

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 911.52:574.58

**ПОДВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ ОСТРОВОВ МАНТСИНСААРИ
И ЛУНКУЛАНСААРИ В ЗОНЕ РИФЕЙСКИХ ПОДНЯТИЙ
В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА**

© 2021 г. Д. С. Дудакова^{a, *}, В. М. Анохин^{a, b, c, **}, Ш. Р. Поздняков^{a, ***},
М. О. Дудаков^a, С. Н. Юдин^d

^aИнститут озерадения РАН, Санкт-Петербург, Россия

^bСанкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

^cРоссийский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

^dООО «Кивиярви», Петрозаводск, Россия

*e-mail: judina-d@yandex.ru

**e-mail: vladanokhin@yandex.ru

***e-mail: lake@limno.org.ru

Поступила в редакцию 15.09.2020 г.

После доработки 29.01.2021 г.

Принята к публикации 02.03.2021 г.

В июне 2019 г. с помощью необитаемого подводного аппарата проведено подводное видеопрофиле-
рование, совмещенное с эхолотированием между двумя крупными островами Валаамско-Салмин-
ской островной дуги Ладожского озера — Мантсинсаари и Лункулансаари — для картографирования
подводных ландшафтов. Исследования велись методом ключевых участков. Их итогом стала циф-
ровая модель, на основании которой выявлено значительное структурное разнообразие (13 фаций,
различающихся типом донных отложений), микрорельеф дна и состав биоты. Фации сгруппированы в
3 типа урочищ, различающихся геологическим, геоморфологическим строением и — частично — соста-
вом биоты. Обнаружены существенные различия в размерах площадей выделенных фаций. Простран-
ственное распределение и плотность ландшафтообразующих видов водной флоры и фауны неодн-
наковы в разных урочищах, что важно учитывать при оценке биологических ресурсов и кормовых
запасов. Полученные данные дают возможность на новом уровне проводить изучение простран-
ственных характеристик популяций отдельных крупных ландшафтообразующих видов бентоса и
перифитона Ладожского озера.

Ключевые слова: подводные ландшафты, ландшафтная модель, острова Мантсинсаари и Лункулан-
саари, Валаамско-Салминская островная дуга, Ладожское озеро, подводное видеопрофиле-
рование

DOI: 10.31857/S2587556621030043

ВВЕДЕНИЕ

Изучению донных ландшафтов крупных озер со сложным геологическим строением и разно-
родным рельефом в настоящее время уделяется
недостаточно внимания, в отличие от морских и
океанических исследований. Последние с каж-
дым годом все более расширяются и дают обилие
информации (Gustafson, 1998; Annual..., 2019; Pit-
man, 2018), позволяющей проводить зонирование
донных природных комплексов для решения раз-
личных задач (Пенно, 2014; Harris, Baker, 2012;
Seafloor..., 2020). Приоритетными задачами явля-
ются: оценка биоресурсов, создание схем рацио-
нального природопользования на акватории,
учет последствий антропогенного воздействия
(Митина, 2005; Seelbach, 2002). Крупные озера
являются объектами питьевого водоснабжения. В

связи с этим особую актуальность приобретают
экологически ориентированные лимнологиче-
ские исследования с использованием ландшафт-
ного подхода. Результаты этих исследований поз-
воляют делать обоснованный выбор методологии
рационального воздействия на экологическую
ситуацию (Hawkins, 2000; Learning..., 2017). Ланд-
шафтный подход дает возможность простран-
ственного учета ресурсов (биологических и мине-
ральных) и площадей антропогенного воздей-
ствия.

В практике изучения ландшафтов котловины
Ладожского озера известно лишь выделение
крупных региональных ландшафтных единиц.
В.И. Гуревич (1995) на основании изучения всей
акватории Ладожского озера (масштаб 1 : 500000)
выделил десять ландшафтных физико-географи-

ческих районов и дал характеристики каждого из них. Однако такое крупное ландшафтное деление не дает возможности применения ландшафтных карт для осуществления природно-хозяйственных и экологических оценок на локальных участках акватории. С 2017 г. авторами разрабатывается методика исследования донных ландшафтов озера разных уровней (вплоть до фаций) (Дудакова, 2014; Дудакова и др., 2018), опирающаяся на классические методы подводных ландшафтных исследований (Митина, 2005; Петров, 1989; Поляков, Преображенский, 1980; Harris, Baker, 2012; Learning..., 2017). В данной работе представлены результаты, полученные с применением разработанных подходов.

История развития Ладожского озера влияет на состояние донных ландшафтов (Субетто, 2009; Lebas et al., 2021, Subetto et al., 1998). Одним из элементов, формирующих специфику рельефа котловины озера в северной его части в зоне взаимодействия двух крупнейших геологических структур — Балтийского щита и Русской платформы, является Валаамско-Салминская островная гряда, сформированная валаамским sillом габбро-долеритов (Свириденко, Светов, 2008). Эта субмеридиональная гряда в плане геоморфологии еще слабо изучена (Науменко и др., 2019); не много сведений имеется и по составу биологических сообществ литоральной зоны островов, входящих в ее состав (Барбашова, Курашов, 2011; Курашов, Дудакова, 2011; Распопов, 2011), а также элементов глубоководной зоны валаамского силла (Ладога..., 2013). Более подробно здесь изучены заливы и склоновые участки о. Валаам — самого крупного в этом островном архипелаге (Зуев, Зуева, 2013; Науменко и др., 2019; Saarnisto, 2018).

В то же время, детальных исследований в акватории таких крупных островов, как Мانتсинсаари и Лункулансаари, находящихся в восточном отроге валаамского силла, не проводилось. Эти два острова, а также близлежащий современный берег Ладоги также недостаточно исследованы и в палеолимнологическом отношении, хотя работы Т.В. Сапелко с соавторами дали новую информацию о ходе ладожской трансгрессии в этом районе (Сапелко и др., 2018). Имеются данные по изучению биоты на точечных станциях (Литоральная..., 2011). В 2013 г. нами было исследовано распределение мейобентоса и проведено картирование на мелководном участке в заливе Лункуланлахти (Дудакова, 2014).

Участок акватории Ладожского озера в районе о-вов Мانتсинсаари и Лункулансаари является интересным объектом для исследования подводных ландшафтов. Район расположен в краевой части Салминского плутона гранитов рапакиви и сложен рифейскими пологопадающими осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями салминской свиты, в состав которых входят пес-

чаники, алевролиты, аргиллиты, туфопесчаники и базальты. Значительная площадь участка сложена пластовой субвулканической интрузией — Валаамским sillом габбро-долеритов (Амантов, 2014). С западной стороны о. Мانتсинсаари подводный рельеф повторяет морфометрические особенности элементов силла, для которых характерен резкий перепад глубин (Свириденко, Светов, 2008). В то же время участок акватории между островами и заливы, обращенные к материковой части, находятся в пределах развития пород с пологим падением слоев, что приводит к постепенному погружению дна до небольших глубин. В северной части участка по данным магниторазведки (Зуйкова, Шилова, 2000) предполагается наличие нижнепротерозойской купольной структуры в эрозионном окне среди рифейских образований. С легко выветриваемыми нижнепротерозойскими сланцами связано понижение в рельефе.

Четвертичные отложения района на материковой части и островах представлены преимущественно озерно-ледниковыми и озерными песками; моренные супесчано-валунные отложения фиксируются только на возвышенностях вблизи выходов коренных пород (Бискэ, 1959; Гаскельберг и др., 1988; Свириденко, Светов, 2008). На возвышенностях вблизи озерного побережья отмечается серия береговых валов высотой 0.5–3.0 м, фиксирующих отступление береговой линии (Максимов, 2015; Сапелко и др., 2018). В отличие от района о-вов Мانتсинсаари и Лункулансаари (Дудакова и др., 2018), вытянутые продольные гряды каменистых ледниковых наносов были отличительным признаком подводных ландшафтов материкового склона восточного берега на плоских и слабонаклонных равнинах, облик которых сформирован поздневендскими и кембрийскими комплексами (Амантов, Амантова, 2014). Таким образом, наличие сложного взаимодействия разновозрастных геологических образований в районе о-вов Мانتсинсаари и Лункулансаари создает уникальность и высокую гетерогенность ландшафтных элементов.

