

**ГЕОСИСТЕМЫ КРУПНЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА И ВОСТОКА РОССИИ:  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ****А.Е. Рыбалко<sup>1,2,3</sup>, Д. А. Субетто<sup>1</sup>, М. А. Соловьева<sup>4</sup>, Г. Г. Ахманов<sup>4</sup>, М. Ю. Токарев<sup>4</sup>,  
В. Д. Страховенко<sup>1,5</sup>, А. О. Аксенов<sup>2,6</sup>, О. М. Хлыстов<sup>7</sup>,**

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, <sup>2</sup>Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, <sup>3</sup>ООО «Морской центр», Москва, <sup>4</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, <sup>5</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, <sup>6</sup>Институт Карпинского, Санкт-Петербург, <sup>7</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск.

**Аннотация.** В докладе рассматриваются основные черты геологического строения и развития их с момента заложения впадин до сегодняшних дней. Показано, что, несмотря на близость ландшафтных условий, в том числе и условиях стока воды, ведущим фактором разделения озер как индивидуальных геосистем является их генезис, как котловин, так и современных озерных котловин. При этом во всех случаях приоритетным является структурный фактор, хотя и по-разному проявленный при формировании ладожской и Онежской котловин и тектонической впадины озера Байкал. Он присутствует и в четвертичное время, но в каждом из озер в различной мере. И если в озере Байкал это приводит и к развитию гравитационных процессов, проявлению газов и, частично, грязевому вулканизму, то в европейских озерах это сказывается только на морфологии дна и берегов, которые контролируются разрывными нарушениями.

**Ключевые слова:** Ладожское озеро, Онежское озеро, озеро Байкал, внутриконтинентальный рифтинг, четвертичные оледенения, моренные гряды, ледниково-озерные отложения, турбидиты, контуриты.

**GEOSYSTEMS OF LARGE LAKES IN THE NORTHWEST AND EAST OF RUSSIA:  
COMPARATIVE ANALYSIS****A.E. Rybalko<sup>1,2,3</sup>, D.A. Subetto<sup>1</sup>, M.A. Solovieva<sup>4</sup>, G.G. Akhmanov<sup>4</sup>, M. Ju. Tokarev<sup>4</sup>,  
V. D. Strakhovenko<sup>1,5</sup>, A. O. Aksenov<sup>2,6</sup>, O. M. Khlystov<sup>7</sup>,**

<sup>1</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, <sup>3</sup>LLC "Marine Center", Moscow, <sup>4</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, <sup>5</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, <sup>6</sup>Karpinsky Institute, Saint Petersburg, <sup>7</sup>Limnological Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk.

**Abstract.** The report examines the main features of the geological structure and their development from the moment of the basins' foundation to the present day. It is shown that, despite the similarity of landscape conditions, including water runoff conditions, the leading factor in the division of lakes as individual geosystems is their genesis, both of basins and modern lake basins. In all cases, the structural factor is a priority, although it manifested itself differently during the formation of the Ladoga and Onega basins and the tectonic deep of Lake Baikal. It is also present in the Quaternary, but in each of the lakes to a different extent. If in Lake Baikal this leads to the development of gravitational processes, the manifestation of gases and, partially, mud volcanism, then in European lakes this affects only the morphology of the bottom and shores, which are controlled by faults.

**Key words:** Lake Ladoga, Lake Onega, Lake Baikal, intracontinental rifting, Quaternary glaciations, moraine ridges, glacial-lake deposits, turbidites, contourites.

**Введение.** Крупнейшие озера, расположенные в различных районах Земного шара, представляют собой, по существу, отдельные геосистемы с собственными водораздельными бассейнами, речными системами, имеющими определенный генезис и характеризующиеся разнообразными биоресурсами. Все это обеспечивает уникальные особенности формирования чехла донных отложений, с различными особенностями протекания геохимических процессов и пр. В тоже время значение крупных озёр очень велико, так как каждое такое озеро представляет собой гигантский резервуар чистой пресной воды. В связи с этим значительный научный интерес представляет сравнение геосистем крупнейших озер Северо-Запада РФ – Ладожского и Онежского и озера Байкал в Восточной Сибири, геологическая и тектоническая позиция которых резко отличается.

**Материалом для исследования** послужили геолого-геофизические данные, полученные авторами по Ладожскому и Онежскому озерам и материалам проекта Class@Baikal. Во всех трёх озерах было проведено сейсмическое профилирование ССВР (сейсморазведка высокого разрешения) и НСП (непрерывное сейсмоакустическое профилирование), а также съёмка акустическим профилографом организациями Научного парка МГУ, а также геологические исследования, включающие колонковый пробоотбор прямоточными трубками длиной 3-5 м и 1 м и бурение ЛТС (легкими техническими средствами).

