

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ
MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

УДК 551.82

**К РЕКОНСТРУКЦИИ КАТЕГОРИЙ РЕК, СФОРМИРОВАВШИХ ВЫПОЛНЕНИЕ
ОСАДОЧНЫХ БАСЕЙНОВ РИФЕЯ В ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ ВОСТОЧНО-
ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СОВРЕМЕННОГО ЮЖНОГО УРАЛА***

А.В. МАСЛОВ

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
15, Вонсовского ул., г. Екатеринбург 620016, Россия
e-mail: amas2004@mail.ru*

*Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия*

Сведения о распределении ряда редких и рассеянных элементов в донных осадках устьевых зон различных категорий рек (крупные реки, реки дренирующие водосборы, сложенные осадочными или магматическими и метаморфическими породами и др.) как алевритовой, так и пелитовой размерностей, можно рассматривать как отражающие характерные черты взвеси, транспортируемой в морские бассейны из различных питающих провинций. При определенных ситуациях состав поверхностных донных осадков морского бассейна определяется составом взвеси какой-либо впадающей в него крупной реки (Каспийское море и р. Волга, море Лаптевых и р. Лена и др.). Сходство и различие РЗЭ-систематики донных осадков устьевых зон и взвеси рек различных категорий достаточно хорошо выражено на парных диаграммах $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$, $(La/Yb)_N - Th$ и др. Нами выполнено сопоставление особенностей распределения редкоземельных элементов и Th в глинистых породах рифея Южного Урала и в донных отложениях устьевых частей различных категорий современных рек. Сделан вывод, что слагающие типовой разрез рифея глинистые породы образованы за счёт размыва в основном или преимущественно осадочных и/или осадочно-метаморфических комплексов, существовавших в дорифее или рифее на востоке Восточно-Европейской платформы и к настоящему времени не сохранившихся.

Ключевые слова: Южный Урал; рифей; глинистые породы; редкоземельные элементы; Th; современные реки различных категорий.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-28-36

**TO RECONSTRUCTION OF THE RIVER'S CATEGORIES WHICH FORMED
SEDIMENTARY BASINS OF RIPHEAN BASINS IN THE REGION OF THE EASTERN
EUROPEAN PLATFORM AND MODERN SOUTH URALS JUNCTURE**

A.V. MASLOV

*The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch (UB) of the Russian Academy of Sciences (RAS)
15, Vonsovskogo St., Yekaterinburg 620016, Russia
e-mail: amas2004@mail.ru*

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky street, Moscow 19017, Russia*

Information on the distribution of trace and rare-earth elements in the bottom sediments of estuarine zones of various river categories (large rivers, rivers draining water collections, composed of sedimentary or magmatic and metamorphic rocks, etc.) of silt and pelitic dimensions can be considered as the data, reflecting characteristic features of the suspension, transported to marine basins from various catchment provinces. In certain situations,



the composition of the surface bottom sediments of the marine basin is determined by the suspension composition of any large river flowing into it (the Caspian Sea and the Volga River, the Laptev Sea and the Lena River, etc.). The similarity and difference in the rare-earth elements (REE) systematics of bottom sediments of estuarine zones and suspended particulate matter of rivers of various categories is quite well expressed in the pair diagrams $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$, $(La/Yb)_N - Th$, etc. A comparison of the features of the distribution of REE and Th in the Riphean clay rocks of the Southern Urals and in bottom sediments of the estuaries of various categories of recent rivers has been performed. It has been concluded that clay rocks forming a typical Riphean section are formed due to the erosion of mainly or predominantly sedimentary and/or metasedimentary complexes that existed during the PreRiphean or the Riphean in the east part of the East European platform and have not survived to date.

Keywords: Southern Urals; Riphean; clay rocks; rare-earth elements; Th; recent rivers of various categories.

Известно, что данные о микроэлементном составе взвешенного материала крупных рек мира, а также из донных осадков устьевых зон играют важную роль при построении различных геологических и геохимических моделей, так как позволяют не только судить о составе размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород, но и рассматриваются при исследовании осадочных образований в качестве своеобразных референтных материалов (например, «средний речной взвешенный сток»/«Average river suspended load», ARSL [16], «средний тонкозернистый аллювиальный осадок Северо-Восточной Австралии»/«Mud from Queensland», MUQ [17], «средний взвешенный материал мировых рек»/«Average Suspended Sediment in World Rivers», SSWR [18].

В 2015 г. опубликована работа [15], в которой рассмотрены результаты исследования более 50 специальным образом (удаление нетерригенных носителей редкоземельных элементов (РЗЭ) посредством процедуры пошагового выщелачивания) подготовленных проб алевритовых и пелитовых фракций донных осадков поверхностного

слоя устьевых частей рек, среди которых были как крупнейшие водные артерии, дренирующие водосборы, сложенные гетерогенными ассоциациями пород широкого возрастного диапазона, так и относительно небольшие реки, транспортирующие продукты разрушения более однородных в геологическом отношении питающих провинций. Все пробы отнесены авторами статьи [15] к четырём категориям: 1) донные осадки «крупных рек» (World's major rivers), т. е. рек с площадью водосборного бассейна > 100000 км²; 2) донные осадки устьевых зон рек, дренирующих осадочные образования (rivers draining «mixed/sedimentary» formations), площадь водосборного бассейна которых составляет < 100000 км²; 3) донные осадки устьев рек, питающихся продуктами размыва «магматических/метаморфических» террейнов (rivers draining «igneous/metamorphic» terranes); 4) донные осадки устьев рек, дренирующих вулканические провинции (rivers draining «volcanic» rocks).

