

УДК 911.5; 556.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАЛИВА ХАУКАЙСЕНЛАХТИ (ОСТРОВ КУХКА, ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО)¹

© 2024 г. Д. С. Дудакова^{a, *}, В. М. Анохин^{a, c, d}, М. О. Дудаков^a, М. И. Орлова^b

^a Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, 196105 Россия

^b Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, 199034 Россия

^c Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, 191086 Россия

^d Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина, Санкт-Петербург, 196605, Россия

*e-mail: Judina-D@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.05.2023 г.

После доработки 12.05.2023 г.

Принята к публикации 08.10.2023 г.

Представлены результаты исследований донных ландшафтов, проведенных с использованием эхолота с функцией локации бокового обзора и дополненной видеосъемкой с подводного аппарата в бухте одного из островов в северном шхерном районе Ладожского озера в июне 2022 г. В результате проведенных эхолотных работ создана трехмерная батиметрическая модель исследованной бух. Хаукайсенлахти о. Кухка и выявлены существенные различия по сравнению с опубликованными навигационными картами для бух. Хаукайсенлахти. Формирование рельефа дна и состояния берегов как в надводной, так и в подводной зонах определяются особенностями геологического строения данного участка акватории, обусловленного разной устойчивостью к процессам выветривания различных геологических образований. В составе подводного ландшафта бухты выявлено шесть основных типов фаций. Облик и смена фаций связаны с наличием твердых скальных поверхностей и твердого обломочного материала и следующими за ними на больших глубинах рыхлыми грунтами. Облик фаций определяется также особенностями батиметрического строения бухты и преобладанием различных ассоциаций живых организмов, развитие которых зависит от типа поверхности и грунта. Проведенные исследования подтвердили перспективность использования эхолота с функцией локации бокового обзора для изучения и картирования подводных ландшафтов Ладожского озера совместно с таким дистанционным методом, как видеосъемка с необитаемого аппарата.

Ключевые слова: подводные структуры и рельеф дна, фациальная структура ландшафта, акустические методы, подводная видеосъемка, картирование, крупные озера.

DOI: 10.31857/S0321059624020021 **EDN:** CISKDO

ВВЕДЕНИЕ

Изучение донных ландшафтов, особенно в крупных озерах, имеющих важное природное и хозяйственное значение как источников пресной воды, приобретает все большую актуальность [11, 34, 41]. Береговая зона озер – пространство формирования наиболее сложных многокомпонентных территориально-аквальных ландшафтов экотонного типа [25, 26]. Исследование дон-

ных и береговых участков позволяет определять характер взаимосвязей между ландшафтами разных частей водоема [14].

В изучении водных ландшафтов используются различные комплексы методов, в том числе неинвазивные, связанные с применением дистанционного зондирования дна и прибрежной зоны. Для сопряжения полученных полевых контактных (например, пробоотбор и измерения на конкретных участках) и дистанционных данных используются ГИС-технологии [17, 32, 33, 48, 52]. К способам дистанционного зондирования в ландшафтных исследованиях относятся: аэрофото- и мультиспектральная съемка (в частности с использованием беспилотных летательных ап-

¹ Публикация составлена в рамках Гостемы ИНОЗ РАН (тема 0154-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов”, госрегистрация № AAAA-A19-119031890106-5); в рамках Государственного задания СПбНЦ РАН № 075-01351-23-00 (тема 1022040700531-3-5.9.1).

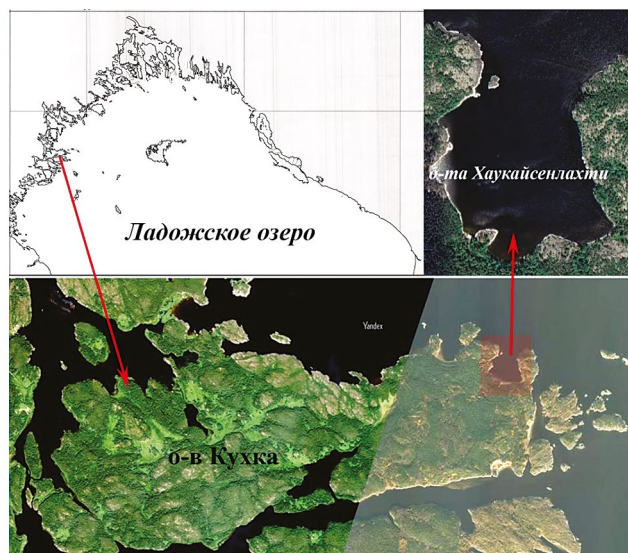


Рис. 1. Расположение исследованной бух. Хаукайсенлахти о. Кухка.

паратов) [5, 4, 15, 17, 42], видео- и фотосъемка с подводных аппаратов [11, 12, 16, 27] и гидролокация эхолотами и локами бокового обзора [9, 10, 30, 36, 39, 44–47, 53]. Разработанные комплексы гидроакустических систем и разнообразного программного обеспечения перспективны [18], они используются для экологического мониторинга океана и для решения широкого круга общенаучных, геоэкологических, технических задач, в том числе при инженерных изысканиях [37]. Использование гидролокаторов бокового обзора и многолучевых эхолотов дает возможность быстро и относительно точно идентифи-

цировать подводные структуры и рельеф дна, определять различные типы донных отложений, выделять слои донных осадков, картировать участки, покрытые высшей водной растительностью [21, 30, 53], охватывая значительные пространства акваторий, чего не позволяют классические контактные методы. Площадная съемка с помощью гидролокаторов позволяет изучать динамические процессы [31], протекающие в подводных ландшафтах. Результаты таких съемок, проведенных по отдельности или сочетаемых с подводным фото- и видеодокументированием — дистанционным или при выполнении водолазных работ, успешно применяются для оценки пространственного распределения донных группировок живых организмов и донных местообитаний, составлении карт их распределения [1, 5, 20, 42, 45, 47, 48, 51, 52, 53]. Гидролокационное изучение донных объектов имеет определенные сложности, что связано с особенностью метода, использующего акустические отражения, визуализация которых приводит к пространственным искажениям в зависимости от геометрии пространства и угла отражения [46].