Цель работы — выявить и картографировать подводные ландшафты мелководной части Ладожского озера в районе восточного отрога валаамского силла габбро-долеритов между о-вами Мانتсинсаари и Лункулансаари для решения задач рационального природопользования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работы проводились с 13 по 18 июня 2019 г. на участке акватории Ладожского озера между о-вами Лункулансаари и Мانتсинсаари (рис. 1).

Исследования проведены с использованием известных методик (Митина, 2005; Петров, 1989 и др.).

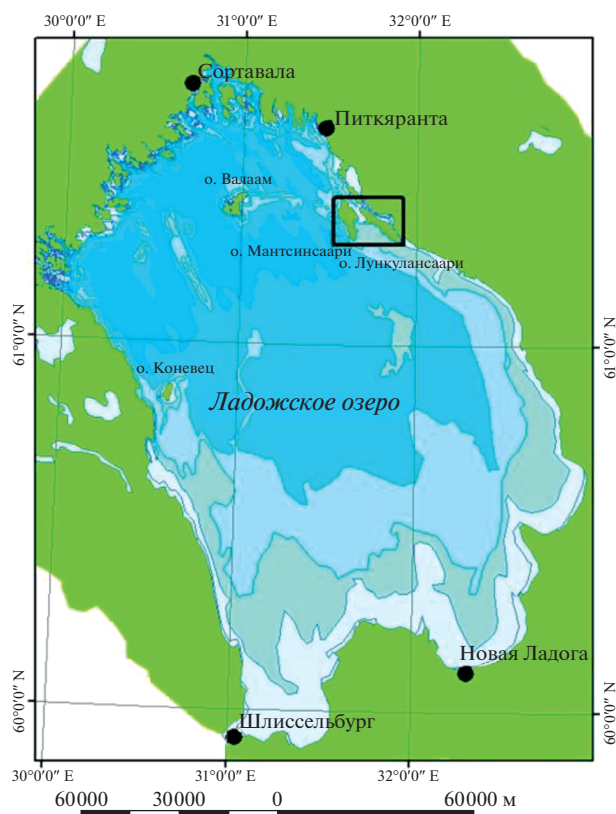


Рис. 1. Схема размещения района исследований.

При детальном изучении ключевых участков выполнено видеопрофилирование, совмещенное с гидроакустической съемкой дна однолучевым эхолотом на нескольких полигонах площадью $300 \times 1500 \text{ м}^2$ (рис. 2, табл. 1).

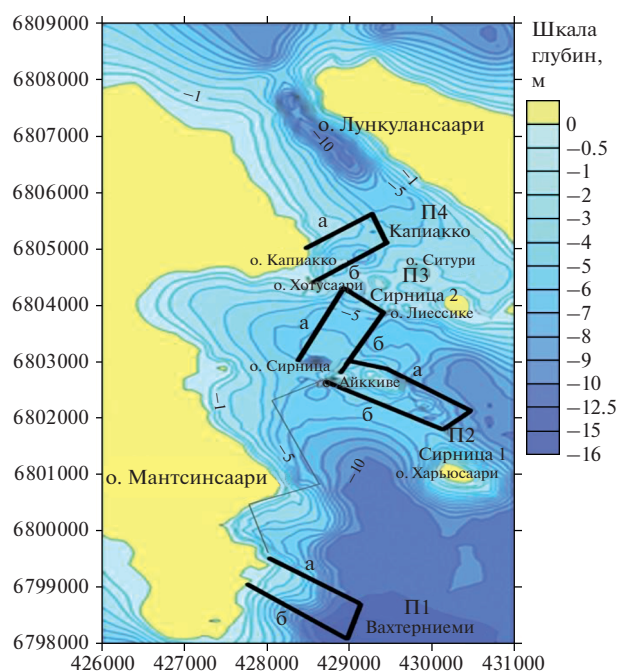


Рис. 2. Схема размещения ключевых участков видео-профилирования.

Для проведения видеопрофилирования использовали необитаемый подводный аппарат *Limnoscout-230*, созданный в Институте озерадения РАН (Дудакова и др., 2018), с установленной на нем видеокамерой Yi 4K. Эхолотирование проведено с помощью кардплоттера-эхолота Garmin-585. При построении батиметрической модели применены собственные данные с эхоло-

Таблица 1. Общая характеристика исследованных ключевых участков и профилей

Профиль	Координаты узловых точек профиля (с.ш., в.д.)	Протяженность профиля, м	Диапазон глубин, м
П1 Вахтерниеми_а	61°17'45.67"С 31°39'38.74"В– 61°17'24.43"С 31°40'32.12"В	1000	0–15.7
П1 Вахтерниеми_б	61°17'32.60"С 31°39'24.05"В– 61°17'13.31"С 31°40'27.37"В	1000	0–12.0
П2 Сирница1_а	61°19'37.16"С 31°40'20.64"В– 61°19'12.22"С 31°42'14.54"В	2000	0–10.0
П2 Сирница1_б	61°19'31.45"С 31°40'1.71"В– 61°19'4.91"С 31°41'56.22"В	1900	0–7.8
П3 Сирница2_а	61°19'37.67"С 31°40'16.90"В– 61°20'9.71"С 31°40'54.34"В	1200	0–6.8
П3 Сирница2_б	61°20'27.49"С 31°40'24.42"В– 61°19'41.63"С 31°39'55.12"В	1400	3.9–5.8
П4 Капиакко_а	61°20'29.54"С 31°39'52.09"В– 61°20'53.89"С 31°40'46.78"В	1100	0–5.0
П4 Капиакко_б	61°20'42.02"С 31°39'52.10"В– 61°21'4.00"С 31°40'37.34"В	1000	0–6.9

та, навигационные карты Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР (1 : 200000, 1 : 50000), Топокарты Министерства обороны СССР (1 : 200000), ВКФ ЛенВО (1992). Для уточнения площадного распределения зарослей тростников и прибрежных песчаных пляжей использована картография программы *Google Earth*. Геологическая основа прибрежной части суши составлена на основе данных цифровой геологической карты масштаба 1 : 500000 (Гуревич, 1995), для акватории — карты дна Ладожского озера, созданные отделом региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ (Амантов, 2014; Максимов, 2015). При уточнении геологического строения участка использованы данные аэромагнитных съемок ГП ПГЭ (Зуйкова, Шилова, 2000).

В камеральных условиях результаты видеонаблюдений оформлены графически в виде ландшафтного профиля, основу которого составляет батиметрическая кривая. Различными условными знаками на профиле отображены элементы геологического строения, фации современных донных отложений, фитоценозы, крупные представители малакофауны и некоторые другие элементы. Вертикальными линиями, разделяющими профиль на серию отрезков, отмечены границы фаций — минимальных единиц ландшафтов, которые с точки зрения биоцентрического подхода соответствуют биотопам. Далее проведено построение ландшафтной картосхемы донных комплексов исследованного участка акватории. Основной единицей горизонтального расчленения ландшафтов выступают урочища. Под урочищем понимается участок дна, связанный с мезоформами рельефа одинаковых по происхождению и составу слагающих пород, развитых в сходных гидрологических условиях, населенных жизненными формами донных организмов, образующих специфичные биоценозы (Панкеева, 2014). Выделенные ландшафтные комплексы на профиле вынесены на батиметрическую карту, где оконтурены участки с одинаковыми параметрами.