Проведённый нами [11] анализ дал возможность считать, что суммированные в работе [15]

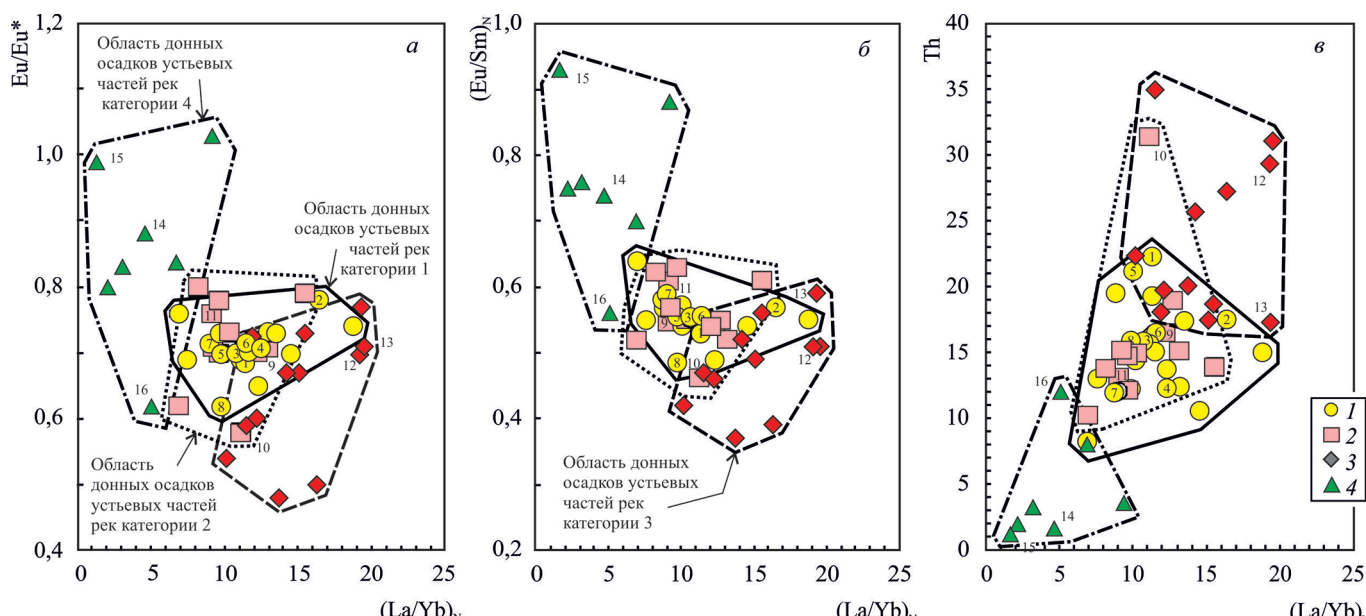


Рис. 1. Области распределения точек состава донных осадков устьевых частей различных категорий рек мира на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (а), $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ (б) и $(La/Yb)_N - Th$ (в): 1 — область донных осадков устьевых частей рек категории 1 (здесь и далее — типичные примеры: 1 — Амазонка; 2 — Конго; 3 — Миссисипи; 4 — Нил; 5 — Янцзы; 6 — Маккензи; 7 — Волга; 8 — Ориноко); 2 — то же рек категории 2 (9 — Сена; 10 — Мэклонг; 11 — Сефид Руд); 3 — то же рек категории 3 (12 — Карони; 13 — Аро); 4 — то же рек категории 4 (14 — Камчатка; 15 — Гленариф; 16 — Вайкато/Уакито), всё по [15]



сведения о распределении ряда редких и рассеянных элементов в донных осадках устьевых зон различных категорий рек как алевроитовой, так и пелитовой (< 2 мкм) размерностей, можно рассматривать как отражающие характерные черты взвеси, транспортируемой реками в морские бассейны из различных питающих провинций. При определенных ситуациях состав поверхностных донных осадков того или иного морского бассейна определяется составом взвеси какой-либо впадающей в него крупной реки (например, Каспийское море и р. Волга [8], море Лаптевых и р. Лена [2] и др.).

Сходство и различие РЗЭ-систематики донных осадков устьевых зон и взвеси рек различных категорий достаточно хорошо выражены на парных диаграммах (рис. 1), где области состава донных отложений крупных рек и рек, дренирующих осадочные образования, характеризуются примерно 60–80-процентным перекрытием, а области рек, получающих взвешенный материал за счет размыва водосборов, сложенных, с одной стороны, магматическими и метаморфическими образованиями, а с другой — вулканическими породами, такого перекрытия не имеют.

Возникает закономерный вопрос — можно ли использовать указанные диаграммы с областями состава взвеси рек, дренирующих разные по составу водосборы, для реконструкции состава водосборов и категорий рек геологического прошлого? Ниже мы попытались ответить на него на примере анализа геохимических характеристик глинистых пород типового разреза рифея Южного Урала.

Объект исследования

Типовой разрез рифея представлен интра- и перикратонными терригенными и карбонатно-терригенными последовательностями, накапливавшимися в прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановках [9]. Он включает три осадочные серии — бурзянскую, юрматинскую и каратаускую, подробная характеристика которых приведена в [9, 12].

Бурзянская серия (нижний рифей) объединяет три свиты (снизу вверх): айскую, саткинскую и бакальскую. Айская свита (1700–2500 м) залегает с размывом и угловым несогласием на породах архея. В нижней её части преобладают песчаники с прослоями гравелитов и конгломератов и покровами метабазальтов, в верхней — глинистые сланцы с прослоями доломитов, алевролитов и песчаников. Саткинская свита (до 3000–3500 м) сложена преимущественно карбонатными породами. Бакальская свита (1500–1650 м) представлена в нижней части глинистыми сланцами с прослоями

доломитов и алевролитов, а в верхней — терригенными и карбонатными пачками.