Для изучения ландшафтов Ладожского озера в предыдущие годы авторами применялся метод совмещенной аэро- (с использованием БПЛА) и подводной видеосъемки с помощью водолазного метода и необитаемых подводных аппаратов на модельных полигонах. Одновременно изучались особенности пространственного распределения

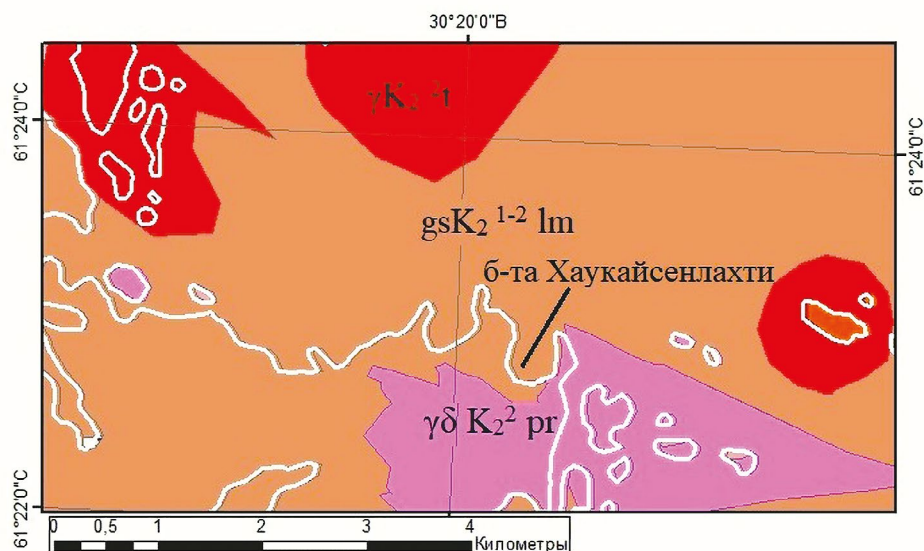


Рис. 2. Вырезка из Государственной геологической карты РФ масштаба 1:200000, листов Р-35-XXIV, Р-36-XIX.

перифитона и бентоса на исследуемых полигонах и создавались батиметрические модели по данным, получаемым с однолучевого эхолота [11]. Предполагается, что применение локатора бокового обзора совместно с уже разработанными ранее методами, прошедшими проверку при изучении донных ландшафтов озера, позволяет расширить масштаб исследований, получать данные с более высоким разрешением, и, таким образом, более надежно картировать распределение элементов ландшафтов, а также создавать 3D-модели дна и его топографические карты.

Цель работы — оценить возможности применения гидролокации с помощью локатора бокового обзора в составе интегративной методики, сочетающей акустические и видео методы для целей крупномасштабного картирования подводных ландшафтов прибрежной зоны Ладожского озера.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА

Краткий физико-географический очерк района исследований

В июне 2022 г. (17.06.2022) с помощью эхолота с функцией локации бокового обзора “Humingbird SOLIX SI+ G3” была обследована бух. Хаукайсенлахти о. Кухка (рис. 1). Бухта Хаукайсенлахти площадью 0.24 км², с глубинами до 40 м расположена в северо-восточной части острова и протягивается к югу на расстояние 600 м при ширине 260×450 м.

Остров Кухка преимущественно сложен породами (рис. 2) лахденпохского метаморфического комплекса (лумиварский биотито-гнейсовый подкомплекс): гнейсы биотитовые, реже гранат-биотитовые, мигматиты по ним, прослои кварцитовидных пород, включения скарноидов, линзы, полосы амфиболитов (gsK1-2lm). Восточная часть острова складывается интрузивными породами приозерского тоналитового комплекса: тоналиты, плагиограниты, кварцевые диориты (pgK2pr), что проявляется в выходе высокой отвесной скалы в восточной части бухты (рис. 3б) [8].

По морфометрической структуре дна в изучаемой акватории Ладожского озера (северо-западная часть, шхерный район) о. Кухка относит-

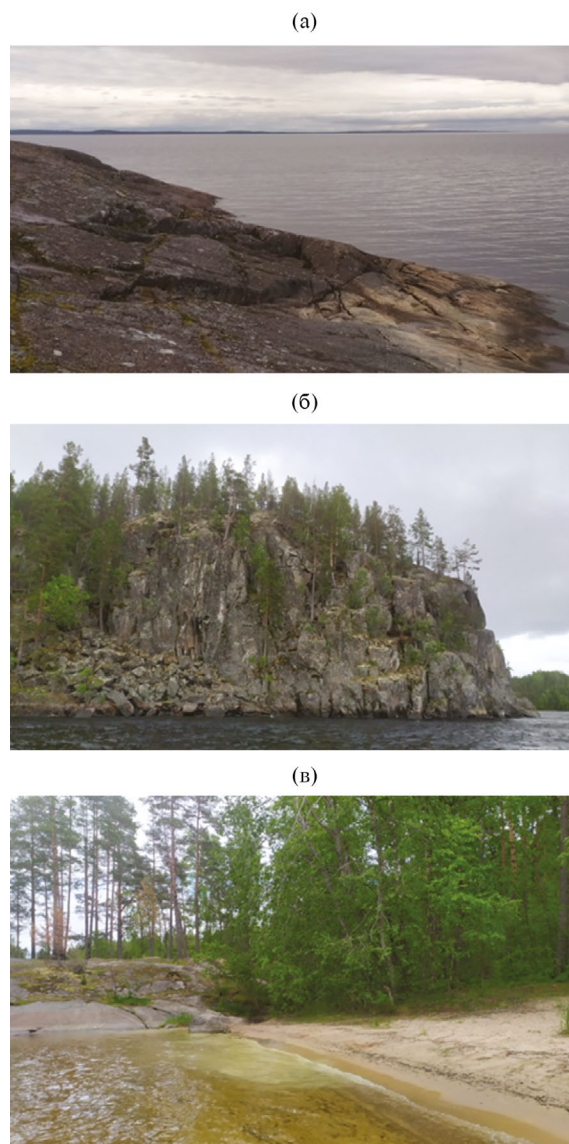


Рис. 3. Наземные скальные выходы западного (а), восточного (б) и песчаный пляж южного (в) борта бух. Хаукайсенлахти о. Кухка.