Для оценки площадного распространения прибрежных зарослей тростника использовалась как собственная фотовидеосъемка с воздуха с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) *Phantom-2*, так и картографические данные ресурса *Google Earth*. При дешифрировании аэрофотоснимки с БПЛА совмещались с картами *Google Earth*, далее с помощью инструментов программы проводились площадные измерения.

Для целей картирования применены средства программы *Surfer*. При построении моделей пространственных переменных для интерполяции данных выбран метод естественной окрестности “*Natural Neighbor*” (Мальцев, Мухаромова, 2014). Плотность расселения крупных двустворчатых

моллюсков семейства *Unionidae* оценена по числу организмов в кадре, пересчитанных на площадь поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вертикальное расчленение подводных ландшафтов тестовых полигонов. Для составления ландшафтной карты донных комплексов использованы ландшафтные профили по исследованным с помощью подводной видеосъемки полигонам (рис. 3) (представлены отрезки, соответствующие профилям “а” для П1–П3 и “б” — для П4).

Аквальные ландшафты между о-вами Мانتсинсаари и Лункулансаари представлены абразионно-аккумулятивными подводными склонами, с небольшой крутизной (не более 3°), пологими (2°–3°) — в южной, северной части изучаемого участка и у гряды мелких островов в центральной части и плоскими и слабо пологими (0.1°–2°) — в западной части. Абразионные участки относятся к верхней части профиля и сложены валунным материалом, гравием, галькой, щебнем. В южной части о. Мантсинсаари выявлены гряды окатанного обломочного материала, спускающиеся до глубин 12.5 м и простирающиеся в СЗ–ЮВ направлении. Вероятнее всего на дне представлена ледниковая морена, которая обильно встречается на наземной поверхности островов и материковой части (Бискэ, 1959; Ладожское..., 1978). С глубин 4 м отмечаются пески, приуроченные к наиболее пологим и плоским элементам рельефа. С песчаными отложениями связаны несколько форм микрорельефа, отражающие особенности придонной гидродинамики разных частей изучаемого участка акватории. На трех полигонах дно покрыто рифелями — симметричными или слабо асимметричными волнообразными неровностями, образованными в результате воздействия волн или течений (рис. 4а–г). Согласно “Атласу подводных ландшафтов...” (Арзамасцев, Преображенский, 1990), на исследованных полигонах по характеру развития рифелей (отсутствие раздвоения гребней, их обрывание и переход из одного гребня в другой) данные формы микрорельефа следует отнести к ряби течения. Наличие придонных течений можно объяснить сложным морфометрическим строением исследуемого района. Рифели в основном были вытянуты вдоль ЮЗ–СВ направления, что может свидетельствовать о преобладании ЮВ–СЗ течений. Преобладание СЗ течения по результатам измерений с буйковой станции за несколько лет указывается также в (Ладожское..., 2015) для близлежащей к о-вам Мантсинсаари и Лункулансаари части акватории.

На участке (П2 Сирница1), в условиях вытянутой в СЗ–ЮВ направлении равнины, вероятно, происходило перераспределение водных потоков

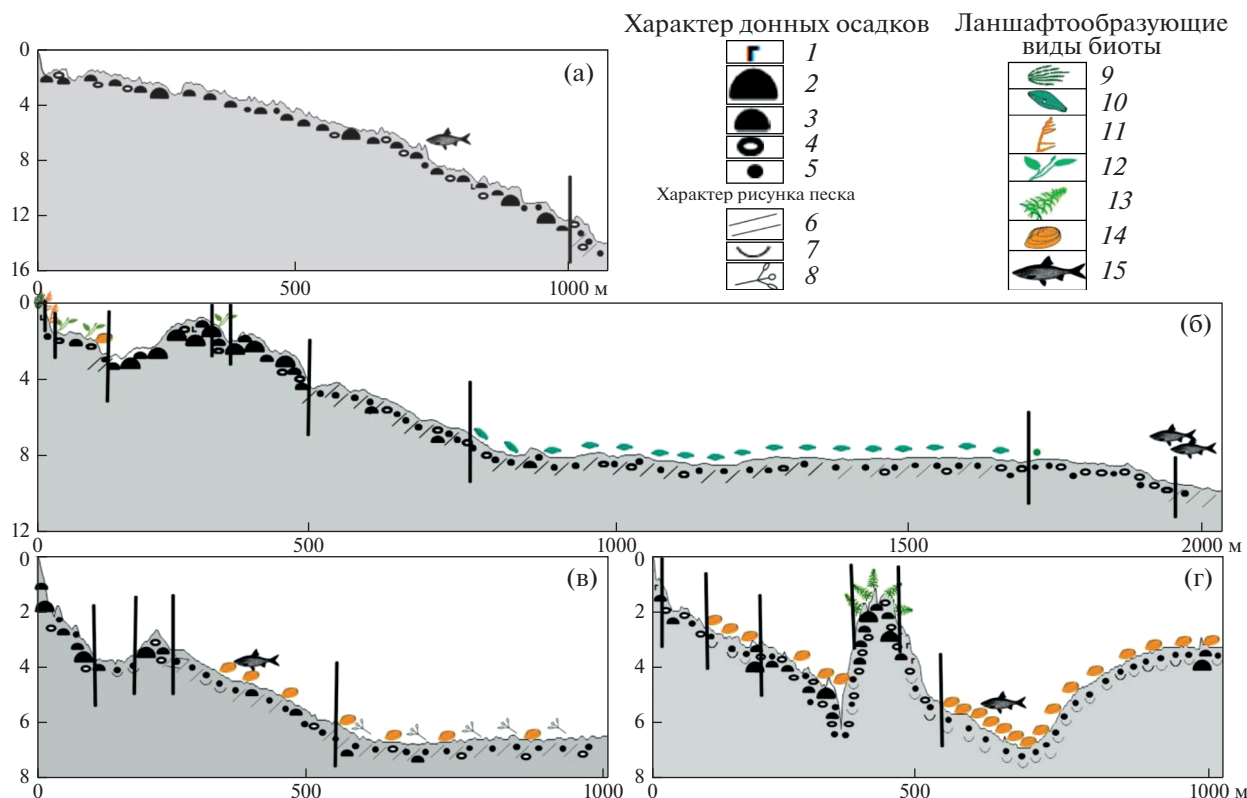


Рис. 3. Ландшафтные профили разных участков исследованной акватории: (а) П1 Вахтерниеми; (б) П2 Сирница 1; (в) П3 Сирница 2; (г) П4 Капиакко. 1 – коренная порода, 2 – крупные валуны и глыбы, 3 – валунчики, 4 – галька и щебенка, 5 – песок, 6 – знаки ряби (рифели), 7 – ямки, 8 – отмершие растительные остатки, 9 – нитчатые водоросли, 10 – водоросли фитосаммона, 11 – тростник, 12 – рдесты, 13 – элодея, 14 – крупные моллюски, 15 – рыба.

вдоль гряды мелких островов, направление которой определяется формой силла. В этих условиях образовался необычный микрорельеф пересекающихся песчаных гребней, при котором поперек основных шли более частые и мелкие гребни (рис. 4в). На последнем полигоне рифели отсутствовали, однако на поверхности дна отмечены ямки не совсем ясной природы (рис. 4д–з). Предположительно, эти ямки являются элементами биоосложненной поверхности: в области их развития отмечена высокая плотность крупных двустворчатых моллюсков и, местами, гастропод, а также многочисленные следы перемещения моллюсков (рис. 4ж–з). Крупные ямки, возможно, частично сформированы рыбой, питающейся бентосными беспозвоночными. Все встреченные у дна во время подводных видеосъемок представители ихтиофауны отмечены в диапазоне глубин от 4 до 8 м в зоне распространения песков (см. рис. 3). На некоторых участках характер поверхности дна осложняется перекрыванием песчаного грунта крупнообломочным материалом – мелкими валунами, галькой и щебнем (рис. 4и–к). На этих участках часто накапливаются крупные растительные остатки (см. рис. 4к).

