



DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-225-233

УДК 553.068.24

Научная статья / Research article

## Особенности формирования лимногенных полезных ископаемых

А.А. Рассказов<sup>a</sup> , Е.С. Горбатов<sup>b</sup>, А.Е. Котельников<sup>a</sup>  

<sup>a</sup>Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

<sup>b</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Российская Федерация, 123242, Москва, ул. Б. Грузинская д. 10, стр. 1

 E-mail: kotelnikov-ae@rudn.ru

### История статьи

Поступила в редакцию: 03 марта 2021 г.

Доработана: 22 мая 2021 г.

Принята к публикации: 03 июня 2021 г.

**Ключевые слова:** озерные комплексы, нерудные и рудные полезные ископаемые, строительные материалы, диатомиты, углеводороды, бокситы, цеолиты, генетические особенности, эволюция континентального литогенеза, осадочные месторождения

**Аннотация.** Рассмотрены условия образования нерудных и рудных полезных ископаемых в лимногенных структурах. Установлено, что озера являются природными обогатителями широкого спектра полезных компонентов – силикатных, карбонатных, водорастворимых, рудных, органоминеральных. Наиболее значимыми полезными ископаемыми современных озер, кроме воды, являются: сапропель, диатомит, известь и минеральные соли. С разновозрастными лимногенными комплексами связаны месторождения песков и глин, горючих сланцев, нефти и газа, углей, фосфоритов, цеолитов, эвапоритов, бокситов, железомарганцевых, медных руд, россыпных минералов, некоторых редких и рассеянных элементов. Показано, что большее разнообразие полезных ископаемых древних озерных комплексов по сравнению с современными связано, как с вариациями озерного литогенеза в прошлом, так и с постседиментационными преобразованиями осадочного вещества. В частности, отмечается эпигенетическое обогащение первых рудными компонентами. Выявлено, что лимногенные углеводороды и диатомиты имеют более высокое качество по сравнению с аналогичными полезными ископаемыми морского генезиса. Отмечено, что эволюционные изменения в процессах накопления лимногенных полезных ископаемых затронули в наибольшей степени их биогенные и хемогенные разновидности. Примером этого может служить прогрессирующее накопление каустобиолитов и сульфатная эволюция эвапоритов в озерных структурах на протяжении фанерозоя. Анализ генетических особенностей лимногенных полезных ископаемых дает возможность разработки новых поисковых признаков ряда осадочных месторождений.

### Для цитирования

Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Котельников А.Е. Особенности формирования лимногенных полезных ископаемых // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 2. С. 225–233. doi: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-225-233

© Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Котельников А.Е., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Features of formation of lacustrine mineral resources

Andrey A. Rasskazov<sup>a</sup> , Evgeniy S. Gorbatov<sup>b</sup>, Alexander E. Kotelnikov<sup>a</sup>  

<sup>a</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

<sup>b</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences

10, build. 1, Bolshaya Gruzinskaya St, Moscow, 123242, Russian Federation

✉ E-mail: kotelnikov-ae@rudn.ru

### Article history

Received: March 03, 2021

Revised: May 22, 2021

Accepted: June 03, 2021

**Keywords:** Lacustrine complexes, non-metallic and ore minerals, building materials, diatomites, hydrocarbons, bauxites, zeolites, genetic features, evolution of continental lithogenesis, sedimentary deposits

**Abstract.** The conditions of the formation of nonmetallic and ore minerals in limnogenic structures are considered. It has been established that lakes are natural enriches of a wide range of useful components – silicate, carbonate, water-soluble, ore, organomineral. The most significant minerals of modern lakes, in addition to water, are: sapropel, diatomite, lime and mineral salts. Deposits of sand, clay, oil shale, oil and gas, coal, phosphorites, zeolites, evaporites, bauxites, ferromanganese, copper ores, placer minerals, and some rare and dispersed elements are associated with limnogenic complexes of different ages. It is shown that a greater variety of minerals of ancient lacustrine complexes compared to modern ones is associated both with variations of lacustrine lithogenesis in the past and with post-sedimentation transformations of sedimentary matter. In particular, epigenetic enrichment of ancient lacustrine complexes with ore components is noted. It was revealed that hydrocarbons and diatomites of lacustrine genesis are of a higher quality compared to similar minerals of marine genesis. It is noted that evolutionary changes in the processes of accumulation of limnogenic minerals have affected to the greatest degree biogenic and chemogenic components. An example of this is the progressive accumulation of caustobiolites and the sulfate evolution of evaporites in lacustrine structures during the Phanerozoic. An analysis of the genetic characteristics of lacustrine minerals makes it possible to develop new exploratory traits of a number of sedimentary deposits.