ся к области распространения кристаллических пород, для которой характерно неровное дно с многочисленными глубокими впадинами, сильно изрезанными берегами и многочисленными поднятиями, выходящими над поверхностью суши в виде островов [29]. На относительно небольшом удалении от острова — самый глубоководный участок всего Ладожского озера (230 м). Профиль дна характеризуется резкими опусканиями и поднятиями. Глубина дна всего в 2 км от исследуемой бухты достигает 100 м (рис. 4). Сама бухта относительно мелководна (<20 м глубины, большая часть бухты занята глубинами до 10 м), сильно вдаётся в остров.

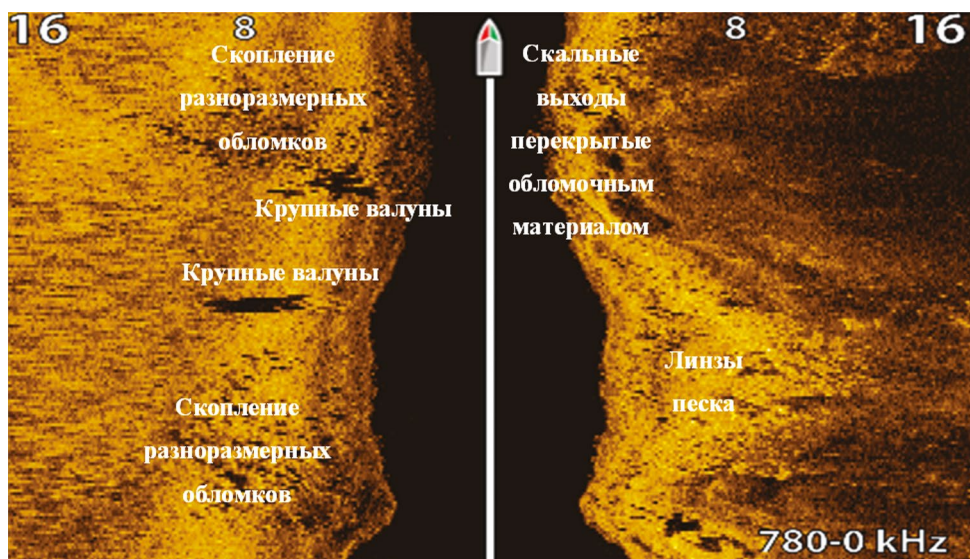
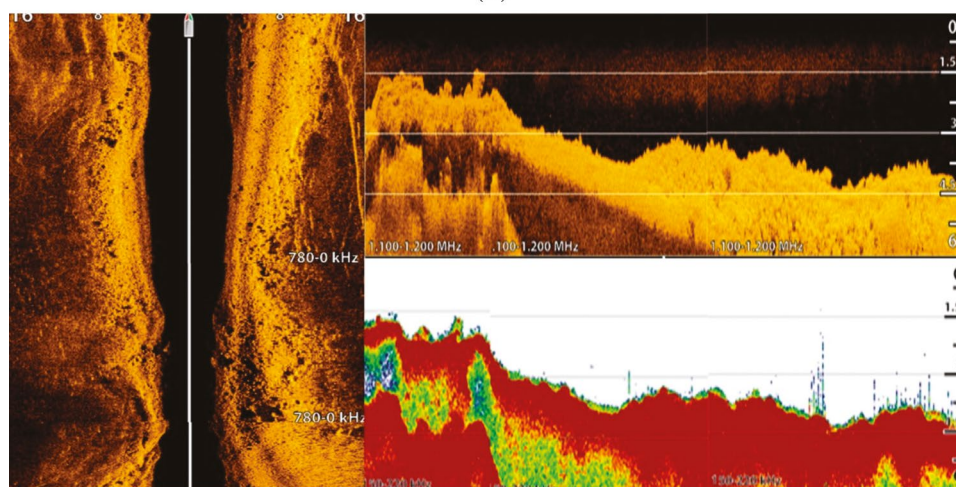


Рис. 6. Выделение литологических и фациальных разностей по снимкам с лоатора бокового обзора.

(a)



(б)

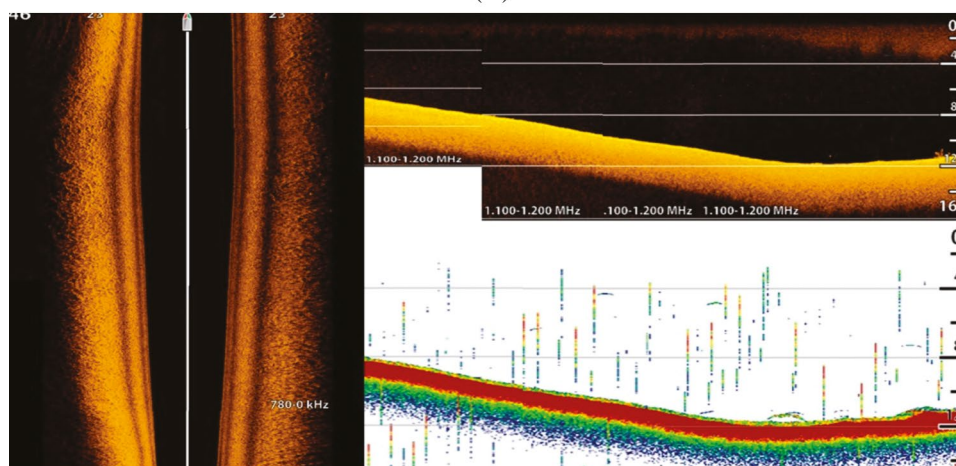


Рис. 7. Литологическая структура разных частей бух. Хаукайсенлахти по результатам исследования эхолотом и лока- тором бокового обзора: а – каменистые пояса у скальных выходов; б – алевролитовое дно с органикой.

