

в вагоне, поезд медленно трогается, и я со страхом смотрю, как бабушка с братом на одной руке и тазиком в другой бежит к начинающему двигаться вагону. Кто-то из мужчин подхватывает их и затаскивает в вагон. Но это уже возвращение домой.

Уже в Москве помню, как нас с братом возили в военный госпиталь, и мы читали стихи, вернее, читала я: «Однажды в студеную зимнюю пору...», а брат, стоя за моей спиной, старательно жестикулировал руками, изображая происходившие в стихах события.

После возвращения ВИМСа в Москву отец перешел в ИГЕМ АН СССР, где продолжал работы по Полярному Уралу. В работах Полярно-Уральской экспедиции под руководством отца принимают участие не только сотрудники ГИНа, но и ВСЕГЕИ — Ю.Е. Молдованцев, С.Н. Волков и др. Приезжая в Москву, многие из них останавливались у нас, и в доме царили геология и музыка. Ю.Е. Молдованцев, получивший наряду с геологическим, еще и образование в ленинградской консерватории, едва переступив порог дома, сел за пианино и великолепно пел арии из опер. Мы, дети, жили вместе со своими родителями этой жизнью.

Наконец, в 1947 г. я уговорила маму взять меня в экспедицию. Мы долго добирались до Саранпауля, сначала на поезде, затем на гидросамолете, далее по Оби и Северной Сосье на пароходе. А дальше с маминым отрядом — по тайге. Мы поднимались вверх по течению на лодке на шестах, шли с караваном вьючных лошадей по тайге, вернее все шли, а я ехала верхом. Дождя не было, и в дороге палатки не ставили. Мама раскладывала мне пуховый спальный мешок под огромным кедром, а их там было немало, и счастьем моему не было предела!

Я окончила музыкальную школу, но поступать в училище не стала: геология, к огорчению моей бабушки, победила. Я стала третьим ребенком в нашей семье, который пошел по стопам родителей. В 1959 г. после окончания геологоразведочного факультета МГРИ я пять лет проработала в Ленской экспедиции ЦНИГРИ. Мне очень повезло — моим первым учителем по практической геологии стала Юлия Петровна Казакевич, крупный специалист по золотоносным россыпям и очень доброжелательный человек. В экспедиции работал в то время и Сергей Дмитриевич Шер, занимавшийся россыпным и рудным золотом. Знания, полученные при геологической съемке, очень помогли мне в дальнейшей работе, когда я стала заниматься рудной геологией.

В 1964 г. я поступила в аспирантуру в ВИМС. Три года занималась детальным изучением оловорудного месторождения Учкошкон в Киргизии. После окончания аспирантуры мне посчастливилось 20 лет работать с замечательным человеком, крупным специалистом и куратором по олову Михаилом Прокопьевичем Материковым. В первые годы работы с ним проводилась оценка перспектив новых оловоносных районов. В результате этих работ была обоснована возможность открытия в СССР новых месторождений олова за пределами уже известных областей промышленной оловоносности. Полученные результаты легли в основу моей диссертационной работы, защита которой состоялась в 1973 г.

Сейчас я на пенсии, но полностью расстаться с геологией не дает накопленный за многие годы работы огромный материал, и я пытаюсь хоть какую-то его часть более полно систематизировать.

*Составитель Л.А. Антоненко*

## ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.493.6:549.752.143:550.4

**Рихванов Л.П., Перегудина Е.В. (Национальный исследовательский Томский политехнический университет)**

### МОНАЦИТ — КАК ИСТОЧНИК МЕТАЛЛОВ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Статья посвящена изучению фосфата церия известного как монацит, в котором в промышленно значимых концентрациях содержатся другие редкие земли, торий и уран. В статье приводятся геохимические данные, полученные авторами при изучении монацитов из складских стратегических запасов и монацитов из различного типа россыпей как аллювиальных (Таракская россыпь), так и погребенных прибрежно-морских (Туганское, Обуховское*

*и других месторождений Западной Сибири) россыпей и современных пляжных песков Индии и Азовского моря. Детально рассматривается весьма интересный тип оводного монацита — куларита с золоторудных россыпей Якутии, как возможный источник металлов высоких технологий. **Ключевые слова:** монацит, куларит, геохимия, редкие земли, уран, торий, экономическая значимость.*

Rikhvanov L.P., Peregudina E.V. (National Research Tomsk Polytechnic University)

MONACYT — AS A SOURCE OF HIGH TECHNOLOGY METALS

*The article is devoted to the study of monazite, cerium phosphate, which contains other rare — earth elements, thorium and uranium at mineable concentrations. The article presents*

*original geochemical data in the study of monazites from strategic stock reserves of placers various types. We investigated both alluvial (the Taraskaya placer) and embedded seashore (Tuganskoe, Obukhovskoe and other deposits of Western Siberia) placers. In addition, we studied modern beach sands from India and Azov Sea. Kularite from gold placers of Yakutia, a unique type of ovoid monazite, is discussed in detail as a possible source of high-tech metals. Keywords: monazite, kularite, geochemistry, rare earths, uranium, thorium, economic importance.*

Монацит — один из широко известных акцессорных минералов, обнаруженных Брейтгауптом в 1829 г. на Урале. Относится к группе ортофосфатов церия ( $\text{CePO}_4$ ), в котором Ce изоморфно замещается La и соответственно четырехвалентными Th и U.

Теоретический состав может быть представлен (в %):  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  (34,99);  $\text{La}_2\text{O}_3$  (34,74);  $\text{P}_2\text{O}_5$  (30,27) [2]. Практический состав минерала более сложен и на сегодняшний день, согласно современной минералогической базе данных, выделяют Ce-монацит: (Ce, La, Pr, Nd, Th, Y)  $\text{PO}_4$ ; La-монацит: (La, Ce, Nd, Pr)  $\text{PO}_4$  (до 28,95 % лантана); Nd-монацит: (Nd, La, Ce, Pr) (P, Si)  $\text{O}_4$ ; Sm-монацит:  $\text{SmPO}_4$  (до 13,59 % самария); Pr-монацит: (Pr, Nd, Ce, La)  $\text{PO}_4$ . В состав монацита входят изоморфные с ним молекулы хаттонита ( $\text{ThSO}_4$ ), чералита ( $\text{ThCaPO}_4$ ) [1, 2]. В отношении редких земель минерал является селективно цериевым.

Практически всегда в его составе обнаруживаются высокие концентрации Th (до 28 %) и в переменных количествах U (до 0,26 %), а в сумме их содержание достигает 36 %, в силу чего монацит является радиоактивным и при рассмотрении его как источника редких земель (TR), возникает проблема их очистки от Th и U, которая решается теми или иными технологическими приемами [4]. Но при этом возникает радиоэкологическая проблема, что делать с радиоактивными отходами. И тут уместно вспомнить, что Th, как и U, является делящимся радионуклидом и может быть востребован для реализации ядерного топливного цикла в ближайшем будущем [7], а его ресурсная база в государстве не подготовлена [5, 13].

Монацит служил и служит источником получения тория и редких земель [4].

На заре развития промышленности из Th изготавливали газокалильные сетки, и добыча монацита для этих целей достигала 7000 т (В.Н. Котляр и др.). В середине 1950-х годов в Тромбее (Индия) и некоторых других странах (США, Германия) заработали экспериментальные ядерные реакторы, на которых топливом был Th.

Использование монацита для получения редких земель, прежде всего группы Ce, увеличивалось и достигло максимума 12000–17000 т.

По оценке И.Н. Бекмана оно составляло 17 609 т: более половины — в Австралии; 4200 т — в Индии, 1800 т — в Бразилии. Мировое производство тория в период 1978–1980 гг. составило примерно 150 т  $\text{ThO}_2$  в год. В 2000 г. мировое производство монацитового концентрата составляло 12000 т в год. Мировая потреб-

ность в тории на современном этапе достаточно низкая; во всем мире в 2000 г. его потребление составило 200 т при производстве специальных сплавов. К середине 1990-х годов продажа монацитового концентрата практически прекратилась ввиду отсутствия спроса.

