

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

На правах рукописи

Беляев Павел Юрьевич

РЕЛЬЕФ ДНА И СТРОЕНИЕ ПОЗДНЕВАЛДАЙСКИХ-ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
КОТЛОВИН ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЁР

Специальность 1.6.14. – Геоморфология и палеогеография

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Рыбалко Александр Евменьевич,
ведущий научный сотрудник ФГБУ «ВНИИОкеангеология»,
профессор кафедры геоморфологии СПбГУ.

Санкт-Петербург

2021

Оглавление

Введение.....	4
1. Физико-географическое описание	10
1.1. Ладожское озеро.....	10
1.2. Онежское озеро	15
2. История изучения четвертичных донных отложений Ладожского и Онежского озер	17
2.1. Ладожское озеро.....	17
2.2. Онежское озеро	20
2.3. Исследования новейшего этапа	22
3. Геолого-геоморфологическая характеристика изучаемых объектов по данным предшествующих исследователей.....	23
3.1. Строение дочетвертичных образований Ладожского озера.....	23
3.2. Строение дочетвертичных образований Онежского озера	27
3.3. Строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений Котловин Ладожского и Онежского озёр.....	30
3.4. Строение четвертичных отложений прилегающей суши.....	31
4. Методы исследований	40
4. 1. Методы исследований, применявшиеся при изучении Ладожского озера.....	40
4. 2. Методы исследований, применявшиеся при изучении Онежского озера	43
4. 2. 1. Сейсмоакустические и гидролокационные исследования	43
4. 2. 2. Геологический пробоотбор с судна.....	44
4. 2. 3. Стационарное бурение со льда	47
5. Рельеф и четвертичные отложения Ладожского озера.....	50
5. 1. Данные о строении верхнеплейстоцен-голоценовых отложений Ладожского озера по результатам анализа профилей НСП.....	50
5. 1. 1. Свидетельства неотектонической активности на дне котловины Ладожского озера.....	58
5. 2. Сопоставление данных сейсмоакустического профилирования и геологического пробоотбора	66
5. 3. Геоморфологическая схема дна Ладожского озера	72
6. Строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений и рельеф дна Онежского озера	77
6.1. Строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений дна Онежского озера по результатам геологического пробоотбора	78
6. 1. 2. Обоснование возрастной привязки отложений котловины Онежского озера.....	84
6. 1. 3. Сводный разрез отложений котловины Онежского озера	88
6. 2. Карта четвертичных отложений котловины Онежского озера.....	91
6. 3. Геоморфологическая характеристика котловины Онежского озера.....	93
7. Сравнение геоморфологических характеристик и строения четвертичного покрова котловин Ладожского и Онежского озёр.....	95
Заключение	101

Использованная литература	102
Приложения	113

Введение

Актуальность темы исследования

Ладожское и Онежское озёра – крупнейшие пресноводные водоёмы Европы. Озёра являются значимыми источниками геологической и палеогеографической информации. Учитывая, что изучаемые озёра занимают обширные площади, изучение четвертичных отложений, этих озёр, где их мощность и непрерывность существенно больше, чем в береговых разрезах, представляет большой интерес для четвертичной геологии северо-запада России и истории его развития в позднем неоплейстоцене-голоцене. Это тем более важно, так как последние значимые работы с использованием тяжёлых грунтовых трубок в этих озёрах проводились в конце прошлого века (Saarnisto, Saarinen, 2001; Макарьев, 2002; Субетто, 2009).

Диссертация написана по результатам полевых исследований, проводившихся, начиная с 2014 года при участии специалистов МГУ, СПбГУ, ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева, ИВПС Кар НЦ РАН и ряда других организаций. Работы велись с использованием новейшего геофизического и пробоотборного оборудования, позволившего получить новые данные, существенно расширяющие наши знания о строении четвертичного покрова и рельефа озерного дна, а также получить дополнительный материал о палеогеографическом развитии этих озёр на рубеже неоплейстоцена и голоцена.