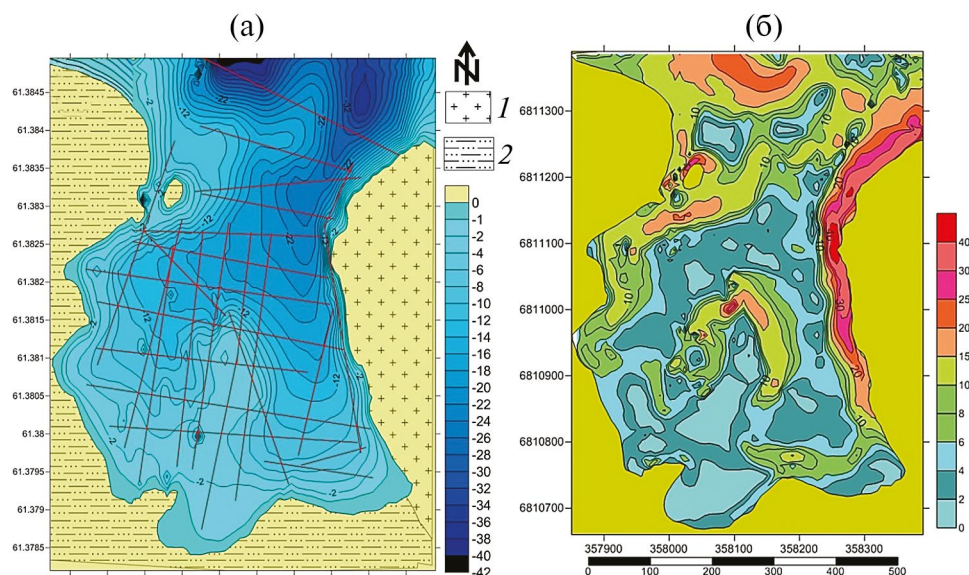


Рис. 8. Карты глубин (а) и крутизны склонов (б) бух. Хаукайсенлахти о. Кухка по результатам проведенного эхолотирования (красными линиями в (а) выделены эхолотные профили). 1 – Лумиварский биотито-гнейсовый подкомплекс Лахденпохского метаморфического комплекса (gsK1-2lm); 2 – Приозерский тоналитовый комплекс (pgK2pt).

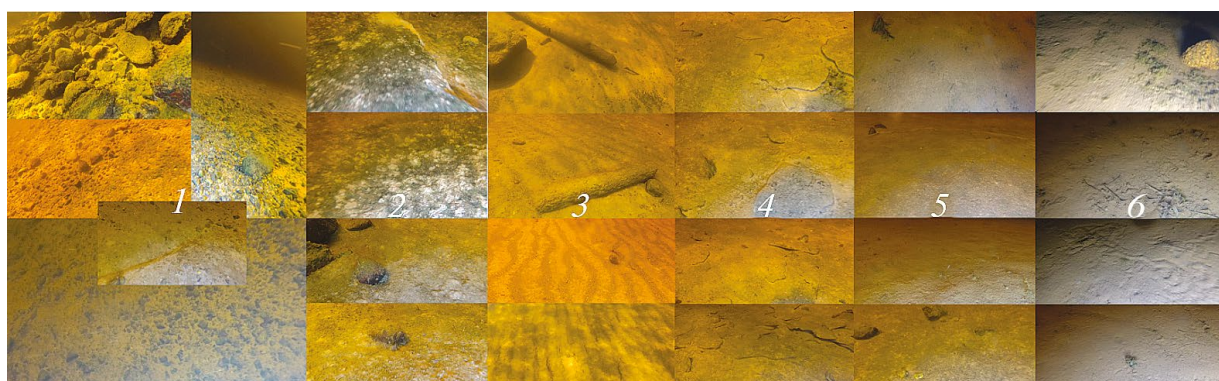


Рис. 9. Облик поверхности дна с различными типами донных осадков, представленных в исследуемой бухте. 1 – грубообломочные осадки (размерностью от крупных валунов до гравия и гальки); 2 – плотные скальные поверхности; 3 – разнозернистые промытые пески, подверженные волновому воздействию с выраженными знаками ряби; 4 – участки с пятнами плотной глины; 5 – алевропески; 6 – алевропелиты.

при видеопрофилировании, анализировались с привязкой к элементам рельефа по методике, разработанной авторами ранее [12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Донный рельеф бухты, выявленный путем эхолотирования; геологическое строение, состав пород

Построенные по итогам проведенного эхолотирования карты распределения глубин и крутизны склонов исследуемой бухты свидетельствуют о сложном рельефе дна и позволяют установить соответствие морфометрии берегов

бухты геологическому строению различных частей дна (рис. 8). Согласно полученным результатам, от основной акватории Ладоги бухта отделяется клиновидным поднятием с глубинами 5–20 м, прорезанным на востоке узким желобом, продолжающимся вдоль крутого (до 70°) восточного борта бухты. Западный борт, более пологий (уклоны 5–25°), продолжается и далее в более глубоководную центральную часть бухты. Известно, что формирование рельефа зависит от состава слагающих территорию пород и их механической устойчивости [3, 7, 19, 23]. Это наглядно проявилось в рельефе изучаемой бухты. На восточном борту обнажаются устойчивые к выветриванию массивные плагио-

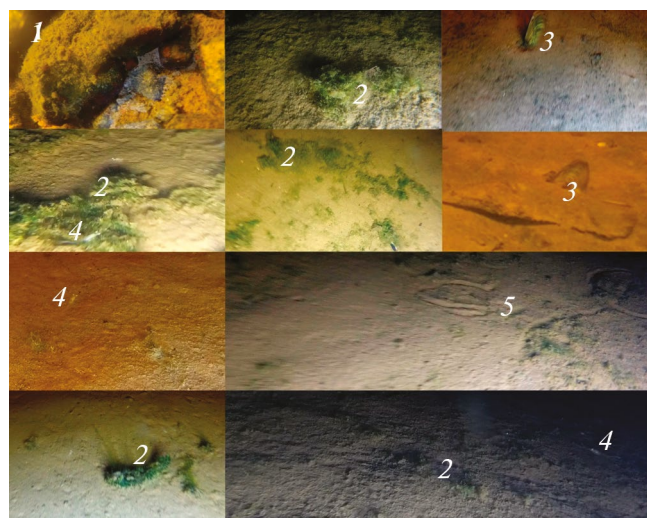


Рис. 10. Элементы биоты и ее следы в составе ландшафтов и следы ее жизнедеятельности на различных литологических разновидностях: 1 – перифитонные обрастания с гастроподами; 2 – скопления водорослевых агрегатов на дне; 3 – крупные двустворчатые моллюски семейства Unionidae; 4 – мизиды; 5 – следы моллюсков.

граниты; западный борт сложен полосчатыми гнейсами, более легко поддающимися химическому выветриванию и механическому разрушению [8]. Южная часть бухты представляет собой мелководье с глубинами до 3 м и пологим наклоном дна ($2-5^\circ$). Центральная часть бухты осложнена поднятием, предположительно обусловленным небольшим массивом плагиогранитов размером 150×200 м с плоской вершиной и склонами $15-20^\circ$.