Данные об объеме мирового производства тория не публикуются. В США добыча монацита была прекращена в конце 1994 г. ввиду снижения мирового спроса на руды, содержащие природный радиоактивный торий. В 2001 г. весь потреблявшийся в России торий поступал либо из-за рубежа, либо из имеющихся складских запасов. Основными поставщиками соединений тория являлись (в %): Франция — 72, Канада — 11, Япония — 4, Сингапур — 2. Крупными продуцентами монацита являются Бразилия, Индия, США, Малайзия, Австралия, Шри-Ланка и др. В динамике потребления ториевых руд, соединений и металлического тория в США на протяжении длительного времени наблюдается понижающаяся тенденция. Значительно сократилось использование тория с 1980-х годов, когда его потребление в стране составляло в среднем 45 т в год.

В экономическом анализе по редкоземельным элементам, как составной части металлов высоких технологий, выполненным А.А. Никулиным (2014 г.) [9], уделяется внимание и монациту. Отмечено, что в прибрежно-морских песках Австралии, по оценкам Британской геологической службы, запасы РЗМ в них весьма существенны (3,4 млн т), но разработка монацита из них практически не осуществляется по причине высокой радиоактивности. Запасы монацита на прибрежных аллювиальных месторождениях Бразилии составляют 42 тыс. т.

В Индии крупные запасы монацита, заключенные в минеральных песках, залегают в двух южных штатах страны — Керала и Тамилнад. Добычей и переработкой монацитового сырья занимаются Индия (64 % мирового производства), Бразилия (33 %) и Шри-Ланка (около 3 %).

На сегодняшний день основным поставщиком редких земель являются руды, содержащие минералы бастнезит, ксенотим, монацит, а также «ионные» руды.

#### **Материалы и методы**

В статье приводятся геохимические данные, полученные авторами при изучении монацитов как из складских стратегических запасов, так и монацитов из различного типа россыпей, как аллювиальных (Таракская россыпь), так и погребенных прибрежно-морских (Туганское, Обуховское и других месторождений Западной Сибири) россыпей и современных пляжных песков Индии и Азовского моря. Детально рассматривается весьма интересный тип овоидного монацита — куларита с золоторудных россыпей Якутии.

Основными методами исследования минерала были использованы современные методы, включающие электронную микроскопию, нейтронно-активационный анализ. Реже, для точной диагностики минеральной фазы, использовались специальные методы рентгенофазового анализа — дифрактометр

D2 PHASER фирмы Bruker и радиоспектрометр ЭПР X-диапазона SE/X 2547 (RadioPAN) при изучении магнитности.

Для исследования морфологии и химического состава минерала использовался высокоразрешающий электронный микроскоп фирмы «Hitachi S-3400N» с энергодисперсионной приставкой для элементного анализа фирмы «BRUKER».

### 1. Монацит из государственных складских запасов г. Красноуфимск

На складах под г. Красноуфимск хранится около 800 различных партий монацитового концентрата, общим количеством около 80 000 тыс. т, вывезенного из различных районов бывшего СССР и других стран. Минеральный и химический состав несколько различаются и иногда существенно. Наиболее обстоятельно его минеральный и химический состав примерно из 10 разных партий был изучен С.А. Репиной, В.И. Поповой и Л.Ф. Баженовой (2008) [10], по материалам которых характеризуется состав концентрата и монацита, являющегося предметом технологической переработки. Концентраты монацита представляют в основном коричневый песок фракции  $-0.8$  мм (рис. 1), доля более крупной фракции ( $-2+0.8$  мм) составляет 2–5 % объема пробы, реже — до 15–20 %. В пробах преобладают окатанные обломки и отдельные кристаллы с матовыми гранями. На долю монацита в концентрате приходится от 78 до 100 %, что, конечно, будет сказываться на среднем химическом составе каждой из имеющихся партий концентрата. Усредненный химический состав концентрата, хранящегося в филиале ОГУ «УралМонацит» (масс. %) оценивается следующим образом:

Сумма редкоземельных оксидов $\text{La}_2\text{O}_3$ — 54,0	Оксид титана $\text{TiO}_2$ — 2,2
Оксид фосфора $\text{P}_2\text{O}_5$ — 22,2	Оксид кальция $\text{CaO}$ — 1,4
Оксид тория $\text{ThO}_2$ — 5,4	Оксид магния $\text{MgO}$ — 1,2
Оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_3$ — 3,6	Оксид циркония $\text{ZrO}_2$ — 3,0
Оксид алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3$ — 2,8	Оксид урана $\text{U}_3\text{O}_8$ — 0,2
Оксид кремния $\text{SiO}_2$ — 4,0	

Уран встречается примерно только в 25 % проб и его содержание колеблется от 0,75 (по-видимому, нижний предел используемого микрозонда) до 1,81 %. Среднее значение урана приблизительно составляет 0,2 %, что представляется несколько завышенной цифрой, так как в нашей исследуемой пробе он обнаруживается только в единичных случаях на уровне 0,1–0,2 %.

Концентрация тория в изученных монацитах колеблется от 2,31 до 25,35 %. В единичных случаях его содержание ниже детектируемого уровня используемого прибора. Среднее значение ориентировочно оценивается на уровне 5,4 %.

Выполненное нами в Томском политехническом университете изучение монацита (партия неизвестна), хранящегося на складе г. Красноуфимск, с использованием высокоразрешающего электронного микро-

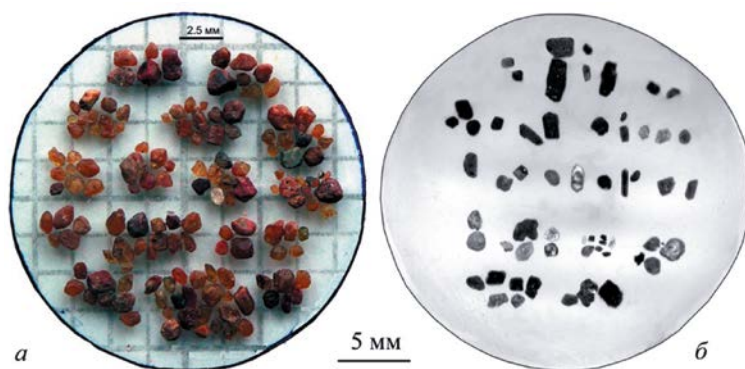


Рис. 1. Общий вид монацита (а) и сопутствующих минералов (б), составляющих Госрезерв в г. Красноуфимск. Выделены основные разновидности монацита, а из сопутствующих — циркон различных типов, ильменит, гранат, рутил и другие тяжелые минералы [10]

скопа позволило нам сделать следующие выводы: содержание тория в монаците данной партии составляет 4,2 % (рис. 2), а концентрация урана находится на уровне аналитического предела (0,1–0,2).

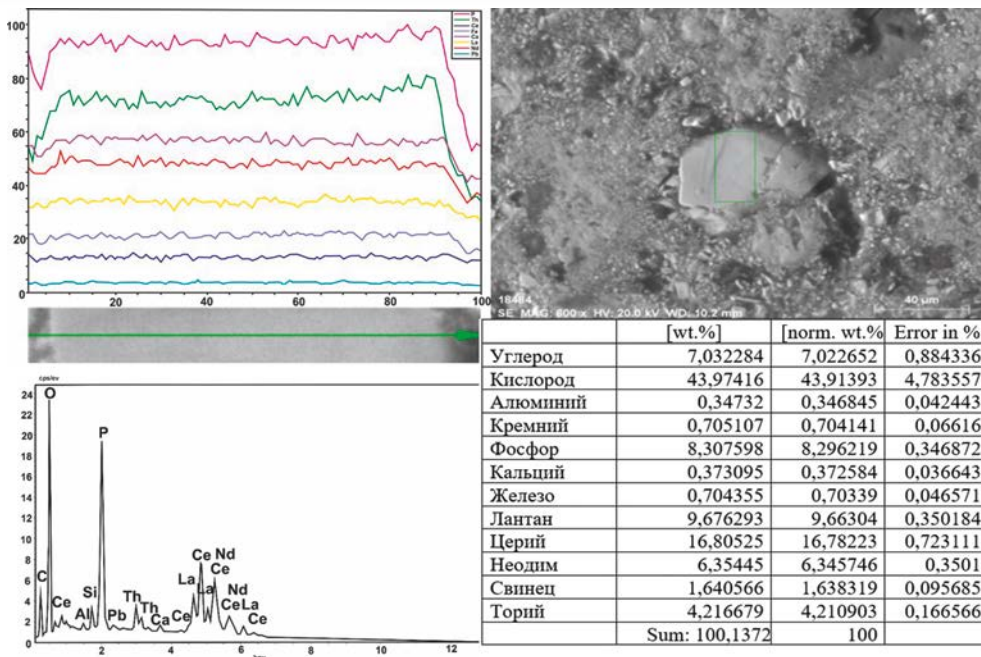
Пространственное распределение Th, Ce, La, Nd, Si, P, Ca и, по-видимому, радиогенного Pb равномерное (рис. 3), что достаточно уверенно позволяет говорить о том, что торий, уран и продукт их распада Pb входят в кристаллическую решетку минерала-хозяина и находятся в изоморфной форме. Наблюдается некоторая неоднородность в распределении Th, Si, Ca, что позволяет предполагать присутствие хаттонита и чералита (брабантита), что, по-видимому, является характерной особенностью минерала монацита.