Развитию макрофитов на мелководье, вероятно, препятствует высокая гидродинамическая активность.

Горизонтальное расчленение. Выделение урочищ при ландшафтном расчленении базировалось на основании четырех основных компонентов: геологического строения и обусловленного им рельефа, типа поверхностных донных осадков, гидродинамического режима и распределения ландшафтообразующих видов гидробионтов (рис. 5).

В пределах обследованного участка выделено три урочища (см. рис. 5г): I. Плоская равнина с пологими бортами в южной части; II. Система хребтов с поднятиями, выходящими на поверхность воды в виде мелких островов в центральной части; III. Суженная ложбина между двумя крупными островами в северно-западной части о. Лункулансаари.

В южном урочище (I) более 75% площади занимает песчаное дно, испытывающее, судя по характеру поверхности, покрытой гребнями ряби течения, значительное гидродинамическое воздействие. Развитие крупной ландшафтообразующей биоты здесь относительно невысокое. Зарос-

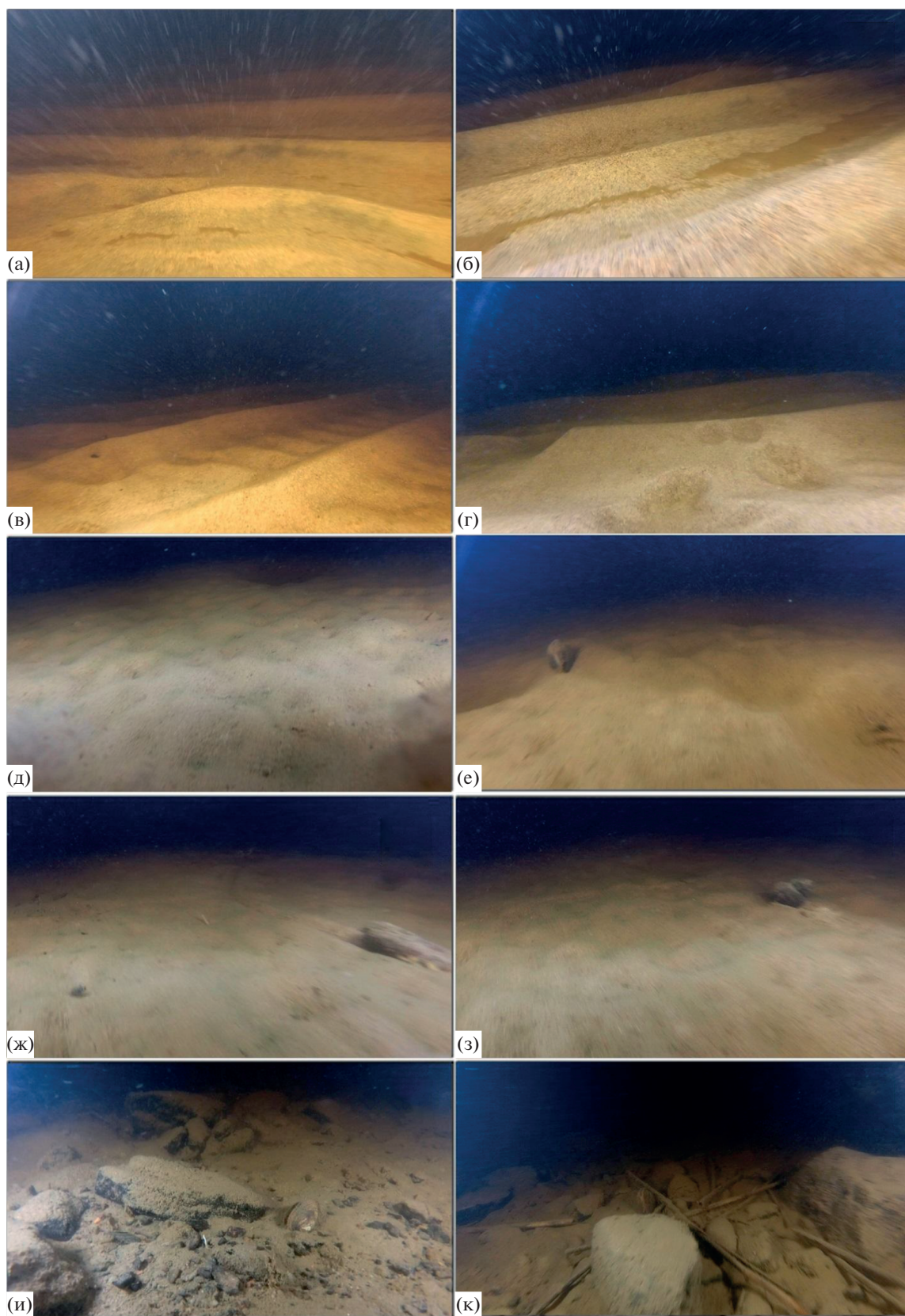


Рис. 4. Характер микрорельефа поверхности песчаного и смешанного грунта.

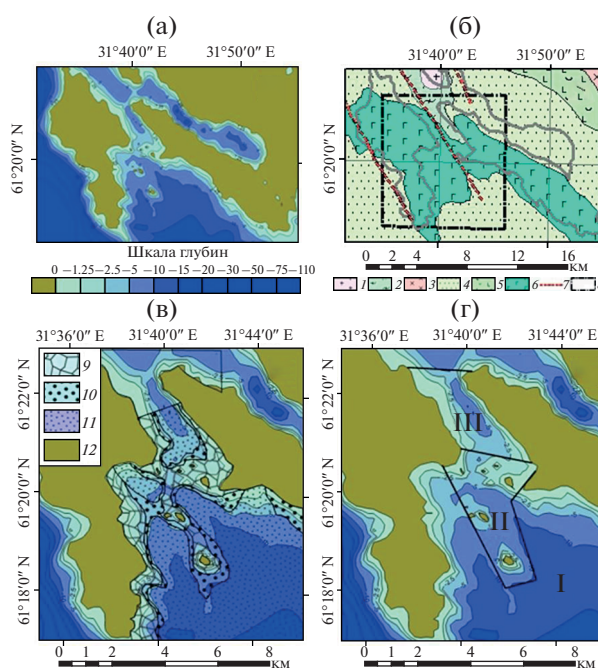


Рис. 5. Компоненты ландшафтной модели (батиметрия (а), геология (б), донные осадки (в)) и картосхема ландшафтов изученного участка акватории (г). Коренные породы: 1 – сланцево-карбонатно-толеитобазальтовые образования в обрамлении куполов, 2 – граниты ядерных частей куполов, 3 – комплекс гранитов рапакиви, 4 – конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, 5 – туфопесчаник-базальтовые образования, 6 – габбро-долеритовый Валаамский комплекс. 7 – разломы; 8 – контур врезки. Рыхлые четвертичные отложения: 9 – крупные обломки на массивах коренных пород, сменяющиеся с увеличением глубины смешанным валунным и мелкообломочным материалом; 10 – галька, щебень и отдельные редкие валуны на песках; 11 – пески, алевропески; 12 – суша. I – южное урочище; II – центральное урочище; III – северо-западное урочище о. Лункулансаари.