**Результаты и обсуждение.** Ладожское и Онежское озера располагаются в платформенной области и приурочены к границе Балтийского (Фенноскандинавского) щита и Русской плиты. Озёрные котловины были заложены в верхнем протерозое. Котловина Ладожского озера приурочена к крупной Ладожско-Пашской рифейской грабен-синклинали, что предопределило форму как первичной, так и современной впадины. Северная часть впадины Ладожского озера располагается в зоне развития структурных комплексов фундамента архейского либо раннепротерозойского возраста, а центральная часть сформировалась в пределах плитного чехла, начиная с позднего венда. [1].

Структурно-предопределенное происхождение имеет и впадина Онежского озера. Северная часть его пространственно совпадает с позднепротерозойской Онежской структурой [11]. Ее причудливый структурный план предопределил специфику орографии этой части озера. Южная часть озера, как и на Ладоге, располагается в пределах чехла Русской плиты. [12].

Формирование ладожской и онежской впадин в их современном виде, видимо, связано с последним периодом тектонической активизации на границе плейстоцена и четвертичного периода, но основную роль в оформлении современной морфологии дна Ладожского озера сыграли ледники, которые не менее 4-х раз в течении плейстоцена двигались вдоль этих впадин в южном и юго-восточном направлениях. В результате ледниковой экзарации были уничтожены мягкие горные породы, а твердые оставались в виде останцов или конструктивных форм рельефа. Примером может служить Валаамский силл [1, 14]. До сих пор не утихает дискуссия о роли неотектонических процессов в формировании котловин крупнейших озер Северо-Запада РФ. Одни авторы отдают приоритет исключительно экзарационным процессам [1]. Другие – неотектонической гипотезе, выдвинутой еще в 70-х годах прошлого века [3].

Деградация ледникового покрова, которая началась около 14000 лет тому назад, оставила на дне Ладожского и Онежского озер большое количество аккумулятивных форм рельефа. Они представлены грядами ледникового и флювиогляциального генезиса и ледниково-озерными равнинами, сложенными преимущественно ленточными глинами и занимающими большую площадь в южной части обоих озер.

По геофизическим данным и материалам изучения кернов донных отложений горизонты ледниково-озерных осадков, как правило, имеют трехчленное строение. Общая тенденция, установленная для Ладожского и Онежского озер – это субпесчанистые ленты в основании надледникового разреза и постепенное утонение размерности частиц вверх по нему. Четко эта закономерность проявлена на томограммах кернов донных отложений. Все эти текстурные особенности связаны с постепенным отступанием края ледника и последовательным снижением объема поступающего обломочного материала. Соответственно, снижался средний

размер частиц, осадки приобретали алеврито-глинистый состав, а слоистость постепенно утонялась и пропадала. Слоистую толщу приледниковых озер сменяет монотонный по окраске горизонт однородных серых глин (плотных илов). При этом возраст их в Ладоге является голоценовым и граница плейстоцена – голоцена проводится по кровле пачки тонкослоистых глин. В Онежском озере серые глины накапливались уже в позднем неоплейстоцене [13]. Выше по разрезу толща озерно-ледниковых отложений сменяется озерными илистыми отложениями (нефелоидными фациями). В голоценовом покрове осадков озерные нефелоиды составляют более 90% всех осадков.

Таким образом, решающим фактором формирования геосистемы Ладожского и Онежского озёр являлся ледниковый этап их развития, когда и были сформированы макро- и мезоформы озерного рельефа. Ледник способствовал формированию экзарационных, главным образом, отрицательных форм рельефа. Последующий этап развития дегляциации, а именно формирование приледниковых озер и сопутствующее ему накопление ленточных глин, привел к выравниванию рельефа. Таким образом, характерными признаками четвертичных отложений Ладожского и Онежского озер являются: (1) градационная слоистая текстура; (2) гранулометрический состав с его полимодальными спектрами и постоянным и значительным участием алевритовых частиц; (3) минеральный состав наследует состав подстилающей морены, а через нее – и материнских коренных пород; (4) относительно непродолжительный этап озерно-ледникового осадконакопления – 1000-2000 лет.