Актуальность работы обусловлена недостаточной изученностью геолого-геоморфологических особенностей строения котловин Ладожского и Онежского озёр - стратегически важных природных объектов для водопользования и водопотребления на Северо-западе России. Так, все еще недостаточно исследована литостратиграфия верхнечетвертичных отложений, до недавнего времени почти отсутствовали картографические материалы, основанные на результатах обработки данных высокоразрешающих сейсмоакустических исследований и тяжёлого геологического пробоотбора. То же относится и к геоморфологическим картам. Задачи геолого-геоморфологического изучения котловин Ладожского и Онежского озёр корреспондируются с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г., суть которого изложена в обращении к Совету безопасности РФ (ссылка: <https://www.newsru.com/russia/20nov2013/sovbez.html>) и предусматривает проведение геологических исследований для более детального изучения четвертичных отложений. В ходе выполнения диссертационного исследования были получены новые данные,

существенно расширяющие знания о строении четвертичного покрова и рельефа озерного дна Ладожского и Онежского озер, а также позволяющие получить новую информацию о развитии этих озер в позднем неоплейстоцене и голоцене.

Цель исследования - Описание особенностей формирования рельефа и отложений котловин Ладожского и Онежского озёр в период с заключительной части валдайского оледенения по голоцен.

Задачи, поставленные для решения указанной цели:

1) Актуализация стратиграфической привязки поздневалдайских-голоценовых отложений Ладожского и Онежского озёр на основе обработки новых полученных геолого-геофизических материалов.

2) Анализ данных о возрасте, морфологии и генезисе рельефа котловин Ладожского и Онежского озёр на основе интерпретации новых данных сейсмоакустического профилирования.

3) Выделение этапов гляциоседиментационного цикла в котловинах Ладожского и Онежского озёр.

4) Сравнительная характеристика развития отложений и рельефа Ладожского и Онежского озёр с поздневалдайского периода по голоцен на основе сопоставления выделенных этапов гляциоседиментационного цикла.

Объект исследования: котловины Ладожского и Онежского озёр.

Предмет исследования: строение и геоморфологические особенности котловин Ладожского и Онежского озёр.

Методы исследований: Работа написана по результатам полевых работ, проводимых с 2014 по 2019 гг. в пределах акваторий Ладожского и Онежского озера. Работы включали в себя геологический пробоотбор и геофизические исследования.

Геофизические работы были представлены многоканальным сейсмоакустическим профилированием (НСП) с источником Буммер (частота – 2000 Гц, разрешающая способность - 0,2-0,3 м), а также гидролокацией бокового обзора с использованием ГЛБО "Сlein-900", (частота - 450 кГц, ширина обзора – 100 м, разрешающая способность – 0,5 м). Геологический пробоотбор осуществлялся с помощью грунтовой ударной трубки длиной 3 м с внутренними ПВХ вкладышами. Места отбора проб определялись по результатам предварительной интерпретации геофизических данных. Подводное бурение со льда при использовании бурового оборудования компании UWITEC.

Обработка данных, полученных в ходе полевых работ и сопоставление их с результатами предшествующих исследований проводилось с использованием материалов ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015) и материалов российско-германского проекта PLOT, опубликованных в нескольких статьях (Andreev et. al, 2016; 2019; Gromig et. al. 2019; Lebas et. al. 20202).

Исходные данные

Материалом для диссертационной работы послужили результаты полевых работ с 2014 по 2019 гг., в ходе которых был проведено более 1200 пог. км профилей сейсмоакустической съёмки и гидролокации бокового обзора (800 пог. км для Ладожского озера и 400 пог. км – для Онежского), отобрано 40 колонок донных отложений длиной до 3 м (получены в ходе проботбора с корабля, все в Онежском озере), 2 керна донных отложений длиной до 10 м (получены в ходе стационарного бурения со льда Петрозаводской губы Онежского озера).

Были использованы также данные ГК-1000/3 (лист Р-36, Петрозаводск), материалы выполнения российско-германского проекта PLOT, а также данные незаконченного геологического картирования Онежского озера в масштабе 1:1 000 000, проведенного ОАО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» в 1999 - 2000 гг.

Данные о рельефе дна Ладожского озера получены на основании анализа данных батиметрии, геоморфологической карты третьего поколения, а также вышеописанных данных сейсмоакустического профилирования. Рельеф котловины Онежского озера описан по результатам анализа GRID-модели, составленной в ИВПС Кар НЦ РАН, данных сейсмоакустических исследований и гидролокации бокового обзора.

