

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Алёшин Михаил Игоревич

**СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ДАННЫМ
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1.6.9 – Геофизика (геолого-минералогические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Москва – 2023

Диссертация подготовлена на кафедре сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

**Научный
руководитель:**

*Токарев Михаил Юрьевич, кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник*

**Официальные
оппоненты:**

Борисов Анатолий Сергеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», институт геологии и нефтегазовых технологий, кафедра геофизики и геоинформационных технологий, профессор - консультант

Соколов Сергей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Геологический институт РАН, лаборатория геоморфологии и тектоники дна океанов, заведующий лабораторией

Дорохов Дмитрий Владимирович - кандидат географических наук, Атлантическое отделение ФГБУН Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, лаборатория геологии Атлантики, ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится 27 сентября 2023 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.6 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет, ауд. 415.

E-mail: dsmsu0403@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/016.6/2535>

Автореферат разослан «_____» августа 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

К.М. Кузнецов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Онежское озеро, расположенное на северо-западе европейской части России - второй по величине пресноводный водоём после Ладожского озера и входит в систему великих озер Европы. Новые результаты комплексных геолого-геофизических исследований Онежского озера, полученные автором, вносят большой научный вклад в мировую базу данных геологической, тектонической и палеогеографической информации великих озер. Учитывая, что Онежское озеро занимает обширную площадь (9720 кв. км), изучение четвертичных отложений, имеющих существенно большую мощность, чем в береговых разрезах, представляет большой интерес для геологии северо-запада России и истории его развития в позднем неоплейстоцене – голоцене. Комплексные геолого-геофизические исследования позволяют уточнить строение озер, историю их развития и восстановление палеогеографических обстановок в различные периоды их формирования. Кроме того, новые геофизические данные представляют собой основу для геологического картирования изучаемой акватории Онежского озера, идентификации и прогнозирования потенциально опасных геологических процессов и явлений, а также выделения зон накопления отходов и экологически вредных веществ.

Степень разработанности темы исследований

Исследования на Онежском и Ладожских морях, начавшиеся в 60-х годах прошлого века, носили, в основном, прикладной характер и были направлены на решение задач геоэкологии, региональной геологии, седиментологии и геохимии. В этот период научные результаты были изложены в работах Н. Н. Давыдовой, Д. Д. Квасова, Д. А. Субетто, А. Е. Рыбалко, В. И. Хомутовой, С. М. Усенкова, В. А. Щербакова, А. В. Амантова (обработка сейсмоакустических данных ВСЕГЕИ, Г. С. Бискэ и др.). Помимо пробоботбора, в 2000-х годах разными учеными на малых озерах была отработана методика высокоразрешающих биостратиграфических и литологических исследований на отобранном керне, а также бурения толщи рыхлых отложений до коренного цоколя по периферии озерного бассейна. Однако при изучении больших озер применение такой методики было затруднено в связи с тем, что бурение с плотов и других малых плавсредств на больших глубинах акваторий технически сложно и дорогостояще. Кроме того, крупнейшие озера обычно используются как стратегический резерв питьевой воды для обширных территорий, что накладывает определенные ограничения на проведение геологоразведочных работ

В 2015-2020 гг. сотрудниками кафедры сейсмометрии и геоакустики Геологического факультета и Центром морских исследований Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова были выполнены ряд проектов: «Экспедиция на Ладожское озеро для изучения рельефа и рыхлого покрова и палеогеографического развития в позднем неоплейстоцене-голоцене», «Комплексная экспедиция на Онежское и Ладожское озера для изучения строения четвертичного покрова Великих Европейских озер, выявления геологических опасностей и оценка геологических рисков при освоении месторождений углеводородов на шельфе Российской Федерации» (Сколковский институт науки

и технологий). В рамках комплекса геофизических исследований были выполнены: непрерывное сейсмоакустическое профилирование, многоканальная сейсморазведка, акустическое профилирование и гидролокация бокового обзора. Дополнительно была изучена верхняя часть геологического разреза с помощью гравитационного пробпоотбора. Полученные при пробпоотборе образцы грунта были исследованы в лаборатории для изучения физико-механических, акустических, теплофизических свойств и гранулометрического состава.

В настоящей работе анализируются результаты полевых комплексных геофизических и камеральных исследований, направленных на изучение геологического строения четвертичных отложений и свойств осадков, в том числе газонасыщенных, которые впервые были обнаружены на акватории Петрозаводской губы.

Цель работы - исследование четвертичных отложений геологического разреза Петрозаводской губы Онежского озера комплексом геофизических и инженерно-геологических методов для выделения структурных особенностей, оценки свойств и состава осадков и идентификации потенциально опасных геологических процессов и явлений.

Задачи, поставленные для достижения указанной цели:

1. Проведение полевых геофизических и инженерно-геологических исследований с целью установления структуры осадочного чехла четвертичного возраста Петрозаводской губы Онежского озера, оценке состава и свойств слагающих его пород
2. Получение полевых геофизических данных высокого качества, необходимых для последующей обработки материалов и их интерпретации.
3. Количественная оценка физических свойств изучаемых осадков методами сейсмоакустической и электротомографической инверсии.
4. Сейсмостратиграфическая интерпретация данных.
5. Комплексная интерпретация геофизических и инженерно-геологических данных, полученных на акватории Петрозаводской губы Онежского озера.
6. Прогнозирование площадей с наличием признаков потенциально опасных геологических процессов и явлений на акватории Петрозаводской губы.

Объект исследования: акватория Петрозаводской губы Онежского озера.

Предмет исследования: строение и свойства четвертичных отложений Петрозаводской губы Онежского озера.

Фактический материал и методы

Материалы для диссертационной работы были собраны автором в ходе полевых работ 2014 – 2019 гг, включавших нижеописанные методы исследований. За этот период было изучено более 400 пог. км профилей сейсмоакустической съёмки и гидролокации, отобрано 40 колонок донных отложений. В работе были использованы впервые полученные результаты стационарного бурения со льда Петрозаводской губы – 2 керны донных отложений мощностью до 11 м. При

интерпретации геофизических материалов автор использовал данные государственной геологической карты масштаба 1:1000000 (лист Р-36, Петрозаводск, 2002 г.) и материалы российско-германского проекта PLOT. На этапе выбора оптимальной методики ряда исследований использовались данные GRID-модели рельефа дна Онежского озера, составленной в ИВПС КарНЦ РАН, а также материалы сейсмоакустических исследований и гидролокации бокового обзора.

При проведении полевых работ на акватории были использованы следующие методы исследований:

- Сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР) с приповерхностной приемно-излучающей системой;
- ССВР с заглубленной приемно-излучающей системой;
- Гидролокация бокового обзора (ГЛБО);
- Акустическое профилирование (АПр);
- Донная электротомография (ЭТ);
- Геологический пробоотбор, инженерное бурение со льда и лабораторные исследования керна;

Степень достоверности результатов комплексных исследований подтверждается сходимостью результатов интерпретации геофизических материалов с данными геологического пробоотбора, сопровождаемого палинологическими исследованиями, радиоуглеродным датированием и КТ-рентгенографией, и данными первого бурения рыхлого покрова Онежского озера в Петрозаводской губе в 2019 году. Кроме того, достоверность обеспечивается высокой точностью и кондиционностью результатов сейсмоакустических исследований, позволивших выполнить локальный прогноз опасных геологических процессов и явлений (ОГПЯ), в частности, локализовать области площадного распространения газонасыщенных осадков и зон сфокусированной разгрузки флюидов.