### For citation

Rasskazov AA, Gorbatov ES, Kotelnikov AE. Features of formation of lacustrine mineral resources. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(2):225–233. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-225-233

## Введение

Проблемы формирования осадочного вещества лимногенного (озерного, озерно-болотного, озерно-аллювиального и т.д.) происхождения, его роли в континентальном литогенезе и формировании месторождений полезных ископаемых исследовались долгое время сравнительно мало, но сегодня именно с ним связывают образование широкого спектра осадочных полезных ископаемых, некоторые из которых практически не формируется в иных фациальных обстановках [1]. Целью данной работы является характеристика основных видов лимногенных полезных ископаемых, как современных, так и древних, выявление их генетических особенностей, сравнение с аналогичными видами минеральных ресурсов осадочного происхождения, накопившихся в других фациальных условиях.

## 1. Полезные ископаемые современных озер

Озера являются важнейшим источником пресной воды на планете, которая является наиболее ценным полезным ископаемым современных озер. В пресных озерах мира сосредоточено около 90 тыс. км<sup>3</sup> воды, что в 40 раз больше, чем единовременный объем воды во всех реках планеты. Запасы пресной воды в озерах потенциально велики, однако интенсивность ее изъятия и загрязнения в отдельных районах планеты столь высока, что качество озерных вод непрерывно ухудшается. Озерным водам посвящена обширная литература, анализ которой требует отдельного рассмотрения. В настоящем разделе остановимся на твердых полезных ископаемых, добываемых из современных озер.

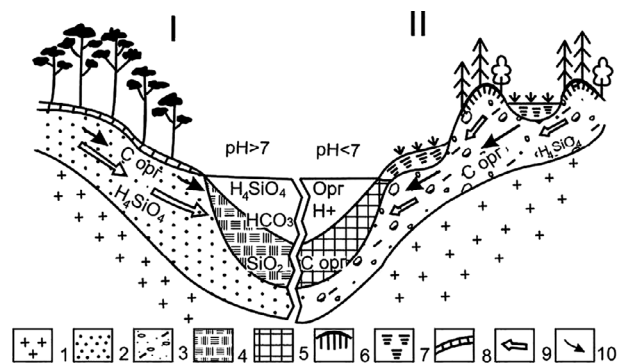
*Диатомит* — легкая тонкопористая горная порода, состоящая из кремнистых скелетов диатомовых водорослей. Диатомиты имеют очень малую плотность, низкую тепло- и звукопроводность, обладают тугоплавкостью и химической стойкостью и используются в качестве строительных и теплозвукоизоляционных материалов, фильтровальных порошков и адсорбентов.

Современные и древние озерные диатомиты встречаются на планете реже, чем морские, образуют меньшие по запасам залежи, но выгодно отличаются от них более высокой чистотой, поскольку в меньшей степени загрязнены терригенными осадками. Континентальные (озерные) диатомиты являются отложениями областей холодного гумидного типа литогнеза и формируются в зонах выхода кристаллических пород на щитах и в областях развития кислого вулканизма. Хорошо изучены и разведаны голоценовые диатомиты малых озер Северо-Запада России, однако значительная конкуренция сапропелевого и диатомового типа седиментации в озерах региона определяет их относительно локальное развитие. В частности, для накопления диатомитов необходимо повышенное содержание доступного для растворения кремнезема, что возможно при достаточно ограниченном сочетании геолого-геоморфологических и ландшафтных условий на водосборах (рис. 1).

*Сапропель* представляет собой коллоидный осадок пресноводных водоемов, состоящий из остатков планктона и бентоса, а также отмерших частей макрофитов и гумусовых частиц почвы. Сапропелевые отложения образуются в условиях гумидного типа литогнеза и преобладают в лесной зоне с моренным типом рельефа (см. рис. 1). Сапропелевые отложения выполняют дно современных озер или залегают на месте исчезнувших озер в виде горизонтов и линз, перекрытых торфяниками. Мощность сапропелевых залежей обычно не превышает 10 м, но в отдельных случаях может достигать 40 м. Все промышленные месторождения сапропеля образовались в голоцене на протяжении последних 10 тыс. лет. Сапропель используется как органоминеральное удобрение, при приготовлении питательных смесей, в качестве витаминно-кормовых добавок, лечебных грязей для терапии, как сорбент.

*Озерная известь* представляет собой рыхлый осадок, состоящий из биогенного и хемогенного  $\text{CaCO}_3$ . Карбонат кальция может осаждаться непосредственно из растворенного в озерной воде гидрокарбоната

кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  при удалении из нее  $\text{CO}_2$ , или при помощи водных растений и водорослей, например *Potamogeton* и *Chara*. Мировые запасы озерной извести сосредоточены в озерных отложениях лесной зоны Евразии, накопившихся в раннем голоцене. В настоящее время осаждение карбонатов в озерах этой зоны практически не происходит.