Компоненты донного ландшафта бухты, выявленные с помощью видеосъемки

Проведенная видеосъемка дна позволила визуально оценить литологический облик дна разных частей бухты и населяющую его биоту. Литологические разновидности в бухте, согласно данным видеосъемки, могут быть отнесены к шести типам (рис. 9): 1–2 – представляют собой грубообломочные осадки (размерностью от крупных валунов до гравия и гальки) и плотные скальные поверхности; 3 – разнотерные промытые пески, подверженные волновому воздействию с выраженными знаками ряби; 4 – вероятно, участки с пятнами плотной глины; 5–6 – мягкие грунты – алевропески и алевропелиты. Подобный литологический состав и его распределение характерны для бухт материкового берега и островов на кристаллических породах в шхерном районе Ладожского озера [2].

Форм представителей бентоса и перифитона, способных оказывать влияние на донный ландшафт исследуемой бухты, выявлено относительно немного как в качественном, так и в количественном отношении. Это были находящиеся на дне водорослевые скопления, отдельно растущие макрофиты, крупные зарывающиеся двустворчатые моллюски семейства Unionidae; зафиксированные видеосъемкой обычные для донного ландшафта бухты подвижные беспозвоночные – мизиды, представляют нектобентос

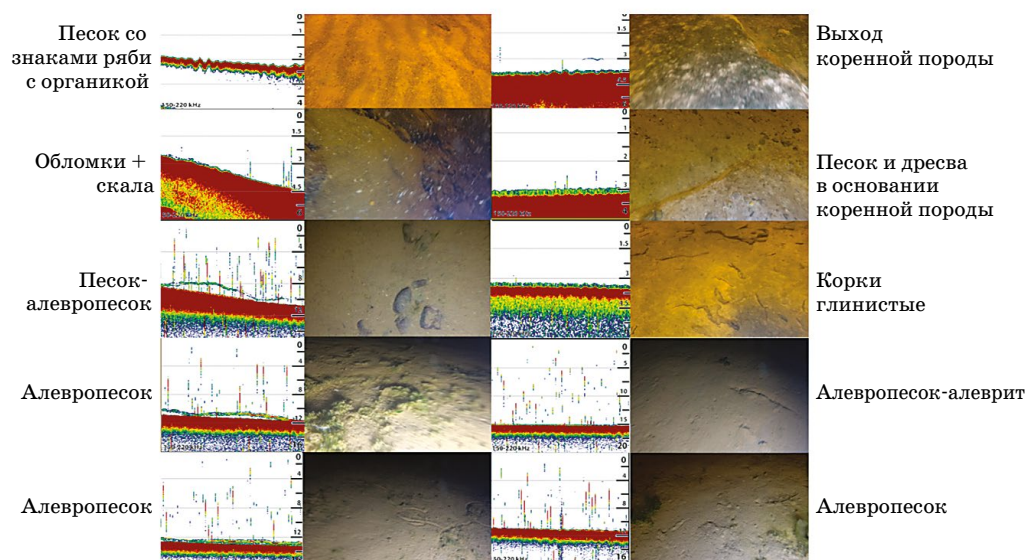


Рис. 11. Типизация разных типов грунта по показаниям низкочастотного датчика эхолота.

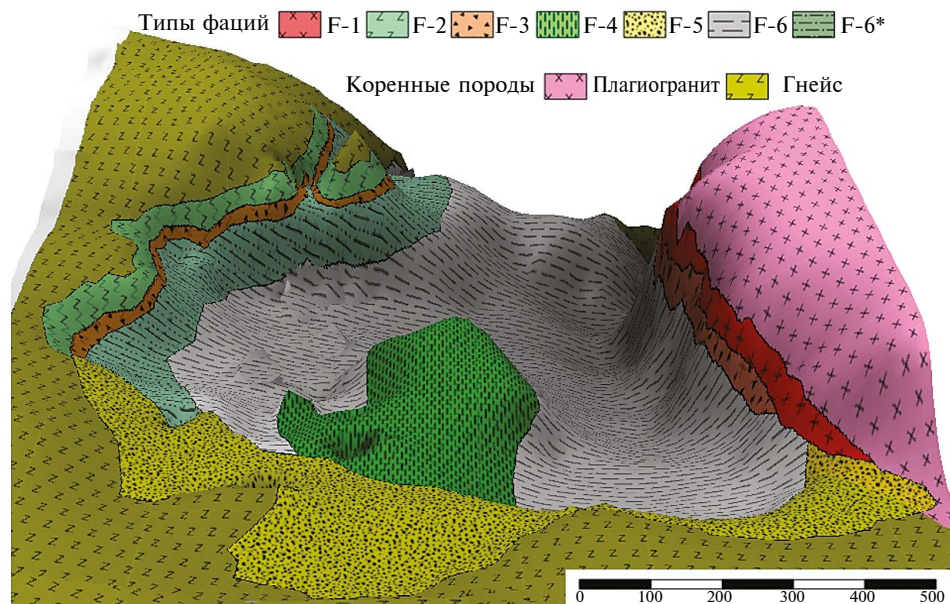


Рис. 12. Батиметрическая 3D-модель ландшафтных фаций бух. Хаукайсенлахти о. Кухка.

(рис. 10). Относительная бедность зафиксированной видеосъемкой макробиоты может быть связана с характерной для исследуемого района сезонной изменчивостью состава и развития биологических сообществ [10]. Согласно гидробиологическим исследованиям на Ладожском озере, бухты, аналогичные бух. Хаукайсенлахти, в сезоны максимальной вегетации могут характеризоваться высоким развитием высшей водной растительности [24, 35, 40], что не выявлено в период проведения настоящих работ. Развитие растительных ассоциаций позволяет выделить в пределах литоральной зоны дополнительные ландшафтные фации. Считается, что литоральная зона в Ладожском озере на отдельных участках этого водоема может быть весьма обширной, простираясь вглубь до 8 м [24]. Такие глубины в бух. Хаукайсенлахти составляют 68%. Однако максимальное развитие макрофитов группы линеидов (тростник, рогоз, осоки, аир и т. п.), а также следующих за ними по вертикальному профилю нимфеид (нимфея, кубышка, рдесты и т. п.), дающих максимальные покрытие и биомассу в пространственной структуре занимаемых площадей, распространяются в силу своих биологических особенностей в основном до глубин порядка 2.5 м [11, 35, 38]. В бух. Хаукайсенлахти глубинами <2.5 м занято 30% площади. Ограничение распространения ассоциаций погру-