ли макрофитов, в частности воздушно-водных видов, таких как тростники, – очень скудные и простираются вдоль береговой линии о. Мантсинсаари узкими редкими полосами и только в зонах заливов; развитие фитоценозов тростников вдоль береговой линии восточной части о. Лункулансаари более выраженное. При видеопрофилеировании погруженных и полупогруженных форм макрофитов не выявлено. В восточной части урочища на довольно больших площадях на глубинах 8 м было отмечено развитие водорослей фитосамона. Однако невыясненным остается физиологическое состояние этих водорослей, были ли это живые организмы или отмершие клетки, скопившиеся в зонах увеличения глубин. С твердым обломочным материалом, слагающим борта равнины, образующей урочище, связано развитие фи-

то- и зооперифитона. На валунах многочисленны небольшие колонии губок (рис. 6). Встречаемость унионид и крупных гастропод, как на каменистом субстрате, так и на песках, редка, что свидетельствует об их низкой роли в ландшафте. Здесь на глубинах более 1 м не отмечено массового присутствия характерных для озера эпибентосных ракообразных – амфипод.

Грядово-островной характер поднятий *центрального урочища* (II) обусловлен геологическим строением (см. рис. 5б). Эта часть является зоной внедрения валаамского силла, породы которого (габбро-долериты) устойчивы к разрушению (рис. 7а, 7б). Уточнение геологической карты исследуемого участка акватории показало, что особенности рельефа дна здесь зависят от вещественного состава дочетвертичных комплексов:

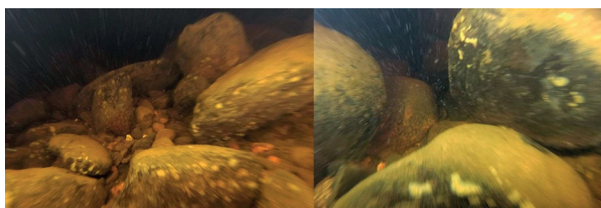


Рис. 6. Колонии губок на валунах.

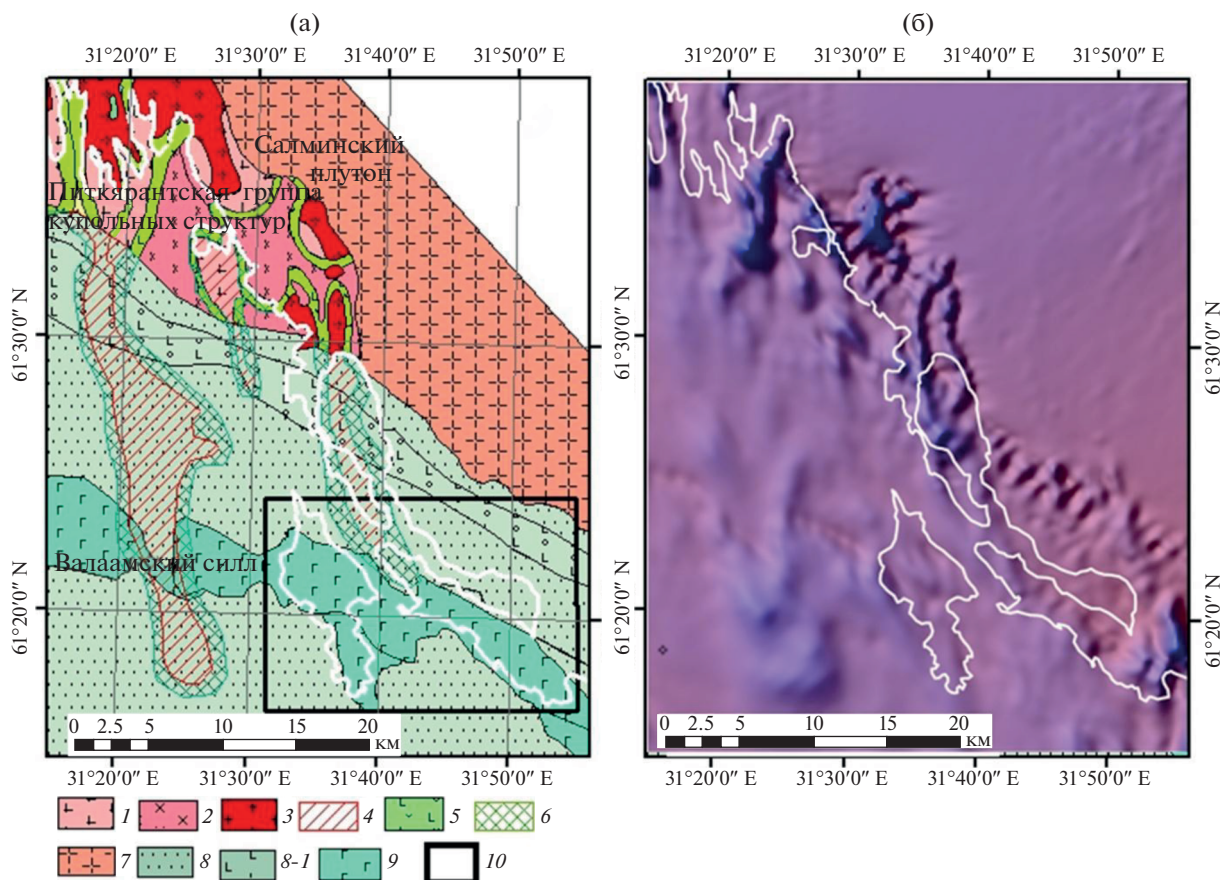


Рис. 7. (а) Геологическая схема северо-восточной части Ладожского озера.

Архей-протерозой. Гранитоиды куполов: 1 – плагиограниты, 2 – гранодиориты, 3 – граниты; в акватории 4 – гранитоиды нерасчлененные (по геофизическим данным). *Нижний протерозой.* Вулканогенно-осадочные образования обрамления куполов: 5 – базальты, андезибазальты, их туфы, доломиты, сланцы графитовые, 6 – сланцы нерасчлененные (по геофизическим данным); *Рифей:* 7 – комплекс гранитов-рапакиви Салминского плутона; 8 – конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты; 8-1 – покровы базальтов; 9 – габбро-долериты Валаамского комплекса; 10 – контур участка исследований.

(б) Карта магнитных аномалий северо-восточной части Ладожского озера (совмещенная: тоновая и теневое рельефа магнитного поля).

осадочных и вулканогенных пород раннерифейского возраста (граниты рапакиви салминского плутона, габбро-долериты пластовой валаамской интрузии) и раннепротерозойских кристаллических образований (см. рис. 7). Контрастный рельеф северной части дна Ладоги также связывают с активным проявлением разломной тектоники (Амантов, 2014; Свириденко, 2019; Свириденко, Светов, 2008). Залегание рифейских образований полого наклонное, близкое к горизонтальному (Амантов, 2014). Колебания рельефа в пределах развития рифея связаны с литологическим составом пород. Раннепротерозойские породы в пределах акватории по составу аналогичны образованиям питкьярантской группы куполов. Ядра куполов сложены гранитами, окаймляются вулканогенно-осадочными образованиями людиковия, смяты в складки с субмеридиональной ориентировкой шарниров, крутым падением слоев. Породы людиковия, раз-

витые по краям куполов, в магнитном поле выделяются интенсивными положительными аномалиями, обусловленными наличием в разрезе высокомагнитных пород: графитистых и пирротинсодержащих метаалевролитов, отдельных горизонтов скарнов и кварцитов. Следует отметить, что эти магнитные аномалии часто приурочены к понижениям в рельефе на суше. В пределах акватории цепочки магнитных аномалий прослеживаются в меридиональном направлении на юг в район исследований (Зуйкова, Шилова, 2000), в целом, совпадая с понижениями рельефа дна озера. С ними, предположительно, связывается наличие сланцев людиковия в эрозионных окнах среди рифейских пород. В северной части участка исследований в углублениях рельефа выявлены магнитные аномалии, ориентированные несогласно к слоистости рифейских пород, интерпре-

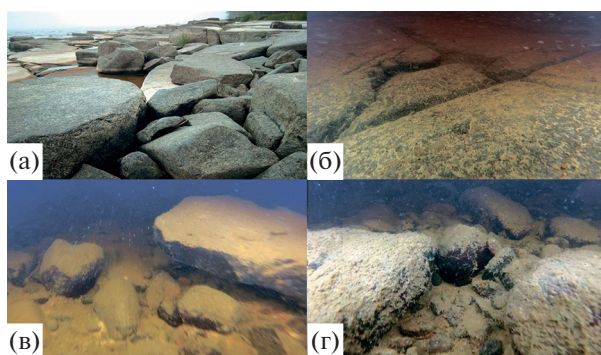


Рис. 8. Надводные и подводные обнажения габбро-долеритов валаамского силла и смешанные обломки на поверхности дна, составленные коренной породой и мореной.

