



# МИНЕРАЛОГИЯ И ЛИТОХИМИЯ РУДНЫХ МЕТАПЕСЧАНИКОВ, ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ГРАНИТНЫЙ МАССИВ МАНЬ-ХАМБО (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)



О. В. Удоратина<sup>1</sup>, Н. Ю. Никулова<sup>1</sup>, Д. А. Варламов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; [udoratina@geo.komisc.ru](mailto:udoratina@geo.komisc.ru)

<sup>2</sup>ИЭМ РАН, Черноголовка; [dima@iem.ac.ru](mailto:dima@iem.ac.ru)

Приведены данные исследования литохимии и минерального состава терригенной толщи, вмещающей редкоземельно-уран-торий-редкометалльную минерализацию и контактирующей с гранитоидами массива Мань-Хамбо. Метапесчаники наращивают разрез гравелитов и конгломератов, а в основании его содержится значительное количество обломков местного происхождения и близкого сноса — допалеозойских гранитоидов. Изменения в составе пород отражают смену источников поступления и степень сортированности терригенного материала. Терригенная толща представляет собой классический трансгрессивный разрез и по комплексу данных отнесена к тельпосской свите. В песчаниках присутствует более широкий по сравнению с гравелитами спектр акцессорных минералов, в том числе различных разновидностей цирконов, что указывает на периодические незначительные изменения (увеличение площади или смещение) области питания.

Ключевые слова: *метапесчаники, гранитоиды, Мань-Хамбо, акцессорные минералы, химический состав.*

## MINERALOGY AND LITHOCHEMISTRY ORE METASANDSTONES OVERLYING MAN-HAMBO GRANITE MASSIF (NORTHERN URALS)

O. V. Udoratina<sup>1</sup>, N. Y. Nikulova<sup>1</sup>, D. A. Varlamov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IG Komi Science Centre, Syktyvkar

<sup>2</sup>IEM RAS, Chernogolovka

The study data of the mineral composition and lithochemical study of enclosing rare-earth uranium-thorium-rare metal mineralization of clastic strata contacted with granitoids from the Man-Hambo massif are presented. Metasandstones increase conglomerates and gravelites in the base of the section containing plenty of debris of local origin and proximate ablation of Prepaleozoic granitoids. The chemical composition of the rocks reflects the changing composition of the supply sources and the degree of terrigenous material sorting. The terrigenous strata are a classic transgressive section, and by the complex of lithological and geochemical characteristics they are attributed to the Telposkaya Formation. We determined a wide range of accessory minerals, including larger variety of species of zircons in sandstones than grits, this indicates a slight change (increase or shift of) supply.

Keywords: *metasandstones, granitoids, Man-Hambo, accessory minerals, chemical composition.*

Вопрос о возрасте терригенной толщи, вмещающей редкоземельно-уран-торий-редкометалльную минерализацию и располагающейся на северо-восточном фланге гранитного массива Мань-Хамбо, до настоящего времени остается дискуссионным. По одной версии породы толщи относятся к нижнерифейской хобеинской ( $R_1hb$ ) [6], а по другой — к нижнепалеозойской тельпосской ( $O_1tl$ ) [1] свите. На основании существующих структурно-геологических, литологических, геохимических и минералогических данных мы считаем осадочные толщи, перекрывающие кембрийские граниты массива Мань-Хамбо, тельпосской свитой нижнего ордовика [2, 4].

Отложения тельпосской свиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации, со стратигра-

фическим несогласием, залегают на гранитоидах и представлены классическим трансгрессивным циклом, в основании которого конгломераты сменяются гравелитами и песчаниками, составляющими основную часть разреза свиты (рис. 1).

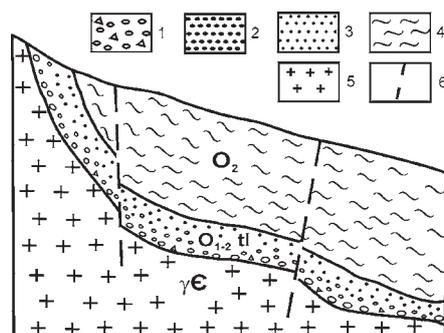


Рис. 1. Схематический разрез восточного фланга массива Мань-Хамбо: 1 — конглобреккции, 2 — гравелиты, 3 — песчаники, 4 — сланцы, 5 — граниты, 6 — разломы

Интенсивно катаклазированная и милонитизированная часть разреза грубообломочной терригенной толщи с обильной REE—U—Th-редкометалльной минерализацией выделена в самостоятельный рудный **тольинский** комплекс [3]. Наиболее продуктивные на оруденение зоны локализованы в гравелитах [2—4], в метапесчаниках содержания рудных минералов на порядок меньше, интенсивность минерализации постепенно затухает по мере уменьшения зернистости пород.

Метапесчаники, отобранные с разной глубины из керна скважин участков «Турман Центральный» и «Турман Южный» Верхнетольинской площади, расположенных в верховьях ручья Парья и Горелый, изучались в прозрачных шлифах и аншлифах. При этом наибольшее внимание

было уделено изучению распределения цирконов в породе (поскольку в протолочную пробу могли попасть цирконы, содержащиеся в мелкогравийных обломках пород в составе песчаников) и исследованию наложенной рудной минерализации.