На отложениях бурзянской серии с перерывом и угловым несогласием залегают терригенные и терригенно-карбонатные образования юрматинской серии (средний рифей), объединяющей машакскую, зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. Машакская свита (1600–3000 м) представлена песчаниками, конгломератами и алевролитами с подчиненными им пакетами глинистых сланцев. Зигальгинская свита (500–700 м) состоит почти исключительно кварцевыми песчаниками. Зигазино-комаровская свита (750–1500 м) объединяет пачки переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Авзянская свита (1600–2300 м) представлена карбонатными и терригенными толщами. На основании данных [14], формирование ее отложений происходило не ранее 1270 млн лет назад.

Каратауская серия (верхний рифей) включает зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты. Первая (1500–3000 м) объединяет аркозовые песчаники с прослоями гравелитов, конгломератов и алевролитов (бирьянская подсвита), пачки переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев (нугушская и бедерышинская подсвиты), а также толщу кварцевых песчаников (лемезинская подсвита). Минимальный U-Pb-изотопный возраст обломочных цирконов в песчаниках бирьянской подсвиты составляет 964 ± 57 млн лет [7]. Катавская свита (250–400 м) сложена глинистыми известняками и мергелями. Инзерская свита (100–1000 м) представлена пачками глауконито-кварцевых песчаников, алевролитов и аргиллитов, в нижней её части в ряде разрезов есть толща сероцветных известняков. Миньярская свита (500–800 м) сложена преимущественно доломитами. Укская свита (300–400 м) в нижней части представлена аргиллитами, песчаниками и алевролитами с прослоями известняков и мергелей, а в верхней — преимущественно известняками.

Основным источником материала для формирования описанных выше литостратиграфических единиц типового разреза рифея являлись, как это следует из исследований состава песчаников и галек конгломератов, а также изотопно-геохимических характеристик глинистых пород, кристаллические комплексы фундамента восточной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [1, 3–5 и др.]. Анализ Sm-Nd систематики тонкозернистых терригенных пород рифея Южного Урала выявил преобладание значений Nd модельного возраста в диапазоне 2,5–1,7 млрд лет. Вместе с тем, учитывая существенную роль в формирова-



Среднее содержание ряда РЗЭ и Th в глинистых породах рифея Южного Урала (г/т)
и некоторые параметры нормированных на хондрит спектров РЗЭ

Свита, подсвита	La	Sm	Eu	Gd	Yb	Th	(La/Yb) _N	Eu/Eu*	(Eu/Sm) _N	n
Айская	26,03±14,42	4,65±1,97	0,94±0,39	3,74±1,65	1,81±0,72	10,19±3,29	9,87±4,18	0,72±0,09	0,54±0,07	27
Саткинская	32,60±15,65	4,57±2,08	0,87±0,37	3,56±1,56	1,61±0,48	10,60±4,46	13,10±4,39	0,67±0,07	0,53±0,09	26
Бакальская	38,91±15,48	5,53±1,97	1,08±0,38	3,61±1,50	1,69±0,51	13,34±3,44	15,00±4,07	0,76±0,12	0,53±0,10	29
Машакская	44,32±23,63	7,21±3,57	1,44±0,71	5,89±2,65	2,60±0,73	11,38±3,65	11,57±4,73	0,70±0,17	0,55±0,14	11
Зигальгинская	14,08±9,03	2,44±2,03	0,49±0,41	2,29±2,01	1,76±1,17	6,38±4,33	5,43±1,74	0,68±0,17	0,58±0,15	4
Зигазино-комаровская	21,06±10,92	3,55±1,46	0,79±0,36	2,81±1,38	1,60±0,71	5,68±2,92	9,09±5,14	0,76±0,09	0,60±0,08	11
Авзянская	18,22±13,50	3,57±2,12	0,72±0,43	2,77±1,74	1,43±0,84	6,80±4,51	9,03±5,21	0,70±0,08	0,54±0,06	29
Бирьянская	39,42±21,15	7,66±3,26	1,46±0,61	6,49±2,90	3,39±1,38	13,61±5,81	6,46±2,19	0,63±0,06	0,49±0,08	20
Нугушская	33,39±12,65	6,01±2,49	1,12±0,47	4,83±2,01	2,55±0,83	10,78±3,98	8,45±1,68	0,64±0,05	0,49±0,04	8
Бедерышинская	38,74±17,12	6,47±1,09	1,32±0,26	5,73±1,24	3,00±0,57	11,64±2,35	8,95±4,82	0,67±0,09	0,54±0,05	38
Инзерская	29,00±17,70	5,52±2,40	0,92±0,38	4,50±2,09	2,51±1,07	10,47±5,73	7,09±2,37	0,58±0,04	0,46±0,05	16
Миньярская	18,39±8,58	2,56±1,24	0,50±0,23	2,29±1,11	2,11±1,00	11,99±5,30	6,05±0,94	0,61±0,08	0,51±0,08	8
Укская	24,25±10,93	3,92±1,75	0,73±0,33	3,54±1,56	1,89±0,82	9,36±4,59	8,46±0,95	0,60±0,05	0,50±0,05	8

Примечание. n – число проанализированных образцов.

нии верхней континентальной коры процессов рециклинга, представляется вероятным присутствие на палеоводосборах и архейских комплексов, тем более, что возраст обломочных цирконов в песчаниках рифея этому не противоречат. Дополнительным источником кластики служил, очевидно, ювенильный мафический материал [10].

