

## ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ

УДК 556

### СВЯЗЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ, ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ РЕЛЬЕФА И ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

**Е. И. Игнатов<sup>1,2</sup>, Е. В. Борщенко<sup>2</sup>, А. Л. Загоскин<sup>1</sup>, И. В. Землянов<sup>2</sup>,  
А. Ю. Санин<sup>1,2</sup>, П. Н. Терский<sup>1,2</sup>, М. О. Фатхи<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова*

<sup>2</sup> *Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова, Москва*

В работе отражены методы исследований, позволившие произвести типизацию и районирование побережий Онежского озера, разработать морфогенетическую классификацию его берегов, а также выявить унаследованные связи истории развития рельефа региона и современной динамики берегов Онежского озера в условиях разнообразной хозяйственной деятельности человека. Проведено обобщение имеющихся фондовых и литературных материалов, в том числе специализированных и общегеографических карт, а также данных дистанционного зондирования. Проанализированы результаты проведенных в течение 2014–2015 гг. полевых исследований на 18 ключевых участках, представляющих большинство районов побережья Онежского озера, в том числе и все участки с высокой степенью антропогенной нагрузки. На суше и на подводном береговом склоне выполнено георадиолокационное (георадарное) и акустическое профилирование, что позволило уточнить строение чехла рыхлых отложений, а в некоторых случаях и его мощность. Поверхность дна изучалась при помощи подводной фотосъемки и гидролокации бокового обзора. Выделено семь типов берегов и показано их пространственное распространение, а также типы побережий, охарактеризованы входящие в них районы. Разработаны рекомендации в связи с хозяйственным использованием человеком для каждого типа берега с учетом их динамики, в частности, соотношения абразионных и аккумулятивных процессов. Материалы данной статьи были представлены в Петрозаводске в рамках V Международной конференции молодых ученых «Водные ресурсы: изучение и управление» (Лимнологическая школа-практика) – «Water Resources: Research and Management» (WRRM) 5 сентября 2016 года в виде устного доклада.

**Ключевые слова:** Онежское озеро; донные отложения; морфогенетические типы побережий и берегов; георадиолокационное профилирование; подводная фотосъемка; абразионные и аккумулятивные процессы; природопользование.

**E. I. Ignatov, E. V. Borshchenko, A. L. Zagoskin, I. V. Zemlyanov, A. Yu. Sanin, P. N. Terskiy, M. O. Fathi. CONNECTION BETWEEN THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF LAKE ONEGO REGION, ITS TOPOGRAPHIC EVOLUTION AND THE DYNAMICS OF THE LAKE SHORES**

The article deals with research methods, which have permitted to classify the coasts of Lake Onego, develop a morphogenetic classification of the coasts, and to identify the inherited connections of the history of the region's topographic development and the current dynamics of Lake Onego shores as related to a variety of human activities. The various materials of previous researches, including specialized and general geographical maps, and remote sensing data have been analyzed as well as the results of field research in 18 key areas. The research took place in 2014–2015, the key areas represent a majority of regions of Lake Onego coasts, including all sites exposed to heavy human pressure. Ground penetrating radar (GPR) and acoustic profiling was used on the surface and on underwater coastal slope, which allowed to specify the thickness of loose Quaternary deposits (it ranges from several meters to dozens of meters), to identify strata and determine their number. The bottom was investigated by underwater photography and side-scan sonar surveys. Seven types of coast and their spatial distribution have been determined. Recommendations in relation to human use have been formulated for each type of coast. An oral presentation of the material contained in this article was made in Petrozavodsk at the 5<sup>th</sup> International young scientists conference "Water Resources: Research and Management" (WRRM) (Limnological school-practice) on September 5, 2016.

**Keywords:** Lake Onego; bottom sediments; morphogenetic types of coasts and shores; GPR profiling; underwater photography; abrasion and accumulation processes; land use.

---

## **Введение**

Онежское озеро, одно из крупнейших озер Карелии, играет огромную роль в развитии промышленно-хозяйственного и рекреационно-туристического потенциала этого региона, водохозяйственного обеспечения прибрежных городов и населенных пунктов, а также воднотранспортных связей между Белым и Балтийским морями. В настоящее время главной проблемой природопользования является водоснабжение населения и промышленных объектов чистой водой и сохранение озера как резервуара запасов чистой воды для использования будущими поколениями. Однако современное состояние акватории Онежского озера, его берегов и водосборного бассейна находится в критическом положении по ряду морфогенетических и экологических признаков.

В настоящее время в результате изменения уровня Онежского озера и активизации интенсивности хозяйственной деятельности (в том числе рекреационной) возрастает актуальность типизации берегов Онежского озера и изучения их динамики, на которую оказывают влияние как природные, так и антропогенные факторы. Характер изменения берегов определяется морфометрическими характеристиками берега и подводного берегового склона, интенсивностью волнения, зависит от

геологического строения региона и истории развития его рельефа.

## **Обзор предыдущих исследований**

Большинство предшествующих исследований концентрировались либо на смежной с Онежским озером территории суши, либо на изучении дна Онежского озера, определении особенностей строения донных отложений водоема. Последним, в частности, занимались Н. И. Семенович [1973], Д. Д. Квасов [История..., 1990] и А. А. Макарьев с коллегами [Геологическая съемка..., 2002], Д. А. Субетто [Субетто, 2009; Субетто, Прыткова, 2016] и др. Онежскому озеру посвящено меньшее количество исследований в сравнении с Ладожским. Тем не менее донные отложения и прилегающая территория (ее физико-географические особенности, геологическое строение, четвертичные отложения) изучены с достаточной степенью детализации, которая была достигнута в ходе многих проведенных в разные годы полевых исследований, подчас весьма трудоемких. Так, в ходе работ, организованных Н. И. Семеновичем [1973], на каждую 1000 квадратных километров поверхности озера было установлено 35 станций. В ходе исследований, организованных в 2014–2015 гг. ГОИН им. Н. Н. Зубова, для достижения поставленных целей донные отложения изучены в пределах ключевых участков [Исследование..., 2015].

Наибольшее внимание в предшествующих работах уделено ледниковому рельефу, что объясняется его преобладанием в водосборе Онежского озера. Однако береговой рельеф и типы берегов, а также их эволюция, динамика и прогноз развития изучены слабо или вообще не отражены в научной литературе. А вопросы, связанные с берегоукреплением и хозяйственным использованием берегов, требуют особого изучения, что обуславливает актуальность данного исследования.

**Цель работы:** выявить унаследованные связи между природными характеристиками, геологическим строением и историей развития побережья и современной динамикой берегов Онежского озера.