женной высшей водной растительности в глубь фотической зоны, возможно, связано с тем, что на данных глубинах сформированы песчаные мелководные пляжи, подверженные интенсивному гидродинамическому (ветро-волновому) воздействию при сильных ветрах и штормовых эпизодах. Этот факт – препятствие для интенсивного зарастания. Согласно открытым геоданным Яндекс-карт 2023 [49] и программы Google Earth Pro, зарастаемость исследуемой бухты в периоды получения доступных снимков ДЗЗ также была низкой. Поэтому предполагается, что роль макрофитов в формировании ландшафтов бух. Хаукайсенлахти низка. До сих пор не до конца исследованными остаются сообщества скального фитоперифитона и фитосаммона шхерного района Ладожского озера [24]. Для более детальной оценки этого компонента донных ландшафтов актуально проведение специализированных гидробиотических исследований этих групп, а также изучение сезонной динамики высшей водной растительности и оценка ее роли в формировании дополнительных фациальных разновидностей в составе донных ландшафтов в периоды максимальной вегетации. Также необходимо изучать сезонную динамику зообентосных и зооперифитонных видов гидробионтов, отражающих специфику различных ландшафтных фаций.

Выделение ландшафтных фаций с привлечением результатов нижнего и бокового сканирования эхолотом с функцией ГЛБО

Как показало сопоставление данных подводной видеосъемки с эхограммами гидролокатора, высокой информативностью и корреляцией с характером дна на видеоснимках обладали эхограммы с низкочастотного датчика нижнего сканирования (рис. 11). Использование этих эхограмм позволило проводить границы между различными типами литологических разностей.

По полученным данным было отстроено 11 поперечных и 9 продольных профилей (рис. 8а). Эхограммы с датчиков нижнего сканирования низкочастотные и высокочастотные анализировались параллельно. Как указано выше, низкочастотные (режим классического сонара) эхограммы позволяли более четко выделять характер перехода отдельных литологических разностей, а также указали на наличие водорослевых скоплений на отдельных участках. Изображения с высокочастотного сонара давали более детальную информацию по мелким немасштабным элементам дна и характеру неровности поверхности и, таким образом, позволили наметить границы перехода между отдельными ландшафтными фациями. В ходе совместного анализа результатов эхолотирования датчиками нижнего сканирования и видеосъемки были определены ключевые абиотические и биотические факторы выделения границ, соответственно абиотические — тип осадка и характер микрорельефа и биотические — компоненты биологических сообществ, выявленных при видеосъемке (оказывающих воздействие на внешний облик дна).

Анализ мозаики гидролокатора бокового обзора и изображения ГЛБО с отдельных участков дал дополнительные плоскостные пространственные изображения по видам переходов на границах фаций, форме распределения разных типов осадков, их сочетания и взаимосвязи, распределения отдельных крупных обломков и затонувшей древесины (рис. 6, 7).

Границы отдельных фаций проводились в местах смены типа осадка и при изменении характера рельефа.

Как показывает предшествующий опыт проведения исследований с эхолотами с ГЛБО, эти приборы отлично подходят для целей крупномасштабного картирования и широко используются для морских работ [10, 30, 45, 52, 53]; они позволяют изучать мезо- и микроформы рельефа, выделять немасштабные элементы из мозаик ГЛБО, изучать отдельные интересующие объекты на дне [9, 36, 43, 50]. Осуществленные авторами статьи работы в бух. Хаукайсенланхти подтвердили достоинства ГЛБО и показали, что данный метод применим в прибрежной мелководной зоне Ладожского озера.

Предшествующий опыт показывает также перспективность использования прибора с функцией высокочастотного нижнего луча и ГЛБО для изучения пространственного распределения ихтиофауны [6, 22]. Этот подход, позволивший отчетливо выявить различные формы микрорельефа и биологические объекты, расположенные на дне, помимо детализации межфациальных границ может быть использован для косвенной оценки трофической связи бентоса с рыбным населением, а также для оценки степени влияния рыб на характер поверхности дна (“ямки”, углубления, образованные зарывающимися видами рыб и т. д.).

3D-модель ландшафтных фаций бух. Хаукайсенланхти

По итогам проведенного анализа составлена батиметрическая 3D-модель ландшафтных фаций в исследуемой бухте (рис. 12).

В структуре ландшафта выявлено шесть основных типов фаций:

- 1) F-1 — выположенные ступени продолжения западного берега на коренном гнейсовом основании с обломочным материалом, на поверхности которых развивается перифитон ($h = 0-6$ м);
- 2) F-2 — более крутосклонные борта восточной части бухты на гранитном коренном основании со скальными выходами и преобладанием грубообломочного материала, также характеризуются заселением их поверхности перифитонными организмами ($h = 0-6$ м);
- 3) F-3 — дресвяно-галечные и песчаные пояса в подножии скальных выходов ($h = 2-7$ м);

Таблица 1. Размеры и доля отдельных ландшафтных фаций в общей площади бух. Хаукайсенлахти о. Кухка

Фация	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-6'	Итого
Площадь, м ²	8539	4286	4286	24 205	35 803	138 243	138 243	239 594
Площадь, %	4	2.5	2.5	10	15	57	9	100

4) F-4 – (предположительно) пелитовые мало-мощные осадки на подъеме коренной породы в центральной части бухты, заселенные двустворчатыми моллюсками и покрытые водорослевой пленкой ($h = 0–8$ м);

5) F-5 – пески со знаками ряби в кутовой части бухты в районе песчаного пляжа с характерным скоплением крупных органических остатков растительного происхождения и множество следов моллюсков ($h = 0–2$ м);

6) F-6 – алевропесчаное и алевритовое дно с водорослевой пленкой на некоторых участках и скоплениями крупных растительных водорослевых агрегатов на всей площади, занятой этой фацией; из эпибентосной биоты преобладают мизиды, на небольших глубинах встречаются двустворчатые моллюски и их следы ($h = 3–40$ м); в пределах этой фации на западном склоне выделяется участок (с глубинами 3–8 м) (F-6') с большим уклоном по сравнению с наиболее пологим днищем в остальной части бухты.

Полученная модель показывает, что доминирующая фация (57% общей площади бухты) – пологая алевритопесчанистая равнина, слагающая днище (зону аккумуляции) бухты (F-6) (рис. 12, табл. 1).