### 2. Монацит Таракской аллювиальной россыпи (Енисейский Кряж)

В золотоносных россыпях Сибири в отдельных районах отмечалась повышенная радиоактивность золотоносного шлиха, на что обратил внимание еще в начале XX в. П.П. Орлов, первый исследователь радиоактивности в Сибири. В своей книге «К вопросу о нахождении радиоактивных веществ в шлихах золотоносных областей России», изданной в 1915 г., он отмечал и радиоактивность шлихов Енисейской золотоносной области.

Хронология изучения и добычи монацита на Енисейском Кряже приводится по книге Г. Волобуева «Таракские россыпи: пос. Таежный в Атомном проекте СССР», изданной в 2013 г. в Красноярске. В период с 1927 по 1934 г. в р. Тарака встречался минерал «рыжик», который мешал извлекать Au. Было установлено, что этот минерал монацит. В 1934–1937 гг. было проведено изучение монацитового россыпи р. Тарака. В 1938 г. была начата промышленная добыча минерала и было получено 11 т монацита. В последующие годы темпы добычи увеличивались и в 1941 г. она составляла 139,6 т. С 1947 по 1960 г. этот объект входил в «Атомный проект» и добычное предприятие входило в систему «Енисейстроя». Запасы этого месторождения в 1947–1949 гг. оценивались в 5494,2 тыс. т. Запасы тория («церия») оценивались в 315,4 т, а в перспективе 1900 т.





**Рис. 2. Монацит из Красноуфимска.** Характер распределения главных химических компонентов по профилю поверхности минерала (а), энергодисперсионный спектр элементов в минерале (б) и его состав в точке(в)

Весь добытый монацит, а в 1948–1959 гг. его было получено 836 т, вывозился в г. Подольск. И, вероятно, что его значительная часть хранится в Госрезерве.

В россыпи имеется две разновидности монацита: темно-коричневый и светло-коричневый, примерно одинаковой степени окатанности (рис. 4).

Но они резко отличаются по химическому составу (табл. 1).

Светлая разновидность минерала содержит значительно большее количество тория (до 6,87 %) и урана, особенно последнего, что является весьма существенной величиной для монацита, в котором урана, как правило, много меньше 1 %. Этот феномен требует

**Таблица 1**  
**Средние содержания оксидов элементов в двух разновидностях монацита, (масс. %)**

Оксиды элементов	Средние содержания оксидов элементов, масс. %	
	Светло-желтый	Коричневый
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17,64	32,07
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,26	17,09
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,50	30,89
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,55	12,13
ThO <sub>2</sub>	4,01	3,63
UO <sub>2</sub>	6,87	0,19
PbO	1,99	—
SiO <sub>2</sub>	0,69	0,78
CaO	0,56	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,11	2,28

отдельного рассмотрения. Содержание церия, лантана и неодима значительно больше в его темно-коричневой разновидности. Светлая разновидность в своем составе содержит свинец, вероятно радиогенный, как и в изученном нами монаците из Госрезерва.

Можно предположить, что формирование россыпи идет из двух самостоятельных источников. Урансодержащий монацит, а в нашем случае содержание урана более 6 %, встречается крайне редко и его происхождение требует изучения.

### 3. Куларит как разновидность монацита

Впервые о р. Кулар заговорили в 1961 г. Тогда в район Куларского хребта

была направлена геологоразведочная экспедиция. Пробы, взятые из россыпи ручья Неттик, дали хорошие результаты. С 1964 по 1993 г. на Куларе было добыто более 150 т золота.

Сообщение о находке минерала из группы монацита — чаролита — хаттонита в золотоносных рос-



**Рис. 3. Характер пространственного распределения Ca, P, Si, Pb, Th, Ce, Nd, La в кристалле монацита.** Исследованная площадка выделена зеленым цветом

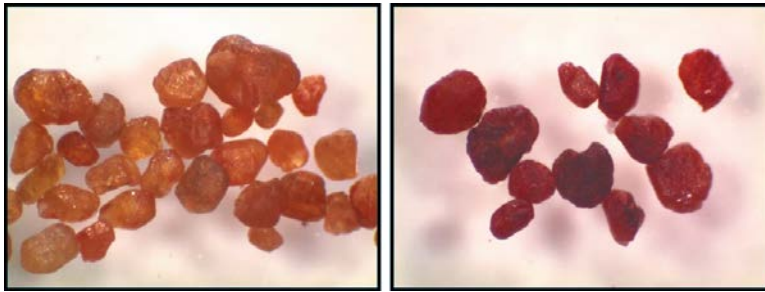


Рис. 4. Две разновидности монацита в Таракской россыпи

сыпях бассейна р. Кулар (арктическая зона Якутии) появилось в 1972 г. в журнале Доклады Академии наук СССР (т. 204, № 4). Автор статьи И.Я. Некрасов описал минерал, «имеющий овалообразные или сфероликовые формы», который мешал извлечению золота из россыпи и накапливался в эфелях. Автор определил его как силикомонацит [8].

В 1982 г. в Докладах Академии наук СССР (№ 4) появляется статья Р.Я. и И.Я. Некрасовых об этом же минерале, но с названием куларит и они его определили как аутигенный монацит. Новое название минерала — куларит было опубликовано в 1984 г. в обзоре по новым минералам в журнале American Mineralogist (V. 69).

В 1985 г. в Записках минералогического общества (вып. 4, с. 477) публикуется сообщение о том, что куларит (kularite) не новый минеральный вид, а аутигенная разновидность монацита и приводится его имеющиеся синонимы («серый монацит», «черный или темный монацит»).

Под такими названиями, а также под названием «нодулярный» (Nodular) этот вид монацита известен с 1930-х годов. Уже в обзоре Г.П. Черника в 1932 г. по месторождениям монацита неоднократно упоминается «бобовидный монацит» штата Монтана и других регионов. В Сибири монацит подобного облика был описан В.К. Земель еще в 1932 г. Его описанию посвящен вышедший в 1983 г. в США монографический обзор (Rosenblum E.A., 1983) [15].

Изучение многочисленных литературных источников по характеристике «серого» или «нодулярного» монацита, а также полученные нами данные при исследовании вещества непосредственно из отработанной золотоносной россыпи р. Кулар (Северо-Восточная Якутия), позволили определить следующие его характерные признаки [12].

Овоидный, нодулярный облик форм нахождения, размерами до 1–1,5 мм. При этом, например, на Куларе он может быть от практически круглого до овального с соотношением осей 1 к 2–3 (рис. 5).

Цвет черный, темно-серый до серого с шероховатой шагренево-поверхностью, с отчетливыми включениями нерудных минералов (кварц, хлорит, гидрослюда и др.). Иногда у минерала наблюдается кремнистая или железистая оболочка, часто разрушенная. В алюмо-кремнисто-железистых корочках отмечается присутствие трещин синерезиса, образующих полиго-

нальную структуру поверхности, возможно, косвенно свидетельствующих о распаде геля (рис. 6).

Корочки на поверхности минерала часто имеют буровато-рыжую окраску, по-видимому, за счет окисления железосодержащих минералов и косвенно об этом свидетельствует присутствие S, Al, Si при преобладающем количестве Fe.

Количественная диагностика минеральных фаз куларита позволяет утверждать, что более чем на 90 % он соответствует Се-монациту, где содержание сопутствующих минералов (гетит, хлориты, слюды, глинистые минералы, альбит) находится на уровне первых %. Их распределение в массе монацита крайне неравномерное и только оксиды железа иногда образуют отчетливо выраженные каемки мощностью до первых мкм.