Соответствие диссертации паспорту специальности.

Диссертация Беляева Павла Юрьевича «Рельеф дна и строение поздневалдайских-голоценовых отложений котловин Ладожского и Онежского озёр» соответствует паспорту научной специальности 25.00.25 (Геоморфология и эволюционная география): Формуле паспорта специальности, так как в диссертации рассматриваются вопросы морфологии, генезиса, возраста, а также динамики рельефа в региональном масштабе на рубеже неоплейстоцена-голоцена.

- Областям исследования паспорта специальности, в частности:
-п.2. Структурная геоморфология и морфоструктурный анализ.

-п.6. Динамическая геоморфология.

-п.7. Геоморфология побережий и дна морей и океанов.

-п.14. Методы геоморфологических исследований и геоморфологическое картографирование.

-п.15. Проблемы региональной геоморфологии. Эволюционная география.

Научная новизна

Получены новые данные о строении четвертичных отложений и рельефа дна Ладожского и Онежского озёр, в том числе на основе данных интерпретации многоканального высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования и тяжелого колонкового пробоотбора. Проведён анализ отложений, заполняющих озёрные котловины. Выделены типы поверхностей для различных областей озёрных котловин. Выделено несколько участков, являющихся весьма интересными для дальнейшего изучения в виду различных вариантов интерпретации отложений на них. Составлены геоморфологические карты и карта четвертичных отложений для котловин Ладожского и Онежского озера (впервые по конкретным геологическим данным).

Теоретическая значимость работы состоит в том, что при сопоставлении данных о рельефе и строении верхнелепестово-голоценовых отложений котловин изучаемых озёр, была дана характеристика геоморфологическим особенностям и строению четвертичного чехла Ладожского и Онежского озёр.

Защищаемые положения:

1. Поздневалдайский и голоценовый рельеф дна котловин Ладожского и Онежского озёр представлен следующими основными группами форм: структурная, ледниковая и седиментационная, сформировавшимися в поздневалдайское – голоценовое время.

2. Поздневалдайские и голоценовые отложения, выполняющие котловины изучаемых озёр, имеют схожий характер напластования и составляют единый гляциоседиментационный цикл (снизу-вверх): моренные, фациально замещающие их флювиогляциальные, лимногляциальные и озёрные отложения, однако время их формирования в Ладожском и Онежском озерах различно.

3. Ледниково-озёрные отложения обеих котловин состоят из трех пачек, которые соответствуют различным стадиям приледниковых озёр, отличаются характером слоистости и микроагрегатным составом, что отражает

характер поступления обломочного материала, обусловленный положением источника сноса (края ледника).

Практическая значимость работы заключается в составлении геоморфологических карт Ладожского и Онежского озера и карты распространения четвертичных отложений Онежского озера. Полученные данные по строению разреза четвертичных отложений, и их пространственному распределению, имеют большое значение для построения палеогеографических реконструкций периода деградации последнего оледенения и становления озерного режима в Ладожском и Онежском озерах. Построенные карты могут быть использованы для актуализации существующих геоморфологических и геологических карт, в том числе, полученных в результате Государственной геологической съемки на соответствующих листах.

Степень достоверности результатов исследований определяется кондиционными условиями проведения сейсмоакустических исследований научно-производственными подразделениями научного парка МГУ им. М. В. Ломоносова, сверкой интерпретации геофизических материалов с данными геологического пробоотбора, сопровождаемого результатами палинологических исследований, радиоуглеродного датирования, и данными КТ-рентгенографии, а также данными первого бурения рыхлого покрова Онежского озера в Петрозаводской губе в 2019 году, в котором автор принимал личное участие.