### Задачи исследования:

1. Проанализировать результаты, полученные в ходе проведенных полевых исследований, в частности, уточнить литературные данные о донных отложениях в прибрежной акватории на ключевых участках.
2. Произвести типизацию и районирование побережий Онежского озера на морфогенетической основе в связи с особенностями геологического строения и литофациальным составом четвертичных отложений, а также унаследованным состоянием современного рельефа прибрежной территории.
3. Изучить морфологию и динамику берегов Онежского озера.
4. Выделить морфогенетические типы берегов Онежского озера.
5. Оценить берега Онежского озера по актуальности берегоукрепительных работ в зависимости от вида их хозяйственного использования.

### Материалы и методы

В исследовании использованы:

- фондовые и опубликованные литературные данные;
- материалы полевых работ, проведенных авторами;
- топографические, тематические (геологические, четвертичных отложений, геоморфологические и т. д.) и навигационные карты различного масштаба;
- данные дистанционного зондирования Земли.

Методы исследования:

- сравнительно-географический, сопоставление различных районов побережья Онежского озера и типов берегов;



Рис. 1. Ключевые участки, на которых авторами проводились экспедиционные и стационарные мониторинговые исследования

- картографический;
- метод географических обобщений;
- метод полевых исследований и наблюдений;
- географическое районирование на основе системного подхода;
- метод ключевых участков (ключей).

Ключевые участки, выбранные для данного исследования (рис. 1), представляют собой фрагменты берегов с различной степенью антропогенного освоения. К ним относятся кутовые части бухт, в которых расположены Петрозаводск, Медвежьегорск и другие города и поселки, а также участки береговой зоны, подверженные наиболее активным динамическим изменениям.

Районом исследования являются берега и побережья Онежского озера, но детальными полевыми работами авторов пока практически не охвачен Заонежский полуостров и частично восточное побережье Онежского озера, хотя уникальность берегов и прибрежных ландшафтов указанных территорий не подлежит сомнению, как и необходимость их учета для типизации берегов Онежского озера и рельефа региона. Для них, в силу отсутствия собственных данных, на настоящем этапе работы авторы использовали фондовые материалы



Рис. 2. Результаты подводной съемки и сонограмма для бухты Рыбрека. Слева – сонограмма, на которой прослеживаются валуны (галька в таком масштабе неразличима). Справа – фотографическое изображение дна, в частности мелких валунов и гальки

и литературные сведения. Тем более что об этих районах имеется материал с достаточно высокой степенью детализации, обобщенный в результатах предшествующих исследований [Филимонова, Лаврова, 2015; и др.]. Таким образом, результаты, представленные в настоящей статье, получены как на основе полевых исследований, так и за счет анализа фондового и литературного материала, который имел огромное значение для решения поставленных задач.

Одним из наиболее значимых этапов полевых работ стало геолого-геофизическое обследование берегов и подводного берегового склона озера. Оно включало в себя два основных типа работ: исследование структуры поверхности дна при помощи структурного сканера Lowrance StructureScan LSS-1 и подводную фото- и видеосъемку. Структурный сканер позволяет получить визуальную информацию о структуре поверхности дна с возможностью оценки линейных размеров находящихся там объектов, а фотоснимки – определить генезис и состав слагающего дно материала и объектов на дне.

В процессе движения приборный комплекс создавал сонограмму, включавшую в себя визуальную информацию о структуре дна в зоне прохождения судна, а также данные геопозиционирования. Пример сонограммы для бухты Рыбрека, совмещенной с результатами подводной фотосъемки, приводится на рисунке 2. Такое же сопоставление было проведено для всех остальных ключевых участков.

Фотоснимки позволяют непосредственно наблюдать разнообразие донных грунтов – их состав, крупность, характер сложения и степень покрытости наилком, а сонограмма – характер

их залегания и текстуру сложения на участках большой площади, а также инородные объекты, которые могут косвенно свидетельствовать об интенсивности и направленности процессов переформирования дна на подводном береговом склоне.

Например, сплошные песчаные донные отложения с выраженными микроформами рельефа (рифелями) свидетельствуют о процессах аккумуляции влекомых наносов на подводном береговом склоне. Скопление затонувших бревен (оставшихся от лесосплава) на валунной отмостке, покрытых наилком, иллюстрирует относительно стабильное состояние подводного берегового склона с выраженными сезонными седиментационными процессами. Пример результатов подводной съемки приводится на рисунке 3.

Разнообразие донных грунтов в обобщенном виде отражено на картах, составленных ранее [Семенович, 1973; Макарьев и др., 2002; Исследование..., 2015; и др.].

Примененная методика исследований, равно как и полученный опыт работы с задействованным оборудованием, могут быть использованы для будущих работ на Онежском озере и других акваториях.

Для изучения новейших отложений на ключевых участках проведено «георадарное» (георадиолокационное) профилирование верхних слоев осадка на суше до глубины 4–5 метров, а также донных отложений на подводном береговом склоне до этих же глубин. Также было осуществлено профилирование прибрежной зоны суши и подводного берегового склона с использованием профилографа. Приборная база – георадар ОКО-2, акустический профилограф Knudsen 3214 Chirp.