Исследования, включающие съемку изображений исследуемого объекта в отраженных электронах с вещественным контрастом (BSE — backscattered electrons) и рентгено-спектральный локальный микроанализ, выполнялись в ИЭМ РАН (г. Черноголовка) на цифровом электронном сканирующем микроскопе Tescan VEGA-II XMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy-450 и в ИГ Коми НЦ УрО РАН на микроскопе Olympus BX-51 и спектральном электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMH с эдс X-MAX 50 mm Oxford Instruments. Интерпретация данных химических анализов метапесчаников с использованием методики литохимии [7] позволила уточнить их состав и сравнить его с составом подстилающих грубообломочных пород.

Изученные породы представлены тремя разновидностями метапесчаников — тонкозернистыми (а); разнозернистыми полевошпат-кварцевыми (б) и слюдистыми катаклазированными с карбонатом (в).

Тонкозернистый (преобладает фракция 0.1 мм) серый до темно-серого с тонкой косою слоистостью кварцитопесчаник (обр. 389) в шлифе характеризуется гранобластовой, участками бластопсаммитовой структурой и массивной текстурой. В составе породы преобладает кварц, второстепенное положение занимают полевые шпаты. Аксессуарные ми-

нералы представлены микрозернистым новообразованным титанитом, апатитом (окатанные и идиоморфные шестигранные зерна), цирконом различной степени окатанности: окатанные зерна, обломки окатанных зерен, зерна с «растворенными» контурами и микровключениями темноцветного минерала, окатанные и с «растворенными» контурами зерна внутри чешуек мусковита (рис. 2).

На модульной диаграмме ГМ—(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O), на которую для сравнения нанесены составы подстилающих гравелитов [4] и гранита из гранитной гальки в конгломератах (обр. 339), тонкозернистые песчаники отличаются наименьшими значениями гидролизатного модуля и суммы щелочей (табл. 1, рис. 3), являясь наиболее хорошо сортированными и со-

держащими минимальное из изученных образцов количество рудных минералов.

Нормативный минеральный пересчет химического состава показал, что в тонкозернистом песчанике содержится максимальное для изученных пород количество кварца (82.5 % — здесь и далее приведены объемные %).

Второстепенные минералы представлены кислым (An<sub>19</sub>) плагиоклазом (7.2 %), калиевым полевым шпатом (5 %) и биотитом (2.9 %). Аксессуарные — мусковитом (0.8 %), кальцитом (0.5 %), титанитом (0.4 %) и различными рудными минералами, условно пересчитанными на магнетит (0.2 %).

Разнозернистые полевошпат-кварцевые песчаники (обр. 372 и

Таблица 1

Химический состав пород, мас. %

Компоненты и модули	493	389	374	372	339
SiO <sub>2</sub>	70.84	91.68	84.28	74.40	75.84
TiO <sub>2</sub>	0.52	0.14	0.11	0.16	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.72	3.01	7.30	10.54	11.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.17	0.17	0.35	2.88	3.42
FeO	1.38	0.87	0.72	0.56	0.72
MnO	0.047	0.020	0.014	0.014	0.035
MgO	1.77	0.40	0.20	0.30	0.1
CaO	2.40	0.65	0.20	0.40	0.3
Na <sub>2</sub> O	0.68	0.68	1.92	2.73	2.01
K <sub>2</sub> O	4.66	1.22	3.90	5.38	6.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.280	0.045	0.015	0.013	0.029
Ппп	4.13	0.76	0.59	2.10	0.98
Сумма	99.60	99.65	99.60	99.48	100.24
H <sub>2</sub> O	0.11	0.13	0.05	0.05	0.37
CO <sub>2</sub>	0.06	0.05	0.05	0.05	0.13
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	5.34	1.90	5.82	8.11	8.58
ГМ	0.21	0.05	0.1	0.19	0.19
ТМ	0.049	0.05	0.015	0.015	0.014

**Примечание.** Химический состав пород определен методом классической «мокрой» химии в ИГ Коми НЦ УрО РАН. Модули [7]: гидролизатный ГМ=(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MnO/SiO<sub>2</sub>), ТМ — (TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

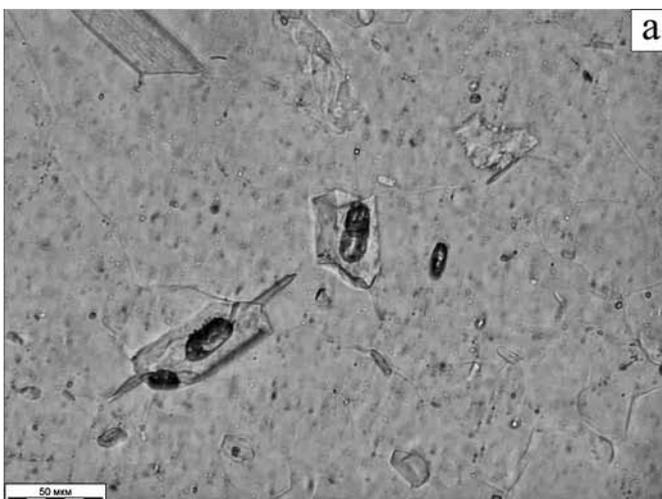


Рис. 2. Циркон в тонкозернистом песчанике (обр. 389, без анализатора): а — циркон в новообразованном мусковите, б — зерно с «растворенными» контурами и включениями