Личный вклад автора заключается в получении материалов, в результате работ на протяжении 2014-2020 гг. в рамках грантов РФФИ 18-17-00176, 18-17-00176-П, РФФИ 18-05-00303 и грантов СПбГУ (Шифр ИАС 18.42.1258.2014, 18.42.1488.2015, 0.42.956.2016) с целью изучения строения четвертичного покрова Великих Европейских озер, выявления геологических опасностей, и при поддержке проведения международной Молодежной практической школы по методам изучения донных ландшафтов в 2016 году. Автором был выполнен сбор, интерпретация, анализ и обобщение геолого-геофизической информации по котловинам Ладожского и Онежского озёр (1000 погонных км сейсмоакустических профилей, 30 колонок донных отложений до 3 м, 2 керна скважин длиной до 11 м), выполнена лично интерпретация данных НСП и их сопоставление с данными геологического пробоотбора. В дальнейшем, при использовании результатов интерпретации геофизических и геологических данных, а также материалов ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015; Макарьев и др., 2002), автором была предпринята попытка корреляции четвертичных отложений котловин Ладожского и Онежского озера и составлены обновленные геоморфологические карты Ладожского и

Онежского озёр и карта четвертичных отложений для Онежского озера (при содействии как научного руководителя, так и коллег по совместным работам).

Апробация работы

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 26 научных работах (общим объемом 126 п. л., из них вклад соискателя 94 п. л.), из них работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах (из перечня ВАК) – 2. Доклады по теме исследования были представлены автором на следующих конференциях: Комплексные морские исследования и образование (КИМО), 2017 год, Москва; Морские исследования и образование (MARESEDU) 2018, 2019, 2020 годы; Щукинские чтения, 2020 год; Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России 2019, 2020 годы; *Limnology and Freshwater Biology*, 2020 год. Также работа под названием «Рельеф и четвертичные отложения Ладожского озера по результатам многоканального сейсмоакустического профилирования в 2014-2015 гг.» была удостоена третьего места в конкурсе работ на конференции Комплексные исследования морей и океанов – 2017 (Москва, ИО РАН).

Благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Рыбалко Александру Евменьевичу за значимые на всех этапах корректировки в работе, Субетто Дмитрию Александровичу за организацию полевых работ по изучению четвертичного чехла котловин Ладожского и Онежского озёр, Кузнецову Владиславу Юрьевичу и Савельевой Ларисе Анатольевне за предоставленные датировки по отложениям Онежского озера, Токареву Михаилу Юрьевичу и сотрудникам ЦМИ МГУ за организацию геофизической съёмки, Зобкову Михаилу Борисовичу за предоставленные данные по батиметрии Онежского озера, Назарову Дмитрию Владимировичу за значимые советы по улучшению излагаемых в работе данных. А также всем участникам грантов, указанных в разделе «Личный вклад», сотрудникам отдела региональной геологии и полезных ископаемых западных районов ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, в особенности Семёновой Людмиле Риммовне; сотрудникам отдела аспирантуры ВСЕГЕИ и экипажам НИС «Эколог» и «Профессор Зенкевич».

1. Физико-географическое описание

1.1. Ладожское озеро

Ладожское озеро является крупнейшим озером в Европе, служит источником пресной воды для части Карелии и Ленинградской области и занимает важное место в социально-экономической жизни северо-запада. Площадь водосбора Ладожского озера составляет около 276 000 км², площадь озера-18135 км², его наибольшая длина – 220 километров, ширина – 124 километра. Средняя глубина – 51 метр. Объем воды – 908 км³. Период водообмена – 12,3 года. В южной части озера преобладают глубины до 20 метров, в северной они увеличиваются до 230 метров, что связано с высокой степенью расчленения рельефа в северной части, обусловленной вероятно деятельностью последнего оледенения и тектоническими движениями. Котловина Ладожского озера образовалась в архее-протерозое, а морфоскульптура озера была сформирована последним валдайским оледенением. Территория бассейна Ладожского озера покрыта густой сетью водотоков, большим количеством озёр и болот. Ладожское озеро объединяет в себе системы трёх озёр: Саймы, Ильменя и Онежского. Наиболее значительными водотоками являются реки: Волхов, Свирь, Вуокса, Сясь, Оять, Паша и Мста. Основными притоками, через которые поступает 80% стока являются реки Свирь, Вуокса и Волхов. Также 9% общего притока дают реки Паша и Оять, впадающие в Свирь. Остальные 11% поступают за счёт более мелких водотоков (Антропов и др., 1960; Субетто и др., 2013; 2009).