Методы и подходы

Для рассмотрения обозначенного выше вопроса использованы данные о содержании La, Sm, Eu, Gd, Yb и Th в более чем 220 пробах глинистых пород всех трёх осадочных серий типового разреза рифея, полученные методом ИСП МС в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) (таблица). Характеристика вещественного состава этих пород и их литогеохимических особенностей приведена в [10]. Основным инструментом исследований являлся анализ положения индивидуальных и средних фигуративных точек состава глинистых пород (аргиллитов/глинистых сланцев/тонкозернистых обломочных пород) на указанных выше диаграммах.

Результаты исследований

Общие представления о составе областей питания для осадочного выполнения крупных седиментационных бассейнов, существовавших на востоке ВЕП в раннем, среднем и позднем рифее, можно суммировать следующим образом. В начале бурзяния/раннего рифея питающие провинции слага-

лись в различной степени метаморфизованными породами фундамента и осадочно-метаморфическими комплексами дорифейского платформенного проточехла (?). К началу среднего рифея роль выступов и блоков кристаллического фундамента, как источников кластики, оказалась, по-видимому, значительно минимизирована; основными поставщиками обломочного материала стали, по всей вероятности, нижнепротерозойские осадочно-метаморфические породы и осадочные образования бурзяния. Начало позднего рифея отмечено вовлечением в разрыв более широкого спектра пород — метаморфических, осадочно-метаморфических, кислых магматических (как интрузивных, так и эффузивных) и в меньшей мере основных и ультраосновных. С течением времени в каждом седиментационном цикле (бурзяний, юрматиний и каратавий) происходила существенная пенепленизация областей размыва. Соответственно в область седиментации поступала более зрелая кластика, нестойкие к многократному переотложению лититовые фрагменты уничтожались [6].

На диаграмме (La/Yb)_N–Eu/Eu* индивидуальные точки состава подавляющего числа образцов глинистых сланцев рифея Южного Урала сконцентрированы в двух областях — области донных осадков устьевых частей рек категорий 1 (донные осадки «крупных рек») и 2 (донные осадки устьевых зон рек, дренирующих осадочные образования) (рис. 2, а). Некоторая, относительно небольшая, часть их присутствует и в двух других областях. Увидеть иные закономерности распре-

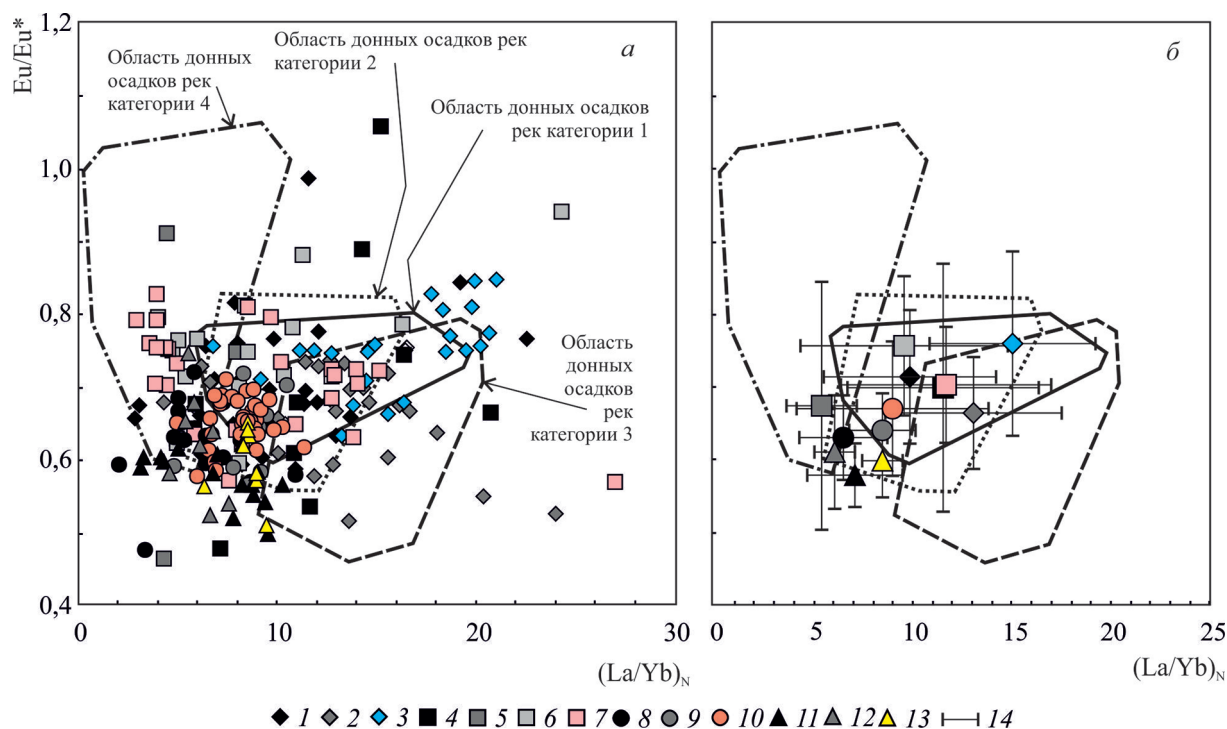


Рис. 2. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$: свиты и подсвиты: 1 — айская; 2 — саткинская; 3 — бакальская; 4 — машакская; 5 — зигальгинская; 6 — зигазино-комаровская; 7 — авзянская; 8 — бирьянская; 9 — нугушская; 10 — бедерышинская; 11 — инзерская; 12 — миньярская; 13 — укская; 14 — величины стандартных отклонений

ления более 200 фигуративных точек на данном графике, кроме обозначенной выше, трудно, и, следовательно, приходится обращаться к анализу распределения на этой диаграмме средних для свит или подсвит точек (рис. 2, б). Это распределение более информативно.