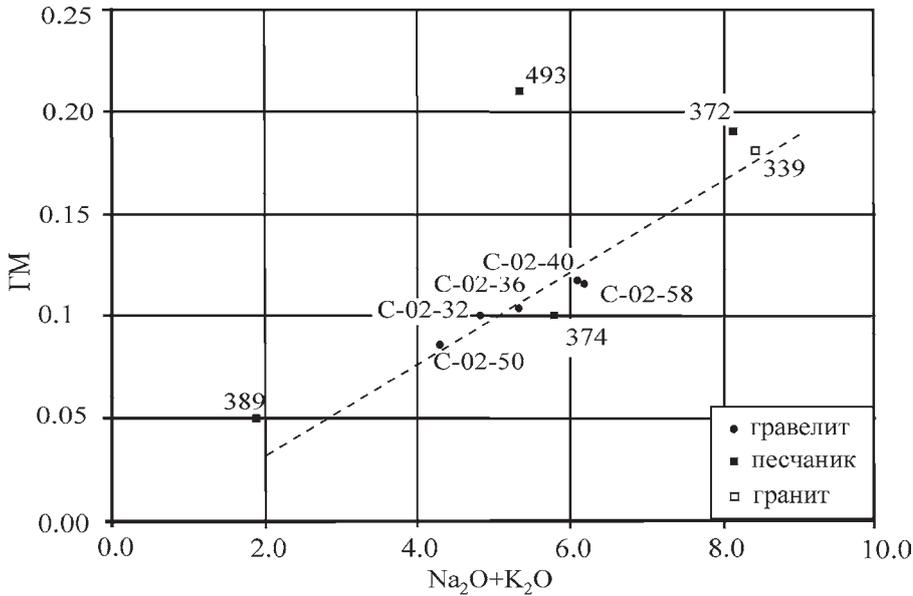


Рис. 3. Модульная диаграмма (пояснения в тексте)

374) содержат неравномерно распределенный в породе мелкий (около 2.0 мм) гравий. Обломки представлены микропегматитом, полевошпат-кварцевой мелкокристаллической породой, кварцем, кварцитом (рис. 4). Рудные минералы располагаются в цементе, нередко образуют

цепочки, слойки и пятна, где их количество составляет до 10 об. %. В знаковых количествах присутствуют циркон, апатит, микрозернистый плохоокристаллизованный титанит.

Химический и соответственно минеральный состав в изученных образцах разномзернистых пес-

чаников различен, что нашло отражение в расположении на модульной диаграмме соответствующих точек (рис. 3). Песчаник обр. 372 содержит максимальное количество (24.4 %) кислого ( $An_3$ ) плагиоклаза, 10.8 % ортоклаза и по составу близок гранитоидам. В аксессуарных количествах в песчанике присутствуют биотит (2.7 %) и титанит (0.4 %). Нормативные гематит и магнетит составляют 1.1 и 0.7 % соответственно.

Катаклазированный мелко-среднезернистый с редким мелким гравием слюдястый метапесчаник (обр. 493) сложен зернами размером 0.2–0.5 мм. Структура гранобластовая, текстура массивная и порфиороклатическая. Редкие гравийные (до 3.0 мм) зерна представлены калиевым полевым шпатом. Слюдястый цемент порового типа в зоне интенсивной трещиноватости переходит в базальный. В породе присутствуют пойкилобласты карбоната, иногда выполняющие роль базального цемента, содержащие кроме обломков минералов полости с округлыми или извилистыми очертаниями (рис. 5).

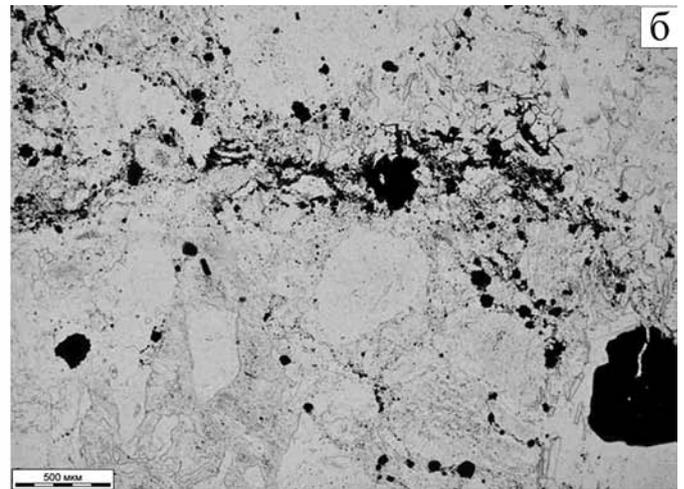
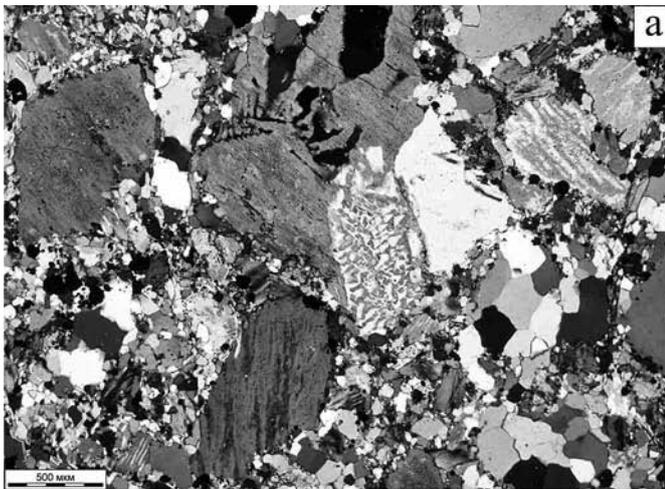