В целом фациальный состав донного ландшафта бух. Хаукайсенлахти – типовой для закрытых частей акватории шхерного района [11, 12]. Отмечено высокое пространственное разнообразие элементов ландшафтов и биогеоценозов. Это создает предпосылки для высокого развития биологических ресурсов, что в целом хорошо известно для переходных (экотонных) зон [24, 44, 45]. Экстраполирование результатов исследований донных ландшафтов на сопредельную территорию дает возможность оценки распределения бентосных сообществ по площади и перспективно для учета биологических запасов определенных хозяйственно значимых видов гидробионтов [48, 50, 51].

ВЫВОДЫ

В результате проведенных эхолотных работ создана трехмерная батиметрическая модель исследованной бух. Хаукайсенлахти о. Кухка; крупномасштабная карта глубин бухты имеет существенные отличия от опубликованных навигационных карт.

На формирование рельефа дна влияет геологическое строение данного участка акватории, обусловленное разной устойчивостью к процессам выветривания различных геологических образований: биотитовых гнейсов Лахденпохского метаморфического комплекса и плагиогранитов Приозерского тоналитового комплекса. В связи с этим проявляется различие морфометрического строения берегов как в надводной, так и в подводной частях.

В структуре подводного ландшафта бухты выявлено шесть основных типов фаций. Облик и смена фаций связаны с наличием твердых скальных поверхностей и твердого обломочного материала и следующими за ними на больших глубинах рыхлыми грунтами. Облик и смена фаций определяются также особенностями батиметрического строения бухты и преобладанием различных биологических сообществ, развитие которых находится в зависимости от типа поверхности и грунта.

Составленная ландшафтная карта показала, что преобладающая фация – F-6 (57% площади бухты). Дополнительный вклад в разнообразие ландшафтной структуры вносит подъем дна в центре бухты (F-4) (10% площади бухты) с нехарактерными для других частей грунтами и типом поверхности.

Проведенные исследования подтвердили перспективность использования эхолота с функцией локации бокового обзора для изучения и картирования подводных ландшафтов Ладожского

озера совместно с таким дистанционным методом, как видеосъемка с необитаемого аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапова Г.В. Исследование и картографирование подводного рельефа в познании природы Мирового океана. Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: Геологический ин-т РАН, 2008. 48 с.
2. Анохин В.М., Науменко М.А., Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Рыбакин В.М. Геоморфологические особенности дна и берегов Ладожского озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. С.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева. СПб.: Ладожская монография, 2021. С. 151–164.
3. Афанасьев В.В. Строение и развитие берегов контактной зоны умеренных и субарктических морей северной Пацифики. Дис... докт. геол. наук. Южно-Сахалинск, 2018. 345 с.
4. Беленко В.В. Теоретические основы исследования природных ландшафтов по материалам аэрокосмических съемок и наземных экологических исследований. Учеб. пособие. М.: Спутник+, 2016. 123 с.
5. Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М., Пронина О.А., Штрик В.А. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 3. Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. М.: ВНИРО, 2005. 135 с.
6. Борисенко Э.С. Гидроакустические исследования распределения рыб в пойменно-руслевой системе Нижнего Иртыша. Дис. ... канд. биол. наук. М.: ИПЭЭ РАН, 2013. 158 с.
7. Геология. Учеб. пособие / Под ред. С.С. Бондаренко. М.: Изд-во МГОУ, 2004. 243 с.
8. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200000, листов Р-35-XXIV, Р-36-XIX. 2004.
9. Дорохов Д.В. Абиотическое картирование донных ландшафтов Балтийского моря в целях пространственного планирования и морского природопользования // Морские исследования и образование (MARESEDU) — 2022. Тр. XI Международ. науч.-практ. конф. Т. I (IV). Тверь: ПолиПРЕСС, 2022. С. 56–59.
10. Дорохов Д.В. Ландшафтно-экологическое районирование субаквальных комплексов юго-восточной части Балтийского моря. Дис. ... канд. геогр. наук. Калининград: БФУ, 2018. 174 с.
11. Дудакова Д.С., Анохин В.М., Дудаков М.О. Донные ландшафты Ладожского озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. СПб.: Ладожская монография, 2021. С. 136–146.
12. Дудакова Д.С., Анохин В.М., Поздняков Ш.Р., Дудаков М.О., Юдин С.Н. Подводные ландшафты островов Мантсинсаари и Лункулансаари в зоне рифейских поднятий в восточной части Ладожского озера // Изв. РАН. Сер. географическая. 2021. Т. 85. № 3. С. 433–445.
13. Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Анохин В.М. Опыт применения глубоководного телеуправляемого аппарата для изучения подводных ландшафтов Ладожского озера // Рос. журн. приклад. экологии. 2018. № 4 (16). С. 51–55.
14. Дудакова Д.С., Юдин С.Н. Цифровая модель подводных ландшафтов Ладожского озера как источник интегрированной информации о состоянии дна // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 2. С. 13–26.
15. Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Тр. ВНИРО. 2021. Т. 185. С. 134–151.
16. Дуленин А.А., Кудревский О.А. Использование легкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестн. КамчатГТУ. 2019. № 48. С. 6–17.
17. Жариков В.В., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г. Использование данных дистанционного зондирования при картографировании подводных ландшафтов бухты Средней (залив Петра Великого, Японское море) // География и природ. ресурсы. 2017. № 2. С. 190–198.
18. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Опыт проведения исследования дна и донных отложений Арктических морей гидролокационными комплексами с ЛЧМ зондирующими сигналами // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2017. С. 6–15.
19. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.
20. Козловский В.В., Симакова У.В., Папунов В.Г., Федорович В.С., Терехина Я.Е., Куликова Д.С., Гала-