Совсем другими особенностями характеризуется геосистема озера Байкал, расположенного в южной части Восточной Сибири. Оно имеет площадь 31722 км<sup>2</sup>, является самым глубоким и большим по площади озером на планете и крупнейшим природным резервуаром пресной воды в Евразии. В геологическом отношении озеро представляет собой узкую глубокую рифтогенную котловину с крутыми бортами, которая протянулась с юго-запада на северо-восток на 636 км в виде гигантского полумесяца. Дно Байкала в самой глубокой его части – 1642м, средняя глубина озера — 744,4 м [2].

В озере выделяются три крупных котловины (Южная, Средняя и Северная), разделённых поднятиями (Селенгинско-Бугульдейская перемычка и Академический хребет). Борты Байкальских котловин ассиметричны: северо-западные склоны достигают 60°, а юго-восточные, в целом, не превышают 15°, что предопределяет особенности процессов осадконакопления. В тектоническом плане выделяются только две впадины: Южно-Байкальская (объединяющая Южную и Среднюю котловины) и Северо-Байкальская, разделённые крупным тектоническим поднятием – Академическим хребтом.

Озеро Байкал занимает центральное положение в Байкальской рифтовой зоне, расположенной на границе Сибирской плиты и Саяно-Байкальского складчатого пояса. Эта шовная зона начала формироваться в раннем протерозое. Тем не менее, возраст самой байкальской впадины существенно моложе, чем ладожской и онежской. Наиболее распространённой является версия о миоценовом времени начала формирования байкальского рифта [7], однако существующие гипотезы варьируют от представлений о молодом рифтогенезе (около 5 млн лет) [4] до поздне-мелового (60-70 млн лет) [8,9]. Согласно последним представлениям [9], вскрытая на берегах южной котловины танхойская свита миоценового возраста позволила выдвинуть предположения о более древнем возрасте формирования озера. Это подтверждается и результатами бурения в дельте Селенги, где были вскрыты палеогеновые отложения, что также подтверждает более древний возраст Байкальского рифта [15].

В истории развития Байкальского рифта выделяют три этапа. На первом этапе (пассивный рифт) происходил чистый раздвиг как отклик на глобальное растяжение в позднем мелу – эоцене. Второй этап (импактный рифт) связывают с влиянием Индо-Европейской коллизии, которая в позднем олигоцене – раннем плейстоцене привела к изменению вектора напряжений и последующей трансенсии. На третьем этапе (активный рифт) в среднем неоплейстоцене – голоцене происходил рост выступа астеносферы под Байкальским рифтом и растекание плюма, который вызвал растяжение рифта по схеме чистого раздвига [9].

Этим трем этапам и тектоническим фазам формирования Байкальского рифта соответствуют три крупных сейсмостратиграфических комплекса (ССК), выделяемых в осадочном разрезе озера по сейсмическим данным. Их мощности составляют до 4-5 км для ССК-1, около 1-2 км для ССК-2 и менее 300 м для ССК-3.

Таким образом, формирование наиболее древних элементов осадочного разреза Байкала началось в позднем мелу. В позднем мелу – эоцене, сформировалась поверхность выравнивания, сопровождающаяся образованием коры выветривания и накоплением озерных и континентальных отложений. В олигоцене – раннем плиоцене началось эрозионное расчленение пенеплена и отложение продуктов размыва. С позднего олигоцена происходило формирование Южной и Средне-Байкальской впадин, а со второй половины миоцена, и Северо-Байкальской. В четвертичный период проявилось тектоноденудационное преобразование рельефа, и накопление полифациальных донных отложений. Со второй половины неоплейстоцена значительную роль стали играть процессы оледенения: флювиогляциальные и моренные отложения вскрываются в скважинах и обнажениях на берегах Северного Байкала [10].

Четвертичные отложения на дне озера представлены практически полным разрезом плейстоцена, а буровые скважины достигли осадочных образований с возрастом 35 МИС [16]. Согласно имеющимся данным, они состоят из чередования биогенно-обломочных и турбидитовых осадков, но биостратиграфия их достаточно слабо разработана. Возрастная характеристика дана как по палеомагнитным данным, так и по материалам абсолютного датирования.

Наиболее древними из вскрытых нами верхнечетвертичных отложений являются плотные серые суглинки и сероцветные, иногда голубые глины, которые вскрыты на крутых бортах Байкальской котловины и днищах каньонов. Непосредственно на указанных осадках залегает толща глинистых отложений. Это преимущественно минерагенные глинистые илы. В результате диагенеза осадки уплотнены, но консистенция остается в пределах текуче-пластичной. Заметное снижение органического вещества и диатомовых в осадках указывает на их формирование в достаточно суровых (холодноводных) условиях, предположительно в позднем неоплейстоцене.