При характеристике (нодулярного, овоидного, серого, темного) монацита часто указывают, что он электромагнитен. Однако нами установлено, что для минерала с р. Кулар характерна повышенная магнитность и исследованный шлик минерала отчетливо разделится на магнитную (50 %) и слабомангнитную (50 %) фракции. Исследование магнитной фракции на радиоспектрометре ЭПР X-диапазона SE/X 2547 (аналитик В.П. Лютоев, ЦКП «Геонаука» при

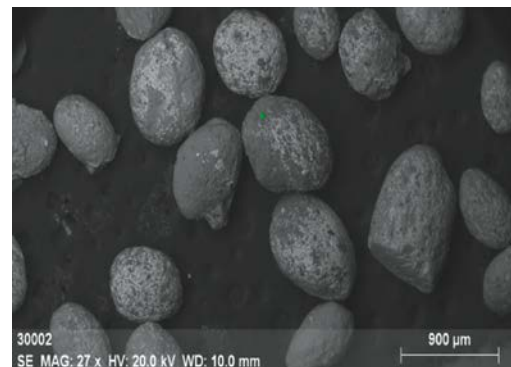


Рис. 5. Куларит под электронным микроскопом

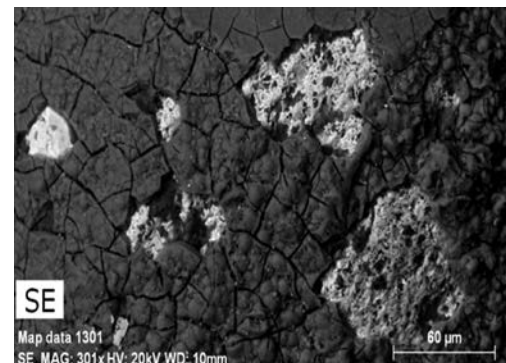


Рис. 6. Трещины синерезиса в минеральном агрегате куларита. Серое — монацит, темно-серое — гидроксиды, силикаты, кварц, хлорит и др. Неполированная поверхность минерала



Таблица 2

Содержание химических элементов в магнитной и немагнитной фракциях куларита

Элемент	Содержание элементов, г/т	
	Магнитная фракция	Немагнитная фракция
Ce	88898,7	101219,6
La	53195	64570,1
Nd	50054,2	598885
Sm	7532,5	8208,3
Eu	1663,8	1873,1
U	116	22,7
Th	3968,3	4631,3
Tb	502,8	662,1
Na	83000	15800
Ca	81000	—
Sc	10390	18500
Cr	2267,9	2613,6
Fe	49800	н.п.
Rb	851,5	н.п.
Sb	12,5	28,9

ИГ Коми НЦ УРО РАН, г. Сыктывкар) показало, что природа магнитности обусловлена присутствием феррита, возможно магнетита. Магнитная часть куларита по данным нейтронно-активационного анализа более обогащена Fe (до 5 %), U (до 0,012 %), Na (8,3 %), Ca (8,1 %), Rb (0,09 %), но содержит значительно меньше редких земель, исключение представляет содержание Tb (табл. 2).

Нодулярный монацит содержит значительно меньше Ce и La по сравнению с монацитом эндогенных месторождений, при этом куларит от своих аналогов отличается более низким содержанием La (8–16 %), и Ce (21–32 %) при величине La/Ce много меньше 1 (рис. 7).

Нодулярные монациты относительно его эндогенного аналога значительно богаче Nd (10,5 %), однако куларит отличается низким содержанием Eu (от <0,2 % до 0,5 %) и максимально высоким содержанием Nd. Нами для куларита не установлена его обогащенность Eu, которая отмечается рядом исследователей для нодулярного монацита. Его содержание в минерале по данным нейтронно-актива-

ционного анализа составляет 0,17–0,19 %. При этом следует отметить, что в агрегате куларита отмечаются микрофазы размером первые микроны Fe-Nd-Sm состава с содержанием Eu до 2 %, а также микрофазы, содержащие Dy до 2,8 %, Gd до 1,2 % и ряд других элементов (Ce, Cu и др.). Но это единичные микрофазы самостоятельных минералов, требующие специального изучения.

По содержанию P (20–34 %) все разновидности монацита достаточно близки, куларит по этому показателю попадает в группу с содержанием фосфора около 29 %. По сумме редких земель все разновидности монацита достаточно близки ( $\Sigma TR$  от 45 до 72 %), в куларите отмечается около 58 % суммы редких земель.

В распределении редких земель в нодулярном (темном) монаците была установлена определенная зональность: обогащение краевых частей нодулей La и Ce, а центральных его частей Sm, Dy [6]. Близкая к этому зональность в распределении редких земель установлена в куларите (рис. 8). В нем также отмечается обогащенность железистых зон Tb и Dy.

Куларит содержит некоторое количество Th (0,4 %) и низкие содержание U (0,0004 – 0,0005 %), и по этим характеристикам он существенно отличается от других монацитов (рис. 9).

Общей чертой для нодулярного (овоидного, серого, темного) монацита является то, что в большинстве своем его находки фиксируются в россыпях, пользующихся развитием в районах с проявлением кор выветривания по черным сланцам. При этом содержание  $C_{орг}$  в куларите составляет 0,38 %.

Приведенные выше данные по минералого-геохимическим данным куларита и его аналогов в виде темного и серого овоидного монацита позволяют говорить об их аутигенном происхождении в результа-