Рис. 4. Разномзернистые песчаники: а — обломок микропегматита (обр. 374); б — распределение рудных и аксессуарных минералов (обр. 372)

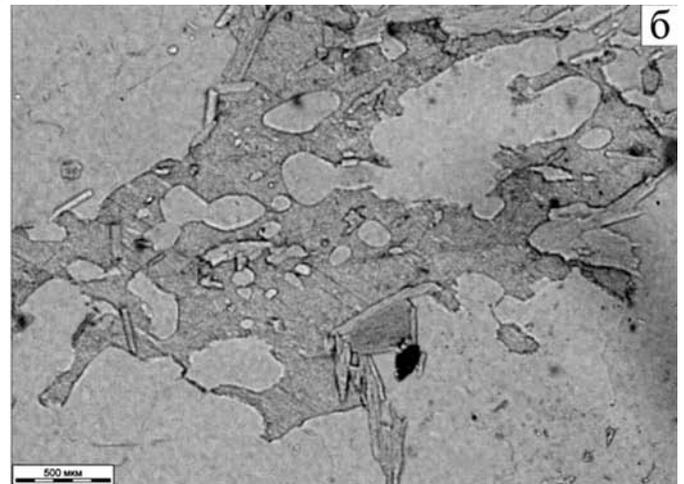
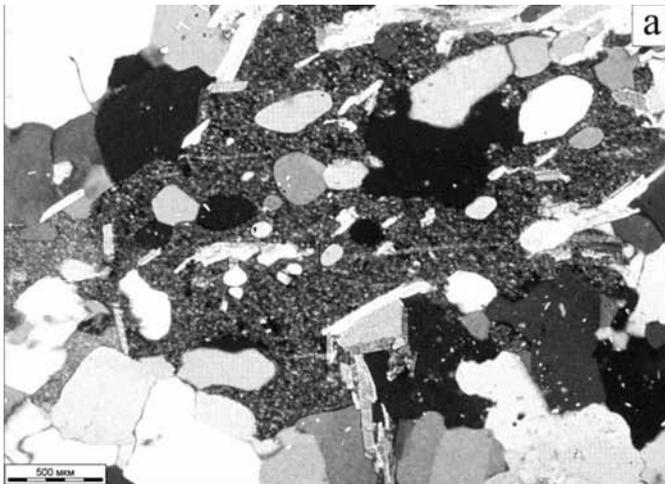


Рис. 5. Карбонат в песчанике, обр. 493: а —  $\perp$ , б —  $\parallel$

В образце песчаника различны фрагменты тонкой слоистости, косой или линзовидной, с выклинивающимися слойками толщиной от 0.05 до 0.7 см. Точно установить характер слоистости невозможно из-за малого диаметра зерна. Под углом 50° к столбику зерна проходит плоскость сместителя, по которой две части породы смещены друг относительно друга, а на расстоянии 6–7 см вдоль нее располагается зона интенсивного тектонического дробления. На модульной диаграмме точка, соответствующая этому песчанику, располагается в стороне от линии тренда. Эта точка соответствует самому слюдистому из изученных образцов песчаников — мусковит и биотит составляют 16.7 и 9.7 % соответственно. 48.7 % приходится на кварц, 9.5 % — на калиевый полевой шпат, 6.6 % — на кислый (An<sub>12</sub>) плагиоклаз, 2.0% — на гематит, а на акцессорные титанит и лейкоксен — по 0.4 %.

Микронзондовые исследования показали, что в песчаниках постоянно присутствует железистый минерал из группы хрупких слюд (лепидокрокит?), имеющий, вероятно, метасоматический генезис. Разнообразные акцессорные минералы расположены в цементе. Они, как и породообразующие минералы, по морфологическим признакам, химическому составу и парагенетическим ассоциациям разделяются на три группы: 1) обломочные осадочного генезиса, 2) обломочные осадочного генезиса, но преобразованные в зоне минерализации, 3) новообразованные минералы [5].

Первую группу составляют минералы, слагающие метапесчаники (кварц, альбит, КПШ, мусковит, биотит), и часть цирконов, наблюдающихся в виде окатанных зерен, обломков кристаллов и кристаллов (рис. 6, а, б).

Вторая группа — цирконы в сростках с ксенотимом (рис. 7, а–д) или с обильными включениями ксенотима, что может служить надежным типоморфным признаком преобразованных цирконов в зоне минерализации. По циркону развивается замещение или совместное с цирконом развитие ксенотима — формируются каймы зерен или «пропитанность» всего кристалла в целом, напоминающего при этом пористую, скелетную, выщелоченную матрицу.

Третью группу составляют новообразованные минералы, представленные редкоземельными: агрегаты алланиита с монацитом, высокоториевым монацитом и торитом (рис. 8, а–в), фторкарбонаты (предположительно паризит, бастнезит, синхизит, а также неуставленные фазы), развивающиеся, как правило, по границам чешуй слюд (рис. 8, г), а также новоо-

бразованный циркон. Последний приближен к границам зерен и имеет весьма разнообразную форму (рис. 8, д).

Подготовленная для изотопно-геохронологических исследований монофракция цирконов предварительно исследовалась различными методами. Ниже приводится описание морфологии зерен цирконов и их внутреннего строения.