Венчают разрез биогенно-обломочные озерные нефелоидные отложения (диатомово-обломочные илы), накапливающиеся в зонах современной седиментации. Мощность их колеблется от нуля до 3-х и более метров. Они характеризуются текучей до текуче-пластичной консистенцией, часто имеют пятнистый или полосчатый облик за счет аморфных примазок черного цвета. В случае сокращенной мощности они перекрывают нижележащие осадки с четким эрозионным контактом, свидетельствующим о размыве в раннем голоцене или позднем неоплейстоцене. Возраст их голоценовый [5].

Одним из наиболее характерных признаков озера Байкал является наличие в нем мощных толщ турбидитов. Это связано как с особенностями геоморфологии Байкальской котловины, так и с явлениями сейсмотектоники и обильного поступления обломочного материала со стоком реки Селенги. Байкальские турбидитовые отложения характеризуются наличием градационной текстуры, более крупнозернистым гранулометрическим составом, присутствием остатков наземной флоры, повышенными значениями магнитной восприимчивости, пониженными содержаниями биогенного кремнезема, органического углерода, а также общего азота. [6].

Еще одной из особенностей голоценового осадочного покрова оз. Байкал является наличие контуритовых отложений. В тоже время, наблюдения, выполненные в 2024 году, показали, что эти отложения не современные. В большинстве кернов, отобранных на возвышенности Академического хребта, осадки представлены плотными глинами с хорошо выраженной железо-марганцевой коркой. Наличие ее указывает на отсутствие современного осадконакопления, а также современного размыва озерного дна транзитного осадконакопления.

Характерным для Байкала фактором осадконакопления является грязевой вулканизм, который представлен на Байкале уникальным, байкальским, типом [17]. Четвертичный грязевой вулканизм широко распространён в Южной и Средней котловинах озера Байкал и подтверждён обнаружением 29 грязевых вулканов [18]. Их отличительной особенностью от «классических» грязевых вулканов является малоглубинное залегание корней, связанное с формированием зон аномально высокого пластового давления, вызванного не с механизмами сжатия, а разложением скоплений газовых гидратов на нижней границе их стабильности. Малая глубина корней (максимум 450 м ниже дна) приводит к слабой литификации и низкой контрастности кластов и матрикса грязевулканической брекчии по литологическим характеристикам и минеральному составу.

### **Выводы.**

Сравнение новейших материалов по геологическому строению столь контрастных крупных озерных бассейнов, как озера Ладожское, Онежское и Байкал, убедительно показывает, что каждое из них действительно представляет природную геосистему, характеризующуюся происхождением, длительностью накопления как всего осадочного покрова, так и четвертичных отложений. Для европейских озер характерно древнее структурное заложение котловин, преобладающие на протяжении всего фанерозоя деструктивные процессы, которые продолжились и в плейстоцене, в результате деятельности ледников. В результате мы имеем сокращенный разрез четвертичных отложений, характерными представителями которого являются морены, флювиогляциальные и лимногляциальные отложения, находящиеся в тесном парагенезе. При платформенном тектоническом режиме в обоих озерах продолжают молодые геодинамические движения, существенно влияющие на характер рельефа и распространение покрова современных осадков, в составе которого преобладают нефелоидные фации. Озеро Байкал, несмотря на его более выраженную гипсометрию, имеет существенно более молодой возраст котловины, тектонический по определению, причем интенсивность неотектонических движений во многом сохраняется и в настоящее время. В отличие от европейских озер на протяжении всего времени развития здесь господствовали процессы накопления осадочных образований, а четвертичный покров представлен практически всеми его подразделениями. Именно отличия в характере развития привели и к значительным различиям в составе четвертичных генетических подразделений. Наряду с мощными нефелоидными отложениями здесь развиты осадки гравитационного генезиса, вплоть до потоковых образований. В Байкале были описаны контуриты, которые в принципе отсутствуют на Северо-Западе РФ. Во многом это связано с более обильным поступлением в байкальскую котловину обломочного материала. В тоже время, определенную роль в седиментогенезе играют и ледниковые образования, особенно в северной части озера Байкал.

Несмотря на разницу в географическом положении все три озера располагаются в сходных ландшафтных зонах, а именно в пределах преимущественно различных по видовому составу, но таежных ландшафтах. При этом морфологические признаки всех трех озер сохраняют глубокие отличия.