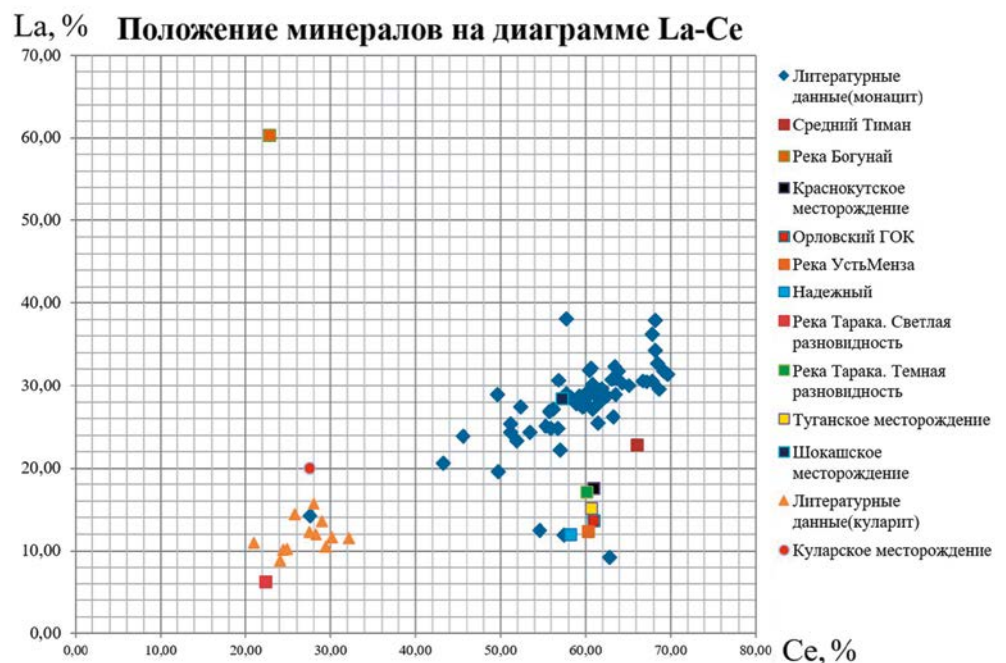


Рис. 7. Лантан-цериевые показатели монацитов и куларита

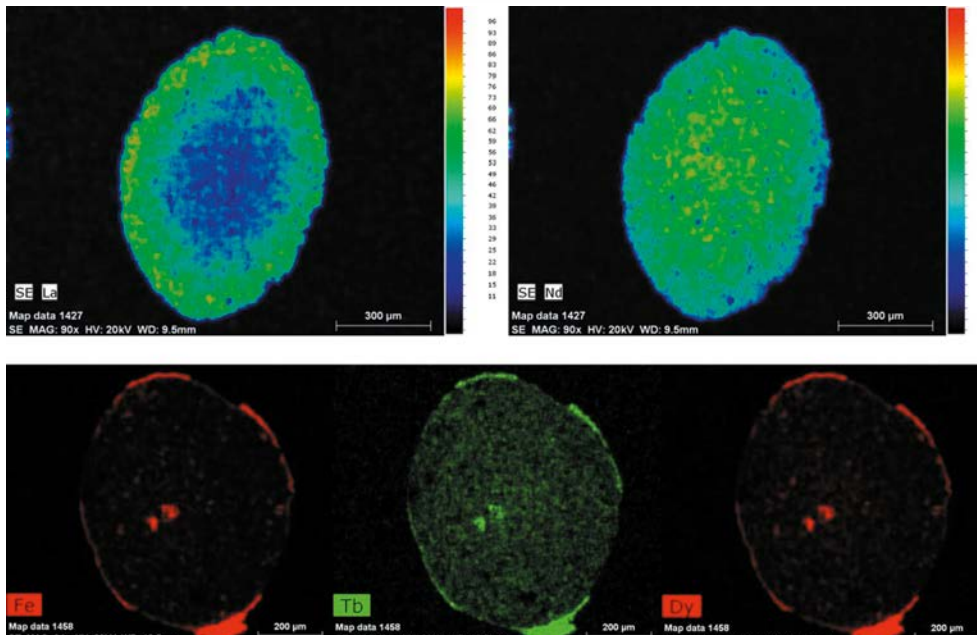


Рис. 8. Зональное распределение некоторых редких земель в куларите и приуроченность некоторых из них к гидроксидам железа

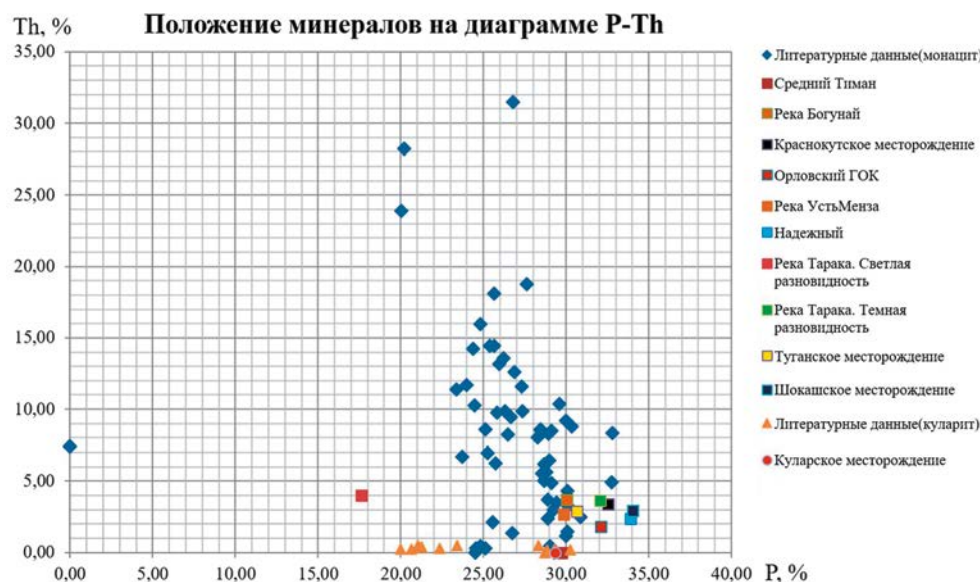


Рис. 9. Торий-фосфорные показатели различных типов монацитов и куларита

те гидротермально-осадочного процесса с участием гелеобразного кремнисто-железисто-фосфатного материала. Вероятно, как это сегодня активно обсуждается Е.В. Лазаревой, С.М. Жмодиком и др. [6], это происходит при участии бактериального сообщества, способствующего образованию кокколитовых зародышевых структур и дальнейшего образования оолита.

Окончательное формирование особенностей строения и состава произошло после метаморфизма.

При дальнейшем процессе корообразования и их перемыве агрегаты поступали в россыпи, как это отмечено на р. Кулар, иногда в значительном количестве. По оценкам специалистов (Р.М. Файзулин и др.) в эфелях этих отработанных золотоносных россыпей

накопилось около 40 тыс. т этого ценного редкоземельного минерала. Кроме того, находки нодулярного монацита, как это справедливо отмечают многие исследователи (Б.Н. Осовецкий и др.), могут служить индикаторами существования вулканогенно-гидротермально-осадочных комплексов, перспективных для выявления промышленного редкометалльного оруденения.

#### 4. Монацит месторождений обрмления Западно-Сибирской плиты

В южной части Западно-Сибирской плиты, где некогда были прибрежно-морские обстановки осадконакопления, сформировался целый комплекс цирконильменитовых месторождений (рис. 10), сегодня рассматриваемых как погребенные пляжные россыпи. Их минералого-геохимические особенности чрезвычайно близки, а наблюдаемые различия отражают только состав пород обрмления [11]. Возраст месторождений палеогеновый. Специфической особенностью концентратов этих песков является резкая их обогащенность редкими землями (La, Ce, Nd, Yb, Lu, Ta, Sc, Hf, Th и U) (табл. 3), что позволяет утверждать, что такого рода месторождения являются не только и не столько месторождениями титана,

циркония, кварца, каолинита, сколько комплексными месторождениями редких и редкоземельных элементов с титаном, цирконием, кварцем, каолинитом.

Освоение таких объектов требует инновационных подходов и технологий переработки, позволяющих отказаться от сырьевого варианта использования руды [11], тем более, что в последние годы в Томском политехническом университете разработаны подходы, позволяющие использовать практически безотходно все составляющие этих месторождений (А.И. Дьяченко, В.И. Верещагин и др.). Характерной их особенностью является присутствие монацита на уровне 0,0n %. Средний химический состав монацита прибрежно-морских погребенных и современных (Австралия,

Таблица 3

Элементный состав тяжелой фракции рудных песков и промышленных концентратов Обуховского месторождения по данным нейтронно-активационного анализа

Элемент	Исход. руда	Промышленные концентраты			
		К-К	Ц-К	И-К	Р-К
La	525	1670	714	1341	575
Ce	678	1869	666	1726	685
Nd	237	802	427	675	367
Eu	9,3	25,3	13,8	22,4	21,1
Tb	14,7	39,6	25	67,4	31,4
Yb	127	380	488	280	427
Lu	24	68	93	43	90
Ta	36	69	4,7	185,9	99,1
Sc	66,5	164	200,9	90,9	284,3
Hf	2659	8999	15190	1193	12567
Th	234	657	534	429	603
U	134,5	390,7	566,5	121,7	608,5

Индия) месторождений по нашим [11] и литературным данным, приведенных С.Е. Колотухиной и др., представлен в табл. 4. Из данной таблицы видно, что все монациты по содержанию редких земель практически идентичны. Исключение составляет торий в монацитах Австралии и Индии.

Нормированные кривые содержания редких и редкоземельных элементов в монаците из различных циркон-ильменитовых россыпей свидетельствуют о том, что существует определенное сходство в химическом спектре минерала Туганского, Георгиевского, Обуховского и Тарского месторождений. Наиболее значительны расхождения в концентрации средних лантаноидов, особенно между монацитом Туганского и Обуховского месторождений.

Содержание тория в монаците Туганского месторождения по данным инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) составляет в среднем 3,8 %, что несколько ниже, чем его содержание в монаците из Красноуфимска. Уровень накопления урана (0,15 %) близок к таковому из Красноуфимска (0,2 %) (табл. 5).

Выполненное нами в Томском политехническом университете изучение монацита из технологической пробы Туганского месторождения с использованием высокоразрешающего электронного микроскопа, показало, что:

1) Содержание тория в исследуемом образце колеблется от 3,38 до 5,76 %, что близко к среднему его содержанию в монаците Туганского месторождения (3,8 %). Уровень накопления урана ниже предела детектирования (0,1 %) данным методом.

2) Торий в пределах изученной поверхности распределен равномерно, так же как и редкие земли, фосфор, кальций, кремний и радиогенный свинец.

3) С высокой долей вероятности можно предполагать, что Th и связанный с ним U находятся в изоморфной форме.

### 5. Монацит пляжных песков Индии

Монацитовые пески юго-западного побережья Индии протягиваются на сотни километров вдоль современного берега. Основными районами их добычи и обогащения являются штаты Керала (месторождение Траванкор) и Мадрас. Месторождения монацитовых песков в Индии, имеющие промышленное значение, представляют собой природные концентрации монацита с ильменитом, рутилом, цирконом, силлиманитом и гранатом в пляжных россыпях.