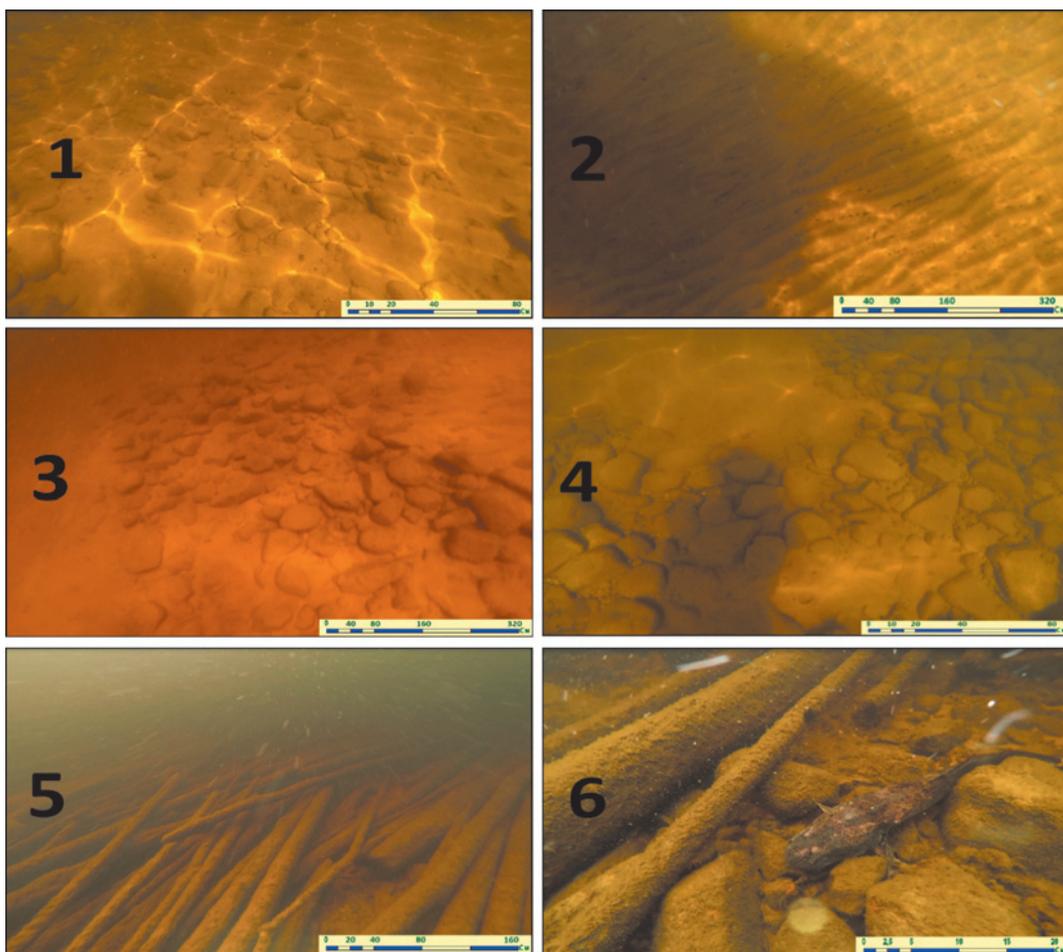


Рис. 3. Некоторые результаты применения подводной съемки: 1 – устье реки Водла, песчано-галечный грунт; 2 – губа Большая, песчаный грунт, рифели; 3 – бухта Рыбрека, галька, мелкие валуны, песок; 4 – бухта Гиморецкая, галька, мелкие валуны, песок; 5 – акватория около поселка Кварцитный, затонувшие бревна; 6 – акватория около поселка Каскесручей, крупные валуны, затонувшие бревна

Однако в связи с трудоемкостью вышеупомянутых полевых исследований для определения мощности донных отложений используются косвенные методы и анализ фондовых материалов, содержащих в том числе и данные по бурению в различных частях исследуемого региона. Их применение представляется целесообразным для обладающего уникальными физико-географическими характеристиками побережья восточной и северной части Онежского озера (в частности Заонежский полуостров), слабо охваченного полевыми исследованиями.

### Результаты и обсуждение

Анализ литературных и фондовых материалов показывает, что большая часть берегов Онежского озера сложена устойчивыми к абразионным процессам докембрийскими кристаллическими

породами, как правило, скрытыми чехлом четвертичных осадочных отложений. В южной части кристаллический фундамент имеет палеозойский возраст, четвертичные отложения отличаются несколько большей мощностью и разнообразием. На побережье северной части Онежского озера в ряде случаев кристаллический фундамент обнажается либо он прикрыт маломощным слоем четвертичных отложений. Здесь, по сути, сочетаются два разных генетических типа рельефа: формы, сложенные кристаллическими породами, и формы, сложенные породами четвертичного возраста. Первые распространены в западной части, где сформировался типичный сельговый денудационно-тектонический рельеф [Филимонова, Лаврова, 2015], покров четвертичных отложений часто отсутствует. В восточной и южной части полуострова расположена моренная полого-холмистая местами друмлинизированная равнина. Разная устойчивость

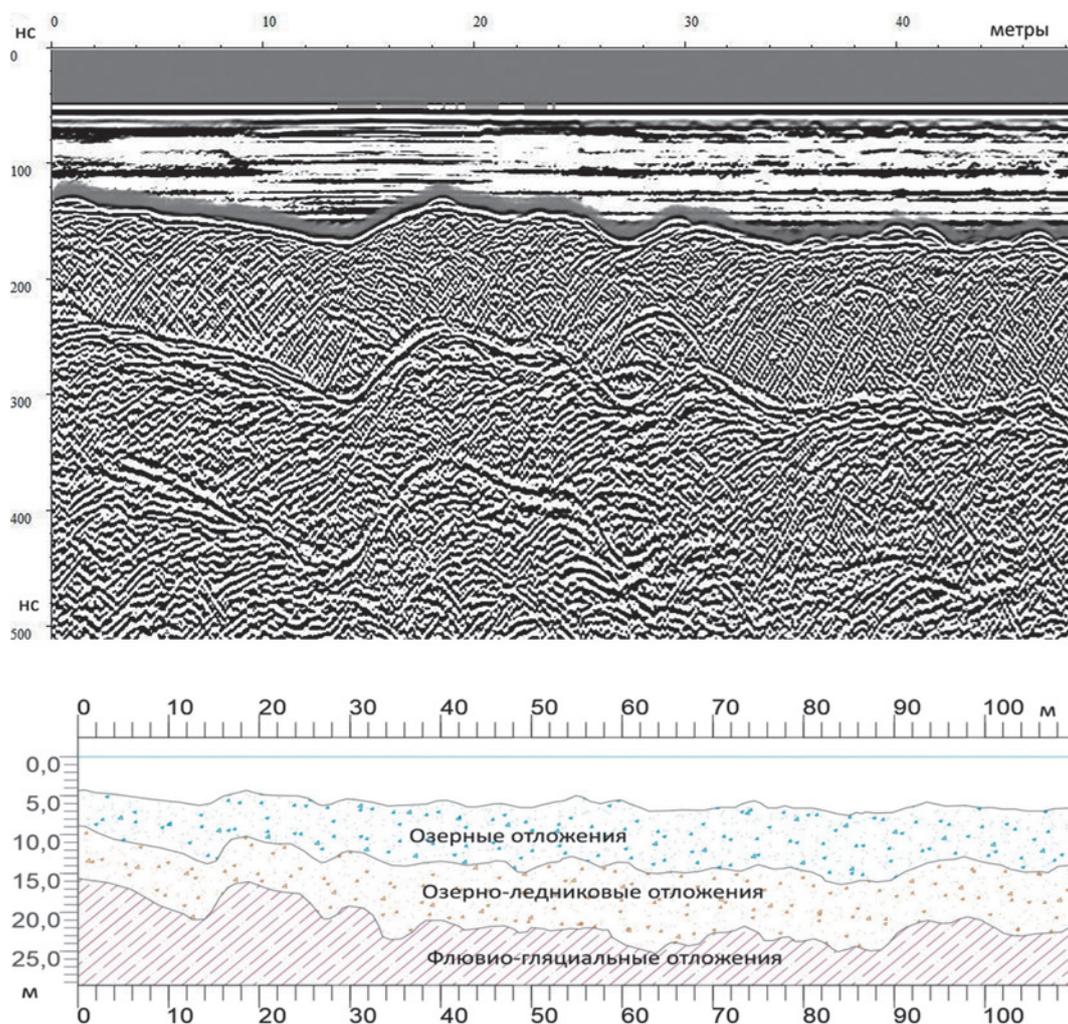


Рис. 4. Пример георадарного профиля пляжа (фрагмент) и его интерпретация. Исполнитель: Загоскин А. Л. Местоположение профиля: мыс Андомский

горных пород к выветриванию и характер дизъюнктивных нарушений привели к значительным разбросам относительных высот форм рельефа на небольших площадях. Разнообразие рельефа увеличивает рекреационную привлекательность территории в сочетании с имеющимися культурными и историческими памятниками.