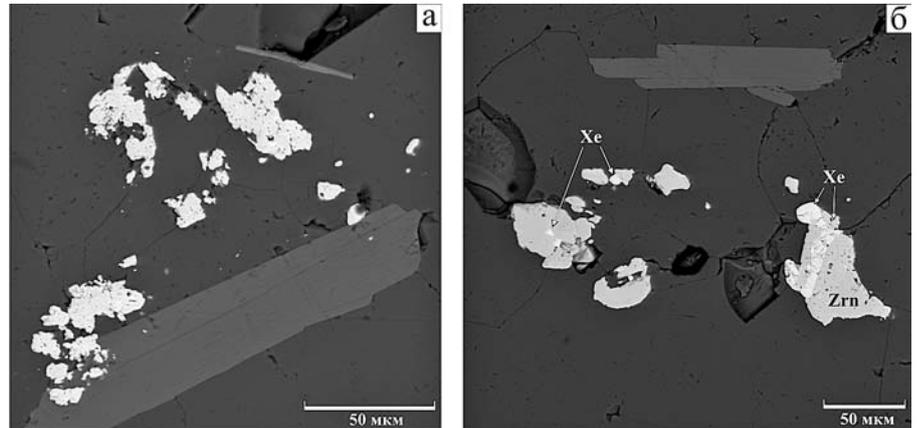


Рис. 6. Пример распределения в породе детритных цирконов (обр. 493): Xe — ксенотим, Zrn — циркон