Так, собственно области донных осадков устьевых частей рек категорий 4 (донные осадки устьев рек, дренирующих вулканические провинции) отвечает только средняя точка тонкозернистых обломочных пород зигальгинской свиты юрматинской серии. В зоне перекрытия областей 1, 2 и 3 (донные осадки устьев рек, питающихся продуктами размыва «магматических/метаморфических» террейнов) локализованы средние точки состава глинистых пород машакской и авзянской свит, а также саткинской и бакальской свит бурзянской серии. Средние точки глинистых сланцев инзерской и укской свит верхнего рифея расположены в области 2. Это же, по всей видимости, можно сказать и о средних точках глинистых сланцев миньярской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея, расположенных и в области 2, и на границе области 4. В зоне перекрытия областей 1 и 2 находятся средние точки глинистых пород айской и зигазино-комаровской свит, а также нугушской и бедерышинской подсвит зильмердакской свиты верхнего рифея. Таким образом, на

диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ большинство средних точек составов глинистых пород различных литостратиграфических единиц типового разреза рифея, так же, как, естественно, и индивидуальные точки, сосредоточено в зоне перекрытия областей 1 и 2, а часть из них присутствует в зоне перекрытия областей 1, 2 и 3.

Это позволяет сделать весьма нестандартный вывод, а именно — вывод о том, что геохимические особенности (распределение РЗЭ и Th) тонкозернистых обломочных/глинистых пород типового разреза рифея (западный склон Южного Урала), накапливавшихся в прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановках, в существенной степени сопоставимы с характеристиками донных осадков современных рек, принадлежащих трём категориям — крупным рекам, рекам, дренирующим осадочные образования и рекам, питающимся продуктами эрозии магматических и метаморфических террейнов. Таким образом, обломочный материал, в том числе и тонкая алюмосиликокластика (пелитовый и алеврито-пелитовый материал), принимающий участие в сложении типового разреза рифея, поступал в седиментационный/ые бассейн/ы не непосредственно за счёт размыва комплексов фундамента восточной части ВЕП, а проходил стадию накопления (возможно, и не одну) в неких «промежу-



точных коллекторах», т. е. тех осадочных толщах, которые в настоящее время на востоке платформы отсутствуют.

На диаграмме $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ львиная доля индивидуальных точек глинистых сланцев локализована в зоне перекрытия областей составов донных осадков приустьевых частей рек категорий 1, 2 и 3 (рис. 3, а), но часть их (тонкозернистые обломочные породы машакской, зильмердакской, инзерской и миньярской свит) присутствует и вне каких-либо областей данной диаграммы, характеризуюсь значениями $(La/Yb)_N < 510$ и $(Eu/Sm)_N < 0,5$. Есть также отдельные точки (глинистые сланцы айской, саткинской, бакальской, машакской, зигазино-комаровской и авзянской свит), также расположенные вне основных областей, но которым присущи весьма высокие значения обоих названных параметров: $(La/Yb)_N > 20$ и $(Eu/Sm)_N > 0,60, 7$.

Средние точки составов глинистых пород рифея Южного Урала распределены на данной диаграмме также преимущественно в зонах перекрытия полей 1 и 2, а также 1, 2 и 3 (рис. 3, б). Только средняя точка тонкозернистых обломочных пород зигальгинской свиты, как и в случае диаграммы $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, локализована в области составов донных отложений рек категории 4. Вне названных областей, но очень близко к ним остаются средние точки глинистых сланцев инзерской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты. В зоне перекрытия полей 1 и 2 расположены сред-

ние точки составов глинистых сланцев айской, зигазино-комаровской и укской свит, а также ряд точек тонкозернистых обломочных пород подсвит зильмердакской свиты. Присутствие в указанной позиции средней точки глинистых сланцев айской свиты весьма показательно. Это означает, как и в случае с аналогичным положением данной точки на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, что осадочные толщи базального подразделения типового разреза рифея формировались за счет размыва дорифейского осадочного или осадочно-метаморфического проточехла ВЕП, дискуссия о существовании которого продолжалась не одно десятилетие. В целом же, основываясь на распределении средних точек состава тонкозернистых обломочных пород различных свит и подсвит рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$, можно считать, что подавляющая часть слагающего типовой разрез рифея глинистого материала представляет собой продукт транспортировки большими реками (отложения рек категории 1), где в процессы эрозии вовлекаются как осадочные, так и любые другие комплексы пород, слагающие громадные территории. Материал этот /взвесь/отложения/ в таком случае в устьевых частях рек в существенной мере гомогенизируется или же был неоднократно вовлечён в процессы переотложения (отложения рек категории 2).