Поступление взвешенных веществ в озеро (рис. 1) осуществляется по большей части через реки Волхов и Свирь, на них приходится 78% всего привносимого вещества. Кроме них также в поступлении твёрдого стока в озеро активное участие принимают реки Бурная, Паша, Оять и Сясь, вместе эти реки составляют 93% привносимого в озеро материала. Всего за год в озеро поступает 1200000 т·год⁻¹ (Усенков, 2012). Отток осадочного материала из озера происходит через Неву. Величина изымаемого рекой твёрдого стока составляет 462 000 литров (Семенович, 1966).

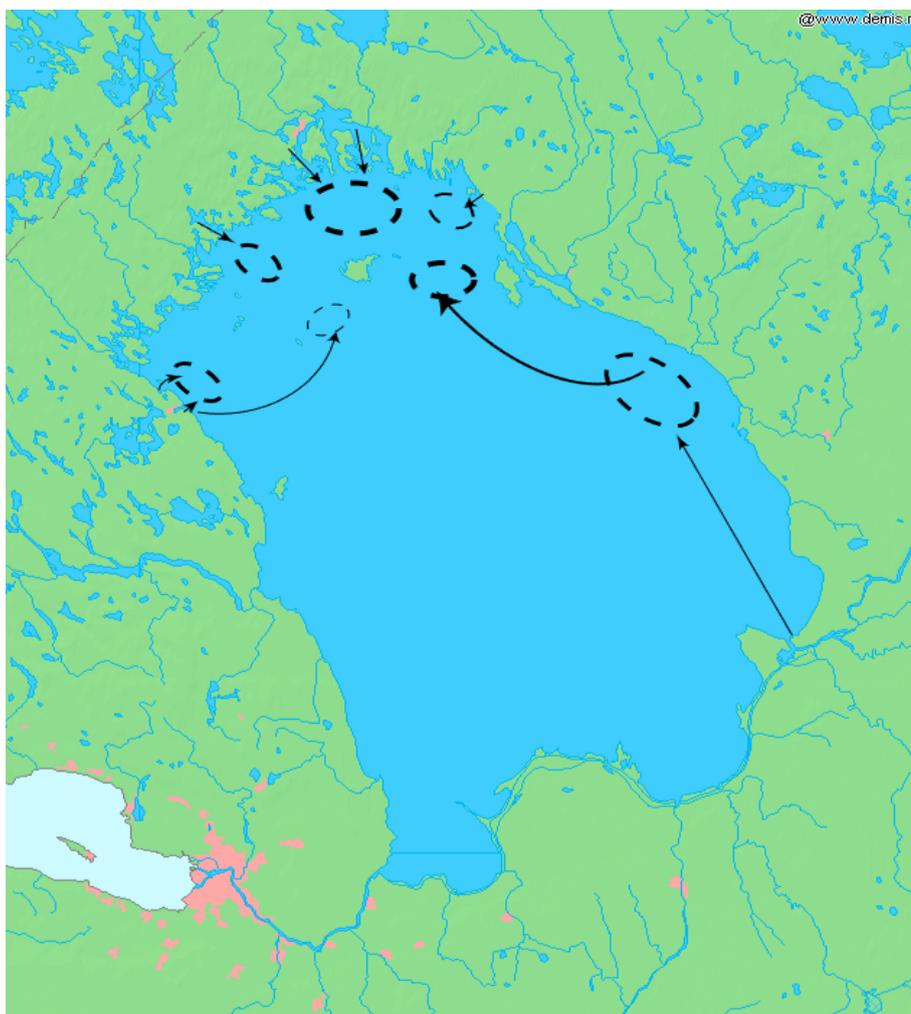


Рис. 1. Схема расположения основных седиментационных бассейнов и пути поступления осадочного материала в озеро (по Усенков, 2012).

В основном водотоки имеют небольшие уклоны и спокойное течение. Лишь при пересечении кристаллических пород, моренных возвышенностей и гряд на перекатах и порогах скорость течения может резко возрасть (Субетто и др., 2013).