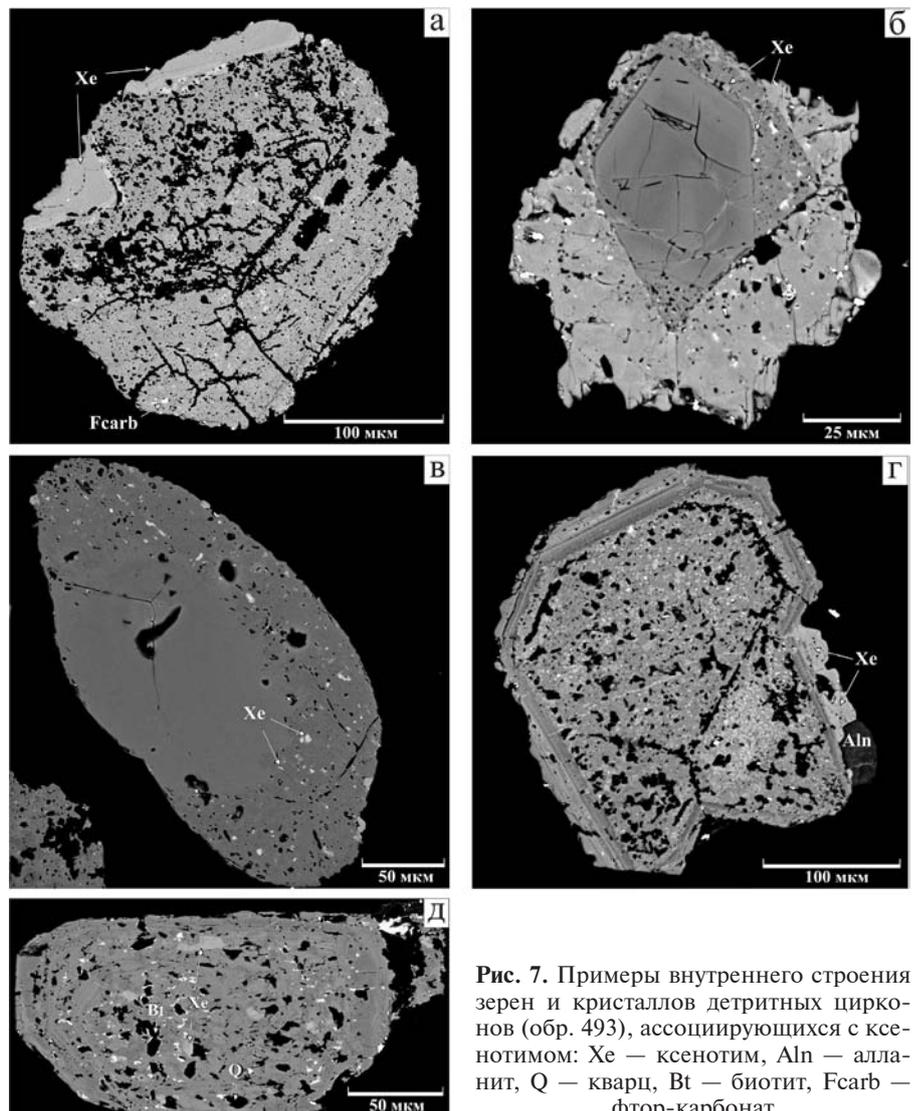
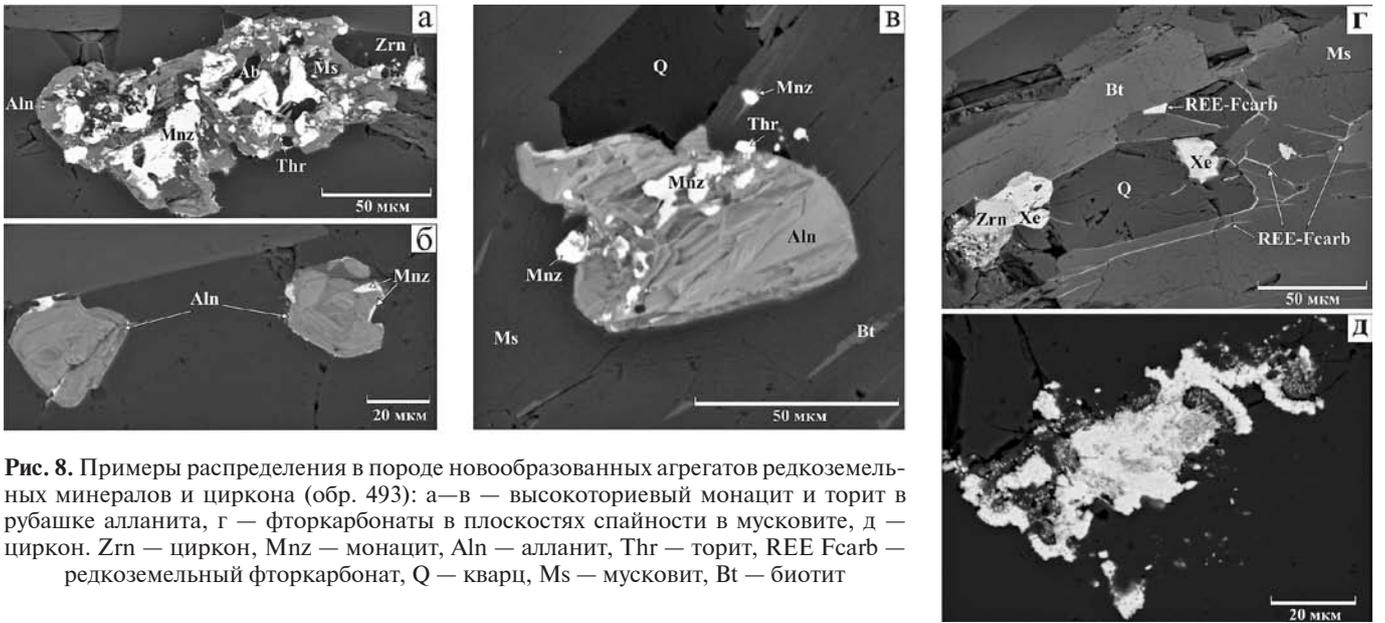
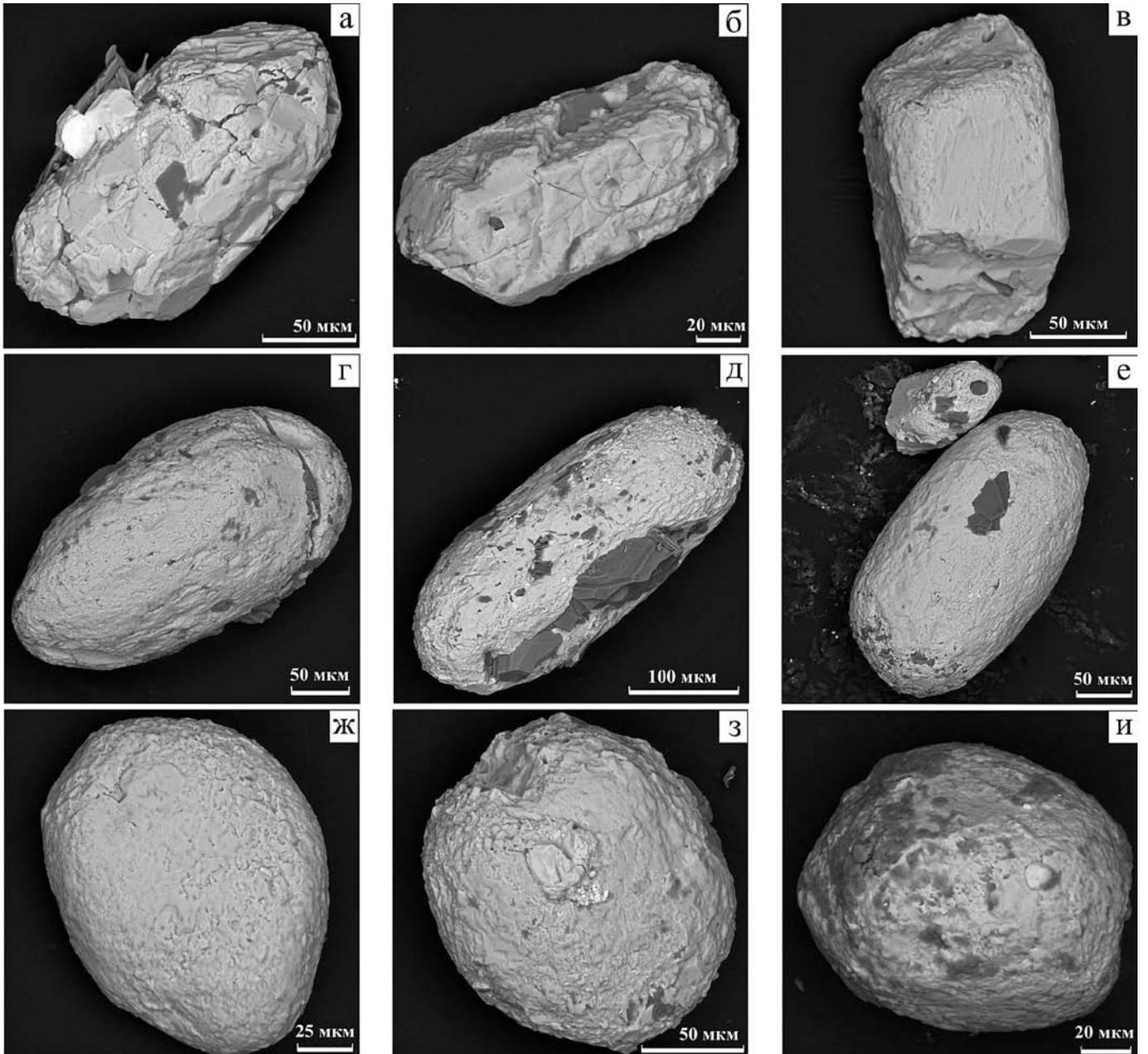