тируемые как нижнепротерозойские и людиковские сланцы.

Преобладающим типом отложений (до 80% площади) в центральном урочище являются обломки разной степени крупности (рис. 8в–г), лежащие на подстилающей коренной породе. Последняя местами также открывается на дне (рис. 8б). Среди макрофитов, помимо тростника, образующего заросли на мелководьях в островных заливах, на небольших глубинах (до 2 м) встречаются виды, относящиеся к погруженным и полупогруженным формам: элодея, рдесты. В составе зооперифитона отмечены колонии губок, однако их количество меньше по сравнению с южным урочищем. Каменистые поверхности во многих случаях покрыты сестоном и бактериально-водорослевыми образованиями (Harrison, Hildrew, 2001). Присутствие таких сообществ эпилитона, по-видимому, препятствовало развитию колоний губок. На мелководье мелких островов до глубин менее 1 м среди каменистых обломков местами встречаются массовые скопления литоральных амфипод *Gmelinoides fasciatus*. Из крупных бентосных видов среди гальки и щебенки отмечены двустворки униониды. Большая их плотность характерна для каменисто-песчаного субстрата глубже 4 м. Наиболее высоким потенциалом биоресурсов обладает зона к северу от гряды мелких островов: максимальная плотность унионид наблюдается в зонах скопления заиленных песков, заполняющих впадины между островами на участках с минимальными значениями гидродинамической активности.

Наименее изученным осталось *северо-западное урочище о. Лункулансаари* (III). Здесь отмечены высокая степень гидродинамического воздействия на дно, высокая мутность и плотность сестона по сравнению с другими частями и отсутствие двустворчатых моллюсков. Однако анализ аэро- и космических снимков указывает на большую роль литоральных макрофитов в этом урочище: гораздо сильнее развиты фитоценозы тростника, что создает основу для более высоких пока-

зателей развития бентоса в прибрежной зоне (Литоральная..., 2011). Исследования в этом урочище требуют продолжения для уточнения характеристик биоты и распределения донных отложений.

Таким образом, сложное взаимодействие коренных пород, выявленное присутствие и распределение четвертичных гляциальных отложений, разнообразие донных осадков и типов их поверхности, гидрологический режим в разных частях акватории, различия в сообществах гидробионтов привели к высокой мозаичности дна и разнообразию фаций (рис. 9).

Площади, занимаемые отдельными фациями, значительно разнятся. Если растительные пояса в прибрежной зоне представлены скудно (фации нитчатки, тростников, рдестов, элодеи — менее 1% от общей площади дна), то песчаные фации более глубоких участков имеют наибольшее площадное распределение (например, фация чистых песков с рифелями занимает 65% площади). Промежуточное положение занимает фация галечно-песчаных отложений с отдельными валунами.

ВЫВОДЫ

1. Для ландшафтов, сформированных на рифейских поднятиях между о-вами Лункулансаари и Мантсинсаари, характерно значительное структурное разнообразие, что в данной работе было показано для валаамского силла габбро-долеритов и интрузий более раннего возраста, различающихся по устойчивости к водной абразии.

2. На исследованном участке выделены тринадцать фаций, различающихся типом донных отложений, микрорельефом дна и составом биоты.

3. Фации сгруппированы в три типа урочищ, различающихся геологическим, геоморфологическим строением и — частично — составом биоты.

4. Обнаружены существенные различия в размерах площадей распространения выделенных фаций.



Рис. 9. Распределение фаций на исследованном участке акватории. Фации: 1 — подводных выходов коренных пород и крупных глыб; 2 — прибрежных коренных пород, глыб и крупновалунных отложений с нитчатыми водорослями на глубинах до 0.5 м; 3 — тростниковых зарослей на песчано-галечно-валунном грунте на глубинах до 1.5 м; 4 — рдестов на песчано-галечно-валунном грунте на глубинах 1.5–2 м*; 5 — прибрежных и мелководных крупновалунных отложений с бактериально-водорослевыми обрастаниями и присутствием элодеи канадской на глубинах до 1.5 м*; 6 — чистых прибрежных и мелководных крупновалунных отложений с колониями пресноводных губок до 2.5 м глубины; 7 — галечно-песчаных отложений с редкими валунами на глубинах до 6 м; 8 — чистых песков со знаками ряби с редкими щебенкой и валунами на глубинах более 4 м; 9 — песков с рифелями с редкими щебенкой и валунами и с водорослями фитосаммона на поверхности на глубинах более 8 м; 10 — песков с рифелями с редкими щебенкой и валунами и с растительным опадом на поверхности, поступающем из верхних горизонтов, на глубинах более 6 м; 11 — песков с ямками на поверхности, заселенными крупными моллюсками на глубинах 3–7 м; 12 — прибрежных песчаных пляжей с серией подводных валов; 13 — моренных валунно-галечных отложений, простирающихся до глубин 12.5 м. * Фации 4 и 5 показаны для участков, исследованных при подводном видеопрофилировании; возможна их большая представленность в прибрежной мелководной зоне исследованного участка акватории.

5. Пространственное распределение и плотность ландшафтообразующих видов водной флоры и фауны неодинаковы в разных урочищах, что важно учитывать при учете биологических ресурсов и оценке кормовых запасов.

Полученные результаты позволят на новом уровне проводить изучение пространственных характеристик популяций отдельных крупных ландшафтообразующих видов бентоса и перифитона в Ладожском озере.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по теме госзадания ИНОЗ РАН № 0154-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера ...”.

FUNDING

The work was performed within the framework of the state assignment of the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, no. 0154-2019-0001 “Comprehensive assessment of the dynamics of the ecosystems of Lake Ladoga ...”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22–32.
- Амантов А.В., Амантова М.Г. Развитие котловины Ладожского озера с позиций ледниковой теории // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 5–14.
- Арзамасцев В.А., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990. 224 с.
- Барбашова М.А., Курашов Е.А. Макрофауна литоральной зоны Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Наука, 2011. С. 219–252.
- Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 308 с.
- Гаскельберг Л.А., Кофман В.С., Горянский В.Ю. Составление геологической карты Карело-Кольского региона и Северо-Запада Восточно-Европейской плиты масштаба 1 : 500000. Л.: ПГО “Севзапгеология”, ТКЭ, 1988. 817 с.
- Гуревич В.И. Районирование донных ландшафтов // Геоэкология Ладожского озера / под ред. В.Л. Иванова и В.И. Гуревича. СПб.: ВНИИ Океангеология, 1995. 210 с.
- Дудакова Д.С. Картирование распределения мейобентоса на участке затишной литорали с высоким видовым богатством макрофитов в восточной части Ладожского озера // География: традиции и инно-