На диаграмме $(La/Yb)_N - Th$ распределение индивидуальных точек состава глинистых пород ри-

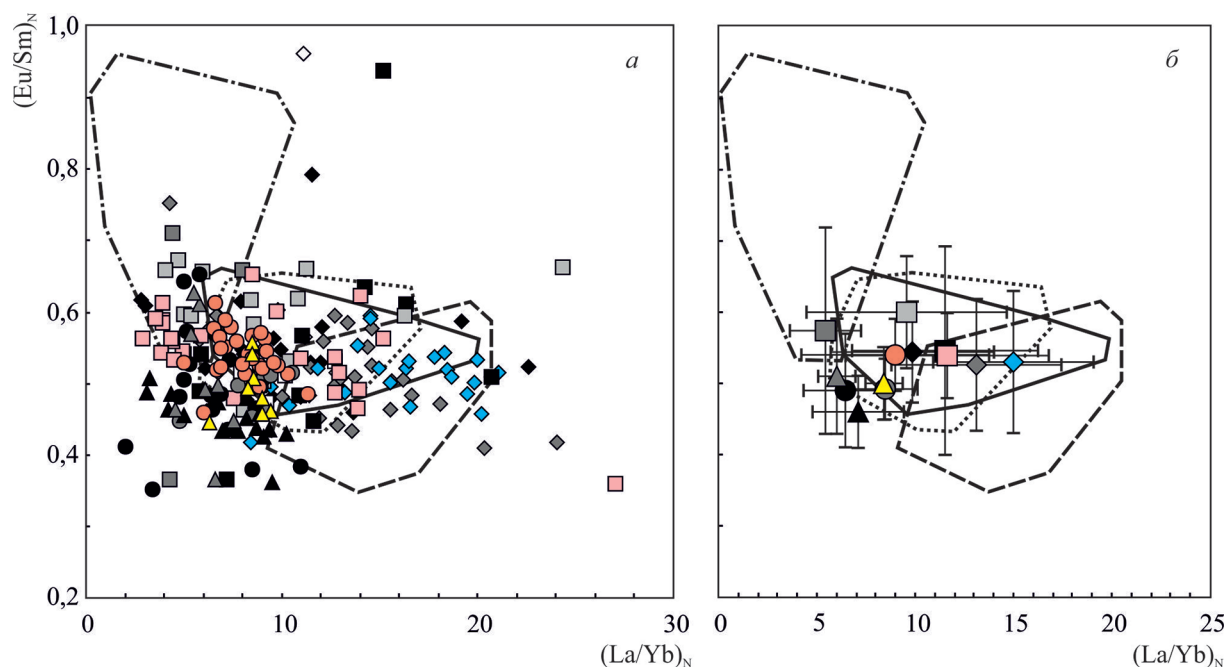


Рис. 3. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$; усл. обознач. см. рис. 1 и 2

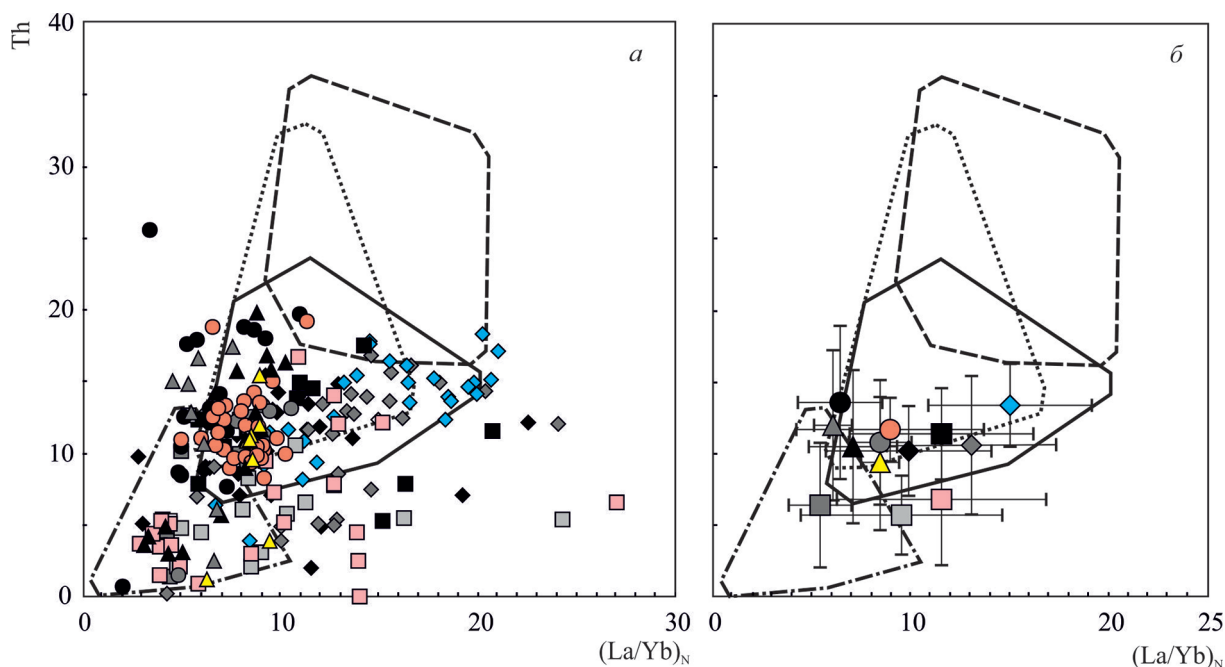


Рис. 4. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N$ –Th: усл. обознач. см. рис. 1 и 2

фея Южного Урала сопоставимо с тем, что мы уже видели на двух других диаграммах (рис. 4, а). Примерно четверть их расположена в области составов донных отложений приустьевых частей рек категории 4. Это точки глинистых сланцев айской, саткинской и бакальской свит нижнего рифея, зигальгинской, зигазино-комаровской и авзянской свит среднего рифея, а также всех рассматриваемых нами в настоящей работе свит верхнего рифея. Остальные точки сосредоточены преимущественно в зоне перекрытия областей 1 и 2, как и на двух других диаграммах, их геохимические характеристики сопоставимы с характеристиками донных отложений рек, роль в питании которых осадочных образований либо велика, либо преобладает/доминирует.