Рис. 7. Примеры внутреннего строения зерен и кристаллов детритных цирконов (обр. 493), ассоциирующихся с ксенотимом: Xe — ксенотим, Aln — алланиит, Q — кварц, Bt — биотит, Fcarb — фтор-карбонат



**Рис. 8.** Примеры распределения в породе новообразованных агрегатов редкоземельных минералов и циркона (обр. 493): а—в — высокотермический монацит и торит в рубашке алланита, г — фторкарбонаты в плоскостях спайности в мусковите, д — циркон. Zrn — циркон, Mnz — монацит, Aln — алланит, Thr — торит, REE Fcarb — редкоземельный фторкарбонат, Q — кварц, Ms — мусковит, Bt — биотит



**Рис. 9.** Морфологические особенности цирконов из метапесчаников (обр. 493): а—в — плохоокатанные с различными кристаллографическими формами, г—е — хорошо окатанные удлиненные зерна, ж—и — хорошо окатанные шарообразные зерна



Среди обычных желтых, желто-коричневых, коричневых цирконов метапесчаников (обр. 493) наблюдаются единичные цирконы светло-розового цвета. В метапесчаниках отмечается большее, чем в гравелитах, количество морфотипов цирконов [4] (рис. 9).

Зерна циркона характеризуются различной окатанностью (рис. 9, а—в): плохоокатанные, в морфологии которых легко читаются дипи-

раминальные кристаллы с призматическими головками; удлиненные овальные хорошо окатанные (рис. 9, г—е) и практически шарообразные с преобладающей розоватой окраской (рис. 9, ж—и).

Проведенные микронзондовые исследования всех зерен, попавших в выборку, показали, что наблюдаемая в цирконах зональность имеет различный генезис: 1) реликтовая зональность обломоч-

ных цирконов (рис. 10, а), 2) новообразованная, характерная для минералов второй группы (рис. 10, б), 3) сформированная при интенсивном метасоматическом воздействии (преобразование в рудной зоне) и проявленная в неравномерном распределении элементов, подчеркивающих эту зональность (рис. 10, в). Химический состав цирконов различных морфологических типов практически одинаков, однако на-

Таблица 2

Химический состав исследованных цирконов (мас. %)

Рис.	№ т.н.	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HfO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>
	1.1к	64.93	32.66		1.59							
	1.2	50.94	29.42		1.66						9.89	3.07
	2к	71.85	35.65		1.52							
	3к	66.47	32.78		0.77							
	4к	65.35	32.99		1.66							
9д	5к	66.07	32.85		1.06							
9а	6к	65.39	32.89		2.78							
9в	7к	64.28	34.43		1.28	0.98						
9г	8к	65.52	32.73		1.74							
		66.63	33.23		1.94							
9г	9к	65.95	32.68		0.88	0.55						
9е	10к	66.28	32.69		1.03							
9и	11к	63.72	31.62		1.85							
9ж	12к	65.47	32.46		2.06							
9з	13к	66.15	32.33		1.15							
7а	14ц	67.40	31.44		1.57							
7б	15.1ц	68.06	31.58									
	15.2ц	67.79	30.82		1.37							
	15.3к	65.91	30.89		1.49							0.95
	15.4к	65.98	31.61									
7д	16.1ц	67.30	31.65		1.64							
	16.2ц	65.67	31.35		2.61							
	16.3к	68.66	32.18		1.65							
	16.4к	65.28	33.1		3.72							
7г	17.1ц	53.70	27.02	0.82	1.51						6.02	2.9
	17.2к	57.45	28.84		3.84							
	17.3к	61.13	31.38		7.12							
7в	18.1ц	61.15	28.98									
	18.2ц	66.85	31.68									
	18.3к	68.15	32.28									
	18.4к	64.32	30.72									
	19.1ц	68.57	31.55									
	19.2к	67.95	31.20									
	19.3к	68.58	31.42									
	19.4к	64.73	30.61									
	19.5ц	68.18	31.49									
	19.6к	65.78	31.43									
10в	20.1ц	62.68	29.66		1.74		0.61					
	20.2к	56.46	30.65		8.21							0.78
	20.3к	62.89	29.23		2.15							
	20.4к	62.45	29.60		1.98			0.69				
10б	21.1ц	64.13	32.02			0.53				0.64		
	21.2ц	65.61	31.53									
	21.3ц	65.13	32.15			0.43			0.52	0.53		
	21.4к	67.22	30.38									
	21.5к	66.58	31.98									
10а	22.1ц	67.87	31.11									
	22.2к	69.22	30.98									
	22.3к	67.07	32.51		2.26							

**Примечание.** Т. н. – точки наблюдения. Часть зерна: ц – центр, к – край. В ячейках приведены составы, относящиеся к одному зерну. Рисунки приведены в тексте. Пустые ячейки – содержания не определены.