Личный вклад автора

Автор принимал участие в 4 полевых инженерно-геофизических экспедициях в качестве начальника геофизической партии и обработчика. На камеральном этапе автор занимался обработкой и интерпретацией данных, лабораторными исследованиями образцов, а также принимал участие в написании и апробации компьютерной программы SborEx для сбора геофизических данных. Результаты исследований четвертичных осадков Петрозаводской губы изложены в работах [1-3, 5] совместно с коллективом исследователей. В этих работах автор внес основополагающий вклад (50-60% от общего объема работы). Дал геологическую интерпретацию инженерно-геофизических данных и составил финальные карты мощностей четвертичных отложений и геологических разрезов для исследуемой акватории. Автором написаны разделы монографии «Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям» [6]. Вклад автора в статью [4], посвященную комплексной интерпретации геолого-геофизических методов составляет 10%.

Научная новизна

На акватории Петрозаводской губы Онежского озера впервые был опробирован уникальный комплекс геолого-геофизических исследований, учитывающий пресноводные озерные условия. Результаты, полученные с помощью измерительного комплекса, доказали высокую эффективность для сейсмостратиграфического расчленения разреза, что послужило основой для составления карты четвертичных отложений и геоморфологической карты Онежского озера. Высокая точность сейсмо- и гидроакустических данных впервые позволили выявить признаки потенциально опасных геологических процессов и явлений, распространенных на акватории Петрозаводской губы Онежского озера, а также определить физические свойства четвертичных отложений.

Теоретическая значимость работы

В результате исследований осадков Петрозаводской губы Онежского озера были получены сведения, позволяющие более полно изучить верхнюю часть геологического разреза. Это позволило выделить сейсмоакустические горизонты, которые ложатся в основу существующей концепции развития Онежского озера. Результаты определения физических характеристик осадков: скорости продольных волн, плотности, акустического импеданса, удельного электрического сопротивления, коэффициентов отражения вносят существенный вклад в теоретические основы структурной организации и функционирования озерных экосистем северо-запада России. Важное значение при изучении пресноводных водоемов имеют, предложенные автором, методические и практические основы идентификации зон распространения потенциально опасных геологических процессов и явлений, в частности, областей площадного распространения газонасыщенных осадков и зон сфокусированной разгрузки флюидов.

Практическая значимость работы

Получение новых сведений о современном состоянии и истории развития Великих озер Европы является важной задачей, так как эти озера представляют собой стратегические источники пресной воды. Выполненная научная работа позволяет более полно изучить историю развития Онежского озера. Полученные картографические материалы включены в проект «Мониторинг государственной геологической карты масштаба 1:1000000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»). В ходе исследований Петрозаводской губы была разработана и испытана компьютерная программа для сбора сейсмоакустических данных SborEx (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016618288), которая может быть рекомендована при проведении сейсмоакустических работ на акваториях. Важное практическое значение для пресноводных акваторий имеют результаты обнаружения признаков газонасыщенности в осадках, полученные комплексом геофизических и инженерно- геологических методов.

Защищаемые положения

1. Сформированный программно-аппаратный геофизический комплекс для пресноводных акваторий позволяет получить детальное расчленение четвертичных отложений с вертикальной разрешающей способностью не менее 0.5 м и производить количественные оценки физических свойств четвертичных осадков.

2. В строении четвертичных отложений Петрозаводской губы Онежского озера достоверно выделяются четыре сейсмокомплекса: средне- и верхне-голоценовые озерные илы и гитии; нижне-голоценовые озерные илы гомогенизированные и глины; озерно-ледниковые ленточные глины осташковского горизонта; ледниковые отложения и флювиогляциальные пески осташковского горизонта, расположенных на подстилающем их докембрийском кристаллическом фундаменте.

3. На акватории Петрозаводской губы Онежского озера комплексом геофизических методов идентифицированы следующие опасные геологические процессы и явления: следы техногенного воздействия, потенциально опасные подводные объекты, газонасыщенные грунты, каналы миграции газов, зоны литологической неоднородности, выходы скальных грунтов, палеоврезы и тектонические нарушения.

Апробация работы

Отдельные части работы докладывались на российских и международных конференциях: «MARESEDU» (2018, 2019, 2020, гг., Москва), «Озера Евразии: проблемы и пути их решения» (19-24 мая 2019 г., Казань), «Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientist school in microscopy skills in Paleolimnology» (1-4 октября 2018, Казань), «Lateral-Interglacial transition: glaciectonic, seismoactivity, catastrophic hydrographic and landscape changes» (19-25 августа 2018 г., Петрозаводск). Автор имеет свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016618288. По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ, 1 статья в журнале из списка ВАК, 1 монография, статьи в сборниках.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем работы составляет 142 страницы, в том числе 92 рисунка и 14 таблиц. Список литературных источников содержит 94 наименования.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю кандидату тех. наук М. Ю. Токареву, а также доктору геол.-мин. наук А.Е. Рыбалко и доктору физ.-мат. наук М. Л. Владову за плодотворные идеи и возможность их воплощения в рамках диссертационной работы. Отдельные слова благодарности автор адресует коллегам из Карельского научного центра Российской академии наук, в частности доктору геогр. наук Д. А. Субетто, научной компании «Сплит» и Центра Анализа

Сейсмических Данных МГУ за помощь в проведении полевых и лабораторных испытаний, а также преподавательскому составу кафедры сейсмометрии и геоакустики Геологического факультета МГУ за полученные знания, которые ежедневно востребованы в работе и жизни. Кандидату физ.-мат. наук А. А. Бобачеву, кандидату физ.-мат. наук А. Н. Ошкину и А. К. Миринец за активное участие в изучении электрических и акустических свойств осадков Онежского озера. Спасибо кандидату геол.-мин. наук Л. А. Золотой за чуткость, внимательность и помощь в ходе подготовки диссертации. Качеством полевых материалов автор также обязан экипажу НИС «Профессор Зенкевич», «Эколог», «Посейдон». В процессе написания диссертационной работы автор имел постоянную поддержку от родителей и жены, кандидата геол.-мин. наук К. Ф. Алёшиной, которых от всего сердца благодарит за проявленное терпение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследований и степень ее разработанности, ставятся цели и задачи, обозначена научная новизна выполненных исследований. Определена теоретическая и практическая значимость. Представлен фактический материал с обозначением личного вклада автора. Приведены основные положения, выносимые на защиту диссертации. Указаны результаты апробации выполненных научных исследований.

Глава 1. Методы геолого-геофизических исследований геологического разреза на пресноводных акваториях

В первой главе приведен обзор геолого-геофизических работ на пресноводных акваториях. Обозначены требования к комплексу геолого-геофизических методов исследований при малых глубинах акватории, высокой латеральной изменчивости изучаемых осадков и приведены рекомендации по использованию технических характеристик научно-исследовательских судов.

Для выбора положения станций пробоотбора применялась методика акустического профилирования (АПр) на частотах 6-10 кГц, а также многолучевого эхолотирования. Пробоотбор проводится гравитационными трубами длиной 1-5 м. Для достижения большей глубинности используется инженерное бурение. Для достижения большей глубинности изучения геологического разреза используется сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР) с электроискровыми и электродинамическими излучателями.

Применение геофизических методов, в том числе электромагнитных, в комплексе с точечными данными геологического пробоотбора и бурения позволило произвести обоснованную геологическую интерпретацию, включая оценку тектонических условий, геологических процессов и истории осадконакопления в районе работ.

Глава 2. Геолого-геофизическая изученность Петрозаводской губы Онежского озера

Изучение Онежского озера, как части системы Великих озер Европы проводилось с середины шестидесятых годов прошлого века. Первоначальные работы были нацелены на решение широкого спектра задач, в частности:

определение гидрогеологических, геоморфологических, ландшафтных и других условий озера. Большой вклад внесли исследователи К. К. Марков, А. А., Иностранцев, Н. И. Семенович и др., труды которых собраны в монографии на тему геолого-геоморфологических особенностей Ладожской и Онежской котловин (Семенович, 1966¹, 1973²).