Описанная выше ситуация более наглядно выражена на данной диаграмме при рассмотрении положения средних для свит и подсвит точек состава глинистых пород рифея (рис. 4, б). Так, в области 4 присутствует только средняя точка тонкозернистых обломочных пород зигальгинской свиты. В области 3 нет ни одной средней точки, тогда как в зоне перекрытия областей 1 и 2 можно видеть средние точки глинистых пород айской, саткинской и бакальской свит бурзяния, машакской свиты юрматиния, а также трёх подсвит зильмердакской свиты, инзерской и укской свит. Точки зигазино-комаровской и авзянской свит расположены на данном графике вне каких-либо областей, однако первая, как и точ-

ки тонкозернистых обломочных пород миньярской свиты, тяготеет к границе области 4.

Выводы

Таким образом, если в самом первом приближении основываться на таких положениях: 1) области составов донных отложений различных категорий современных рек на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* , $(La/Yb)_N$ – $(Eu/Sm)_N$ и $(La/Yb)_N$ –Th можно «спроецировать» в геологическое прошлое; 2) распределение РЗЭ и Th в древних отложениях прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановок не имело кардинальных отличий от того, что наблюдается на современном этапе; 3) мы можем абстрагироваться от вероятной эволюции геохимических характеристик различных комплексов пород, слагавших водосборы в дорифее, рифее и фанерозое (хотя известно, что в истории Земли имело место изменение соотношений между различными комплексами пород на водосборах) [13 и др.].

Здесь, однако, надо помнить, что, например, среднее содержание Th в раннепротерозойских, палеозойских и мезо-кайнозойских фельзитах составляет, по широко известным данным К. Condie начала 1990-х гг., соответственно 8, 9 и 10,2 г/т, а в средних андезитах тех же возрастных интервалов — 3,7, 4,3 и 4,0 г/т, т. е. если и меняется, то незначительно), так как области состава донных



осадков рек разных категорий на указанных диаграммах имеют эмпирический характер, и добавление нескольких новых проб к тем 50, что исследовали авторы публикации [15], может тем или иным образом несколько изменить их очертания, то можно предполагать, что геохимические характеристики подавляющей части тонкозернистых обломочных/глинистых пород типового разреза рифея Башкирского мегантиклинория указывают на формирование их в связи с функционированием либо крупных речных систем (реки типа категории 1, по классификации [15]), на водосборных территориях которых присутствовали разные, в том числе и осадочные комплексы пород, либо речных систем типа

рек категории 2, во взвешенном материале которых преобладали продукты эрозии осадочных образований.

Следы былого распространения этих дорифейских и рифейских осадочных или осадочно-метаморфических образований на востоке ВЕП в настоящее время отсутствуют (за исключением ряда крупных авлакогенов кристаллические породы архея и нижнего протерозоя перекрыты здесь осадочными последовательностями венда и среднего палеозоя), но то, что они существовали и играли заметную роль в формировании осадочного выполнения седиментационных бассейнов на востоке платформы, сомнений не вызывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Г.Н. О направлении и источниках сноса обломочного материала в отложениях верхнерифейской зильмердакской свиты Южного Урала // Докл. АН СССР. 1964. Т. 158. № 5. С. 1099–1101.
2. Астахов А.С., Семилетов И.П., Саттарова В.В., Ши С., Ху Л., Аксентов К.И., Василенко Ю.П., Иванов М.В. Редкоземельные элементы донных осадков восточно-арктических морей России как индикаторы терригенного сноса // Докл. АН. 2018. Т. 482. № 4. С. 451–455.
3. Гарань М.И. Верхний докембрий (рифей): Стратиграфия // Геология СССР. М.: Недра. 1969. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1. Геологическое описание. С. 149–200.
4. Геология и палеогеография западного склона Урала / Отв. ред. Ю.Д. Смирнов. Л.: Недра, 1977. 199 с.
5. Маслов А.В. Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 1988. 133 с.
6. Маслов А.В. Седиментационные бассейны рифея западного склона Южного Урала (фашии, литолого-фашиальные комплексы, палеогеография, особенности эволюции). Диссертация на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук. Т. I. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. 496 с.
7. Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Докл. АН. 2018. Т. 482. № 5. С. 558–561.
8. Маслов А.В., Козина Н.В., Ключевкин А.А., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Ковач В.П., Шевченко В.П., Ронкин Ю.Л. Распределение редкоземельных элементов и систематика $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в современных донных осадках Каспийского моря // Докл. АН. 2014. Т. 459. № 2. С. 203–207.
9. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351 с.
10. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Тонкозернистые алюмосиликокластические породы рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики // Геохимия. 2008. № 11. С. 1187–1215.
11. Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. 2019. Т. 64. № 1. С. 59–78.
12. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.
13. Холодов В.Н. Роль геохимии осадочного процесса в развитии литологии // Проблемы литологии, геохимии и осадочного рудогенеза. М.: Наука, 2001. С. 54–92.
14. Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // Chem. Geol. 2007. P. 211–232.
15. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bernell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorj S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17–38.
16. Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Rare earth elements in river waters // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. V. 89. P. 35–47.
17. Kamber B.S., Greig A., Collerson R.D. A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. V. 69. P. 1041–1058.
18. Viers J., Dupre B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database // Sci. Total Environ. 2009. V. 407. P. 853–868.

REFERENCES

1. Akimova G.N. On the direction and sources of demolition of clastic material in sediments of the Upper Riphean Zilmerdak Formation of the Southern Urals. *Dokl. USSR Academy of Sci.*, 1964, v. 158, no. 5, pp. 1099–1101. (In Russian)
2. Astakhov A., Semiletov I., Sattarova V., Shi X., Hu L., Axentov K., Vasilenko Y., Ivanov M. Rare Earths Elements in the Bottom Sediments of East Siberian Arctic Shelf as Indicators of Terrigenous Input. *Dokl. Earth Sci.*, 2018, v. 482, no. 2, pp. 1324–1327.