В последнее время для решения целого ряда как теоретических, так и прикладных задач все чаще применяется георадиолокационное зондирование. Оно позволяет на небольших глубинах до 15–20 метров в пресноводных бассейнах или на суше изучить строение верхней части чехла четвертичных пород до глубины 5–7 метров и более или до цоколя кристаллического фундамента (см. рис. 4).

В ряде случаев такой способ удобнее применяемого для подобных исследований сейсмоакустического метода, использование которого часто малоэффективно или вовсе невозможно [Старовойтов и др., 2016].

В результате георадиолокационного и акустического профилирования, которое осуществлено на большинстве ключевых участков (см. рис. 1), выявлено, что наиболее часто в пределах верхних 4–5 метров отложений фиксировались два-три их типа, часто различных по генезису. Иногда типов отложений было больше, либо менее чем в 5 метрах от поверхности фиксировался цоколь коренных пород. Положение границ между разными типами отложений и их мощность изменяется как в пределах отдельно взятого профиля, так и от профиля к профилю, даже если они расположены близко друг к другу. Смена отложений во многих случаях происходит как по глубине, так и по длине профиля. Разнообразие типов отложений объясняется сложной голоценовой и доголоценовой историей развития рельефа региона.

Профилирование показало, что мощность пляжевых отложений обычно невелика – не более 0,5 метра (за исключением дюнных

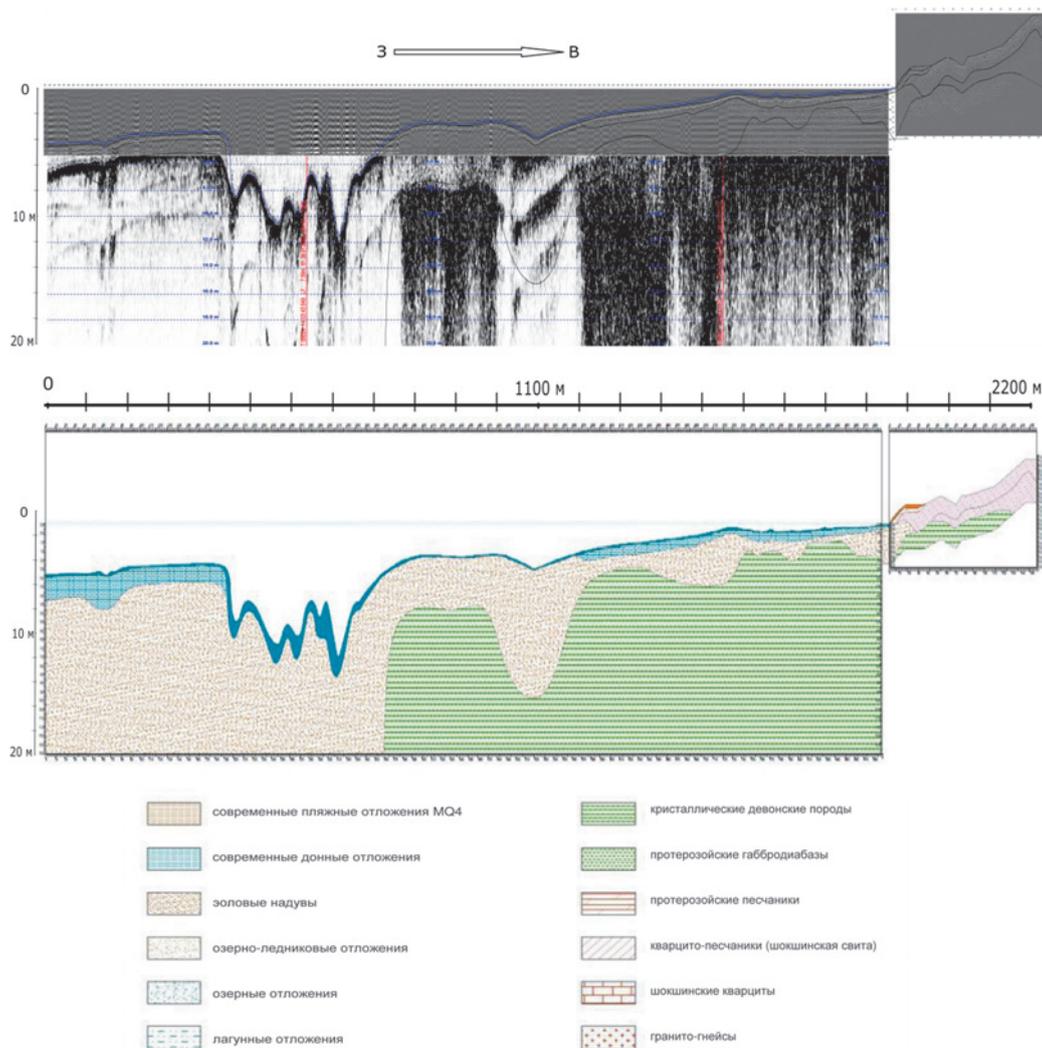


Рис. 5. Пример георадарного профиля, совмещенного с акустическим профилированием пляжа (фрагмент), и его интерпретация. Исполнители: Загоскин А. Л., Терский П. Н. Местоположение профиля: бухта Деревянская

поясов), что указывает на уязвимость пляжей в случае заметного подъема уровня озера или добычи строительного материала в береговой зоне. Разнообразие четвертичных отложений на суше обуславливает их особенности на смежном с урезом озера подводном береговом склоне и повышает разнообразие типов берегов в каждом из районов Онежского озера.

Примеры полученных профилей показаны на рисунках 4 и 5.

На побережье северной части Онежского озера на небольших, 2–4 метра, глубинах встречаются коренные дочетвертичные породы. В остальных районах они не встречались до глубины 5 метров или обнаружены лишь на части длины профиля, что вполне согласуется с фондовыми данными, указывающими на то, что в среднем мощность четвертичных

отложений составляет 10–20 метров и более. Именно различия в мощности четвертичных отложений, которые в целом в большей степени подвержены абразии или размыву, во многом обуславливают преобладание слабоизмененных берегов в северной части Онежского озера и их незначительную долю в остальных районах. Дочетвертичные породы представлены различными гранитами и диоритами, габбро, габбродиоритами, диорит-порфиридами и др., с минералогической точки зрения они достаточно разнообразны и чаще всего устойчивы к абразии.