В дальнейшем, И. Н. Демидова, Д.Д. Квасова, Н.Н. Давыдова, Д. А. Субетто, А. Е. Рыбалко и многие другие ученые исследовали Онежское озеро для решения задач региональной геологии и геоэкологии, геохимии, седиментологии, включая геоэкологию.

В период с 1990-х годов до 2000-х в Онежском озере геолого-геофизические работы были проведены в небольшом объеме и лишь на отдельных участках акватории. В 2002 году специалисты ФГУП НПП «Полярная МГРЭ» провели непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) по сети редких профилей в рамках геолого- съемочных работ масштаба 1: 500 000 в южной части акватории Онежского озера [Макарьев, 2001³, Максимов и др.⁴, 2015 Шаров Н.В. 2019⁵]. По результатам исследований отчетным материалом были представлены, в основном, батиметрические карты. Важно отметить, что сейсмостратиграфическая интерпретация акустических данных не была проведена.

В 2015 году по результатам комплексных исследований на Онежском и Ладожском озерах была издана государственная геологическая карта масштаба 1:1000000 в пределах листа Р-36 (Максимов и др., 2015²).

На текущий момент, изучение Онежского озера, площадью 9720 км² является актуальной задачей для получения детальных сведений о четвертичных отложениях озера, его строении и восстановление истории осадконакопления с целью создания геологических реконструкций.

Применение комплекса геофизических методов открывает большие возможности для решения этих задач и позволяет в сжатые сроки покрыть площадной съемкой большую часть акватории и выбрать рациональное расположение системы станций геологического пробоотбора.

¹ Семенович Н. И. Донные отложения Ладожского озера. АН СССР. Ленинград. Изд-во «Наука», 1966. 124 с

² Семенович Н.И. Донные отложения Онежского озера. Л., Наука, АН СССР. Ленинград. Изд-во «Наука», 1973, 104 с.

³ Макарьев А.А. Объяснительная записка к листу Р-36-XXX по производству геологической съемки 1 : 500 000дна Онежского озера. СПб., 2001.

⁴ Максимов А.В., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., Коссова О.Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Р-(35),36 – Петрозаводск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 400 с.

⁵ Шаров Н. В., Журавлев А. В. Строение земной коры Белого моря и прилегающих территорий // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 3 (35). – С. 62–72

Глава 3. Полевые исследования

Новый этап сейсмоакустических исследований с участием автора на Ладожском и Онежском озерах был начат в 2016 году. Были проведены комплексные геолого-геофизические работы на полигоне «Петрозаводская губа» Онежского озера (Рис. 1). Выбор Петрозаводской губы в качестве ключевого участка обусловлен слабой изученностью, а также его доступностью для организации комплексных научных исследований.

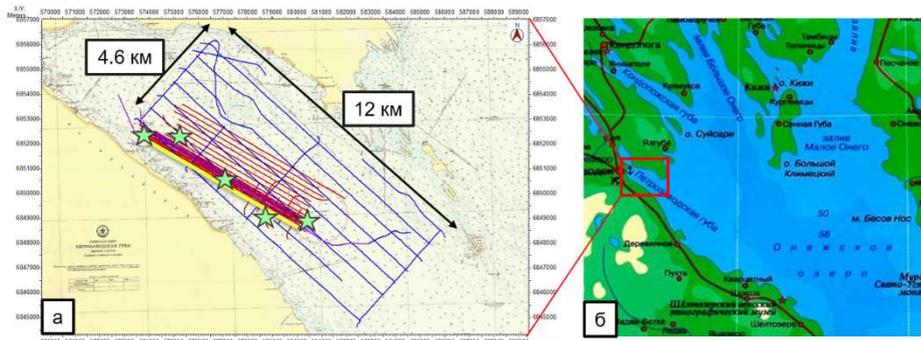


Рис. 1 а) Карта фактического геолого-геофизического материала полевых исследований 2016-2021 гг на акватории Петрозаводской губы (синим цветом показаны профили ССВР со спаркером, красным – ССВР с бумером, АПр и ГЛБО, желтым – электротомография, зеленые звезды – станции геологического пробоотбора и инженерного бурения); б) Физическая карта Онежского озера (красный квадрат – район исследований).

При написании диссертационной работы автором использовались данные, полученные в ходе полевых исследований комплексом сейсмо- и гидроакустических, электромагнитных методов, с привлечением результатов лабораторных и геологических методов на акватории Онежского озера за 2016-2021 года.

Глава 3.1 Геофизическая аппаратура и программное обеспечение, использовавшиеся в ходе полевых исследований

Район работ характеризуется глубинами до 100 м, пресноводными условиями и малыми мощностями осадочного чехла. Поэтому комплект аппаратуры для каждого геофизического метода (рис. 1) подбирался оптимальным с точки зрения достижения максимальной глубинности, высокой разрешающей способности и возможности проведения работ в короткие сроки (1-2 дня).

В данной главе диссертации приведено подробное описание аппаратуры и основного программного обеспечения, использовавшееся в ходе комплексных сейсмоакустических, гидроакустических, электромагнитных и геологических исследований.

Большой объем работ был выполнен сейсмоакустическим аппаратурным комплексом, состоящим из приемной и излучающей системы. При полевых измерениях были выбраны электродинамические излучатели, имеющие большие преимущества для пресноводных условий Онежского озера и обеспечения требований высокой точности съемки. Для проведения глубинных исследований

на всю мощность четвертичных осадков в этом комплексе использовались электроискровые излучатели (700 Гц и более) в контейнере с соленой водой. Приемная система представляла собой одну или несколько маслonaполненных сейсмокос с количеством каналов 16/24 штук и шагом между каналами равным 2 м. Во время съемки сейсмоакустическим комплексом с заглубленной системой применялся тот же набор аппаратуры, что и для приповерхностной. Для обеспечения необходимого заглубления приемно-излучающей системы использовались обтекаемые грузы-депрессоры, закрепленные на стальном тросе. Такой комплект аппаратуры позволил производить возбуждение и прием данных до 2 раз в секунду, что соответствует расстоянию между общими срединными точками (ОСТ) 1 м при скорости судна в 4 узла. Геофизические данные визуализировались и сохранялись на персональном компьютере с помощью программы SborEx, разработанной с участием автора.

Гидроакустический комплект аппаратуры включал в себя гидролокатор бокового обзора Klein 3900 и акустический профилограф SES-2000 Light. Гидролокатор представляет собой буксируемый прибор, позволяющий получать информацию о строении донных осадков в полосе 60 м с разрешением по горизонтали до 0.2 м.

Донная электротомография выполнялась с использованием комплекта аппаратуры SyscalPro (Франция), состоящего из станции, набора электроразведочных донных кос и аккумулятор для обеспечения электропитания.

Глава 3.2 Методика проведения полевых геофизических исследований

3.2.1 Общие сведения. Геофизические съемки производились на площади (рис. 1) размером 4.6 км x 12 км и включали измерения сейсмоакустическими, гидроакустическими, электромагнитными и геологическими методами. Исследования производились в разных масштабах по различным сетям геофизических профилей.

На разных этапах полевых работ были задействованы различные научно-исследовательские суда, а именно НИС «Посейдон», НИС «Эколог» и НИС «Профессор Зенкевич». Ниже приводятся сведения о методических особенностях примененных геофизических методов. Перед началом полевых геофизических съемок для каждого метода были выполнены опытно- методические работы (ОМР) на акватории Петрозаводской губы., позволившие выбрать технические средства измерений и оптимальную сеть наблюдений.