3. Garan M.I. Upper Precambrian (Riphean): Stratigraphy. *Geology of the USSR. Moscow, Nedra Publ.*, 1969, v. 12. Perm, Sverdlovsk, Chelyabinsk and Kurgan regions. Part 1. *Geological description*, pp. 149–200. (In Russian)
4. *Geology and paleogeography of the western slope of the Urals*. Ed. Yu.D. Smirnov. Leningrad, Nedra Publ., 1977, 199 p. (In Russian)
5. Maslov A.V. *Lithology of the Upper Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium*. Moscow, Nauka Publ., 1988, 133 p. (In Russian).
6. Maslov A.V. *Sedimentary basins of the Riphean of the western slope of the Southern Urals (facies, lithological-facies complexes, paleogeography, evolutionary features)*. The dissertation for the degree of doctor of geol.-min. sci., v. I. Yekaterinburg: IGG UB RAS Publ., 1997, 496 p. (In Russian).
7. Maslov A.V., Erokhin Yu.V., Gerdes A., Ronkin Yu. L., Ivanov K.S. First Results of U–Pb LA–ICP–MS Isotope Dating of Detrital Zircons from Arkose Sandstone of the Biryas Subformation of Zilmerdak Formation (Upper Riphean, South Urals). *Dokl. Earth Sci.*, 2018, v. 482, part 2, pp. 1275–1277.
8. Maslov A.V., Kozina N.V., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Filippov A.S., Kovach V.P., Shevchenko V.P., Ronkin Yu.L. Rare-earth element distribution and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ systematics in modern bottom sediments of the Caspian sea. *Dokl. Earth Sci.*, 2014, v. 459, part 1, pp. 1418–1422.
9. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. *Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimento- and lithogenesis, minerageny, geological monuments of nature)*. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2001, v. I, 351 p. (In Russian).
10. Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikova E.F., Turkina O.M., Ronkin Yu.L., Dmitrieva N.V., Gareev E.Z., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. Riphean Fine-Grained Aluminosilicate Clastic Rocks in the Southern Urals, Uchur–Maya Area, and the Yenisei Kryazh: Principal Litho-Geochemical Characteristics. *Geochim. Int.*, 2008, v. 46, no. 11, pp. 1117–1144.
11. Maslov A.V., Shevchenko V.P. REE-Th systematics of the suspended particulate matter and bottom sediments from the mouth zones of the world rivers of different categories/classes and some large Russian Arctic rivers. *Geochim. Int.*, 2019, v. 57, no. 1, pp. 56–73.
12. *Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology*. Ed. B.M. Keller, N.M. Chumakov. Moscow, Nauka Publ., 1983, 184 p. (In Russian).
13. Kholodov V.N. The role of sedimentary process geochemistry in the development of lithology. *Problems of lithology, geochemistry and sedimentary ore genesis*. Moscow, Nauka Publ., 2001, pp. 54–92. (In Russian)
14. Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt. *Chem. Geol.*, 2007, v. 237, no. 1–2, pp. 211–232.
15. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorj S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2015, v. 170, pp. 17–38.
16. Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Rare earth elements in river waters. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1988, v. 89, pp. 35–47.
17. Kamber B.S., Greig A., Collerson R.D. A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2005, v. 69, pp. 1041–1058.
18. Viers J., Dupre B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database. *Sci. Total Environ.*, 2009, v. 407, pp. 853–868

УДК 553.81+552.323.6+549.641(480)

ОКСИДНЫЕ МИНЕРАЛЫ КИМБЕРЛИТОВ КААВИ (ФИНЛЯНДИЯ)*

Н.С. АЗАРОВА¹, А.В. БОВКУН¹, В.К. ГАРАНИН², Д.А. ВАРЛАМОВ³, Х.Л. ХОНГ⁴

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119234, Россия
e-mail: nadiya-azarova@mail.ru, bovkun2004@mail.ru

²Минералогический музей имени А.Е.Ферсмана РАН
18, к. 2, Ленинский проспект, г. Москва 119071, Россия
e-mail: vgaranin@mail.ru

³ФГБУН Институт экспериментальной минералогии РАН
9, Лесная ул., Черноголовка, Московская область 1422432, Россия
e-mail: dima@iem.ac.ru

⁴The China University of Geosciences (Wuhan)
388, Лумолу ул., Ухань, Провинция Хубей 430074, Китай

Изучены минералогические и петрогеохимические особенности неопротерозойских кимберлитовых пород трубок Лахтоёки и Ниилонсуо кластера Каави (Каави-Куопио, Финляндия), выявлены отличия петрогеохимического состава, количественный и химический составы оксидных минералов глубинного (мантийного) и кимберлитового генезиса. Кимберлиты трубок относятся к умеренно-титанистым, но содержание TiO_2 в кимберлитах Ниилонсуо выше (2,11 мас. %), чем в кимберлитах из брекчии трубки Лахтоёки (1,07 мас. %). Кимберлиты трубки Ниилонсуо отличаются также более высокими концентрациями Fe_2O_3 , Ca, P, K, Rb, V, Nb, Ba, Th, U, Ta и REE. В кимберлитовых брекчиях трубки Лахтоёки основным минералом-концентратором TiO_2 является магнетиальный ильменит (13,3–15,2 мас. % MgO ; 0,5–4,4 мас. % Cr_2O_3), представлен макрокристаллами до 4 мм, в мелкозернистом матриксе пород присутствуют мелкие зёрна рутила, хромшпинелидов, Mn-ильменита, иногда титаномагнетита. В кимберлитах