**Благодарность.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-77-00206, <https://rscf.ru/project/24-17-00206/>

### **Литература**

1. Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения, 2014, № 58, С.22-32.
2. Байкал в цифрах: краткий справочник / Сиб. отделение РАН, Иркутский научный центр, Байкальский музей; сост. А. А. Бухаров. Иркутск: 2001. 72 с.
3. Биске Г.С., Лукашов А.Д., Экман И.М. О связи котловин крупнейших озер Северо-Запада СССР с тектоникой // Новейшие и современные движения земной коры восточной части Балтийского щита. Петрозаводск:1974. С. 35–42

4. Буслов М.М., Геодинамическая природа Байкальской рифтовой зоны и её осадочного выполнения в мел-кайнозойское время: эффект дальнего воздействия Монголо-Охотской и Индо-Евразийской коллизий//Геология и геофизика,2012, т.53, №9, с. 1245 – 1255.
5. Вологина Е.Г., Воробьева С.С., Кулагина Н.В. Реконструкция голоцен-позднеплейстоценового осадконакопления на Академическом хребте (оз. Байкал) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2009, Том 1, №1, С. 35-47.
6. Вологина Е.Г., Штурм М., Радзиминович Я.Б. Состав донных осадков оз. Байкал, отобранных в районе ст. Шарыжалгай Кругобайкальской железной дороги // Известия Ирк. Гос. Ун-та. Серия «Науки о Земле». 2014. Т. 7. С. 75-83
7. Зоненшайн Л.П., Казьмин В.Г., Кузьмин М.И. Новые данные по истории Байкала: результаты наблюдения с подводных обитаемых аппаратов // Геотектоника, 1995, №3. с. 46 – 58.
8. Логачёв Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика, 2003, т. 44, № 5, с. 391–406.
9. Мац В.Д. Байкальский рифт: плиоцен (миоцен) – четвертичный эпизод или продукт длительного развития с позднего мела под воздействием различных тектонических факторов. Обзор представлений // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6. № 4. С. 467–489. doi:10.5800/GT-2015-6-4-0190
10. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. и др. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: Строение и геологическая история. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001, 252 с.
11. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минералогия) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.
12. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям / Д. А. Субетто, Н. А. Белкина, В. Д. Страховенко и др., Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2022. 331 с.
13. Савельева Л. А., Рыбалко А.Е., Иванова А. В., Беляев П.Ю., Субетто Д.А., Кузнецов В.Ю. Новые данные по биостратиграфии поздне- и послеледниковых отложений Онежского озера // Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Всерос. Науч. конференция, Ростов Великий, 25–26.08.2023, М.: ИГ РАН, 2023, С.123-132.
14. Свириденко Л. П., Светов А. П. Валаамский силл габбро-долеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 123 с.
15. Файзулина З.Х., Козлова Е.П. Результаты палинологического изучения третичных отложений, вскрытых глубоким бурением // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. М.: Недра, 1966. С. 362–366.
16. Bezrukova E., Bukharov A., Bychinsky V., Fedenya S., Gelety V., Goreglyad A., Gorokhov I., Gvozdikov A., Ivanov E., Kalmychkov G., Kerber E., Khakhaev B., Khomutova M., Khursevich G., Kochukov V., Krainov V., Kravchinsky V., Kudryashov N., Kulagina N., Kuzmin M., Letunova P., et al. A new Quaternary record of regional tectonic, sedimentation and paleoclimate changes from drill core BDP-99 at Posolskaya Bank, Lake Baikal // Quaternary International 136 (2005) 105–121
17. Khlystov O.M., Poort J., Mazzini A., Akhmanov G.G., Minami H., Nachikubo A., Khabuev A.V., Kazakov A.V., De Batist M., Naudts L., Chensky A.G., Vorobeva S.S. Shallow-rooted mud volcanism in Lake Baikal // Marine and Petroleum Geology 102 (2019) 580–589  
Khlystov O.M., Khabuev A.V., 2024. "Novosibirsk" Mud Volcano and Evidence of Its Activations (Lake Baikal) // Geodynamics & Tectonophysics 15 (1), 0739. doi:10.5800/GT-2024-15-1-0739
18. Khlystov O.M., Khabuev A.V., 2024. "Novosibirsk" Mud Volcano and Evidence of Its Activations (Lake Baikal) // Geodynamics & Tectonophysics 15 (1), 0739. doi:10.5800/GT-2024-15-1-0739