

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ОЗЕР СИБИРИ

**В.Д. Страховенко<sup>1,2</sup>**

*1 – Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т. Коптюга, 3, Россия;*

*2 – Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2, Россия*

Работа посвящена изучению закономерностей распределения РЗЭ в компонентах озерных систем с различным типом донных отложений и по глубине керна донных осадков (во временном интервале 200 лет) малых озер Сибири. В результате проведенных исследований установлено, что характер распределения РЗЭ между компонентами озерной системы (почва – донный осадок – породы ложа озера) однотипен в различных озерных системах. Основными носителями РЗЭ являются минералы обломочной фракции. Примесь органогенного или карбонатного материала уменьшает концентрации РЗЭ в донных отложениях озер. В вертикальных разрезах донных отложений РЗЭ распределены равномерно, за исключением кернов в которых на определенной глубине происходит смена типа осадка. Смена минерального состава донных отложений, отмечается либо изменением только абсолютных концентраций РЗЭ, либо также изменяется и тренд РЗЭ в пределах легких лантаноидов.

*геохимия, донные отложения, озерные системы, редкоземельные элементы, Сибирь*

## FEATURES REE DISTRIBUTION IN SEDIMENTS OF SMALL LAKES OF SIBERIA

**V.D. Strakhovenko**

Work is devoted studying of regularities of distribution of REE in components of lake systems with various type of bottom sediments and on depth of profile's concentration in its (in a time interval of 200 years) the small lakes of Siberia. As a result of the conducted researches it is established that nature of distribution of REE between components of lake system (the soil–a ground deposit–beds of a bed of the lake) is same in various lake systems. The REE main carriers in terrigenous fraction of a deposit are accessory minerals, field spars, micas. Impurity of an organogenic or carbonate material reduces concentration of REE in ground deposits of lakes. In vertical cuts of bottom sediments of REE are distributed evenly, except for cores in which at a certain depth there is a change like a deposit. Change of mineral structure of ground deposits, is noted or change of only absolute concentration of REE, or also REE trend within light lanthanides also changes.

*geochemistry, bottom sediments, lake systems, rare-earth elements, Siberia*

Интенсивность питания каждого озера осадочным материалом определяется совместным действием четырех факторов: отношением площади, дренируемой водоемом, к площади самого водоема, климатом, петрографическим составом пород и рельефом водосборной площади. При формировании осадочных отложений в континентальных озерных системах происходит перераспределение элементов, приводящее как к их выносу, так и к накоплению. Материал, накапливающийся в донных осадках, поступает в континентальные водоемы в виде обломочного, органогенного, растворенного или взвешенного вещества [2, 7]. В малых озерах на фоне основного механического процесса

накопления терригенного материала реализуются два типа осадконакопления: в гумидных обстановках – сапропелевый, в аридных – самосадочно-эвапоритовый и органо-минеральный. В работе получены новые оригинальные данные по содержанию и распределению редкоземельных элементов (РЗЭ) в компонентах озерных экосистем (кернах донных отложений озер из разных ландшафтных зон Сибири, в почвах их водосборных площадей и горных породах, слагающих ложа озер). Исследованы особенности распределения и характера накопления РЗЭ по глубине керна при формировании различных типов донных отложений. Для группы РЗЭ характерно направленное изменение составов в гипергенных процессах, начиная с выветривания на суше, транспортировки в составе речной взвеси, процессов формирования состава РЗЭ воды с одной стороны и состава взвеси, осадков с другой [1, 3, 8, 9].

Цель работы – изучение закономерностей распределения РЗЭ в компонентах озерных систем с различным типом донных отложений и по глубине керна донных осадков (во временном интервале 200 лет) малых озер Сибири. Объекты исследования – озерные системы (39 озер) из разных ландшафтных зон Сибири: гумидной (18 озер), аридной (5) и семиаридной (11). В предгорном ландшафте исследовано пять озерных систем.