**Рис. 1.** Схема формирования залежей диатомитов и сапропелей в малых озерах Карелии: I — зандровые равнины на мощных песчаных толщах; II — моренная равнина; 1 — коренные породы, 2 — пески, 3 — морена, валунная супесь, 4 — диатомиты, 5 — сапропели, 6 — подзолы, 7 — торф, 8 — поверхностно-подзолистые почвы, 9 — грунтовые воды с низким содержанием органического вещества, переносящие растворенный кремнезем, 10 — обедненные кремнеземом кислые гумусированные грунтовые воды. По И.Н. Демидову, Т.С. Шелеховой [2]

**Figure 1.** Diatomite and sapropel deposits formation scheme in small lakes of Karelia: I — outwash plains on thick sandy strata; II — moraine plain; 1 — bedrocks, 2 — sands, 3 — moraine, boulder sandy loam, 4 — diatomites, 5 — sapropels, 6 — podzols, 7 — peat, 8 — surface-podzolic soils, 9 — groundwater with a low content of organic matter, carrying dissolved silica, 10 — silica-depleted acidic humus groundwater. According to I.N. Demidov, T.S. Shelekhova [2]

Рассолы и осадок (рапа) соленых озер аридных областей являются ценным источником *минеральных солей*, Br, I, B, Li, Rb. По мере роста засушливости климата формируются сначала карбонатные (степи), затем сульфатные (полупустыни) и, наконец, хлоридные озера (пустыни), при этом катионный состав рассолов и осадка переходит из кальциевой группы в магниевую и натриевую. В соленых озерах каждой группы выпадение минеральных фаз в осадок происходит в определенной последовательности, связанной с физико-химическими законами растворимости. Содовые эвапориты используются для извлечения каустической и кальцинированной соды, буры, лития. Из озер сульфатного класса добываются гипс, мирабилит, тенардит, астраханит, галит. Основным полезным продуктом

хлоридных озер является галит, а на завершающих стадиях галогенеза в них откладываются бишофит, а иногда калийные соли (сильвинит, карналлит).

*Железомарганцевая руда* — разновидность бурожелезняковых (лимонитовых) руд осадочного происхождения. Гидроксиды железа и марганца, поступающие в озера с грунтовыми водами, откладываются на их дне в виде оолитов округлой или бобовидной формы. Скопления железомарганцевых бобовин (гидрогетит, псиломелан и др.) образуют на дне ряда северных озер залежи так называемой озерной бобовой железной руды. Рудные тела представляют собой линзы и пласты, состоящие из зимних прослоев гидрооксидов и летних песчано-глинистых слоев. В прошлом бедные лимонитовые руды являлись практически единственным источником железа, так как залегают они неглубоко и могут добываться кустарным способом. В настоящее время их залежи практически не разрабатываются.

## 2. Полезные ископаемые современных озер

Залежи строительных материалов, главным образом, песков и глин, очень часто формируются в современных озерных обстановках, однако их промышленно значимые месторождения, как правило, связаны со слаболитифицированными комплексами древних (чаще четвертичных) озер. Поэтому эти полезные ископаемые мы относим к категории древних.

*Пески* озерного происхождения по сравнению с континентальными песками аллювиального и флювиогляциального генезиса отличаются средней и хорошей сортировкой песчаной фракции и присутствием заметного количества загрязняющих алевритовых и глинистых частиц. Озерные пески, в отличие от морских, не содержат глауконита, однако их минералогические составы сильно различаются и во многом определяются тектоническим режимом территории в период осадконакопления. Пески озерного генезиса обладают хорошими качествами не только строительных смесей, заполнителей бетонов и формовочных материалов, но и сырья для производства керамики и стекла (кварцевые пески) [3].

*Глины* в озерах формируются в результате перетложения тонкодисперсных продуктов выветривания кристаллических пород или выпадения аутигенных

коллоидных частиц. Минеральный состав глин определяется типом выветривания горных пород и рН водной среды. В озерах гумидных областей формируются каолинистые или гидрослюдистые глины, которые сохраняются благодаря кислой реакции пресных вод. Каолинистые глины используются в керамической, огнеупорной, бумажной промышленности. Образование гидрослюдистых глин происходило преимущественно в озерах холодного и умеренного климата. Их пластичные и однородные разности применяются для изготовления неогнеупорной керамики. В озерах аридных областей с щелочной реакцией среды формируются монтмориллонитовые (сметкитовые) и палыгорскит-сепиолитовые глины, область применения которых определяется их хорошими абсорбционными и ионообменными свойствами.