Содержание минерала монацита в индийских россыпях, по литературным данным, варьирует от 0,5 до 2,0 %. Средний коммерческий монацит из Керала содержит 59,5 % оксидов редких земель, 8,5 % ThO<sub>2</sub>, урана 0,3 %. Содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в среднем составляет около 26,5 %. В составе редких земель преобладает



Рис. 10. Расположение циркон-ильменитовых месторождений в пределах Западно-Сибирской плиты [11]



**Таблица 4**  
**Содержание основных компонентов (%) в монаците циркон-ильменитовых россыпей**

Элемент	Туганское	Обуховское	Малышевское	Тобольское	Австралия	Индия
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	68,86	63,12	60,54	62,9	60,21	67,82
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28	26	21,9	28,4	27,2	28,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	27,3	29,59	31,38	28,04	н.д.	н.д.
ThO <sub>2</sub>	3,32	3,14	6,37	4,62	7,35	8,1
UO <sub>3</sub>	0,42	0,236	0,23	0,33	н.о.	0,3
Прочие	0,09	3,91	1,48	4,11	н.о.	н.о.

**Таблица 5**  
**Содержание основных компонентов (% , г/т) в монаците различных циркон-ильменитовых месторождений Западной Сибири по данным ИНАА**

Элемент	Туганское	Георгиевское	Тарское
Sc	187	28	39
Fe, %	3,8	4,3	6,7
Co	308	85	159
Sb	25	—	—
Ba, %	—	3,0	—
La, %	4,07	9,2	7,36
Ce, %	20,8	16,1	12,21
Sm, %	0,65	0,92	0,74
Eu	2230	884	737
Tb	2117	700	492
Yb	1170	1568	2068
Lu	183	393	258
Hf	3059	441	600
Th, %	3,8	2,9	1,05
U	1534	2734	2002

Ce (28,3 %), La (12,9 %), Nd (12,1 %), Pr (3,4 %), Sm (1,9 %), Gd (0,5 %), Y (0,3 %).

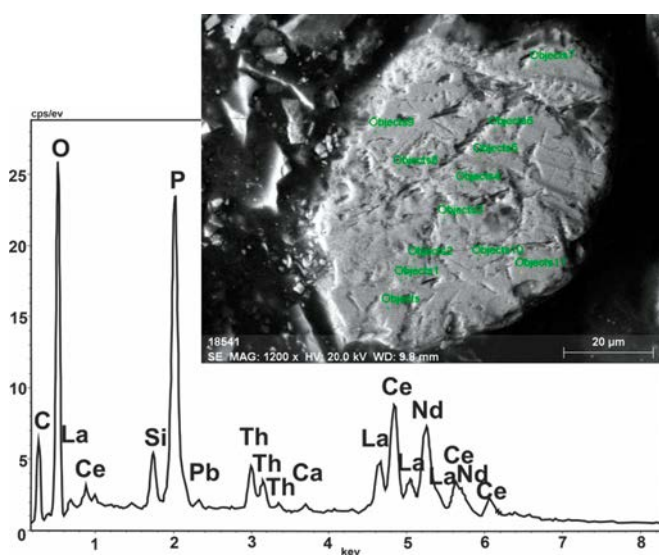
В 2017 г. магистранту ТПУ А.Ю. Максимовой удалось отобрать 7 проб пляжных песков на протяжении нескольких километров в районе населенного пункта Каннур штата Керала (рис. 12). По этим пробам были начаты минералого–геохимические исследования магистрантом Д.Е. Абраевым. Определение гранулометрического состава было выполнено методом ситового анализа. Установлено, что более 85 % минералов в пробах представлены фракцией +0,5 — +0,25 мм. Рентгенофазовый анализ этих проб показал, что их состав чрезвычайно разнообразен (рис. 13).

В их составе преобладает кварц (от 51 до 86 %). Кроме кварца в них в переменных количествах присутствуют силлиманит, анортоклаз, альбит, тремолит, ильменит, рутил, филлипсит, гранат, актинолит. В количествах менее 1 % отмечается циркон, ксенотим и другие минералы. В 6 пробах из 7 присутствует монацит в количествах от 1 до 8 %. По современной классифика-

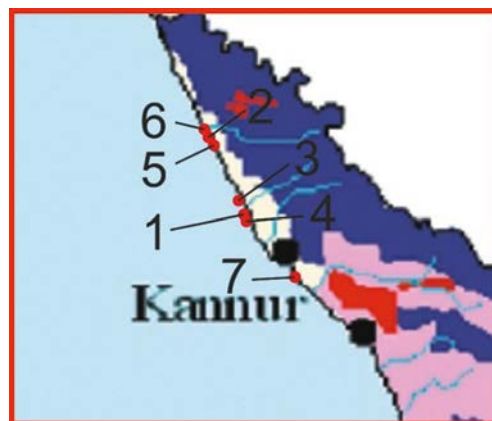
ции он относится преимущественно к лантановому и реже самариевому типам. В пробе № 1 встречен монацит обеих разновидностей.

Эти материалы свидетельствуют о чрезвычайном разнообразии областей сноса пляжных песков. Так, в районе отбора пробы № 7 коренные породы представлены биотит-роговообманковыми гнейсами и гранитами, тогда как в районе к северу развиты чарнокитовые комплексы древних пород.

Как хорошо видно из табл. 6, содержания Sc, La, Ce, Nd, Y, Hf, Th высокие и близки к минимально промышленно значимым их концентрациям даже без



**Рис. 11.** Кристалл монацита из Туганского месторождения с указанием точек микроскопического исследования и типовой энергодисперсионный спектр присутствующих элементов. Предел детектирования элементов составляет 0,1–0,2 %



**Рис. 12.** Схематическая карта отбора проб пляжных песков штата Керала

Таблица 6

Содержание химических элементов (% , г/т) в пробах пляжных песков штата Керала по данным нейтронно-активационного анализа

№ п/п	Sm	Ce	Ca, %	Lu	U	Th	Cr	Yb	Au	Hf	Ba	Sr	Nd	As
1	80,47	905,0	9,315	6,842	24,29	165,7	1659,1	49,31	0,011	180	33,2	<80	354,5	2,09
2	2,563	28,8	1,855	0,187	0,08	3,54	595,8	1,535	0,007	4	134,9	99,8	7,14	3,60
3	1,801	20,0	0,965	0,148	<0,1	2,54	595,6	1,211	0,007	3	61,5	67,3	3,73	2,16
4	29,62	351,1	4,535	2,634	7,22	61,4	1085,7	18,27	0,005	63	132,6	179,9	135,3	12,72
5	88,46	1056,9	13,49	7,980	21,75	204,7	1737,5	52,84	<0,003	211	128,0	<80	360,7	7,38
6	76,34	879,6	9,433	5,604	18,11	179,8	1292,7	38,07	<0,003	166	<60	<80	341,6	0,88
7	1,774	20,4	1,078	0,264	0,15	2,36	681,3	2,159	0,005	5	71,8	6,5	6,11	2,30
№ п/п	Ag	Br	Cs	Tb	Sc	Rb	Fe, %	Zn	Ta	Co	Na, %	Eu	La	Sb
1	<0,7	<0,9	<0,1	14,43	29,7	<2	12,61	274,9	11,425	35,30	0,504	10,69	599,49	0,46
2	<0,7	<0,9	0,151	0,27	4,5	21,44	2,04	43,6	0,260	5,97	0,753	0,414	11,68	0,39
3	<0,7	2,287	<0,1	0,28	3,1	9,48	1,36	46,8	0,108	4,10	0,583	0,252	6,74	0,46
4	<0,7	<0,9	<0,1	5,46	17,2	<2	6,73	134,9	4,762	20,09	0,419	3,673	204,51	0,71
5	<0,7	<0,9	0,155	15,09	33,6	<2	15,50	216,9	17,255	44,26	0,485	12,41	692,53	0,58
6	<0,7	<0,9	<0,1	14,04	26,6	<2	12,43	299,0	14,123	29,30	0,777	8,068	585,38	0,26
7	<0,7	1,983	0,015	0,37	3,8	8,31	1,61	43,8	0,488	4,82	0,493	0,289	7,25	0,23