По происхождению озерных котловин изученные озера в основном относятся к суффозионным, тектоническим, термокарстовым. Вмещающие породы лож озер, представлены либо магматическими породами, либо осадочными. Геохимический состав терригенного материала донных накоплений малых озер соответствует составу размытых почв и горных пород площадей водосборов [5].

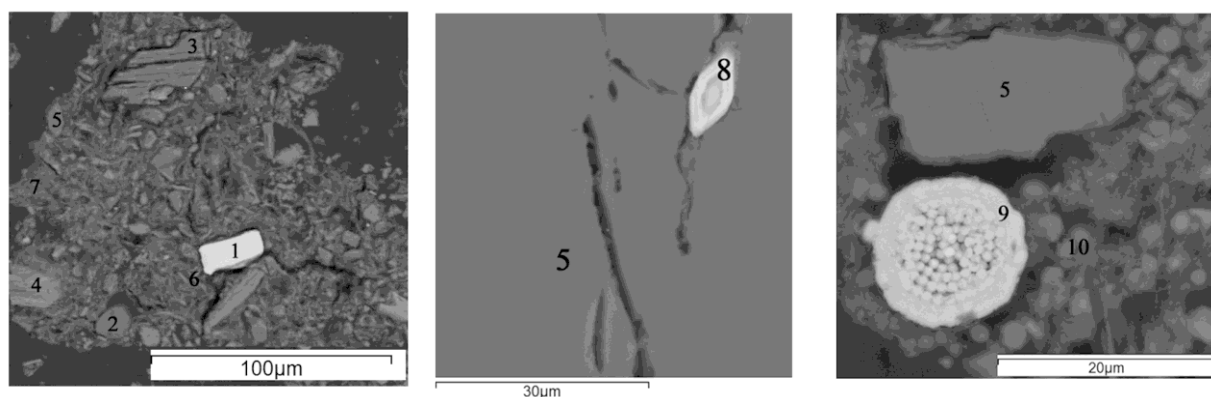
Керн донных осадков в изученных озерах имеет серо-зеленый или коричневый цвет, иногда запах сероводорода, высокую вязкость, массивную или орехово-скорлуповатую текстуру. В отложениях озер верхние слои в основном представлены сапропелем с существенной примесью алевропелитового или карбонатного материала. С глубиной (особенно с 25 см) резко убывает количество органического вещества. Установлено, что основными минералами донных отложений малых озер являются кварц, полевые шпаты – в терригенных илах, кальцит – в карбонатных. Среди второстепенных минералов отмечены гидрослюды, хлориты, пирит, амфиболы, доломит, арагонит. Акцессорные минералы представлены рутилом, цирконом, магнетитом, титанитом, ильменитом, апатитом и некоторыми другими [4]. Зольность осадков варьирует от 32 до 100 %. Влажность органо-минеральных осадков достигает 98 %, а терригенных и карбонатных – 50 %. Донные отложения изученных озер сформировались в восстановительной обстановке. В основном на протяжении всего стратифицированного разреза минеральный состав осадков однородный, без видимой слоистости. В нескольких озерах выявлена резкая смена структуры и состава донных отложений в керне на разных глубинах, что также хорошо прослеживается по концентрациям в осадке макроэлементов (Ca, K, Na, Mg, Al, Si) по данным атомно-абсорбционного анализа.

РЗЭ изучены нейтронно-активационным методом (НАА) в 78 пробах донных отложений, относящихся по химическому и минеральному составу к разным типам, в 24 пробах почв водосборных площадей озер и в 8 пробах пород, слагающих ложа озер.

Погрешность определения содержания составляет 5–15 %. РЗЭ определены в усредненных разрезах донных отложений озер, а также с различных глубин керна осадка в 21 озере. Основной способ представления аналитических данных по РЗЭ – графики «нормализации», на которых содержания РЗЭ в пробе сравниваются с распространенностью их в хондритах (нормализация по хондритам) [6].