*Мергели и известняки* в ископаемых лимногенных комплексах встречаются относительно редко и не образуют крупных месторождений. Они залегают обычно в виде маломощных линз, вложенных в песчано-глинистые терригенные отложения.

В озерных обстановках формируются также *фосфориты*, однако по экономическому значению они значительно уступают фосфатным рудам морского генезиса. Фосфатность, связанная с озерными диатомитовыми илами в вулканических областях, выявлена в Закавказье а также в Танзании. Практически единственное крупное месторождение лимногенных фосфоритов приурочено к плейстоценовым озерным осадкам, залегающим в южной части котловины озера Маньяра, расположенного недалеко от вулкана Килиманджаро. Кроме того, в верхнемеловых отложениях Амуро-Зейской впадины описаны фосфориты, связанные с микробной и фитогенной компонентой осадков пойменных и старичных озер, существовавших в условиях умеренно теплого гумидного климата [4].

Лимногенные сапропели являются исходным органическим материалом для формирования *сапропелитовых углей*, которые слагают линзы в пластах гумулитовых углей. Последние формируются не только из остатков наземной автохтонной древесной растительности, но и из переотложенного в озерных водоемах гумуса. Сапропелиты, претерпевшие буругольную либо начальные этапы каменноугольной стадии метаморфизма, представляют ценное химиче-

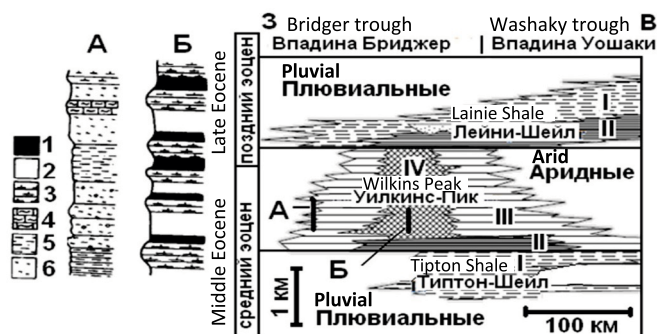
ское сырье, но отдельно от гумолитов, как правило, не добываются. Поэтому угли правильнее считать не собственно полезными ископаемыми древних озер, а накоплениями озерно-болотных комплексов, т.е. они являются лимногенными в широком смысле этого термина.

*Горючие сланцы* — твердые высокозольные каустобиолиты, содержащие битуминоидные вещества из водорослевого детрита с участием гумуса. Для накопления горючих сланцев необходимо сочетание высокой биопродуктивности водоемов с низкой хемогенной и терригенной седиментацией, поэтому горючие сланцы ассоциируются с карбонатными и глинистыми породами. Литологические особенности месторождений горючих сланцев позволяют сделать вывод, что их накопление происходило не только в глубоких стратифицированных озерах, но и в мелководных водоемах плайевого типа. В первом случае литификации органического вещества способствовала восстановительная (бескислородная) среда статичных придонных вод, а во втором — регулярное (сезонное) высыхание и обезвоживание органических илов, препятствующее их разложению.

С эоценовой формацией Грин-Ривер на западе США связаны крупнейшие мировые запасы горючих сланцев и троны (содовый эвапорит). Отложения этой формации накапливались в нескольких самостоятельных озерных бассейнах, возникших во впадинах палеорельефа (рис. 2). Их фациальная структура связана с изменениями климата, в ходе которых озера из мелководных пересыхающих (в аридные эпохи) становились глубоководными стратифицированными (в плювиальные эпохи), и наоборот. Битуминоидный карбонатно-глинистый материал накапливался в центральной части палеоозер обоих типов.

Залежи **углеводородов**, связанные с ископаемыми озерными комплексами, представляют собой отдельную генетическую группу месторождений и имеют весьма высокое экономическое значение, обеспечивая порядка 20 % мировой добычи углеводородов [6]. Генетической особенностью нефтегенного органического вещества озерного генезиса является его высокая геохимическая гетерогенность по сравнению с морскими и аллювиально-болотными фациями, при этом общее высокое содержание в нем планктоногенного вещества способствует образованию качественных углеводородов с высоким содержанием водорода.

В озерных бассейнах накапливаются преимущественно нефтематеринские отложения, реже газоматеринские, причем последние формируются в пресноводных водоемах в сочетании с аллювиально-болотными угленосными фациями. Нефтематеринские породы и резервуары озерного происхождения играют значительную роль в формировании месторождений углеводородов платформенных рифтогенных бассейнов, нижних (синрифтовых) комплексов пассивных окраин, межгорных и предгорных впадин. Нефти озерного генезиса по сравнению с углеводородами морского и дельтового генезиса имеют улучшенные физико-химические свойства — меньшую сернистость и большую парафинистость, однако их скопления отличаются глубоким залеганием (особенно в рифтогенных осадочных бассейнах), что осложняет эксплуатацию месторождений этого сырья.