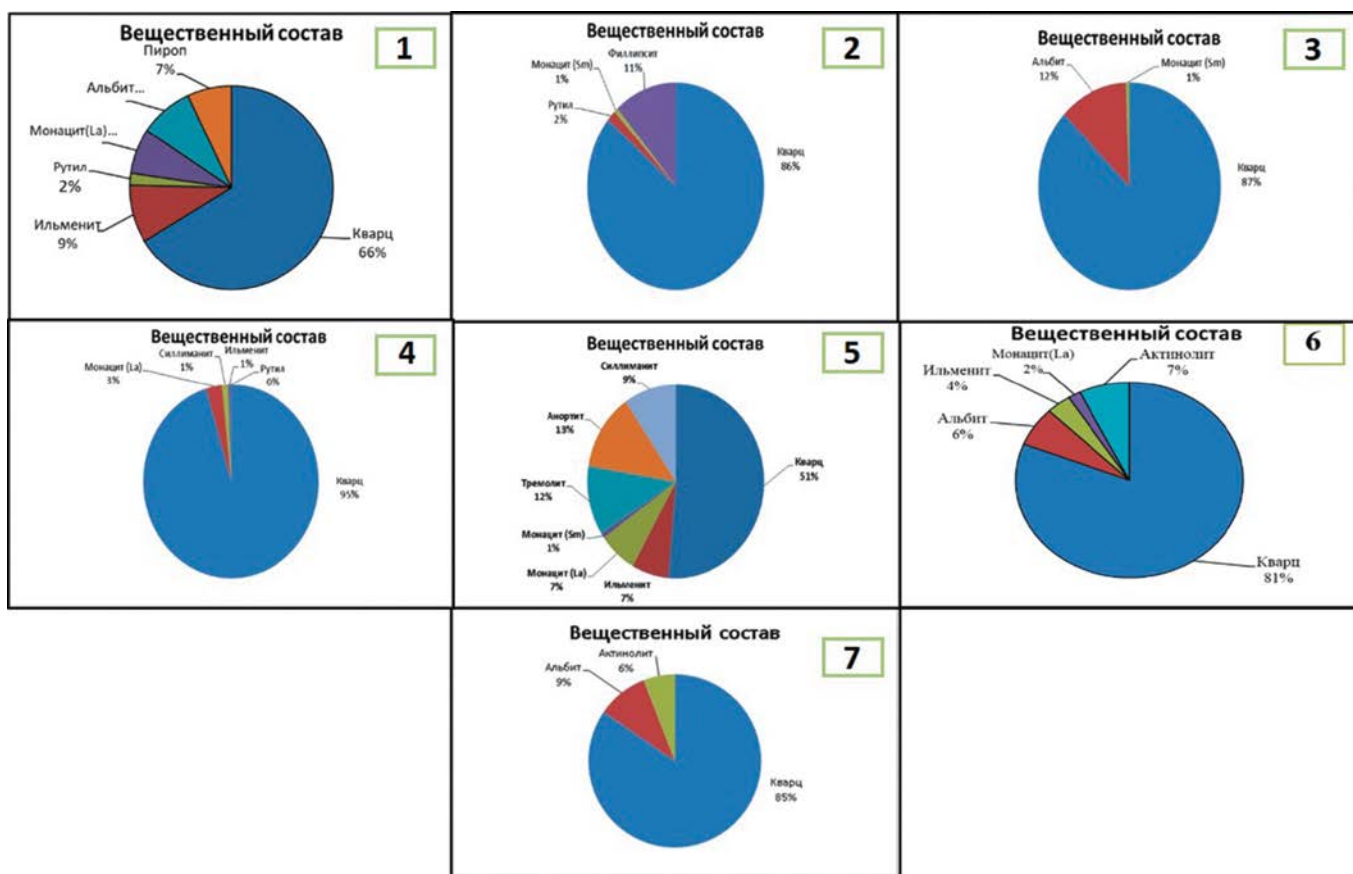


Рис. 13. Минеральный состав пляжных песков провинции Керала по данным дифракционного анализа

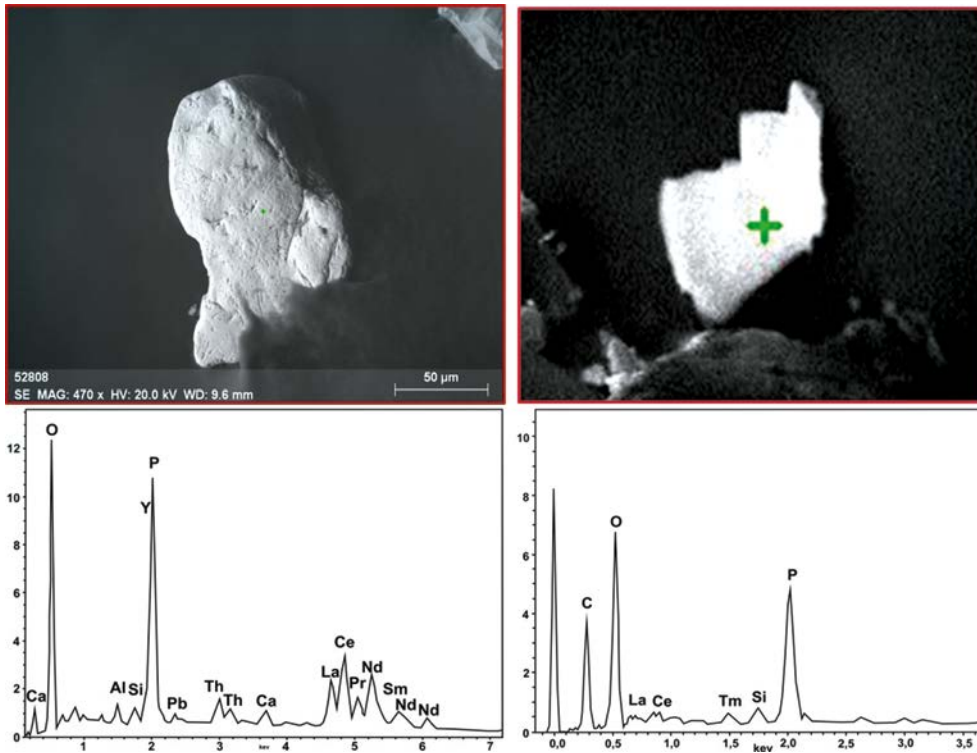


Рис. 14. Две разновидности монацита в пляжных песках штата Керала, Индия

какого-либо концентрирования, т.е. руды пляжных песков являются так же комплексными, как и погребенные россыпи Западной Сибири.

Предварительное изучение монацита пляжных песков Индии под электронным микроскопом свидетельствует о их разнообразии. Как минимум, выделяются два типа монацита: ториевая и безториевая его разновидности (рис. 14). В безториевом фосфате обнаруживается присутствие тулия (Tm) в количествах до 0,34 %, а в ториевой разновидности обнаруживается Pb, также как в исследованных складских резервах России.

В заключение статьи следует сказать и о возможных резервах этого достаточно хорошо изученного минерала, по которому установлены запасы и ресурсы, в том числе высокотехнологичных металлов.

Прежде всего, хотелось бы отметить необходимость изучения и оценки современных пляжных песков Азовского моря и не только с точки зрения санитарно-гигиенической их оценки [3, 12], но и как возможной сырьевой базы для высокотехнологичных металлов. Судя по предварительным данным этих авторов, содержание монацита в этих песках составляет 0,5 %, а концентрация тория находится на уровне 0,39 %. Это достаточно интересные параметры.

Кроме того, требуется переосмысление и переоценка техногенных отходов, содержащих монацит. Это — отвалы и хвостохранилища в Забайкальском крае (район г. Бaley), хвостохранилище в районе Актюза (Киргизия), в котором также имеется монацит, и в других горнорудных районах, в рудах которых присутствовал монацит, например, Томтор, в том числе на техногенных россыпях (россыпь р. Кондер и др.).

## Выводы

Изученные нами монациты образуют преимущественно россыпные месторождения различных типов: аллювиальные, современные прибрежно-морские и погребенные россыпи, в которые минерал попал при разрушении коренных пород. Состав монацитов определяется составом пород сноса, поэтому нет такого большого разнообразия в химическом составе этого минерала.

Оценочные содержания элементов по всей совокупности изученных проб составляют (%): P — 27,0; Ce — 22,2; La — 19,9; Pr — 3,1; Nd — 10,2; Sm — 1,9; Eu — 0,3 (встречается примерно в 50 % проб); Gd — 2,7 (в 50 %); Tb — 0,2 (в 50 %); Dy — 0,2 (в 30 %); Er — 0,08 (в 20 % проб);

Ho — 0,18 (в 10 % проб). Практически в 90 % проб монацита присутствует Y, при достаточно высоком его среднем содержании 2,7 %.