3.2.2 Сейсморазведка сверхвысокого разрешения с приповерхностной приемно-излучающей системой (ССВР). Съемка этого типа проводилась при различных скоростях движения судна (3-6.5 узлов). В работе используются данные ССВР, полученные в 2015, 2016, 2018, 2019 гг., полученные с бортов различных научно-исследовательских судов. Часть материалов была получена с электродинамическим излучателем-бумером (центральная частота 1500 Гц) для обеспечения высокого разрешения сейсмоакустических данных. Для обеспечения глубинности, достаточной для расчленения разреза на всю мощность четвертичных отложений использовался пресноводный электроискровой излучатель-спаркер (100 электродов в контейнере, центральная частота 500-1200 Гц).

При регистрации использовались маслonaполненные сейсмоакустические 16/24-х канальные косы с шагом между каналами 2 м. Глубина буксировки заборных устройств выбиралась исходя из центральной частоты регистрируемого сигнала.

Всего методом ССВР были выполнены сейсмические наблюдения в объеме 178 пог. км. на площади 60 км², которые позволили получить информацию о строении четвертичных отложений геологического разреза мощностью до 70 м для всей акватории Петрозаводской губы.

3.2.3 Сейсморазведка сверхвысокого разрешения с заглубленной приемно-излучающей системой была выполнена на отдельных профилях. Искажающие факторы, возникающие при приповерхностной буксировке сейсмоакустической аппаратуры, оказывают негативное влияние на динамическую стабильность как излучаемого, так и принимаемого сигналов из-за влияния волнения поверхности воды и невозможности их контроля. Этих искажающих факторов можно избежать, погружая приемно- излучающую расстановку на некоторую глубину (Калинин и др., 1983).

Для обеспечения стабильности заглубления использовался обтекаемый металлический груз. Вся система буксировалась на стальном лебедочном тросе. В качестве источника для заглубленной системы использовался электроискровой излучатель «Спаркер» в контейнере. Источник позволял возбуждать сигнал с центральной частотой не менее 400 Гц. Для регистрации данных использовалась заглубленная многоканальная сейсмическая коса с шагом между приемными каналами, равным 2 м. Были проведены измерения на 3 профилях, общей протяженностью 33 пог. км.

Метод ССВР с заглубленной системой позволил избавиться от влияния волн-спутников для первых метров геологического разреза и получить данные для расчета физических свойств четвертичных осадков.

3.2.4 Гидролокация бокового обзора. Съёмка методикой ГЛБО проводилась с борта НИС «Профессор Зенкевич» при скорости движения судна 3-4 узла. Гидролокатор Klein буксировался с левого борта судна на поворотной штанге на расстоянии 3 м от борта. Заглубление прибора составляло 5 метров. Расстояние между профилями было равно 60 м. Наклонная дальность выбиралась таким образом, чтобы обеспечить полное перекрытие, и была равной 70 м на каждый борт. Частота излучаемого сигнала составляла 445 кГц, тип сигнала: «chirp». Общая площадь съёмки ГЛБО составила 4 км².

Метод ГЛБО позволил получить площадные данные о строении четвертичных осадков с горизонтальной разрешающей способностью не менее 0.2 м., и различных объектов, выявленных на дне в центральной части Петрозаводской губы

3.2.5 Акустическое профилирование. Съёмка методикой АПр проводилась при скорости движения судна 3-6.5 узлов, в зависимости от технических возможностей судна и погодных условий. Прибор SES-Light устанавливался на штангу и жестко крепился к борту судна НИС «Зенкевич». Рабочая частота 10 кГц и длина записи 50 мс. Объем выполненных работ составил 150 пог. км. на площади 15,6 км².

Метод АПр позволил получить высокоразрешающие (до 10 см по вертикали) данные о строении четвертичных отложений Петрозаводской губы на глубины до 20 м.

3.2.6 Донная электротомография производилась с катера. По результатам съемки ССВР были отмечены точки для оптимальной установки донной электромагнитной косы. Измерения проводились с использованием косы (ООО «Geodevice»), в которой каждый электрод является как приемным, так и питающим. В качестве измерительной станции использовалась 72- электродная 10-канальная аппаратура «SyscalProSwitch 72» производства компании «IRIS Instruments» (Франция). Перед выполнением полевых работ методом электротомографии были прописаны протоколы, для двух установок: дипольная осевая (ABMN) и Шлюмберже (AMNB). В сумме выполнено 1259 измерений на каждой установке. Время пропускания тока составило 0.5 с, выходное напряжение генератора – 400 В, сила тока в линии АВ – 200-300 мА, измеряемый сигнал – более 3 мВ.

Метод донной электротомографии позволил впервые на акватории Петрозаводской губы получить сведения о строении и электромагнитных свойствах четвертичных отложений до глубин 50 м.

3.2.7 Геологический пробоотбор Важной частью комплексных геолого-геофизических исследований явилось проведение на изучаемой акватории Онежского озера геологического пробоотбора и инженерного бурения со льда.

Пробоотборник устанавливался с исследовательского судна с помощью троса и подходит для разных глубин воды. Максимальное внедрение гравитационной трубы составило 3.3 м. Часть трубок сохранялась без извлечения из них керна для герметизации и транспортировки в стационарные лаборатории.

3.2.8. Инженерное бурение со льда. В 2019 году было проведено первое в истории бурение в Петрозаводской губе со льда при использовании ударного пробоотборника производства. В результате было получены керны мощностью до 11 м.

Эти исследования позволили отобрать образцы на акватории Петрозаводской губы для последующей геологической интерпретации геофизических данных.

3.2.9 Лабораторные исследования керна. Непосредственно на борту судна после извлечения керна проводилось его описание, фотографирование и экспресс-тестирование (определение природной влажности, плотности, температуры, прочностных свойств при помощи микрокрыльчатки и микропенетromетра). Лабораторные методы исследования позволили детально (с шагом 5-10 см) изучить акустические и иные свойства образцов, отобранных в ходе геологического пробоотбора, а также проанализировать наличие и состав газа в осадке.

Вывод главы 3. Сформированный геолого-геофизический комплекс позволил получить научно значимые материалы для детального расчленения толщи четвертичных отложений в пресноводных условиях Петрозаводской Онежского озера.

Глава 4. Обработка и анализ результатов полевых наблюдений

Целью обработки геофизических данных является полное устранение или подавление помех и шумов в записи, а также достижение глубинности (в случае сейсморазведки) и разрешающей способности геофизических наблюдений, достаточных для решения геологической задачи. В рамках этой главы приводится описание графа обработки по каждому из геофизических методов, а также результаты поэтапного применения различных процедур обработки. Основной упор делается на обработку сейсмоакустических данных, так как эта группа методов являлась основной при проведении работ в Петрозаводской губе.

Обработанные геофизические данные в дальнейшем использовались для расчета количественных характеристик среды, выделения сеймостратиграфических комплексов, совместной интерпретации с данными электротомографии и материалами изучения геологического пробоотбора. Важным результатом интерпретации комплексных геолого-геофизических исследований является идентификации потенциально опасных геологических процессами явлений на изучаемой акватории Онежского озера.

4.1 Обработка сейсмоакустических данных. Проводилась в программном пакете RadExPro («Деко-геофизика СК»). Основной задачей обработки сейсмоакустических данных, полученных с приповерхностной приемно-излучающей системой, является построение качественного сейсмического изображения для сеймостратиграфической интерпретации, а также получение оценки скоростей распространения звука в четвертичных осадках.

4.2 При обработке данных, полученных с заглубленной приемно-излучающей системой основной задачей являлась подготовка данных к акустической инверсии, позволяющая восстановить геометрию системы и устранить влияния волн-спутников. Такой прием позволяет провести динамическую интерпретацию, в частности – оценить значения коэффициентов отражения от границ сейсмокомплексов.

Обработка сейсмоакустических данных позволила оценить эффективные и интервальные скорости в осадочном чехле Онежского озера. На всей изученной площади выявлен преимущественно нормальный скоростной закон в диапазоне значений от 1500 до 2200 м/с. Установлено, что в зонах повышенной газонасыщенности осадков скорость уменьшается на 5-10%.