Согласно полученным аналитическим данным средние содержания РЗЭ в однотипных донных отложениях озер из различных ландшафтных обстановок Сибири значимо не различаются [5]. Увеличение количества изученных проб различных компонентов малых озер из разных ландшафтных зон Сибири не внесло изменений в сделанное ранее заключение. Характер распределения РЗЭ в донных осадках озер различных минеральных типов одинаков и соответствует тренду для верхней континентальной коры с наличием слабо выраженной отрицательной Eu аномалией и типичным обогащением легкими РЗЭ.

Изучение морфологии, фазового и химического состава образцов донных осадков исследуемых озер проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 TESCAN, снабженного энергетическим спектрометром OXFORD XMAX 450+. Пелитовая и алевропелитовые фракции осадков наиболее представительны в изученных донных осадках озер (на них приходится в среднем до 90 % от общей массы обломочного материала). Установлено, что основными минералами этих фракций являются кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, биотит; второстепенными – мусковит, иллит и акцессорные минералы (циркон, моноцит, апатит, ильменит и др.) (рис. 1). Эти минералы и являются основным источником РЗЭ в донных осадках.

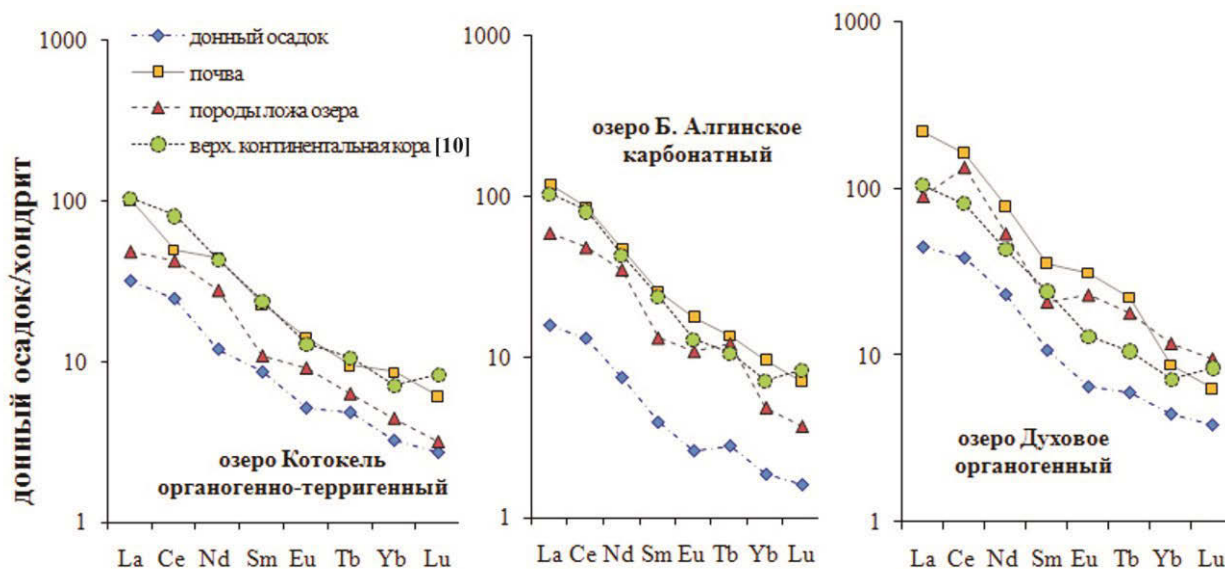


**Рис. 1. Фото донных отложений озер полученные с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA 3.**

1 – рутил, 2 – кварц, 3 – роговая обманка, 4 – плагиоклаз, 5 – калиевый полевой шпат, 6 – слюда, 7 – тонкодисперсная масса, состоящая из мельчайших зерен минералов (кальцита, иллита, хлорита) и органического материала, 8 – циркон, 9 – пиритовый фрамбоид, 10 – округлые зерна кальцита.