### Морфология и типы побережий и берегов

Проведенные исследования в совокупности с анализом фондовых материалов

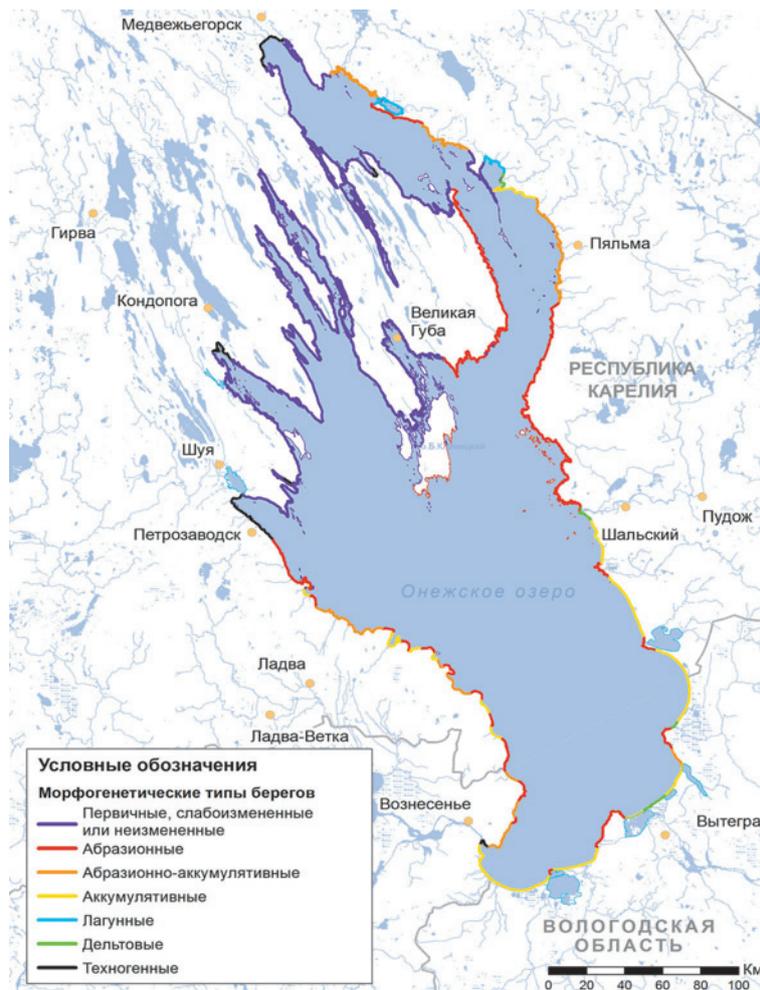


Рис. 6. Карта морфогенетических типов берегов Онежского озера

и литературных сведений позволяют выполнить морфогенетическую типизацию и районирование побережья и берегов Онежского озера. Выделенные районы существенным образом отличаются друг от друга по морфологии и генетическим особенностям рельефа и типам берегов, их динамике, геологическому строению и мощности чехла рыхлых отложений, изменчивости ландшафтов, условиям хозяйственного освоения и природопользования. Существенные отличия по происхождению и свойствам характерны и для рельефа дна прибрежной акватории (что выявляется при анализе построенных профилей и данных полевых исследований).

По данным Г. С. Бискэ с коллегами [1971], в истории развития современного рельефа территории особое значение приобретает послеледниковый этап. В этот период происходит завершение унаследованного формирования современного рельефа. Важную роль в его преобразовании сыграл тренд изостазийного

тектонического поднятия, начавшегося после отступления ледника и продолжающегося в настоящее время. Это привело к образованию многочисленных дизъюнктивных деформаций и дифференцированному преобразованию морфоструктурного плана территории.

На основании изучения геологического строения, четвертичных отложений, рельефа территории и современной динамики берегов осуществлена морфогенетическая типизация и составлена карта типов берегов Онежского озера (рис. 6).

Для различных физико-географических районов Прионежья составлена характеристика типов побережий.

**Для южного побережья от истока реки Свирь до устья реки Вытегра** характерны низменные заболоченные равнины, преимущественно озерные аккумулятивные. Местами встречаются участки с абразионно-аккумулятивными берегами, для Свири характерны техногенные. Из всех районов здесь в наибольшей

степени распространены лагунные берега. Району свойственна низменная прилегающая территория суши, относительно хорошая разработанность речных долин, повсеместный достаточно мощный чехол рыхлых четвертичных отложений, преимущественно ледниковых и озерно-ледниковых. Наличие Онежского обводного канала оказывает заметное влияние на рисунок речной сети, «отсекая» речные бассейны от озера. В восточной части района находится крупное Мегрское озеро, отделенное от Онежского озера косой.

**Восточное побережье, включая Водлинскую низменность, характеризует озерно-аллювиальный тип.** Распространен к северу от устья Вытегры и Андомской возвышенности до Беломорско-Балтийского канала и Повенецкого залива. В прибрежной зоне много разной величины лагунных озер ледникового происхождения. Болота региона в большинстве случаев являются заросшими озерами. Имеются широкие пляжи с развитыми золовыми формами рельефа, в частности дюнами.

Преобладают аккумулятивные берега, в том числе дельтовые (реки Черная, Андома и др.). В северной части района многочисленны острова, для которых характерны слабоизмененные берега. Развиты также абразионные, например, берега Андомской горы размываются со скоростью 1,5–2 метра в год.

**Структурно-тектонический денудационный тип побережья** расположен в западной части Онежского озера между рекой Свирь на юге и Петрозаводской губой на севере. Для него характерна высокая степень обнаженности коренных пород с наличием многочисленных структурно-тектонических образований, подверженных интенсивной денудационной препарировке и выветриванию. Берега в основном сложены коренными породами и крупнообломочным материалом из продуктов их выветривания и разрушения.

**Фиардово-шхерный тип Онежского побережья** занимает северную часть прибрежной зоны озера, включая заливы Большое Онего и Заонежский. Для него характерны формы рельефа, образованные в результате действия ледниковой и экзарационно-тектонической препарировки геологических структур в местах, ослабленных дизъюнктивными дроблениями. Разломная тектоника, ориентированная в субмеридиональном направлении с северо-запада на юго-восток, предопределила и положение ледниковых языков выпавивания. В результате экзарационно-тектонические лотки образовали густую сеть параллельно расположенных фиардов – относительно узких заливов, глубоко

вдающихся в сушу северной части Онежского побережья. Разнообразие формирующих берега коренных пород на данной территории, их разные физико-механические свойства и наличие гранитоидных куполов способствовали проявлению избирательной экзарации и образованию многочисленных экзарационно-тектонических останцов в виде больших и малых островов из «бараньих лбов», «курчавых» скал, луд или звонцев. В этих районах фиарды осложнены шхерами из густой сети таких островов.

Для прибрежной зоны Онежского озера были выделены следующие районы.

**Район 1. Южное побережье, от устья Свири до устья Вытегры.** Преобладают аккумулятивные и лагунные берега, встречаются абразионно-аккумулятивные. В целом берега этого района в наибольшей степени, в сравнении с берегами всех остальных районов, изменены волновыми процессами, первичные и абразионные берега здесь практически отсутствуют.