4.3 Обработка данных донной электротомографии. Обработка полевых данных метода ЭТ и получение геоэлектрических разрезов проводилась в несколько этапов. На первом этапе было выполнено построение разрезов кажущегося сопротивления и подготовка данных для проведения двухмерной инверсии. Следующим этапом была выполнена двумерная инверсия в программе Res2DInv (Бобачев А.А.). На данном шаге рассчитывается несколько вариантов инверсий с различными параметрами.

В результате обработки электромагнитных данных был составлен геоэлектрический разрез, по которому была проведена геологическая интерпретация полученных материалов на акватории Петрозаводской губы Онежского озера.

4.4 Обработка данных гидролокации бокового обзора (ГЛБО)

Основной задачей обработки данных, полученных методом ГЛБО является составление акустического изображения дна по всей площади исследования для идентификации геоморфологических элементов, отличающихся характеристиками мезо-и микрорельефа.

Обработка данных ГЛБО проводилась в программном обеспечении SonarWiz. На начальном этапе было выполнено выделение первых вступлений сигнала для ввода поправки за наклонную дальность. Затем производилась амплитудная коррекция сигнала для улучшения динамических характеристик сигнала.

В результате обработки полученных материалов для исследуемой части Петрозаводской губы Онежского озера была построена мозаика данных ГЛБО для последующей интерпретации. Эти данные позволили выявить зоны флюидной разгрузки (покмарки), а также зоны литологической неоднородности осадков, которые были увязаны с различными формами рельефа.

4.5 Обработка данных акустического профилирования (АПр). В ходе обработки полученных данных было выполнено устранение помех: увеличение соотношения сигнал/шум. Использовались алгоритмы 2Д миграции Столта, что позволило восстановить формы отражающих границ и точечных объектов.

В результате обработки данных АПр автором была достигнута высокая вертикальная разрешающая способность (до 10 см). Это позволило провести совместную интерпретацию гидроакустических данных с результатами геологического пробоотбора.

Выводы главы 4. Сформированный программно-аппаратный геофизический комплекс для пресноводных акваторий продемонстрировал высокую результативность по качеству и кондиционности получаемых полевых материалов. В результате обработки геофизических данных удалось получить уникальные материалы для геологической интерпретации, позволяющие определить строение и физические свойства четвертичных отложений Петрозаводской губы Онежского озера.

Глава 5. Геологическая интерпретация

Целями исследований является изучение особенностей строения четвертичных отложений Петрозаводской губы Онежского озера. В диссертации решались различные геологические задачи: сейсмостратиграфическая интерпретация геолого-геофизических данных, определение физических свойств осадков, геоморфологический анализ дна озера и идентификация опасных геологических процессов и явлений (ОГПЯ).

Глава 5.1 Сейсмостратиграфическая интерпретация данных

Одной из главных задач проведенных исследований являлось сейсмостратиграфическое расчленение толщи четвертичных отложений. По устоявшимся взглядам, изложенных в работах А. П. Лисицына (2017), А. Е. Рыбалко (2021) и других ученых, в северо-западном регионе при интерпретации использовалась определенная последовательность выполнения интерпретационных работ. В начале выделялись сейсмостратиграфические комплексы (региональные) с использованием государственной геологической

карты масштаба 1:1000000 лист Р-36. Далее выделялись локальные сеймостратиграфические единицы и проводилось сопоставление выделенных комплексов со стратиграфическими образованиями. Пример сеймостратиграфического расчленения четвертичных отложений приведен на рис. 2.

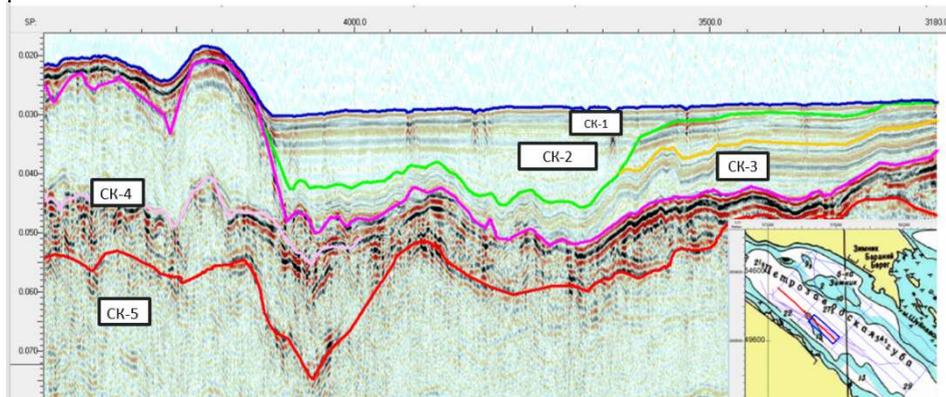


Рис. 2. Сейсмограммa ОГТ, полученная по профилю, расположенному в центральной акватории Петрозаводской губы. Цветными линиями показаны границы сеймокомплексов СК-1, СК-2, СК-3, СК-4, СК-5. Возраст комплексов приведен в тексте.

В главе приведены подробные описания признаков каждого сейсмоакустического комплекса.

Таким образом, сейсмоакустическое профилирование в Петрозаводской губе с двумя разночастотными (ССВР и СУВР) сейсмоакустическими системами позволило составить сеймостратиграфическую схему четвертичных отложений Онежского озера и произвести геологическую интерпретацию сейсмоакустических данных.

В главе дана геологическая интерпретация на основании данных проботбора и инженерного бурения. При геологической интерпретации использовались данные проботбора и инженерного бурения, что позволило достоверно выделить пять сеймокомплексов (см. рис. 2), которые были положены в основу сеймостратиграфии четвертичных отложений Петрозаводской губы Онежского озера:

- СК-1 имеет мощность от 0 до 3 м, сложен средне- и верхне-голоценовыми озерными илами и гитиями;
- СК-2 представлен ниже-голоценовыми озерными илами гомогенизированными и глинами, его мощность варьирует от 12 до 32 м, распространен не повсеместно;
- СК-3 характеризуется выдержанной мощностью по всей площадке в пределах 10 м, сложен озерно-ледниковыми ленточными глинами ошашковского горизонта;
- СК-4 состоит из двух подкомплексов, первый сложен ледниковыми валунными суглинками ошашковского горизонта и его мощность достигает 22 м,

второй – флювиогляциальными песками ошашковского горизонта мощностью до 15 м, выделяется также по данным ГЛБО (рис. 3);

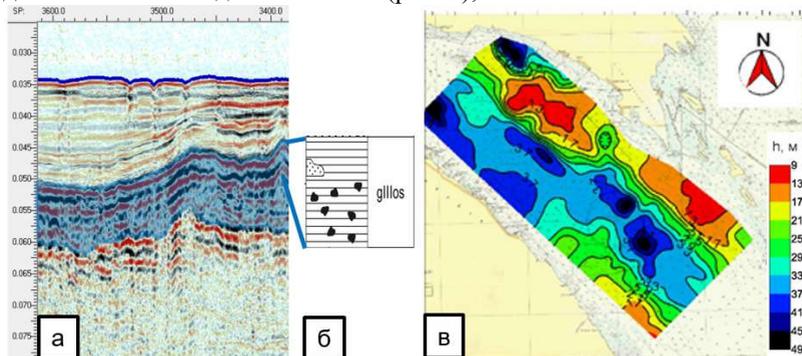


Рисунок 3. Пример схем, полученных в ходе интерпретации разреза четвертичных отложений: а) фрагмент профиля ССВР с выделенным СК-4 (синим); б) литологическая колонка, отобранная из СК-4; в) структурная карта кровли СК-4.