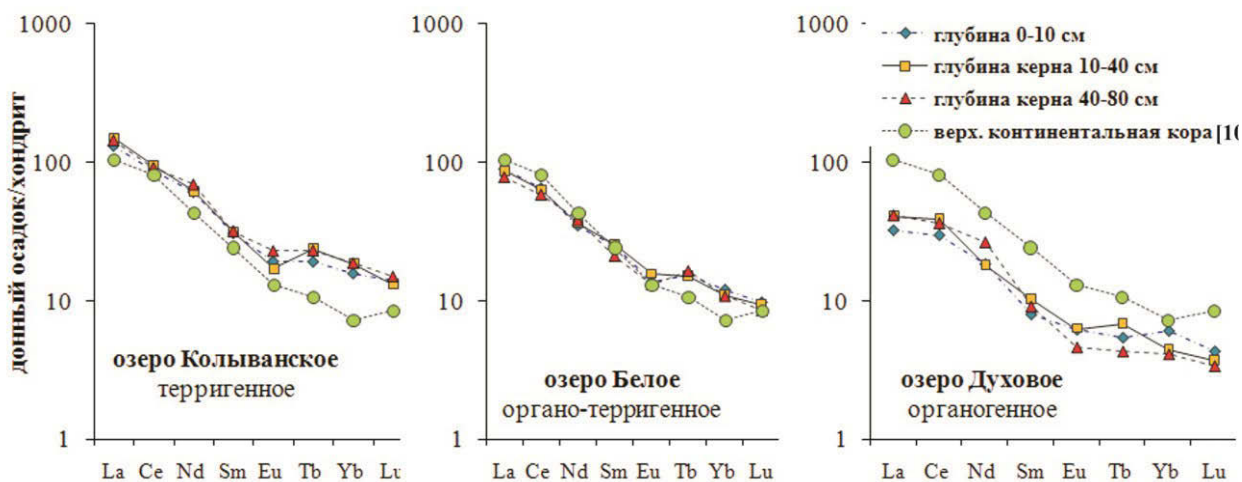
Характер распределения РЗЭ между компонентами озерной системы (почва – донный осадок – породы ложа озера) однотипен в различных озерных системах (рис. 2). Более низкие значения отношения Ce/La для донных отложений и почв сравнительно с горными породами связаны с гидрогенными процессами преобразования минералов в процессе

выветривания, перемещения с водными и эоловыми процессами и осадконакопления. Примесь органического материала уменьшает концентрации РЗЭ в донных отложениях озер.

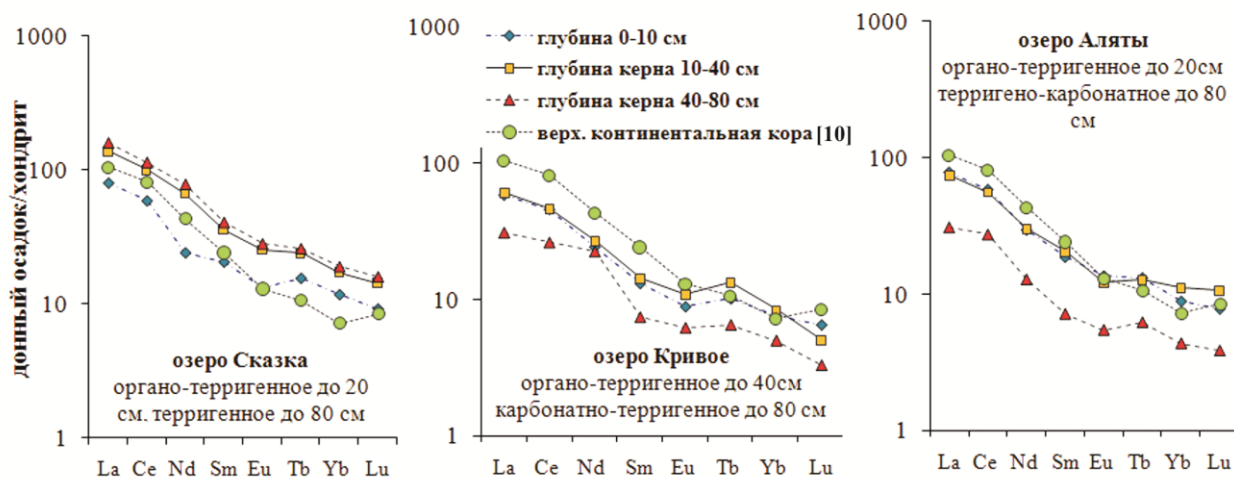


**Рис. 2.** Тренды нормализованных по хондриту содержаний РЗЭ в различных компонентах озерных систем Сибири в сравнение с трендом верхней континентальной коры [10].