- вации в науке и образовании: Материалы ежегодной Международной науч.-практ. конф. LXVII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 17–20 апреля 2014 г. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. С. 227–231.
- Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Анохин В.М. Опыт применения глубоководного телеуправляемого аппарата для изучения подводных ландшафтов Ладожского озера // Рос. журн. прикладной экологии. 2018. № 4 (16). С. 51–55.
- Зуев Ю.А., Зуева Н.В. Опыт исследования макрозообентоса каменной литорали Ладожского озера // Уч. зап. Рос. Гос. гидромет. ун-та. 2013. № 30. С. 134–147.
- Зуйкова Ю.Л., Шилова Т.М. Геологический отчет, ТЭД, ТЭО, ТЭС. 27064. Составление сводных аэрогеофизических карт на Ладожско-Онежскую площадь в масштабе 1 : 200 000 в 1995–2000 годах. ГП ПГЭ. СПб., 2000. 76 с.
- Курашов Е.А., Дудакова Д.С. Развитие и распределение мейобентосного сообщества в литоральной зоне / Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Наука, 2011. С. 261–275.
- Ладога / под ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 467 с.
- Ладожское озеро (развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины) / отв. ред. Г.С. Биске. Петрозаводск: Карелия, 1978. 208 с.
- Ладожское озеро и достопримечательности его побережья: Атлас / ред. В.А. Румянцев. СПб.: Нестор-История, 2015. 200 с.
- Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е.А. Курашова. СПб.: Нестор-История, 2011. 416 с.
- Максимов А.В. Литологическая карта поверхности дна акватории Государственная геологическая Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 Н.А. / Третье поколение Балтийская серия. Р-(35), 36 (Петрозаводск) / ред. Ю.В. Богданов. Роснедра; ФГУП “ВСЕГЕИ”, 2015.
- Мальцев К.А., Мухарамова С.С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): Учеб. пособие. Казань: Казан. ун-т, 2014. 103 с.
- Митина Н.Н. Геоэкологические исследования ландшафтов. М.: Наука, 2005. 197 с.
- Науменко М.А., Гузиватый В.В., Нестеров Н.А., Субетто Д.А. Морфометрические особенности подводного склона юго-западной части острова Валаам // ДАН. 2019. Т. 486. № 3. С. 371–374.
- Панкеева Т.В., Миронюк О.А., Панкеева А.Ю. Исследования донных ландшафтов прибрежной зоны Тарханкутского полуострова (Крым, Черное море) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 800–805.
- Пенно М.В. Развитие научных представлений о морских ландшафтах // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 166–172.
- Петров К.М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. Л.: Наука, 1989. 126 с.
- Распопов И.М. Видовое и ценоотическое разнообразие высших водных и прибрежно-водных растений в литоральной зоне Ладожского озера / Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Наука, 2011. С. 52–64.
- Сапелько Т.В., Терехов А.В., Амантов А.В. Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера // Регион. геология. 2018. № 75. С. 23–34.
- Свириденко Л.П. Ладожская вулкано-тектоническая структура (геология, вулканоплутанизм, тектоника). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. 98 с.
- Свириденко Л.П., Светов А.П. Валаамский силл габбро-долеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 123 с.
- Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ, 2009. 348 с.
- Annual conference GEONAB 2019. Marine geological and biological habitat mapping: Abstracts (Russia, St. Petersburg, May 13–17, 2019). SPb.: VSEGEI Press, 2019. 240 p.
- Gustafson E. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? // Ecosystems. 1998. V. 1. P. 143–156.
- Harris P.T., Baker E.K. Seafloor Geomorphology as Benthic habitat: GEONAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats – synthesis and lessons learned / P.T. Harris, E.K. Baker (Eds.). GEONAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats (1st ed.). 2012. P. 871–890.
- Harrison S.S.C., Hildrew A.G. Epilithic communities and habitat heterogeneity in lake littoral // J. of animal ecol. 2001. № 70. P. 692–707.
- Hawkins C.P., Norris R.H., Gerritsen J., Hughes R.M., Jackson S.K., Johnson R.K., Stevenson R.J. Evaluation of landscape classifications for biological assessment of freshwater ecosystems: synthesis and recommendations // J. North American Benthological Society. 2000. V. 19. P. 541–556.
- Learning landscape ecology. A practical guide to concepts and techniques / S.E. Gergel, M.G. Turner (Eds.) (2nd ed.). N.Y.: Springer, 2017. 368 p.
- Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Görtz C., Avers T., Subetto D., Naumenko M., Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga // Quat. Sci. Rev. 2021. V. 251. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106637>
- Pitman S. Seascape ecology. Honoken, NJ: Wiley Blackwell, 2018. 495 p.
- Seafloor geomorphology as benthic habitat: GEONAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats (2nd ed.) / P.T. Harris, E.K. Baker (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 2020. 1030 p.
- Seelbach P.W., Wiley M.J., Soranno P.A., Bremigan M.T. Aquatic Conservation Planning: Using Landscape Maps to Predict Ecological Reference Conditions for Specific Waters. In: K.J. Gutzwiller (Ed.). Applying Landscape Ecology in Biological Conservation. N.Y.: Springer, 2002. P. 454–478.

Underwater Landscapes of Mantsinsaari and Lunkulansaari Islands in the Zone of Riphean Uplifts in the Eastern Part of Lake Ladoga

D. S. Dudakova^{1, *}, V. M. Anokhin^{1, 2, 3, **}, Sh. R. Pozdnyakov^{1, ***}, M. O. Dudakov¹, and S. N. Yudin⁴

¹*Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

²*St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

³*Herzen University, St. Petersburg, Russia*

⁴*LLC "Kiviyarvi," Petrozavodsk, Russia*

*e-mail: judina-d@yandex.ru

**e-mail: vladanokhin@yandex.ru

***e-mail: lake@limno.org.ru

In June 2019, using the remotely operated underwater vehicle Limnoscout-230, underwater video profiling combined with sonar in the part of the water area between the two large islands of the Valaam-Salma islands arc of Lake Ladoga—Mantsinsaari and Lunkulansaari—was conducted. The work aims to identify and map underwater landscapes of the Lake Ladoga shallow part in the eastern spur area of the Valaam sill of gabbro-dolerites between Mantsinsaari and Lunkulansaari islands. The research was conducted using the key sites method. The work result was a digital landscape model, which presents a number of bottom landscapes mapped on a bathymetric basis. To identify the vertical distribution of bottom landscapes, landscape profiles were constructed, on which separate facies were distinguished. The analysis of the horizontal stretch and the spatial ratio of facies allowed us to identify three landscapes within the studied area of the water area. Landscapes were distinguished based on four main components: the geological structure and its associated relief, types of bottom sediments, hydrodynamic regime, and bottom biota. The presented landscape model can be used as a reference for the landscape within the eastern spur of the Valaam sill of the gabbro-dolerites. Information on the area distribution of landscape-forming species of bottom flora and fauna between the Mantsinsaari and Lunkulansaari islands is important for accounting for the biological resources and forage reserves of Lake Ladoga, as well as for studying the spatial characteristics of individual populations.

Keywords: underwater landscapes, landscape model, Mantsinsaari and Lunkulansaari islands, Valaam-Salma island arc, Lake Ladoga, underwater video profiling