- СК-5 представляет собой кристаллический фундамент, глубина залегания которого меняется от 15 до 74 м, сложен предположительно интенсивно метаморфизованными шокшинскими кварцитами.

По всем выделенным комплексам автор построил структурные карты поверхностей кровли для каждого из них. На рис. 3 приведен пример интерпретации.

В диссертации приводятся подробное описание волновой картины, структурные карты кровли выделенных сейсмокомплексов, сопоставление литологических колонок, позволяющих проанализировать мощности сейсмокомплексов и структурные особенности четвертичных отложений в целом.

Глава 5.2 Количественная оценка физических свойств. Лабораторные исследования керна.

Измерения были проведены на кернах, полученных результате пробоотбора с борта судна и бурения со льда. Измерения скорости звука выполнялись на трубках по методике прямого просвечивания. Излучатель и приемник располагались на противоположных сторонах трубки на оси диаметра трубки. Вдоль трубки измерения выполнялись с шагом 0.05 м и обеспечивался надежный акустический контакт датчиков с трубкой. Для увеличения соотношения сигнал/шум выполнялось осреднение 50-ти трасс при неподвижном положении датчиков.

В результате лабораторных исследований изучены скорости звука V_p для каждого из выделенных сейсмокомплексов. Значения V_p варьируют в пределах от 1270 до 1520 м/с. Важный результат получен для газонасыщенных осадков, для которых наблюдается значительное понижение скорости звука до 1270 м/с. **Подбор коэффициентов отражения (без учета поглощения).** При вычислении коэффициентов отражения от границ сейсмокомплексов автор получил

дополнительную информацию о физических свойствах выделенных сейсмокомплексов.

Расчет коэффициента отражения производился по сейсмоакустическим данным, полученным с помощью заглабленной приемно-излучающей системы. Перед тем, как производить расчеты, была проведена специальная обработка данных, нацеленная на устранение волн-спутников в записи, которые хотя и не влияют на донный импульс, но могут оказывать влияние на нижележащие горизонты.

После устранения волн-спутников оценивалась амплитуда отраженных волн для кровли каждого из выделенных в главе 5.1 горизонтов, а также амплитуда кратной волны, отраженной от дна. Коэффициент отражения от дна рассчитывался из соотношения амплитуд однократно и двукратно отраженного сигнала. Для каждого последующего горизонта значения коэффициентов отражения рассчитывались рекурсивно.

В итоге были последовательно рассчитаны значения коэффициентов отражений для границ сейсмокомплексов. Были рассчитаны пластовые скорости и Р-импедансы. В местах, предположительно являющихся кровлей газонасыщенных отложений, наблюдается увеличение коэффициента отражения на порядок по сравнению с вмещающими породами.

Удельное электрическое сопротивление. Расчет электромагнитной инверсии происходил с учетом априорной информации по выделенным сейсмокомплексам. После проведения электромагнитной инверсии, данные анализировались совместно с разрезами ССВР. В результате обработки электромагнитных данных для всех выделенных горизонтов были рассчитаны значения удельного электрического сопротивления (Рис. 4).

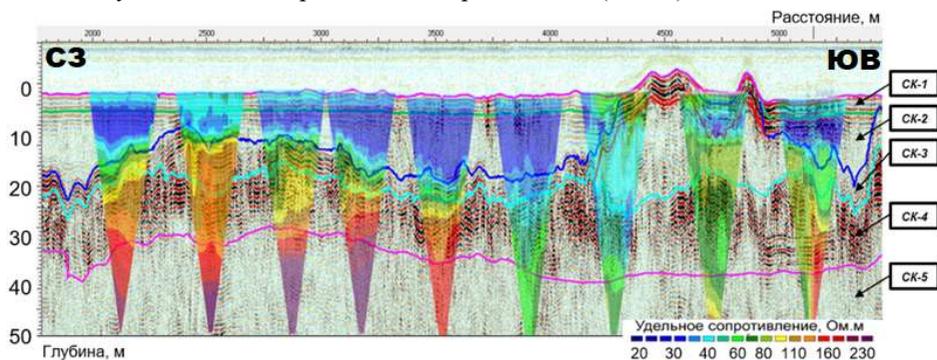


Рис. 4. Сопоставление геоэлектрических разрезов, полученных по данным донной электротомографии с выделенными сейсмоакустическими комплексами (по материалам работы А. К. Миринец, А. А. Бобачева и А. Е. Рыбалко., 2022⁶).

При сопоставлении представленного геоэлектрического разреза с положением сейсмоакустических границ отчетливо видна хорошая корреляция

⁶ Миринец А. К., Бобачев А. А., Рыбалко А. Е. Исследования донных отложений Онежского озера методами сейсморазведки и электроразведки // Наука и технологические разработки. — 2022. — Т. 101, № 2. — С. 5–22.

между положением кровли СК-3 и областями пониженных значений удельного электрического сопротивления (20-30 Ом*м). На юго-восточном участке профиля ярко проявляется повышение УЭС, которые можно интерпретировать как смену литологического состава осадков.

По результатам проведенных исследований, описанных в главе 5.2, была составлена сводная таблица физических свойств, полученных различными методами. Для наиболее глубоких комплексов (СК-4, СК-5) не было получено скважинных данных, поэтому для них таблица заполнена частично (Таблица 1).

Таблица 1. Физические характеристики четвертичных осадков для выделенных сейсмоакустических комплексов.

| № | Сейсмо-комплекс | УЭС, Ом*м | Vp инт, м/с | Vp лаб, м/с | Плотность, г/см ³ | К. отр. |
|----|-----------------|-----------|-------------|-------------|------------------------------|-----------|
| 1 | СК-1 | 35 – 60 | 1520 – 1550 | 1330-1410 | 1.19 – 1.35 | 0.02-0.06 |
| 2а | | 40 – 70 | 1340 – 1430 | 1270-1340 | 1.2 – 1.4 | 0.09-0.3 |
| | СК-2 | | | | | |
| 2 | | 30 – 60 | 1575 - 1610 | 1340-1430 | 1.2 – 1.4 | 0.05-0.09 |
| 3 | СК-3 | 55 – 130 | > 1700 | 1430-1520 | 1.2 – 1.6 | 0.15-0.24 |
| 4 | СК-4 | > 130 | > 1910 | - | - | - |

Глава 5.3 Геоморфологический анализ данных

Онежское озеро является вторым по величине в Европе, относительно глубоководным водоемом (средняя глубина 30 м, максимальная – 120 м). Геоморфологический анализ данных (рис. 5), полученных на исследуемой акватории позволяет на основании геолого-геофизических данных перейти к решению задач экологических и ландшафтных исследований.

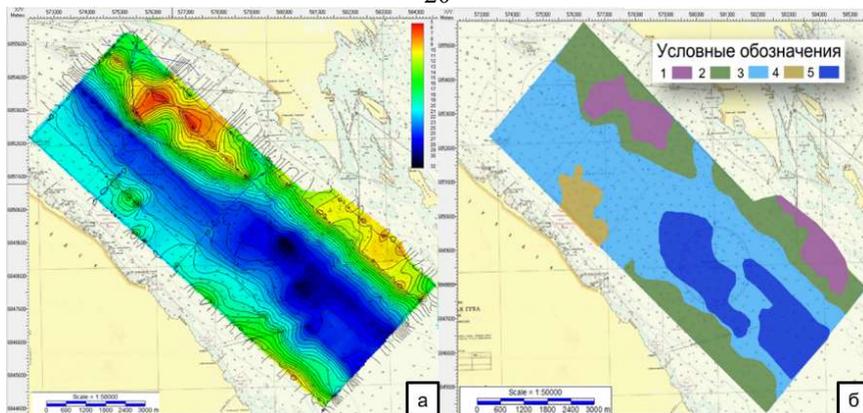


Рис. 5. а) Цифровая модель рельефа дна, построенная по данным ССВР и АПр; б) Геоморфологическая карта-схема Онежского озера (Цветами выделены различные типы подводных поверхностей: 1 - структурно-денудационная, 2, 4 - аккумулятивно-денудационная, 3, 5 – озерно-нефелоидная аккумулятивная).