В вертикальных разрезах донных отложений РЗЭ распределены довольно равномерно, если не происходит смены минерального типа осадка (рис. 3). Если верхняя часть разреза представлена сапропелем, а с глубиной содержание ОВ в осадке уменьшается вплоть до полного исчезновения, то отмечается совпадение трендов содержаний РЗЭ в отложениях при значительно меньших их количествах в верхней части разреза. В случаях, когда на некоторой глубине (т. е. в какой-то временной момент) происходит смена минерального состава донных отложений, отмечается изменение либо только абсолютных концентраций РЗЭ, либо также и тренда РЗЭ в пределах легких лантаноидов (рис. 4).



**Рис. 3.** Тренды нормализованных по хондриту содержаний РЗЭ в терригенном (ОВ менее 15 %), органо-терригенном (ОВ около 50 %) и органогенном (ОВ более 80 %) донных осадках с различной глубины разреза (до 10 см, 20–40 см и 40–80 см) [10].



**Рис. 4. Тренды нормализованных по хондриту содержаний РЗЭ в донных осадках озер со сменой минерального состава на различных глубинах разрезов [10].**

В результате проведенных исследований установлено, что характер распределения РЗЭ между компонентами озерной системы (почва – донный осадок – породы ложа озера) однотипен в различных озерных системах. Основными носителями РЗЭ являются минералы обломочной фракции. Примесь органического или карбонатного материала уменьшает концентрацию РЗЭ в донных отложениях озер.

По вертикальному разрезу кернов донных отложений исследованных озер содержание РЗЭ не изменяется за исключением кернов, в которых на определенной глубине происходит смена химического и минерального типа осадка. Смена типа донных отложений отмечается либо изменением только абсолютных концентраций РЗЭ, либо также и тренда РЗЭ в пределах легких лантаноидов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-05-00341а и интеграционного проекта СО РАН № 125.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М., «Наука», 1976. 267с.
2. Вах Е.А., Харитоновна Н.А. Геохимия и распределение редкоземельных элементов в подземных водах и водовмещающих породах Фадеевского месторождения минеральных вод // Региональная геология и металлогения, 2010. № 43. С. 106–113.
3. Интерпретация геохимических данных: Учеб. Пособие / Под ред. Е.В. Склярова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
4. Страховенко В.Д., Восель Ю.С. Минералого-геохимические исследования современных осадков малых озер Сибири// «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории» Материалы VII Всероссийского литологического совещания (Новосибирск, 28–31 октября 2013 г.). Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. Т. III. С. 166–169.
5. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. и др. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер различных регионов Сибири // Геология и геофизика, 2010. Т. 51. С. 1501–1514.

6. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
7. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса / Отв. ред. Ю.Т. Леонов, М.: ГЕОС, 2006. 608 с
8. Шатров В.А. Редкоземельные элементы как индикаторы условий образования осадочных пород палеозоя-мезозоя (на примере осадочного чехла Воронежской антеклизы) // Осадочные процессы, седиментогенез, литогенез, рудогенез (эволюция, типизация, диагностика, моделирование). Материалы 4-ого Всеросс. литологич. совещания, Москва, 7-9 ноября 2006, М. ГЕОС, 2006. Т. 1. С. 385–388.
9. Aubert D., Stille P., Probst A. REE fractionation during granite weathering and renewal by waters and suspended leads: Sr and Nd isotopic evidence // *Geochem and cosmochem. Acta*, 2001. V. 65. N 3. P. 387–406.
10. Boynnton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies / Ed. Henderson P. Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114.