**Рис. 2.** Схематический разрез лимногенной формации горючих сланцев и троны Грин-Ривер. I–IV — фации: I — битуминоидные мергели, отложенные в пресноводном озере; II — фации солоноватоводного озера; III — битуминоидные сланцы (фации сублиторали содового бассейна); IV — эвапориты (фации пелагиали содового бассейна). Литологический состав толщи Уилкинс-Пик: 1 — битуминоидные сланцы; 2 — трона; 3 — доломиты; 4 — строматолитовые известняки; 5 — алевролиты; 6 — песчаники. По Х. Редингу [5], с дополнениями

**Figure 2.** Schematic section of the limnogenic oil shale formation and the Green River Thrones. I–IV — facies: I — bituminous marls deposited in a freshwater lake; II — facies of a brackish water lake; III — bituminous shales (facies of the sublittoral zone of the soda basin); IV — evaporites (facies of the pelagic zone of the soda basin). Lithological composition of the Wilkins Peak sequence: 1 — bituminous shales; 2 — throne; 3 — dolomites; 4 — stromatolite limestone; 5 — siltstones; 6 — sandstones.

According to H. Reading [5], with additions

В процессах накопления лимногенных каустобиолитов на протяжении фанерозоя четко прослеживаются эволюционные трансформации, которые отражают изменение физико-химических условий на поверхности

суши, развитие растительности и почв на водосборах, увеличение продуктивности и сложности организации озерных экосистем. Так, в озерах раннего палеозоя накапливались планктоногенные осадки, продуцирующие только горючие сланцы и жидкие углеводороды с общей тенденцией к росту интенсивности накопления сапропелевого вещества на протяжении всего фанерозоя. В позднем палеозое с развитие макрофитной растительности на водосборах озер стало возможным прогрессирующее накопление гумусового вещества и широкое углеобразование в аллювиально-озерных и озерно-болотных системах.

Древние *эвапориты*, как и минеральные соли современных озер, можно разделить на карбонатный, сульфатный и хлоридный типы, однако их соотношение на протяжении фанерозоя заметно менялось. Докайнозойские эвапориты формировались чаще в условиях галогенеза хлоридного типа с отчетливо выраженной калийной фазой и были связаны в большей степени с водами морского генезиса и приморскими озерами. Накопление молодых эвапоритов происходило все чаще во внутриконтинентальных соленых озерах, причем в кайнозойе в них начал преобладать сульфатный галогенез. Сульфатовая эволюция озерных эвапоритов является результатом возрастания роли окислительных процессов в корях выветривания, продуцирующих оксиды серы.

*Цеолиты* — большая группа водных алюмосиликатов из подкласса каркасных силикатов. Кристаллическая решетка цеолитов отличается наличием полостной структуры  $[AlSi]O_4^-$  с отрицательным зарядом, компенсируемым катионами, что определяет наличие у них ряда полезных физико-химических свойств, позволяющих использовать цеолиты в качестве адсорбентов, ионообменников, молекулярных сит [7; 8]. Обычно цеолитовые отложения формировались в соленых и солоноватых озерах карбонатного типа при взаимодействии их щелочных вод или рассолов ( $pH=9-10$ ) с кислым (трахитовым) вулканическим стеклом. Подробно изучены обстановки озерного цеолитообразования в Монголии, а также Индокитае, где был сделан прогноз новых месторождений этого сырья [9].

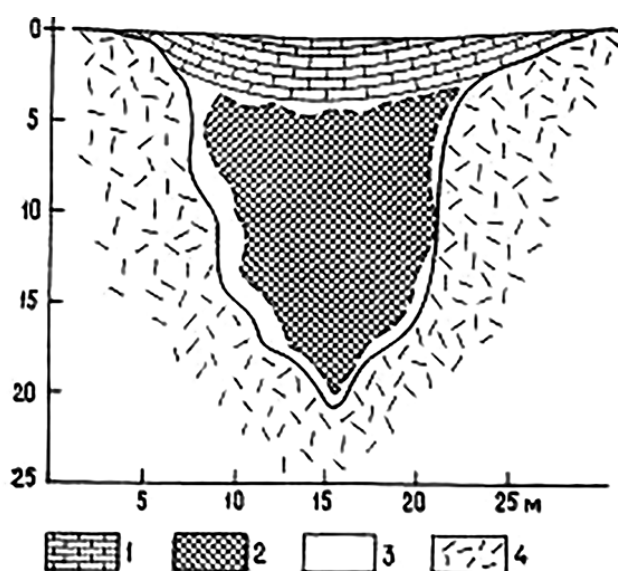
### 3. Рудные

Ископаемые **железомарганцевые образования** известны в лимногенных комплексах Урала, однако