В диссертации на основании сейсмо- и гидроакустических данных была построена цифровая модель рельефа дна Петрозаводской губы (рис. 5. а). Анализ данных ССВР, АПр и ГЛБО позволил установить гетерогенный характер рельефа дна (рис. 5 б). Он представлен следующими основными категориями: денудационно-структурной, аккумулятивно-денудационной ледниковой и флювиогляциальной, иозерно-нефелоидной аккумулятивной. Генезис их отражает последовательную смену ледниковых ландшафтов, развитием приледниковых бассейнов и смен их озерным бассейном, на дне которого наряду с накоплением озерных нефелоидов существуют обширные площадки, сложенные подводными выходами лимногляциальных глин и ледниковыми краевыми образованиями (красвые морены, озы).

Глава 5.4 Идентификация опасных геологических процессов и явлений

Согласно своду правил «Инженерные изыскания для строительства на континентальном шельфе» СП-504.1325800.2021, при изучении дна и верхней части грунтового массива на глубину до 100 м ниже дна моря, геолого-геофизические методы рекомендованы для идентификации различных опасных геологических процессов и явлений. Основными методами приповерхностных и малоглубинных геофизических исследований являются: ССВР, СУВР, НЧ НСП, ВЧ НСП, ГЛБО, АПр и ЭР. В главе описаны признаки обнаруженных в ходе полевых исследований опасных геологических процессов и явлений (ОГПЯ).

По данным ГЛБО и сейсмоакустических методов, в плане и в разрезе выделяются геологические границы, обусловленные сменой гранулометрического состава донных грунтов. Преимущественно эти границы связаны с уменьшением мощности наиболее молодых слоев, представленных озерными глинистыми отложениями, и более близким к поверхности дна залеганием ледниковых моренных осадков, обладающих большей плотностью.

Помимо естественных объектов, по данным ГЛБО также выделяются и следы техногенного воздействия, в т. ч. подводные потенциально опасные

объекты, в частности затонувшие плавательные средства, якорные следы и возможно следы траления.

В северной части полигона, характеризующейся малой мощностью озерных отложений, по данным ССВР в кристаллическом фундаменте выделены палеоврезы мощностью до 17 м. В северной и северо-восточной части (рис. 1) по данным ССВР выделяются выходы скальных грунтов на поверхность дна озера. Данные участки характеризуются повышенными амплитудами и прямой фазой сейсмического сигнала.

По данным ССВР также выделяются следы неотектонических движений. В основании разреза в наиболее глубоких сейсмокомплексах встречаются разрывные нарушения, прослеживающиеся вплоть до кровли комплекса СК-4. Известно, что в данном регионе характерными являются субвертикальными неотектонические движения (Макарьев А.А и др., 2011⁷).

Особый интерес при изучении ОГПЯ представляют собой покмарки – конусообразные понижения в рельефе, имеющие округлую в плане форму. Обнаружено несколько десятков покмарок, выявленных по данным всех сейсмоакустических методов. Проведенные расчеты показали, что их глубина не превышает 2 м, а радиус – 10 м. Покмарки равномерно распределены по площади и иногда образуют скопления (Рис. 6, а,б,в.).

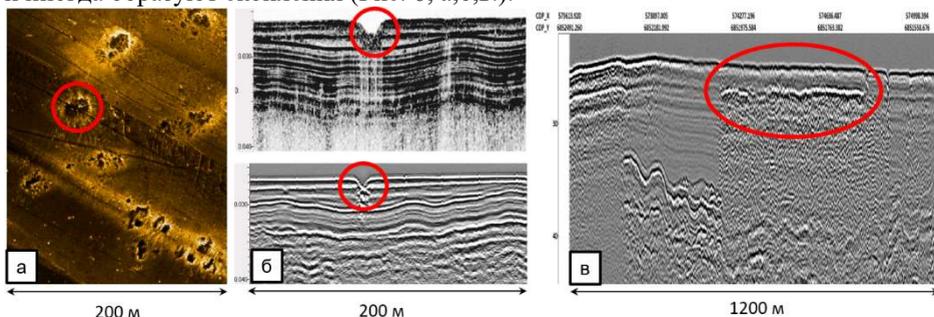


Рис.6. Выявление газонасыщенных грунтов (а), каналов миграции газов(б) и иных флюидов (в) по комплексу сейсмоакустических методов.

Сопоставление записей ГЛБО (сонограмм) с временными разрезами сейсмоакустического профилирования показало, что покмарки связаны с газовыми потоками (струями), достигающими поверхности дна. Наличие газа в осадках было подтверждено результатами геологического пробоотбора. Лабораторные исследования отобранных грунтов показали, что до изученной глубины 3 м озерные отложения следует относить к категории слабых грунтов.

⁷ Макарьев А.А., Макарьева Е.М., Кисилев А.В. и др. Геофизические исследования на акватории Онежского озера // Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения). Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. – Петрозаводск: КНЦ РАН, 2011. – С. 339-356.

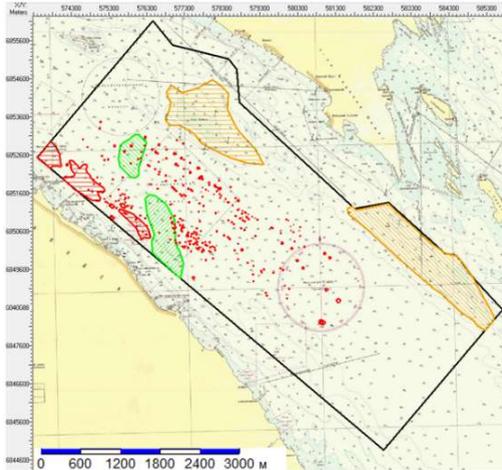


Рис. 7. Карта потенциально опасных геологических процессов и явлений (Черным выделен контур изучаемой площадки на акватории Петрозаводской губы Онежского озера. Красным - зоны высокой степени риска, оранжевым - средней степени риска, зеленым - низкой степени риска).

Таким образом, впервые для Петрозаводской губы была построена карта опасностей и проведено районирование территории по степени риска, включая решение важной задачи идентификации ОГПЯ. На рис. 7 отчетливо видно, что наибольшая плотность различных ОГПЯ сосредоточена в северо-западной части изучаемой площади акватории. Напротив, - юго-восточная часть наименее подвержена проявлениям ОГПЯ.

Заключение

В диссертационной работе проведено комплексное исследование строения и свойств осадочного чехла Петрозаводской губы Онежского озера. В результате полевых, лабораторных и камеральных исследований было установлено, что программно-аппаратный геолого-геофизический комплекс позволил детально изучить полный разрез четвертичных отложений и физические свойства осадков на акватории Петрозаводской губы.

Впервые для Онежского озера по результатам площадной геолого-геофизической съемки выполнена геологическая интерпретация геофизических данных на всю мощность надледникового разреза и кровлю моренных отложений. В четвертичных отложениях было выделено четыре сейсмокомплекса, залегающих на кристаллическом фундаменте.

Выделенные сейсмокомплексы легли в основу сеймостратиграфии четвертичных отложений Петрозаводской губы Онежского озера с построением структурных карт по каждому сейсмокомплексу. Это позволило провести геоморфологий анализ и выделить основные типы рельефа Петрозаводской губы. Проведенные исследования позволяют утверждать, что полученная схема

сейсмостратиграфии четвертичных отложений может быть обобщена на большую часть акватории Онежского озера [Субетто и др. 2022⁸].