- ев В.Е., Шабалин Н.В., Колючкина Г.А., Семин В.Л., Любимов И.В., Тимофеев В.А., Мокиевский В.О. Классификация и картографирование донных биотопов государственного природного заповедника Утриш // Моря России: исследования береговой и шельфовой зон. Тезисы докл. Всерос. науч. конф. (XXVIII береговая конф.). Севастополь: Морской гидрофиз. ин-т РАН, 2020. С. 413–414.
21. Колосов К.В. Многоцелевой эхолот-гидролокатор: решение задач съемки рельефа, поиска и классификации в прибрежной зоне. Дис. ... канд. техн. наук. М.: СПбГМТУ, 2006. 102 с.
 22. Кудрявцев В.И. Гидроакустика рыбохозяйственная. М.: ВНИРО, 2018. 460 с.
 23. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Высш. шк., 1979. 287 с.
 24. Литоральная зона Ладожского озера / Под ред. Е.А. Курашова. СПб.: Нестор-История, 2011. 416 с.
 25. Митина Н.Н. Геоэкологические исследования ландшафтов морских мелководий. М.: Наука, 2005. 197 с.
 26. Митина Н.Н. Принципы классификации подводных ландшафтов морских мелководий // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Т. 2. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах / Под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: ВНИИ агрохимии, 2018. С. 447–452.
 27. Мокиевский В.О., Спиридонов В.А., Токарев М.Ю., Добрынин Д.В. Современные дистанционные методы в изучении морских донных сообществ и ландшафтов прибрежной зоны // Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т. 11. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2012. С. 6–21.
 28. Навигационные карты Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР. Л. 26. Карта 28075. СПб.: УНиО МО РФ, 1991.
 29. Науменко М.А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 62–72.
 30. Невин И.А., Буданов Л.М., Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Жамойда В.А., Дронь О.В. Геолого-геофизические методы как источник базовой информации для последующих биологических исследований и картирования подводных ландшафтов // Регион. экология. 2015. № 3 (38); 4 (39). С. 5–19.
 31. Нестеров Н.А., Гузиватый В.В., Науменко М.А. Гидролокационный мониторинг донных объектов // Всерос. конф. по крупным внутренним водоемам (V Ладожский симпозиум). Сб. науч. тр. конф. СПб.: Лема, 2016. С. 287–293.
 32. Петров К.М. Биогеография океана. М.: Акад. проект, 2008. 323 с.
 33. Петров К.М. Концепция подводного ландшафта // Изв. Русского геогр. об-ва. 2020. Т. 152. № 3. С. 3–16.
 34. Подводные ландшафты Байкала / Под ред. Е.Б. Карабанова. Новосибирск: Наука, 1990. 183 с.
 35. Распопов И.М., Рычкова М.А., Стальмакова Г.А. Гидробиологическая характеристика заливов западной части шхерного района Ладожского озера, пригодных для развития водоплавающей птицы // Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология). Л.: Наука, 1968. С. 71–104.
 36. Римский-Корсаков Н.А. Технология исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами. Дис. ... докт. техн. наук. М.: Ин-т океанологии РАН, 2011.
 37. Русанов А.Г. Высшая водная растительность // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. М.: Ладожская монография, 2021. С. 316–322.
 38. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Терехина Я.Е., Локтев А.С., Миронюк С.Г., Росляков А.Г., Шербаков В.А., Колюбакин А.А. Использование геофизических методов для решения широкого круга задач геоэкологии морей и крупных озер // Материалы 17-й науч.-практ. конф. и выставки “Инженерная и рудная геофизика 2021”. Геленджик, 2021. М.: ЕАГЕ “Геомодель”, 2021. 8 с.
 39. Сивков В.В., Дорохов Д.В., Дорохова Е.В., Жамойда В.А., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю. Абиотический подход к картированию донных ландшафтов в российских секторах Балтийского моря // Регион. экология. 2014. № 1–2 (35). С. 156–165.
 40. Степанова А.Б., Воякина Е.Ю., Бабин А.В., Зуева Н.В., Зуев Ю.А. Результаты исследований прибрежной зоны Ладожского озера в районе Валаамского архипелага (1998–2019 гг.) в РГГМУ // Гидрометеорология и экология. 2020. № 60. С. 325–350.
 41. Тахтеев В.В. Байкаловедение. Материалы к семинарским занятиям. Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2000. 104 с.
 42. Ткаченко К.С. Использование аэрокосмической съемки в гидробиологических исследованиях //

- Изв. Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1. С. 15–31.
43. *Brisette M.B., Clarke J.E.* Side scan versus mutibeam echosounder object detection: a comparative analysis // The Int. Hydrographic Rev. 2015. V. 76. I. 2. 11 p.
44. *Che Hasan R., Ierodiconou D., Laurenson L., Schimel A.* Integrating multibeam backscatter angular response, mosaic and bathymetry data for benthic habitat mapping // LoS ONE. 2014. V. 9. I. 5. P. 1–14.
45. *Cochrane G.R., Lafferty K.D.* Use of acoustic classification of side-scan sonar data for mapping benthic habitat in the Northern Channel Islands, California // Continental Shelf Res. 2002. V. 22. P. 683–690.
46. *Fish J.P., Carr H.A.* Sound underwater images. A guide to the generation and interpretation of side-scan sonar data. Orleans: Lower Cape Publ., 1990. 188 p.
47. *Foster G., Walker B.K., Riegl B.M.* Interpretation of Single-Beam Acoustic Backscatter Using Lidar-Derived Topographic Complexity and Benthic Habitat Classifications in a Coral Reef Environment // J. Coastal Res. 2009. V. 25. № 6. Supplement. SPECIAL ISSUE № 53. Coastal Applications of Airborne Lidar Remote Sensing (FALL 2009). P. 16–26.
48. *Harris P.T., Baker E.K.* Seafloor Geomorphology as Benthic habitat: GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats – synthesis and lessons learned // GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats (First edition). Elsevier, 2012. 871 p.
49. <https://yandex.ru/maps/?l=sat&ll=30.321331%2C61.379745&z=13>
50. *Kaesler A.J., Litts T.L.* An illustrated guide to low-cost, side-scan sonar habitat Version 1.0. April 2013. 309 p.
51. *Kenny A.J., Cato I., Desprez M., Fader G., Schuttenhelm R., Stolk A., Side J.* An overview of seabed mapping technologies in the context of marine habitat classification // ICES J. Marine Sci. 2003. V. 60. I. 2. P. 411–418.
52. *Quintino V.* Benthic biotopes remote sensing using acoustics // J. Experimental Marine Biol. Ecol. 2003. V. 285; 286 (4). P. 339–353.
53. *Savini A.* Side-Scan Sonar as a Tool for Seafloor Imagery: Examples from the Mediterranean Continental Margin // Sonar Systems / Ed. *N.Z. Kolev*. 2011. P. 299–322.