большого практического применения они не имеют. Большинство месторождений бурого железняка раннемелового возраста (Средний Урал), кайнозойских оолитовых руд и части олигоценых железомарганцевых отложений (Южный Урал) принадлежат озерным комплексам посторогенного этапа развития Урала. Их образование относится к периоду разрушения толстого слоя элювиальных пород (ранний мел) с последующим отложением этих пород в узких грабенообразных озерных структурах [10; 11].

**Бокситы** являются основной алюминиевой рудой, состоящей из смеси гидрооксидов и оксидов алюминия, железа и глинистых минералов. Бокситы в озерных обстановках накапливаются в результате переотложения продуктов латеритовых кор выветривания, образующихся в результате глубокого физико-химического выветривания алюмосиликатных пород в условиях влажного тропического климата. На посторогенном этапе развития Урала сформировалось Южно-Уральское месторождение бокситов, в котором линзообразные рудные тела связаны с древними карстовыми озерами, развитыми в кровле девонских отложений. Относительно небольшие залежи бокситов воронкообразной морфологии распространены в Средиземноморье и развиты в кровле закарстованных морских известняков (рис. 3). Рудные месторождения формировались в приморских карстовых озерах, в которых концентрировались алюмосиликатные продукты растворения карбонатных пород.

В озерных обстановках формируются **медные руды** медистых песчаников и сланцев. Например, в Джезказганском стратиформном месторождении в Центральном Казахстане сульфидная медь накапливалась в сероцветных фациях подводных дельт средне-верхнекаменноугольного возраста, переходящих в линзовидные слои озерных песков и алевролитов, причем рудные тела выдержаны по простиранию и приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам [13]. Каждый цикл осадконакопления продуктивной толщи начинается с накопления более крупнозернистых пород и заканчивается мелкообломочными. Озера, на литорали которых накапливались рудные компоненты, по-видимому, были мелководными и периодическими.



**Рис. 3.** Залежь бокситов в приморской карстовой воронке, образовавшейся при морской регрессии в интервале «верхний мел – нижний эоцен». Район г. Вишняна, п-ов Истрия, Хорватия: 1 – известняк, нижний эоцен; 2 – боксит; 3 – бокситовая глина и глинистый боксит; 4 – вмещающий бокситы известняк, сенон. По Д. Бардошши [12]

**Figure 3.** Bauxite deposit in a coastal sinkhole formed during marine regression in the Upper Cretaceous – Lower Eocene interval. Region of Vishnjana, Istria Peninsula, Croatia: 1 – limestone, Lower Eocene; 2 – bauxite; 3 – bauxite clay and clayey bauxite; 4 – enclosing bauxite limestone, Senonian. According to D. Bardoshshi [12]

С озерными обстановками связаны **россыпные залежи**, образующие небольшие месторождения регионального значения. Дифференциация россыпных минералов в озерах сравнительно мала, поэтому появление озерных россыпей промышленного значения происходит сравнительно редко. В озерах россыпные минералы (высокоплотные и стойкие к истиранию) накапливаются при разгрузке потоков речных наносов; в результате размыва прибором коренных месторождений или древних россыпей. Известны промышленные пляжевые озерные россыпи золота, шеелита, касситерита и тантало-ниобатов, алмазов, а также янтаря, причем последние связаны не с пляжевыми, а с глубоководными озерными фациями.

При разработке черносланцевых лимногенных толщ попутно извлекаются такие цветные, рассеянные и радиоактивные металлы, как молибден, свинец, цинк, ванадий, рений, германий, уран.

## Заключение

В современных и древних озерных обстановках формируются многие виды нерудных и рудных полезных ископаемых, имеющих важное практическое значение. С озерными отложениями связаны месторождения строительных песков, россыпных руд, цементных и керамических (в том числе огнеупорных) глин, мергелей, диатомитов, эвапоритов (трона, тенардит, гипс, эпсонит, галит, карналлит, сильвин, бишофит и др.) и каустобиолитов. Биогенный осадок, который накапливался в древних озерах, может преобразовываться в битуминоидные (горючие) сланцы, которые при катагенезе способны генерировать нефть и газ. Анализ эволюции процессов озерного литогенеза позволяет сделать вывод об увеличении интенсивности накопления каустобиолитов на протяжении фанерозоя. Также отмечена тенденция большего образования сульфатных минералов в озерных структурах кайнозойского возраста по сравнению с более древними формациями, в которых преобладают мощные толщи хлоридных эвапоритов. Таким образом, наиболее значительные трансформации затронули процессы накопления лимногенных полезных ископаемых биогенного и хемогенного происхождения. Что касается формирования рудных полезных ископаемых в лимногенных структурах, то для этих процессов характерна схема рудогенеза, при которой озерные комплексы играют роль концентраторов и обогатителей рудного вещества. Вода, сапропель, озерная известь, диатомит и минеральные соли являются основными полезными ископаемыми, добываемыми из современных озера. Меньшее разнообразие полезных ископаемых современных озера по сравнению с древними озерными комплексами объясняется незавершенностью процессов их образования в современных областях континентального осадконакопления.