**Район 2. Восточное побережье от устья Вытегры до устья Водлы.** Преобладают абразионно-аккумулятивные и аккумулятивные берега, встречаются дельтовые, например в районе устья Водлы, а также лагунные берега. Андомский мыс и смежные с ним участки берега – абразионные. Впадающие в озеро крупные реки Водла, Андома, Черная и другие вносят существенный вклад в баланс наносов.

**Район 3. Западное побережье от Петрозаводска до устья Свири.** Берега как абразионные, так и аккумулятивные. Преобладают абразионные и абразионно-аккумулятивные. В северной части района имеются также дельтовые берега.

**Район 4. Кондопожская губа, Петрозаводская губа и берег между ними.** В этом районе преобладают абразионно-аккумулятивные, а также мало измененные озером берега. Береговая линия изрезана, типичны «бараньи лбы». В кутовых частях губ имеются техногенные берега, особенно они характерны для Петрозаводска и ближайших окрестностей. У многочисленных островов внутри губ и между выходами из них берега также слабоизмененные. В Кондопожской губе встречаются дельтовые берега. В пределах района, протяженность которого сравнительно невелика, протекают две из пяти крупнейших рек, впадающих в Онежское озеро, – Шуя и Суна. На северном побережье Петрозаводской губы и южном Кондопожской часто встречаются выходы дочетвертичных пород.

В Кондопожской губе расположено большое количество островов и подводных банок, навигация осложнена лудами. Губа характеризуется

значительным внутренним разнообразием рельефа: северное побережье занято ледниково-денудационным крупногрядовым, на южном берегу многочисленны выходы нижнепротерозойских коренных пород, имеются также участки грядового рельефа и равнины озерного, флювиального и биогенного происхождения. На Кондопожском полуострове встречаются камы.

Для этого района характерна интенсивная хозяйственная деятельность в связи с прохождением здесь железной дороги, а также осуществлением добычи полезных ископаемых.

**Район 5. Северо-Западное Прионежье, залив Большое Онего.** В данном районе наиболее сложный и разнообразный рельеф, десятки крупных островов (Большой Туль, Мижостров, Илем и т. д.) и множество мелких. Как для островов, так и для остальной территории характерно преобладание слабоизмененных или неизмененных берегов, что связано с многочисленными выходами кристаллических пород и относительно слабым волнением.

Выходы коренных пород, местами представляющие собой острова или участки берегов, слабо измененных озером, встречаются повсеместно. Многие острова являются полузатопленными озами. Типичны «бараньи лбы» со следами хорошо выраженной ледниково-экскавационной обработки.

**Район 6. Заонежский полуостров, от острова Большой Климецкий до северной окраины Заонежского залива.** Берега сильно изрезаны, но в меньшей степени, чем в заливе Большое Онего. Для большей части полуострова характерны слабоизмененные или неизмененные берега, на восточном побережье преобладают абразионные. Характерны глубоко вдающиеся в сушу заливы, образовавшиеся в результате разрывных нарушений под влиянием оглаживающего действия ледника (к примеру, губы Святуха и Уницкая). В заливах волнение сильно ослаблено. Типичны «бараньи лбы» с хорошо выраженной ледниковой шлифовкой и штриховкой.

**Район 7. Повенецкий залив.** Берега залива изрезанные. В морфогенетическом отношении они, несмотря на сравнительно малую площадь залива, очень разнообразны. Значительная их часть первичные, часто встречаются абразионные берега. Между Медвежьегорском и Повенцом преобладают аккумулятивные. Непосредственно в окрестностях этих городов, а также на участке Беломорско-Балтийского канала имеются техногенные берега.

Таким образом, берега Онежского озера подразделяются на семь морфогенетических типов: первичные, слабоизмененные или

неизмененные; абразионные; абразионно-аккумулятивные; аккумулятивные; лагунные; дельтовые; техногенные.

Первичные берега характерны главным образом для Заонежья, то есть для участков береговой линии с отсутствием волнения или очень слабыми волнами, обусловлены чаще всего выходами кристаллических пород. Абразионные распространены повсеместно, за исключением южной части озера, характерны для всех побережий, кроме низменных и прилегающих к речным дельтам. Аккумулятивные преобладают на южном и восточном побережье, встречаются на западном, чаще всего характерны для низких, слабонаклоненных участков примыкающей суши, либо для тех, которые сложены легко размываемыми породами. Абразионно-аккумулятивные представляют собой промежуточный тип между двумя вышеназванными и распространены повсеместно, кроме Заонежского полуострова и залива Большое Онего, где встречаются очень редко. В ряде случаев они представляют собой абразионно-аккумулятивные дуги с мысами, блокированными наваленными около уреза валунами.

Разнообразие типов берегов Онежского озера во многом определяется неодинаковой устойчивостью их к абразионной деятельности волн. Отмечено, что «формирование берегов наиболее интенсивно происходит в начальный период возникновения водоема и по мере образования береговой отмели, гасящей энергию волн, затухает, усиливаясь лишь в многоводные годы. На озерах – с их многовековой историей – в современный период этот источник осадкообразующего материала не имеет существенного значения» [Субетто, Прыткова, 2016]. Однако значительная часть берегов Онежского озера относятся к слабоизмененным, где берег блокирован выходами коренных кристаллических пород или защитную роль выполняет валунно-галечная отмостка, сформировавшаяся на подводном склоне.

Заметное влияние на динамику берегов оказало строительство Свирской ГЭС в 1953 году, повлекшее за собой подъем уровня вод озера примерно на полметра. Это не могло не отразиться и на соотношении берегов различных типов. Берега реагируют на такие изменения по-разному, но есть тенденция к увеличению доли абразионных берегов и переходу абразионно-аккумулятивных в абразионные. Повышение уровня Онежского озера примерно на полметра привело к схожим последствиям. На абразионных и абразионно-аккумулятивных берегах усилились процессы абразии или размыва. Пляжи, которые сформировались на

Типы берегов Онежского озера, характерные динамические процессы, географическое распространение и рекомендации по хозяйственному использованию