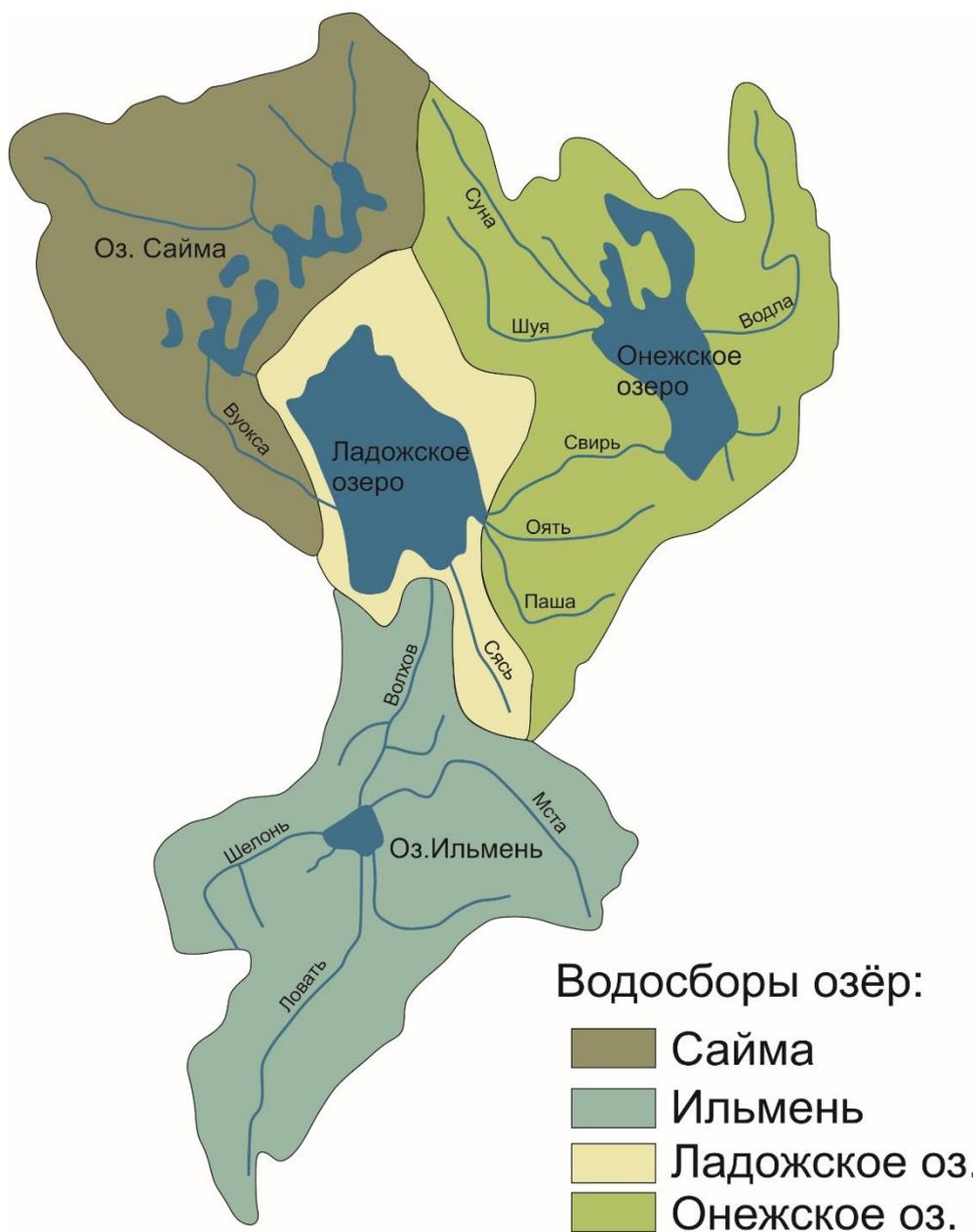


Рис. 2. Схема водосбора системы Ладожского и Онежского озёр по (Субетто и др., 2013).

Реки бассейна Ладожского озера, как правило, имеют смешанное питание с преобладанием снегового (от 40 до 50% годового стока) с высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и подъемами уровня воды осенью под влиянием обложных дождей. Годовой ход уровня воды в озере зависит, во-первых, от особенностей притока и стока воды в каждом конкретном году, во-вторых, от отметки уровня, при которой начинается наполнение озера весной и в-третьих испытывает влияние от работы Верхнесвирской и Нижнесвирской ГЭС. Общий приток в Ладожское озеро распределён в рамках года достаточно равномерно: 37% приходится на весну, летом поступает 15%, осенью 23% и зимой 25%. Средний месячный приток в период открытой воды за лето разнится от 7 до 15%, а за зиму от 6 до 7% от годового. Наибольшая величина притока в

озеро выпадает на май, а наименьшая на март. Также на ход уровня вод в озере влияет начальный уровень воды: при одинаковом притоке вод в озеро 15 км^3 в месяц, при начальной отметке 3,7 метров уровень озера поднимается на 55 см в месяц, а при отметке озера в 6,5 метров, уровень поднимается всего на 14 метров. Режим уровней озер, входящих в систему Ладожского озера характеризуется максимальным подъемом в период весеннего снеготаяния и относительно устойчивой летней и зимней меженью (Субетто и др., 2013; Нежиховский, 1981).