Особенностью исследований на современном уровне изученности процессов озерного литогенеза является возможность анализа и прогноза большого количества как нерудных, так и рудных полезных ископаемых, что особенно актуально в связи с большим ресурсным значением лимногенного типа осадочных полезных ископаемых.

## Список литературы

1. Рассказов А.А., Горбатов Е.С. Лимногеология и эволюция озерного литогенеза. М.: ИФЗ РАН, 2019. 192 с.
2. Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 89 с.
3. Кац М.Я., Кац М.М., Рассказов А.А. Динамика изменения плотностных свойств кварца в процессе минералогического вызревания пород. Математическое и экспериментальное моделирование процессов // Эпигенез и его минеральные индикаторы. Тр. ГИН АН СССР. М.: Наука, 1971. Вып. 221. С. 128—144.
4. Жегалло Е.А., Школьник Э.Л. Изучение в сканирующем электронном микроскопе континентальных фосфоритов из Амурской области // Эволюция биосферы и биоразнообразие. М.: КМК, 2006. С. 129—133.
5. Обстановки осадконакопления и фации: в 2 т. Под ред. Х. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 351 с.
6. Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E., Mankiewicz P.J. Lake-Basin Type, Source Potential, and Hydrocarbon Character: an Integrated Sequence Stratigraphic–Geochemical Framework // Gierlowski-Kordesch E.H., Kelts K.R. (eds.) Lake basins through space and time: AAPG Studies in Geology. 2000. P. 3—34. doi: 10.1306/St46706C1
7. Chmielewska E. Natural Zeolites as Sustainable and Environmental Inorganic Resources over the History to Present. *General Chemistry* 2019. Vol. 5. № 3. P. 190001. doi: 10.21127/yaoyigc20190001
8. Mastinu A., Kumar A., Maccarinelli, Bonini S., Premoli M., Aria F., Gianoncelli A. Zeolite Clinoptilolite: Therapeutic Virtues of an Ancient Mineral. *Molecules*. 2019. Vol. 24. N. 8. P. 1517. doi: 10.3390/molecules24081517.
9. Рассказов А.А. Limnogenic zeolites in the Indochina Mesozoic deposits // Clay mineralogy and petrology. Banská Stianica, Slovakia, 1996. P. 17.
10. Рассказов А.А., Скобелев С.Ф., Стукалова И.Е. Эволюция процессов континентального литогенеза в лимногенных комплексах Урала // Седиментогенез и литогенез осадочных образований. Екатеринбург: УГГА, 1996. С. 104—105.
11. Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю. Месторождения лимногенных углеводородов и геоэкологические аспекты, связанные с их генезисом // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 3. С. 366—379. doi: 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379
12. Бардошши Д. Карстовые бокситы / под. ред. В.П. Петрова. М.: Мир, 1981. 454 с.
13. Baibatsha A.B., Bekbotayeva A.A. Relationship of copper mineralization with the conditions of sandstone

formations in stratiform deposits in Kazakhstan. 6th International Limnology Congress. Reno, Nevada, USA. 2015.