Впервые в рамках диссертационной работы на акватории Петрозаводской губы Онежского озера были локализованы зоны распространения ОГПЯ с ранжированием их по степени риска. Предложенная методика геолого-геофизических исследований для решения подобных задач, важных при проведении инженерных изысканий, может быть рекомендована к применению в сложных сейсмогеологических условиях озер.

Высокая результативность комплексных площадных геолого-геофизических исследований при изучении четвертичных отложений открывает возможность уверенно рекомендовать их для масштабных исследований системы Великих озер Европы

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук

1. Алёшин М.И., Видищева О.Н., Валиева Э.И., Миринец А.К., Егошина Е.Д., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Полудеткина Е.Н. Четвертичные отложения открытой части Онежского озера и Заонежского залива // Геофизические исследования. – 2021. – Т. 22. – № 3. – С. 35-52. RSCI. Импакт-фактор в РИНЦ: 0,767. (1.85 п.л., авторский вклад 59%).

2. Алёшин М.И., Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Рыбалко А.Е., Субетто Д.А. Изучение придонных осадков в Петрозаводской губе Онежского озера с помощью комплексирования геолого-геофизических методов изучения донных отложений // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2019. – № 4. – С. 98-104. RSCI. Импакт-фактор в РИНЦ: 0,411. (0.69 п.л., авторский вклад 55%).

3. Алёшин М.И., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Миринец А.К. Результаты комплексирования геолого-геофизических методов с целью определения структуры и свойств придонных осадков Петрозаводской губы Онежского озера // Геофизика. — 2021. — № Спецвыпуск. – С. 30–41. RSCI. Импакт-фактор в РИНЦ: 0.43. (1.27 п.л., авторский вклад 65%).

4. Subetto D., Rybalko A., Strakhovenko V., Belkina N., Tokarev M., Potakhin M., Aleshin M., Belyaev P., Dubois N., Kuznetsov V., Korost D., Loktev A., Shalaeva N., Kiskina A., Kostromina N., Kublitskiy Y., Orlov A. Structure of Late Pleistocene and Holocene Sediments in the Petrozavodsk Bay, Lake Onego (NW Russia) // Minerals. –

⁸ Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям / Субетто Д.А., Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Рыбалко А.Е., Зобков М.Б., Потахин М.С., Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Лаврова Н.Б., Рязанцев П.А., Тарасов А.Ю., Филимонова Л.В., Шелехова Т.С., Шварев С.В., Алёшин М.И. и др.— КарНЦ РАН Петрозаводск, 2022. — 332 с.

2020. – V. 10. – № 11. – P. 964-984. DOI: 10.3390/min10110964. Scopus, SJR: 0.522. (2,31 п.л., авторский вклад 10%).

Научные статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ

5. **Алешин М.И.**, Миронюк С.Г., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Субетто Д.А., Потемка А.К. Первые итоги изучения покмарок Онежского озера // Процессы в геосредах. – 2018. – Т. 1. – № 14. – С. 732-740. Импакт-фактор в РИНЦ: 0,18 (0,92 п.л., авторский вклад 50%).

Монографии

6. Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям / Субетто Д.А., Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Рыбалко А.Е., Зобков М.Б., Потахин М.С., Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Лаврова Н.Б., Рязанцев П.А., Тарасов А.Ю., Филимонова Л.В., Шелехова Т.С., Шварев С.В., **Алешин М.И.** и др.— КарНЦ РАН Петрозаводск, 2022. — 332 с.

Иные научные публикации

7. Beliaev P., Rybalko A., Subetto D., Tokarev M., Aleshin M. Structure-geomorphological features of the largest lakes of Russian North-West // Limnology and Freshwater Biology. – 2020. – № 4. – P. 515-516. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-515 (0.23 п.л., авторский вклад 10%)

Свидетельства о регистрации прав на программное обеспечение

Свидетельство о регистрации программного продукта Sub-Bottom Offshore Research and Exploration / А. А. Сергеев, В. И. Бачурин, **М. И. Алешин**; правообладатель ООО "Сплит". - № 2016618288; заявл. 09.06.2016; опубли. 26.07.2016.

Статьи в сборниках

8. **Алешин М.И.**, Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Миринец А.К. Результаты комплексирования геолого- геофизических методов с целью определения структуры и свойств придонных осадков Петрозаводской губы Онежского озера //Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». – 2020. – Т. 3. – С. 411-414.

9. Миринец А.К., Марятов А.К., **Алешин М.И.** Результаты сейсморазведочных работ на акватории Баренцева моря в рейсе TTR-19 // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». – 2020. – Т. 3. – С. 449-452.

10. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Суббетто Д.А., Беляев П.Ю., Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Полудеткина Е.Д., Корост С.Р., **Алешин М.И.**, Миринец А.К., Кузнецов В.Ю., Савельева Л.А. Карта четвертичных отложений Онежского озера: результаты комплексных геолого-геофизических работ в 2016-2019 гг // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». – 2020. – Т. 2. –С. 400-404.

11. Беляев П.Ю., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., **Алешин М.И.** Результаты работ по изучению верхнелепестово-голоценового чехла котловины Онежского озера. Обобщение данных за период 2016-2019 гг // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)». – 2020. – С. 41-43.

12. Киселева Е.В., Субботин Д.Д., Миринец А.К., **Алешин М.И.** Предварительные результаты сейсмоакустических исследований озерных отложений Петрозаводской губы Онежского озера в 2019 году // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)». – 2020. – Т. 2. – С. 186-189.

13. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Субетто Д.А., **Алешин М.И.**, Беляев П.Ю., Савельева Л.А., Кузнецов В.Ю. Использование сейсмоакустических методов при изучении крупных озер для решения стратиграфических, палеогеографических и геоэкологических задач // Материалы II Международной Конференции «Озера Евразии: проблемы и пути их решения». – 2019. – Т. 2. – С. 314-318.

14. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Субетто Д.А., **Алешин М.И.**, Беляев П.Ю., Гайнанов В.Г., Токарев А.М., Балакин И.С. Геодинамические и неотектонические процессы в Ладожском и Онежском озерах по данным сейсмоакустических исследований // Труды VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)». – 2019. – С. 32-40.

15. Rybalko A., Tokarev M., Subetto D., **Aleshin M.**, Beliaev P. Usage of new seismoacoustic methods for paleolimnological study of the Ladoga and Onega lakes // Proceedings of the 3rd International Conference: «Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientists' school in microscopy skills in paleolimnology». – 2018. – P. 98-101.

16. Rybalko A., Tokarev M., Subetto D., Korost D., Loktev A., Kuznetsov V., Saveliyeva L., Kiskina A., Belkina N., **Aleshin M.**, Polovkov V., Kostromina N., Aksenov A. Methods of conducting complex studies to restore the paleolimnological conditions and underwater landscapes of large lakes by the example of Petrozavodsk Bay of Lake Onega // Proceedings of the 3rd International Conference: «Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientists' school in microscopy skills in paleolimnology». – 2018. – P. 96-98.

17. Rybalko A., Tokarev M., **Aleshin M.**, Subetto D., Belyaev P. New data on the structure on Quaternary sediments and modern geodynamic movements in Lake Ladoga // Proceedings of the International Scientific Conference: «Lateglacial–Interglacial transition: glaciotectionic, seismoactivity, catastrophic hydrographic and landscape changes». – 2018. – P. 98-101.

18. **Алешин М.И.**, Токарев М.Ю., Миرونюк С.Г., Рыбалко А.Е., Локтев А.С., Потемка А.К. Закономерности распространения, морфология и генезис покмарок в Онежском озере // Труды VI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование: (MARESEDU-2017)». – 2017. – С. 262-266.