Для Ладожского озера, относящегося к водоёмам умеренной зоны, характерен полный годовой термический цикл. По особенностям внешнего водообмена озеро относится к аккумулятивно-транзитному типу водоёмов с наличием основной водной массы, которая занимает большую часть объёма озёрной котловины и первичных и трансформированных масс, которые заполняют прибрежные области и заливы (Богословский, Кириллова, 1973). У основной массы воды гидрофизические свойства меняются незначительно в течении года. По этой причине изменения их свойств можно расценивать как индикатор влияния процессов наиболее значительных, таких как годовые изменения хода температуры или связывать их с антропогенным воздействием. Помимо основной водной массы, существуют также водные массы, формируемые водами притоков, поступающих в озеро. Они характеризуются непостоянством размещения на территории озера и гидрофизическими характеристиками в разные сезоны года.

Ладожское озеро после вскрытия ото льда в период с апреля по май начинает интенсивно нагреваться. Прогрев начинается еще подо льдом, однако основной рост температуры воды происходит в безлёдный период в связи с увеличивающимся суммарным потоком тепла через поверхность. Около 200 дней в году средняя температура всей водной массы озера меньше $4 \text{ }^\circ\text{C}$ и в течении 165 дней превышает ее, достигая максимальной температуры, равной $7,8 \text{ }^\circ\text{C}$ в первую декаду сентября. Минимальной температуры ($+0,6 \text{ }^\circ\text{C}$) вода в озере достигает в первую декаду апреля. (Тихомиров, 1968). Годовой ход температуры показан на рис. 3.

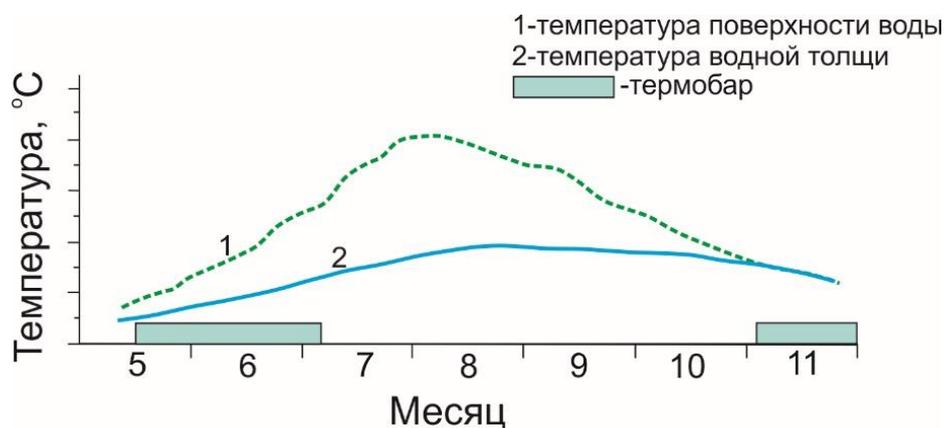


Рис. 3. Годовой ход температуры воды Ладожского озера в весенне-осенний период по (Субетто и др., 2013).

Пересекает порог в 4 °С вся масса воды в озере в середине июня. Однако возникновение температурного фронта в озере совпадает с достижением озёрной водой температуры 3 °С в поверхностном слое и 2 °С в общей массе. В период интенсивного прогрева озера температура приповерхностных частей растёт гораздо быстрее, чем температура в основной массе. А по краям озера температура гораздо больше, чем в центральной части в виду того, что там влияние на температуру озёрных вод оказывают приходящие речные воды.