Тип берега	Географическое распространение и характерные динамические процессы	Рекомендации по хозяйственному использованию
Первичные слабоизмененные	Очень слабый абразионный процесс. Распространены в северной части озера в пределах фиардово-шхерного типа побережья.	Динамика берегов в данном случае не несет угрозу инженерным сооружениям, соответственно, их можно строить и эксплуатировать без учета береговой динамики.
Абразионные	Абразия или размыв берегов разной степени активности встречается повсеместно.	Мониторинг для тех участков, где в непосредственной близости от уреза имеются инженерные сооружения: расчет скоростей отступления, при необходимости – берегоукрепительные работы.
Абразионно-аккумулятивные	Образование бухтовых абразионно-аккумулятивных систем, формирование фрагментарных пляжей – не шире 10–15 метров. Чаще всего встречаются на западном побережье.	Мониторинг для тех участков, где в непосредственной близости от уреза имеются инженерные сооружения: расчет скоростей отступления берега и берегоукрепительные работы, в частности подсыпка пляжей.
Аккумулятивные	Аккумулятивные процессы, ведущие к формированию пляжей различной ширины; вдоль береговой линии перенос наносов с соседних участков, поступающих с реками и в ходе абразии и размыва. Чаще всего встречаются на восточном побережье, развиты и на южном.	На подобных участках может иметь место обмеление, и это нужно учитывать при судоходстве; пляжи являются естественной защитой берега от размыва, в случае наличия около уреза инженерных сооружений не рекомендуется изъятие грунта.
Лагунные	Так как лагуны отделены от открытого озера пересыпями, то таким берегам динамические процессы практически не свойственны. Распространены на южных и восточных берегах.	Берега являются стабильными, что позволяет не считаться с близостью уреза в ходе хозяйственной деятельности.
Техногенные	В целом динамические процессы находятся в руках человека; имеет место воздействие озера на берегоукрепительные сооружения, в некоторых случаях – аккумулятивные процессы. На смежных с укрепленными участками берегах может активизироваться низовой размыв.	Необходим мониторинг за состоянием берегоукрепительных сооружений и за смежными участками берега, особенно при наличии там инженерных объектов.
Дельтовые	Как для берега, так и для подводного берегового склона характерны потоки наносов различной интенсивности; такие участки являются источниками их поступления. Характерны аккумулятивные процессы приустьевой зоны впадающих рек. Распространены в устьях крупных рек.	Данный тип берегов отличается особой динамичностью, что необходимо учитывать в хозяйственной деятельности. На смежной с такими участками акватории может иметь место обмеление, которое нужно учитывать при судоходстве.

аккумулятивных и абразионно-аккумулятивных берегах, во многих случаях частично или даже полностью были уничтожены, что способствовало переходу части аккумулятивных берегов в тип абразионно-аккумулятивных, а последних, в свою очередь, в абразионные.

Реакцию берегов на изменение уровня озера определяют уклоны подводного берегового склона и прилегающей суши, волновой режим, величина подъема уровня вод озера, а также горные породы, которыми сложен береговой уступ.

Скорость отступления берегов в ходе абразионных процессов может достигать нескольких десятков сантиметров в год и более, это определяется параметрами волн (высотой, направлением и т. д.), составом берегоформирующих пород, морфологией подводного берегового склона, наличием или отсутствием пляжа, высотой клифа.

Типы берегов Онежского озера с характерными для них динамическими процессами, их географическое распространение и рекомендации по хозяйственному использованию приводятся в таблице.

Наибольшей динамичностью обладают абразионные, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные и дельтовые берега. При этом на разных участках берега она неодинакова. Там, где имеет место активная абразия, например, в районе Андомской горы, где берега отступают со скоростью 1,5–2 метра в год, в случае наличия инженерных сооружений вблизи уреза воды озера необходимы берегоукрепительные работы. Чтобы остановить процесс разрушения берегов и уничтожения этого памятника природы и населенных пунктов, расположенных на вершине Андомской горы, необходимо сооружать вдоль берегов каменные набросы или подводные фильтрационные волноломы. Для принятия

решения об осуществлении берегоукрепительных работ и выборе способа берегоукрепления нужны дополнительные исследования.

В защите, по всей видимости, нуждаются участки берегов, использование которых является приоритетным в рекреационных целях и которые в то же время подвержены активным абразионным процессам. Может возникнуть необходимость в берегоукрепительных работах для тех абразионно-аккумулятивных и особенно абразионных участков берегов, на которых расположены сооружения и дороги. Наибольшие опасения вызывают населенные пункты, дороги и объекты промышленного природопользования (как, например, поселок Выгойнаволок на южной окраине Петрозаводска), расположенные в непосредственной близости к урезу воды озера. На крупномасштабных картах видно, что достаточно близко к берегу расположены поселки Каскесручей, Кварцитный в бухте Шокша, Деревянное в Уйской губе, Ежины, Кюршево, Климовское. Но в них чаще всего объекты транспортной и селитебной инфраструктуры расположены на некотором расстоянии от берега – в нескольких десятках метров и дальше, что делает маловероятным в ближайшее время повреждение и разрушение их вследствие волнового воздействия со стороны озера.

К объектам транспортного природопользования, кроме автомобильных дорог, которые нечасто проходят вблизи уреза озера, относятся порты и причалы. Если всем остальным вышеперечисленным сооружениям угрозу несет лишь абразия и (или) размыв берегов, то для портов и причалов дополнительной проблемой является заносимость.

## Выводы

Берега Онежского озера разнообразны, их происхождение, морфология и динамика тесно связаны с морфогенетическими особенностями становления рельефа побережий и их типами. Унаследованный режим развития доголоценового рельефа побережий отразился на современном этапе формирования берегов Онежского озера.

Наиболее консервативные условия функционирования берегов свойственны для фьордово-шхерных и структурно-тектонических типов побережий. В пределах этих районов берега обладают наибольшей устойчивостью и не подвержены существенным изменениям.

Из выделенных семи типов берегов наиболее активные динамические процессы свойственны абразионно-аккумулятивным и особенно абразионным. Для последних отмечены

различные скорости абразии, от первых сантиметров до 1–1,5 метра в год, в зависимости от силы волнового воздействия, высоты берегового уступа, морфометрических параметров подводного берегового склона и наличия или отсутствия пляжа. При хозяйственном использовании таких берегов необходимо учитывать набор динамических процессов и их активность, характерные для каждого типа берега.

Подъем уровня озера вследствие строительства Свирской ГЭС привел к возрастанию процента абразионных берегов, равно как и к активизации процессов абразии или размыва, на них протекающих.

Из всех типов берегов Онежского озера в укреплении нуждаются, главным образом, абразионные и абразионно-аккумулятивные, значительная часть которых слабо освоены человеком, особенно на восточном побережье. В пределах городов многие участки берегов превращены в техногенные, однако берегоукрепление в некоторых случаях необходимо. На участках с активной абразией в нем есть потребность при наличии любых инженерных сооружений в непосредственной близости от уреза воды. Аккумулятивные процессы, происходящие в береговой зоне, также должны учитываться при хозяйственном освоении, так как они могут создавать серьезные трудности для навигации и функционирования портовых сооружений.

## Литература

Бискэ Г. С., Лукашов А. Д., Лак Г. Ц., Горюнова Н. Н., Ильин В. А. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1971. 74 с.

Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. Москва: Изд. АН СССР, 1962. 711 с.

