyuidoeksplozivnykh ultramafitov daykovogo kompleksa srednego Timana [Study and diagnostics of convergent rocks on the example of carbonated fluid-explosive ultramafic dyke complex (Middle Timan)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 20(1):11–23. (in Russian) doi: 10.17072/pstu.geol. 20.1.11

*Golubeva I.I., Mokrushin A.V., Filippov V.N., Burtsev I.N.* 2020. Khromshpinelidy flyuido-eksplozivnykh dayek Srednego Timana [Chromspinelides of fluid-explosive dykes of the Middle Timan]. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*. 17:117–127. (in Russian)

*Golubeva I.I., Remizov D.N., Burtsev I.N., Filippov V.N., Shuyskiy A.S.* 2019. Flyuido-eksplozivnyye ultramafity daykovogo kompleksa Srednego Timana i ikh parageneticheskaya svyaz s karbonatitami [Fluid-explosive ultra-mafic rocks of dyke complex of Middle Timan and their paragenet-

ic relationship to carbonatites]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 80:30–44. (in Russian)

*Golubeva I.I., Filippov V.N., Burtsev I.N.* 2018. Metasomaticheskaya redkozemel'naya i redkometall'naya mineralizatsii v ultramafitakh daykovogo kompleksa na Srednem Timane (podnyatiye Chetlas) [Metasomatic rare-earth and rare-metal mineralization in ultra-mafic rocks of dyke complex on the Middle Timan (Chetlas Uplift)]. *Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimentalnoy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya – 2018)*. Syktyvkar, Geoprint, pp. 30–31. (in Russian)

*Ivensen Yu.P.* 1964. Magmatizm Timana i poluostrova Kanin [Magmatism of Timan and Kanin Peninsula]. *Nauka. Moskva-Leningrad*, p. 126. (in Russian)

*Kovalchuk N.S., Shumilova T.G., Kozyreva I.V.* 2011. Morfologiya i osobennosti khimicheskogo sostava monatsita v karbonatitakh kosyuskogo massiva (sredniy Timan) [Morphology and features of chemical composition of monocyte in the Kosyu carbonatite massive]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*. 1(5):49–53 (in Russian)

*Kostyukhin M.I., Stepanenko V.I.* Baykalskiy magmatizm Kanino-Timanskogo regiona [Baikal magmatism of Kanin-Timan region]. *Nauka, Leningrad*, p. 232. (in Russian)

*Makeyev A.B. Lebedev V.A. Bryanchaninova N.I.* 2008. Magmatity Srednego Timana [Magmatites of the Middle Timan]. *Yekaterinburg, UrO RAN*, p. 348. (in Russian)

*Nedosekova I.L., Vladykin N.V., Udoratina O.V., Ronkin Yu.L.* 2013. Karbonatity chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan): geokhimicheskiye i izotopnyye dannyye [Carbonatites of Chetlas complex (Middle Timan): Geochemical and isotope data]. YEZHEGODNIK-2012, Tr. IGG UrO RAN, 160:150–158. (in Russian)

*Nedosekova I.L., Udoratina O.V., Vladykin N.V., Pribavkin S.V., Gulyayeva T.Ya.* 2011. Petrokhimiya i geokhimiya daykovykh ultrabazitov i karbonatitov Chetlasskogo kompleksa (Sredniy Timan) [Petrochemistry and geochemistry of ultrabasic dykes and carbonatites of Chetlas complex (Middle Timan)]. YEZHEGODNIK-2010, Tr. IGG UrO RAN. 158:122–130. (in Russian)

*Shumilova T.G., Kovalchuk N.S., Mingalev A.N., Divayev N.K.* 2012. Izotopnyy sostav ugleroda i kisloroda karbonatov Kosyuskogo massiva (Sredniy Timan) [Isotope composition of carbon and oxygen from carbonatites of the Kosyu massive (Middle Timan)]. Vestnik Komi NTS UrO RAN. 4:9–13. (in Russian)

*Stepanenko V.I.* 1979. Osobennosti geologicheskogo stroyeniya i sostava karbonatitovogo kompleksa Srednego Timana [Features of geological

structure and composition of the Middle Timan carbonatite complex]. Magmaticheskiye formatsii Evropeyskogo Severo-Vostoka. SSSR. Trudy IG Komi filiala AN SSSR. 29:52–60. (in Russian)

*Plyakin A.M., Belyayev V.V.* 2005. Tvyordye poleznyye iskopayemye Timana [Solid mineralization of the Timan]. UGTU, Ukhta, p. 92. (in Russian)

*Udoratina O.V., Viryus A., Kozyreva I.V., Shvetsova I.V., Kapitanova V.A.* 2013. Monazit gidrotermalno-metasomaticheskikh porod (Novobobrovskoye rudnoye pole, Sredniy Timan) [Monazite of hydrothermal-metasomatic rock (Novobobrovskoe ore field, Middle Timan)]. In: Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimentalnoy i prikladnoy mineralogii. Syktyvkar. IG Komi NTS UrO RAN, pp. 275–277. (in Russian)

*Varlamov D.A., Udoratina O.V., Burakov N.N.* 2017. Unusual monazites and Ce segregation process during alkaline metasomatism of acid substrates (Kosyu ore field, Middle Timan). Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits. XXXIII International conference. Abstract. Miass, pp. 292–295.