Во всех 100 % проб присутствует Th в переменных количествах от 0,2 до 31,5 %, при оценке среднего 8,3 %. Наиболее высокие содержания Th, как правило, больше 8 % фиксируются в районах развития докембрийских комплексов.

Содержание U в монаците находится на уровне 0,8 %, но встречается он примерно в 50 % проб. Аналогичная картина устанавливается и для Pb. Он обнаруживается на уровне 0,5 % и преимущественно там, где в минерале определен U. По-видимому, в данном случае он имеет радиогенную природу. Об этом говорит и его равномерное распределение в минерале. Примерно в 80 % проб присутствует Si в количествах 2,3 % и Ca — 1,4 %, что позволяет предполагать присутствие в структуре этого минерала фаз хаттонита и чералита (брабантита).

Овоидный монацит-куларит по сравнению с классическим монацитом обеднен как лантаном, так и церием. В нем также низки содержания тория и урана, что говорит о его специфических условиях образования.

Монацит, накапливающийся в россыпях, является уникальным источником редких земель, иттрия и тория. Существуют технологические подходы по его добыче и глубокой переработке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вотяков, С.Л. Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микронзондового датирования / С.Л. Вотяков, Ю.В. Щапова, В.В. Хиллер. — Екатеринбург: ИГГ УрО. — 2011. — 340 с.



2. *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. II. Минералогия редких элементов.* — М.: Наука, 1964. — 831 с.
3. *Гусева, Л.В.* Радиационно-гигиенические аспекты проблемы монацитовых песков Приазовья / Л.В. Гусева // Вестник гигиены и эпидемиологии. — Донецк, ДонДМУ. — 2003. — Т. 7. — № 1. — С. 114.
4. *Декусар, В.М.* Анализ потенциальных источников удовлетворения ближайших потребностей в тории с учетом различных возможных сценариев вовлечения тория в ЯЭ России / В.М. Декусар, Б.Я. Зильберман, А.И. Николаев, В.Г. Майоров, М.С. Колесникова. — Препринт ФЭИ. — Обнинск, 2010. — 39 с.
5. *Котова, В.М.* Закономерности формирования и размещения месторождений тория: Автореф. дисс. доктора геол.-мин. наук. — М., 2011. — 48 с.
6. *Лазарева, Е.В.* Нодулярный монацит из россыпей Куларского кряжа (Арктическая Сибирь, Россия) — состав, оценки возраста / Е.В. Лазарева, С.М. Жмодик, А.В. Прокопьев, Н.С. Карманов, А.И. Сергеев // Геология и геофизика. — 2018. — Т. 59. — № 10. — С. 1658–1679.
7. *Мурогов, В.М.* Уран-ториевый топливный цикл — его преимущества и перспектива развития ядерной энергетики на его основе / В.М. Мурогов, А.А. Дубинин, Д.И. Зябленцев и др. — Обнинск, 1995. — 45 с.
8. *Некрасов, И.Я.* Новые данные о минерале из группы монацита — черолита — хуттонита / И.Я. Некрасов // Доклады Академии наук СССР. — Т. 204. — № 4. — 1972. — С. 941 — 943.
9. *Никулин, А.А.* Металлы высоких технологий: тенденции мирового рынка редкоземельных элементов / А.А. Никулин // Проблемы национальной стратегии. — 2014. — №1(22). — С. 134 —152.
10. *Репина, С.А.* Минералогия монацитовых концентратов ОГУ «УралМонацит» / С.А. Репина, В.И. Попова, Л.Ф. Баженова // Уральский минералогический сборник № 15. Научное издание. — Миасс — Екатеринбург: УрО РАН, 2008. — С. 17–26.
11. *Рихванов, Л.П.* Циркон-ильменитовые россыпные месторождения-как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов и др. — Кемерово, «Сарс», 2001. — 214 с.
12. *Рихванов, Л.П.* Куларит как разновидность монацита, его признаки и происхождение / Л.П. Рихванов, А.А. Костылева. — RMS DPI. <http://www.minsok/2017-1-182-0> // . — С. 301–303.
13. *Сафьянов, Г.А.* Россыпи монацитовых песков Азовского моря как компонент радиологического риска / Г.А. Сафьянов, И.Н. Бекман, В.С. Кармаза и др. // Вестник МГУ. — Серия 5. — География. — 2008. — № 4. — С. 47 — 52.
14. *Шаманин, И.В.* Торий как энергетический источник и его сырьевая база в России / Шаманин И.В., Рихванов Л.П. // Уран на рубеже веков: природные ресурсы, производство, потребление. Тезисы докладов Международного симпозиума по геологии урана. — М., ВИМС, 2000. — С. 125– 126.
15. *Rosenblum, S.* Mineralogy and occurrence of europium-rich dark monazite / S. Rosenblum, E.L. Mosier. — USGPO, 1983. — №. 1181.

© Рихванов Л.П., Перегудина Е.В., 2020

Рихванов Леонид Петрович // [rikhvanov@tpu.ru](mailto:rikhvanov@tpu.ru)  
 Перегудина Елена Владимировна // [pere-elena@mail.ru](mailto:pere-elena@mail.ru)

УДК 552.3.552.322.552.332 (575.14)

**Ишбаев Х.Д., Косбергенов К.М., Илешов К.М., Утамуродов Э.А.** (Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева при Университете геологических наук, Ташкент)

## ЛАМПРОФИРОВЫЙ МАГМАТИЗМ ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА

*Рассмотрены ареалы распространения и условия локализации средне-основных даек и лампрофиров в пределах рудных полей Западного Узбекистана. Проявления лам-*

*профирового магматизма Западного Узбекистана в ассоциации с средне-основными и кислыми дайками подразделены условно на три возрастных группы, составлена корреляционная схема дайковых поясов Нуратинского и Центрального Кызылкума. По наличию ксенолитов и геофизических данных построена модель глубинного строения Нуратинского региона. Обсуждены проблемы существования лампрофировых магм, их самостоятельности, генезис и связь с оруденением. **Ключевые слова:** постколлизийный магматизм, внутриплитный, лампрофир, малые интрузии, дайка, генезис, оруденение, верхняя мантия.*

Ishbaev Kh.D., Kosbergenov K.M., Peshov K.M., Utamuradov E.A. (Institute of Geology and Geophysics named after Kh.M. Abdullaev at the University of Geological Sciences, Tashkent)

## LAMPROPHYRE MAGMATISM OF WESTERN UZBEKISTAN

*The distribution areas and localization conditions of medium-basic dikes and lamprophyres within the ore fields of Western Uzbekistan are considered. Manifestations of lamprophyre magmatism in Western Uzbekistan in association with medium-basic and acidic dikes are conditionally divided into three age groups and a correlation diagram of the dyke belts of the Nurata and Central Kyzylkum has been made. Based on the presence of xenoliths and geophysical data, a model of the deep structure of the Nurata region is constructed. The problems of the existence of lamprophyre magmas, their independence, genesis, and the relationship with mineralization are discussed. **Keywords:** post-collisional magmatism, intra plate, lamprophyre, small intrusions, dyke, genesis, mineralization, upper mantle.*

### Введение

Западный Узбекистан относится к числу удовлетворительно исследованных в геологическом отношении ареалов Западного Тянь-Шаня и характеризуется широким проявлением магматических образований, которые сформировались в различных геодинамических обстановках: рифтогенной, океанической, коллизийной и внутриплитной. Среди приоритетных направлений геологической науки Республики возросли минералого-петрологические исследования малых интрузий и дайковых образований постколлизийного и внутриплитного этапов, комплексный анализ петрологических и изотопно-геохимических данных с целью оценки характера и масштабов мантийно-корового взаимодействия применительно не только к задачам генезиса и времени становления петрологических объектов, но и к задачам генезиса и условий размещения ассоциированного с этими объектами разнообразного оруденения. Это связано с заметным прогрессом в решении проблемы с применением высокоточных методов анализа горных пород и минералов, их возраста, изотопного состава и разработкой методов оценки модели эволюции литосферы.

Дайковый магматизм в Западном Узбекистане широко проявлен в пределах рудных полей, продукты которого изучаются с середины 1950-х годов (Абдул-