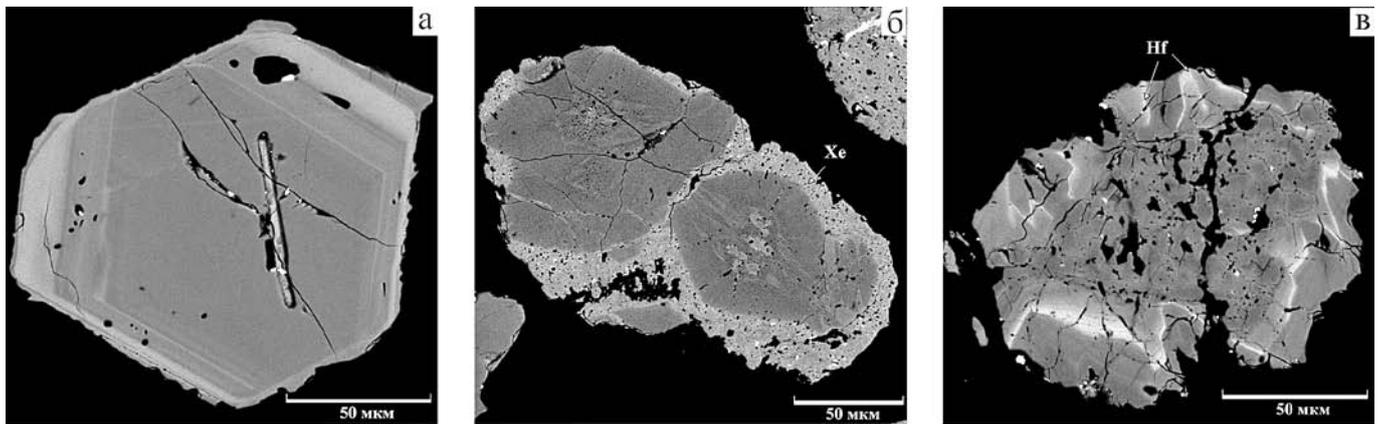


Рис. 10. Примеры зональности в зернах и кристаллах детритных цирконов (обр. 493): Xe — ксенотим, Hf — светлые зоны, обогатенные гафнием (табл. 2)

блюдаются и значительные изменения содержания Hf, Th и U (табл. 2), но связаны они не с морфологией зерен, а с внутренним строением цирконов выделенных нами групп. Например, новообразованные цирконы третьей группы не попадают в монофракцию, и их можно наблюдать и исследовать только при изучении пород в шлифах и аншлифах. Детритные цирконы I группы при изучении зерен в катодолюминесцентном свете показывают типичную для магматических цирконов осцилляционную зональность (рис. 10, а), цирконы же II группы в катодолюминесцентном свете черные (рис. 10, б, в) благодаря своему внутреннему строению, и именно для них характерны изменения в химическом составе.

Таким образом, приведенные выше данные показывают, что изученные метапесчаники сложены минералами трех типов: 1) обломочными осадочного генезиса, 2) обломочными осадочного генезиса, но преобразованными в зоне минерализации, 3) новообразованными минералами. Наложенная убогая рудная минерализация в метапесчаниках имеет гидротермальную природу. Состав обломочной части гравелитов и песчаников сходен, при этом отмечаются различия в соотношении породообразующих и наборе акцессорных минералов. Более широкий спектр акцессорных минералов, в том числе большее разно-

образие разновидностей цирконов в песчаниках, указывает на незначительное изменение (увеличение площади или смещение) области питания.

Полученные новые данные о составе и характере распределения цирконов позволяют проследить закономерности распространения обломочного материала, оценить характер изменений, вклад гидротермальных постседиментационных преобразований в формирование современного облика пород, вмещающих комплексное редкоземельно-уран-торий-редкометалльное оруденение, локализованное в верхней части разреза продуктивной осадочной толщи.

*Работа проводится при финансовой поддержке проектов № 12-П-5-1027 и № 12-У-5-1008 программ РАН.*

#### Литература

1. Калинин Е. П., Пучков В. Н. Некоторые черты геологического строения и редкометалльной металлогении осевой полосы Северного Урала (верх. р. Укью, Неримью, Ыджидляга): Материалы Второй Коми респуб. молод. науч. конф. Сыктывкар, 1967. С. 246—249. 2. Никулова Н. Ю., Удоратина О. В. Литология и геохимия пород, рудовмещающих редкоземельно-уран-торий-редкометалльное месторождение в восточном контакте массива Мань-Хамбо (Северный Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Научные

чтения памяти П. Н. Чирвинского: Сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2014. Вып. 17. С. 230—239. 3. Павлова А. А., Нечелюстов Г. Н., Рябцев В. В. Ториевая и урановая минерализация в породах восточного контакта гранитного массива и условия ее формирования // Разведка и охрана недр. 2011. № 4. С. 57—63. 4. Удоратина О. В., Никулова Н. Ю., Павлова А. А., Варламов Д. А., Швецова И. В. Цирконы из осадочных отложений восточного контакта гранитного массива Мань-Хамбо (Северный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 6. С. 2—8. 5. Удоратина О. В., Павлова А. А., Варламов Д. А. Редкоземельно-уран-торий-редкометалльная минерализация экзоконтакта массива Мань-Хамбо (Северный Урал) // Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: проблемы структурирования, упорядочения и эволюции структуры: Материалы минер. семинара с междунар. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 334—336. 6. Щербин С. С. Взаимоотношение разновозрастных гранитоидов с доордовикскими осадочно-метаморфическими породами в районе на Приполярном Урале // Магматизм, метаморфизм и оруденение в геологической истории Урала: Тез. докл. Третьего Уральского петрогр. совещ. Свердловск, 1974. Т. 1. С. 62—64. 7. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб., 2000. 479 с.

Рецензент

д. г.-м.н. Л. П. Рихванов