## References

1. Rasskazov AA, Gorbатов ES. *Limnogeologiya i evolyutsiya ozerного litogeneza [Limnogeology and evolution of lacustrine lithogenesis]*. Moscow: IFZ RAN [Institute of Physics of the Earth RAS]; 2019. (In Russ.)
2. Demidov IN, Shelekhova TS. *Diatomity Karelii (osobennosti formirovaniya, rasprostraneniya, perspektivy ispol'zovaniya) [Diatomites of Karelia (features of formation, distribution, prospects of use)]*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2006. (In Russ.)
3. Kats MYa, Kats MM, Rasskazov AA. Dinamika izmeneniya plotnostnykh svoystv kvartsa v protsesse mineralogicheskogo vyzrevaniya porod. Matematicheskoe i eksperimental'noe modelirovanie protsessov [Dynamics of changes in the density properties of quartz in the process of mineralogical maturation of rocks. Mathematical and experimental modeling of processes]. *Epigenez i ego mineral'nye indikator [Epigenesis and its mineral indicators]*. Moscow: Nauka Publ. (In Russ.)
4. Zhegallo EA, Shkolnik EL. Izuchenie v skaniruyushchem elektronnom mikroskope kontinental'nykh fosforitov iz Amurskoy oblasti [Study in a scanning electron microscope of continental phosphorites from the Amur region]. In: *Evolutsiya biosfery i bioraznoobrazie [Evolution of biosphere and biodiversity]*. Moscow: KMK Publ.; 2006. p. 129—133. (In Russ.)
5. Reading H. (ed.). *Obstanovki osadkonakopleniya i fatsia [Sedimentary environments and facies]*. Vol. 1. (In Russ.)
6. Bohacs KM, Carroll AR, Neal JE, Mankiewicz PJ. Lake-Basin Type, Source Potential, and Hydrocarbon Character: an Integrated Sequence Stratigraphic–Geochemical Framework. In: Gierlowski-Kordesch E.H., Kelts K.R. (eds.) *Lake basins through space and time: AAPG Studies in Geology*. 2000. p. 3—34. doi: 10.1306/St46706C1
7. Chmielewska E. Natural Zeolites as Sustainable and Environmental Inorganic Resources over the History to Present. *General Chemistry*. 2019;5(3):190001. doi: 10.21127/yaoyigc20190001
8. Mastinu A, Kumar A, Maccarinelli G, Bonini S, Premoli M, Aria F, Gianoncelli A. Zeolite Clinoptilolite: Therapeutic Virtues of an Ancient Mineral. *Molecules*. 2019;24(8):1517. doi: 10.3390/molecules24081517
9. Rasskazov AA. Limnogenic zeolites in the Indochina Mesozoic deposits. *Clay mineralogy and petrology*. Banská Stianica, Slovakia. 1996:17.
10. Rasskazov AA, Skobelev SF, Stukalova IE. *Evolutsiya protsessov kontinental'nogo litogeneza v limnogennykh kompleksakh Urala [Evolution of the processes of continental*



lithogenesis in the limnogenic complexes of the Urals]. *Sedimentogenez i litogenez osadochnykh obrazovaniy [Sedimentogenesis and lithogenesis of sedimentary formations]*. 1996:104—105. (In Russ.)

11. Rasskazov AA, Gorbатов ES, Vasilieva EU. Deposits of lacustrine hydrocarbons and geocological aspects related to their genesis. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2017;25(3):366—379. doi: 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379. (In Russ.)

12. Bardoshshi D. *Karstovye boksity [Karst bauxites]*. V.P. Petrova (ed.). Moscow: Mir Publ.; 1981. (In Russ.)

13. Baibatsha AB, Bekbotayeva AA. Relationship of copper mineralization with the conditions of sandstone formations in stratiform deposits in Kazakhstan. *6th International Limnology Congress*. Reno, Nevada, USA; 2015.

#### Сведения об авторах

**Рассказов Андрей Андреевич**, профессор департамента недропользования и нефтегазового дела, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, доктор геолого-минералогических наук; ORCID: 0000-0001-9508-1576, Scopus Author ID: 57221540598, eLIBRARI AuthorID: 59545; e-mail: rasskazo@yandex.ru

**Горбатов Евгений Сергеевич**, старший научный сотрудник лаборатории палеосейсмологии и палеогеодинамики, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, кандидат геолого-минералогических наук; Scopus Author ID: 57200762403, eLIBRARI SPIN-код: 7474-4881; e-mail: e.s.gor@mail.ru

**Котельников Александр Евгеньевич**, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, кандидат геолого-минералогических наук; ORCID: 0000-0003-0622-8391, Scopus Author ID: 57205586833, eLIBRARI SPIN-код: 6280-5070; e-mail: kotelnikov-ae@rudn.ru

#### About the authors

**Andrey A. Rasskazov**, Professor, Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Doctor of Geology; ORCID: 0000-0001-9508-1576, Scopus Author ID: 57221540598, eLIBRARI AuthorID: 59545; e-mail: rasskazo@yandex.ru

**Evgeniy S. Gorbатов**, Senior Researcher, Laboratory of Paleoseismology and Paleogeodynamics, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, PhD in Geology; Scopus Author ID: 57200762403, eLIBRARI SPIN-code: 7474-4881; e-mail: es.gor@mail.ru

**Alexander E. Kotelnikov**, Associate Professor, Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), PhD in Geology; ORCID: 0000-0003-0622-8391, Scopus Author ID: 57205586833, eLIBRARI SPIN-code: 6280-5070; e-mail: kotelnikov-ae@rudn.ru