REFERENCES

- Amantov A.V. Geology of pre-Quaternary formations and tectonics of Lake Ladoga. *Reg. Geol. Metallogeniya*, 2014, no. 58, pp. 22–32. (In Russ.).
- Amantov A.V., Amantova M.G. Development of the Ladoga Lake basin from the positions of glacial theory. *Reg. Geol. Metallogeniya*, 2014, no. 59, pp. 5–14. (In Russ.).
- Annual Conference GEOHAB 2019. Marine Geological and Biological Habitat Mapping: Abstracts. (Russia, St. Petersburg, May 13–17, 2019).* St. Petersburg: VSEGEI Press, 2019. 240 p.
- Arzamastsev V.A., Preobrazhenskii B.V. *Atlas podvodnykh landshaftov Yaponskogo morya* [Atlas of Underwater Landscapes of the Sea of Japan]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 224 p.
- Barbashova M.A., Kurashov E.A. Macrofauna of the littoral zone of Lake Ladoga. In *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral Zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2011, pp. 219–252. (In Russ.).
- Biske G.S. *Chetvertichnye otlozheniya i geomorfologiya Karelii* [Quaternary Deposits and Geomorphology of Karelia]. Petrozavodsk, 1959. 308 p.
- Dudakova D.S. Mapping the distribution of meiobenthos in the area of the lull littoral with high species richness of macrophytes in the Eastern part of Lake Ladoga. In *Geografiya: traditsii i innovatsii v nauke i obrazovanii* [Geography: Traditions and Innovations in Science and Education]. St. Petersburg: RGPU im. Gerzena, 2014, pp. 227–231. (In Russ.).
- Dudakova D.S., Dudakov, M.O., Anokhin V.M. Experience of application of a deep water remotely operated vehicle (ROV) for studying the underwater landscapes of the Lake Ladoga. *Russ. Zh. Priklad. Ekol.*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 51–55. (In Russ.).
- Gaskel'berg L.A., Kofman V.S., Goranskii V.Yu. *Sostavlenie geologicheskoi karty Karelo-Kol'skogo regiona i Severo-Zapada Vostochno-Evropeiskoi plity masshtaba 1 : 500000* [Creating a 1 : 500000 Scale Geological Map of the Karelia-Kola region and the North-West of the East European Plate]. Leningrad: Sevsapgeologiya Publ., 1988. 817 p.
- Gurevich V.I. Zoning of bottom landscapes. In *Geoekologiya Ladozhskogo ozera* [Geoecology of Lake Ladoga]. Ivanov V.L., Gurevich V.I., Eds. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 1995. 210 p.
- Gustafson E. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems*, 1998, vol. 1, no. 2, pp. 143–156.
- Harris P.T., Baker E.K. GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats – synthesis and lessons learned. In *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GEOHAB Atlas of Seafloor Geomorphologic Features and Benthic Habitats*. Harris P.T., Baker E.K., Eds. Elsevier, 2012, pp. 871–890.

- Harrison S.S.C., Hildrew A.G. Epilithic communities and habitat heterogeneity in lake littoral. *J. Anim. Ecol.*, 2001, vol. 70, no. 4, pp. 692–707.
- Hawkins C.P., Norris R.H., Gerritsen J., Hughes R.M., Jackson S.K., Johnson R.K., Stevenson R.J. Evaluation of landscape classifications for biological assessment of freshwater ecosystems: synthesis and recommendations. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 2000, vol. 19, pp. 541–556.
- Kurashov E.A., Dudakova D.S. Development and distribution of the meiobenthos community in the littoral zone. In *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral Zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2011, pp. 261–275. (In Russ.).
- Ladoga [Ladoga]. Rumyantsev V.A., Kondrat'ev S.A., Eds. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2013. 467 p.
- Ladozhskoe ozero (razvitiye rel'efa i usloviya formirovaniya chetvertichnogo pokrova kotloviny) [Ladoga Lake (Development of the Relief and Conditions for the Formation of the Quaternary Cover of the Basin)]. Biske G.S., Ed. Petrozavodsk: Kareliya Publ., 1978. 208 p.
- Ladozhskoe ozero i dostoprimechatel'nosti ego poberezh'ya: Atlas [Ladoga Lake and the Attractions of its Coast: Atlas]. Rumyantsev V.A., Ed. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2015. 200 p.
- Learning Landscape Ecology. A Practical Guide to Concepts and Techniques. Gergel S.E., Turner M.G., Eds. New York: Springer Publ., 2017, 2nd ed. 368 p.
- Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Görtz C., Avers T., Subetto D., Naumenko M., Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga. *Quat. Sci. Rev.*, 2021, vol. 251, 106637. doi 10.1016/j.quascirev.2020.106637
- Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera [Littoral Zone of Lake Ladoga]. Kurashov E.A., Ed. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2011. 416 p.
- Maksimov A.V. Lithological Map of the Bottom Surface of the Water Area. State Geological Map of the Russian Federation, Scale 1 : 1000000 (Third Generation). Baltic Series. R-(35), 36 (Petrozavodsk). Bogdanov. Yu.B., Ed. VSEGEI, 2015. (In Russ.).
- Mal'tsev K.A., Mukharamova S.S. Postroenie modelei prostanstvennykh peremennykh (s primeneniem paketa Surfer): Uchebnoe posobie [Building Spatial Models (with the Surfer Package): Textbook]. Kazan: Kazan. Univ., 2014. 103 p.
- Mitina N.N. Geoekologicheskie issledovaniya landshaftov [Geoeological Research of Landscapes]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 197 p.
- Naumenko M.A., Guzowaty V.V., Nesterov N.A. Subetto D.A. Morphometric features of the submarine slope of the Southwestern part of Valaam island. *Dokl. Earth Sci.*, 2019, vol. 486, pp. 585–587.
- Pankeeva T.V. Mironyuk O.A., Pankeeva A.Yu. Researches of bottom landscapes of the coastal zone Tarkhankut peninsula (Crimea, Black sea). *Geopolitika i Ekogeodinamika Regionov*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 800–805. (In Russ.).
- Penno M.V. Progress of scientific conceptions on marine landscapes. *Geopolitika i Ekogeodinamika Regionov*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 166–172. (In Russ.).
- Petrov K.M. *Podvodnye landshafty: teoriya, metody issledovaniya* [Underwater Landscapes: Theory, Research Methods]. Leningrad: Nauka Publ., 1989. 126 p.
- Pitman S. *Seascape Ecology*. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 2018. 495 p.
- Raspopov I.M. Species and coenotic diversity of higher water and coastal water plants in the littoral zone of Lake Ladoga. In *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral Zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2011, pp. 52–64. (In Russ.).
- Sapelko T.V., Terekhov A.V., Amantov A.V. Ladoga transgression: reconstruction of the final stage and consequent decline in the northern part of the lake. *Reg. Geol.*, 2018, no. 75, pp. 23–34. (In Russ.).
- Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GEOHAB Atlas of Seafloor Geomorphologic Features and Benthic Habitats (Second Edition). Harris P.T., Baker E.K., Eds. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1030 p.
- Seelbach P.W., Wiley M.J., Soranno P.A., Bremigan M.T. Aquatic conservation planning: using landscape maps to predict ecological reference conditions for specific waters. In *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. Gutzwiller K.J., Ed. New York: Springer, 2002, pp. 454–478.
- Sviridenko L.P. Ladozhskaya vulkano-tektonicheskaya struktura (geologiya, vulkanoplutanizm, tektonika) [Ladoga Volcano-tectonic Structure (Geology, Volcanoplutanism, Tectonics)]. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2019. 98 p.
- Sviridenko L.P., Svetov A.P. Valaamskii sill gabbro-doleritov i geodinamika kotloviny Ladozhskogo ozera [Valaam Sill of Gabbro-dolerites and Geodynamics of the Ladoga Lake Basin]. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2008. 123 p.
- Subetto D.A. Donnye otlozheniya ozer: paleolimnologicheskie rekonstruktsii [Lake Bottom Sediments: Paleolimnological Reconstructions]. St. Petersburg: RGPU, 2009. 348 p.
- Zuev Yu.A., Zueva N.V. Research experience of macrozoobenthos rocky littoral zone of Lake Ladoga. *Uch. Zap. Ross. Gos. Gidrometeorol. Univ.*, 2013, no. 30, pp. 134–147. (In Russ.).
- Zuikova Yu.L., Shilova T.M. *Geologicheskij otchet, TED, TEO, TES. 27064. Sostavlenie svodnykh aerogeofizicheskikh kart na Ladozhsko-Onezhskuyu ploshchad' v masshtabe 1 : 200 000 v 1995–2000 godakh* [Geologic Report, TED, TEO, TES. 27064. Compilation of Consolidated Aerogeophysical Maps for the Ladoga-Onega Area on a Scale of 1 : 200000 in 1995–2000]. St. Petersburg: GP PGE, 2000. 76 p.