Исследование современного состояния и качества вод Онежского озера: Отчет о НИР (заключительный) по ГК № 31/14 от 16.09.2014 / ФГБУ «ГОИН». Руководитель И. В. Землянов. М., 2015. 622 с.

История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Отв. ред. Д. Д. Квасов (Академия наук СССР, Ин-т озероведения). Ленинград: Наука, 1990. 280 с.

Макарьев А. А., Погорельский А. И., Макарьева Е. М. и др. Геологическая съемка масштаба 1:500 000 для Онежского озера (Geological survey of scale 1:500 000 for Lake Onega). М.: ФГУП ПМГРЭ, 2002. 396 с.

Семенович Н. И. Донные отложения Онежского озера. Л.: Наука, 1973. 104 с.

Старовойтов А. В., Токарев М. Ю., Марченко А. Л., Субетто Д. А., Рыбалко А. Е., Алешин М. И. Возможности георадиолокации при изучении чет-

вертикальных отложений // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 5. С. 62–75. doi: 10.17076/lim268

Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. 343 с.

Субетто Д. А., Прыткова М. Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 90 с.

Филимонова Л. В., Лаврова Н. Б. Палеогеография Заонежского полуострова в позднем плейстоцене и голоцене // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 30–47. doi: 10.17076/bg22

Поступила в редакцию 17.10.2016

## References

Biske G. S., Lukashov A. D., Lak G. Ts., Goryunova N. N., Il'in V. A. Stroenie i istorija kotloviny Onezhskogo ozera [The structure and history of the Lake Onega depression]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1971. 74 p.

Filimonova L. V., Lavrova N. B. Paleogeografija Zaonezhskogo poluostrova v pozdnem plejstocene i golocene [Paleogeography of the Zaonezhsky Peninsula in the Late Pleistocene and Holocene]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. of KarRC of RAS]*. 2015. No. 4. P. 30–47. doi: 10.17076/bg22

*Issledovanie* sovremennoho sostojanija i kachestva vod Onezhskogo ozera: Otchet o NIR (zakljuchitel'nyj) po GK № 31/14 ot 16.09.2014 / FGBU "GOIN" [Research on the current state and quality of Onega Lake water: research report (final) in accordance with the GC № 31/14 dated 16.09.2014 / FSBI "SOI"]. Rukovoditel' I. V. Zemljanov [Head I. V. Zemlyanov]. Moscow: Izd. AN SSSR, 2015. 622 p.

*Istorija* Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Bajkala i Hanki [The history of Lakes Ladoga, Onega, Pskovskoye-Chudskoe, Baikal and Khanka]. Ed. D. D. Kvasov (Acad. of Science of the USSR, Institute of Limnology). Leningrad: Nauka, 1990. 280 p.

Makar'ev A. A., Pogorel'skii A. I., Makar'eva E. M. *i dr.* Geologicheskaja s'emka masshtaba 1:500000 dlja

Onezhskogo ozera [Geological survey of Lake Onega. Scale 1:500000]. Moscow: FGUP PMGRE, 2002. 396 p.

Semenovich N. I. Donnye otlozhenija Onezhskogo ozera [Bottom sediments of Lake Onega]. Leningrad: Nauka, 1973. 104 p.

Starovoitov A. V., Tokarev M. Yu., Marchenko A. L., Subetto D. A., Rybalko A. E., Aleshin M. I. Vozmozhnosti georadiolokacii pri izuchenii chetvertichnyh otlozhenij [GPR potential for studying the Quaternary sediments]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. of KarRC of RAS]*. 2016. No. 5. P. 62–75. doi: 10.17076/lim268

Subetto D. A. Donnye otlozhenija ozer: paleolimnologicheskie rekonstrukcii [Bottom sediments of lakes: paleolimnological reconstruction]. St. Petersburg: Izd-vo RGPU im. A. I. Gertsena, 2009. 343 p.

Subetto D. A., Pрыткова М. Я. Donnye otlozhenija raznotipnyh vodoemov [Bottom sediments of water bodies of different types]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2016. 90 p.

Zenkovich V. P. Osnovy uchenija o razvitii morskikh beregov [Foundations of sea coasts dynamics]. Moscow: Izd. AN SSSR, 1962. 711 p.

Received October 17, 2016

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Игнатов Евгений Иванович

заведующий лаб. геоморфологии морских берегов, д. г. н., проф.  
МГУ им. М. В. Ломоносова  
Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991  
эл. почта: ign38@mail.ru

### Борщенко Евгения Вадимовна

старший научный сотрудник, к. г. н.  
Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова  
Кропоткинский пер., 6, Москва, Россия, 119034  
эл. почта: ev.borshchenko@gmail.com

### Загоскин Алексей Леонидович

инженер  
Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова  
Кропоткинский пер., 6, Москва, Россия, 119034  
эл. почта: zagoskin.alex@gmail.com

## CONTRIBUTORS:

### Ignatov, Evgeny

Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskiye Gory, 119991 Moscow, Russia  
e-mail: ign38@mail.ru

### Borshchenko, Evgenia

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute  
6 Kropotkinsky Per., 119034 Moscow, Russia  
e-mail: ev.borshchenko@gmail.com

### Zagoskin, Aleksey

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute  
6 Kropotkinsky Per., 119034 Moscow, Russia  
e-mail: zagoskin.alex@gmail.com

**Землянов Игорь Владимирович**

заведующий лаб. автоматизированных систем, к. ф.-м. н.  
Государственный океанографический институт  
им. Н. Н. Зубова  
Кропоткинский пер., 6, Москва, Россия, 119034  
эл. почта: ivz@geocentre.ru

**Санин Александр Юрьевич**

младший научный сотрудник, к. г. н.  
Государственный океанографический институт  
им. Н. Н. Зубова  
Кропоткинский пер., 6, Москва, Россия, 119034  
эл. почта: eather86@mail.ru

**Терский Павел Николаевич**

научный сотрудник, к. г. н.  
Государственный океанографический институт  
им. Н. Н. Зубова  
Кропоткинский пер., 6, Москва, Россия, 119034  
эл. почта: pavel\_tersky@mail.ru

**Фатхи Михаил Олегович**

младший научный сотрудник  
Государственный океанографический институт  
им. Н. Н. Зубова  
Кропоткинский пер., 6, Москва, Россия, 119034  
эл. почта: o.miel@mail.ru

**Zemlyanov, Igor**

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute  
6 Kropotkinsky Per., 119034 Moscow, Russia  
e-mail: ivz@geocentre.ru

**Sanin, Aleksandr**

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute  
6 Kropotkinsky Per., 119034 Moscow, Russia  
e-mail: eather86@mail.ru

**Terskii, Pavel**

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute  
6 Kropotkinsky Per., 119034 Moscow, Russia  
e-mail: pavel\_tersky@mail.ru

**Fatkhi, Mikhail**

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute  
6 Kropotkinsky Per., 119034 Moscow, Russia  
e-mail: o.miel@mail.ru