Температура поверхности воды Ладожского озера обычно достигает максимума в начале – середине августа, через месяц после исчезновения весенней термической зоны и возникновения полной первичной устойчивой стратификации в озере. С этого момента начинается период охлаждения озера, причем южные мелководные районы начинают охлаждаться раньше, чем самые глубоководные области озера. В период охлаждения поверхностный слой воды полностью охвачен свободной конвекцией на фоне усиления волнения и ветровой деятельности, способствующих формированию почти однородного слоя на Ладожском озере. К окончанию этого периода толщина этого слоя может достигать 30–40 м. Отдача тепла со всей поверхности озера практически одинакова, независимо от морфометрии районов озера. В период осеннего охлаждения термическая фронтальная зона существует в качественно других условиях. Только на начальном этапе температура поверхности воды выше температуры основной водной массы, однако начиная с середины ноября их значения сравниваются. Этот факт свидетельствует о крайне малых горизонтальных температурных контрастах в этот период. Только в районах впадения рек температура речных вод на 2–3 °С ниже озерных, и они могут опускаться в придонные слои. Осенний фронтальный раздел рассеивается во второй половине декабря, когда средняя температура всей водной массы приближается к температуре 2 °С, но может существовать вплоть до января в зависимости от суровости

зимы. Однако в этот период поверхность озера может быть уже покрыта льдом более чем на 20%. Тепло сосредотачивается в придонных горизонтах. Среднегодовая температура водной массы Ладожского озера равняется 3,8 °С, что ниже температуры наибольшей плотности. Для сравнения — озеро Верхнее имеет среднюю температуру 3,62 °С (Bennet, 1978).

1.2. Онежское озеро

Онежское озеро является вторым по величине озером в Европе. Водосборный бассейн озера имеет площадь 62,8 тыс. км², основная часть озера находится на территории Республики Карелия. Площадь зеркала озера с островами составляет около 10 тыс. км², а без островов — 9,7 тыс. км². Объем водной массы 292 км³ (Ладожское озеро. Мониторинг..., 2000). Показатель удельного водосбора — 6,5. Обмен водной массы озера осуществляется примерно 1 раз в 6 лет. Береговая линия озера в его северной части сильно изрезана и расчленена длинными узкими губами и заливами, вытянутыми с севера на юг. Южная, юго-восточная и западная части береговой линии озера правильны и сглажены. Средняя глубина озера — 31 м, а наибольшая — 120 м. В Онежское озеро впадают около 50 рек и свыше 1000 малых водотоков. Вытекает из озера река Свирь, которая соединяет Онежское озеро с Ладожским. Озеро является важным связующим звеном Волго-Балтийского и Беломорско-Балтийского водных путей. Уровень воды в озере регулируется водохранилищем Верхнесвирской и Нижнесвирской ГЭС. С момента строительства ГЭС минимальный уровень воды в озере был равен 0,84 м, максимальный — примерно 1,63 м, а среднегодовой примерно 1,31 м (Субетто и др., 2013). Подъём уровня воды в озере начинается с началом снеготаяния и продолжается до конца июня, где достигается максимум, после чего начинается спад, который идёт до конца октября. После летнего спада наблюдается подъём, обусловленный дождевыми паводками, он длится до декабря, после чего уровень снова падает до предвесеннего минимума. Приход воды в озеро осуществляется по различным рекам, а расход воды в основном через реку Свирь (Ладожское озеро. Мониторинг..., 2000; Субетто и др., 2013).

Прозрачность воды в Онежском озере неоднородна и имеет сезонную изменчивость. В среднем, глубина прозрачности воды 4–5 метров. Термический режим озера, как и у остальных озёр умеренных широт с отчетливо выраженной прямой стратификацией летом, обратной — зимой и гомотермией весной и поздней осенью. Обратная стратификация, характерная для зимнего периода, сохраняется до апреля, в апреле же наблюдается подледный нагрев воды. В мае происходит вскрытие ледяного покрова, вскоре после чего устанавливается прямая стратификация, которая становится хорошо выраженной уже в июле. Также образуется слой скачка, расположенный на

глубине 5–10 м. В июле – августе продолжается дальнейший нагрев слоев (Субетто и др., 2013).

Ледостав начинается в конце октября с появления сала и заберегов в юго-восточной части озера, а затем на севере в концевых частях губ и в заливах, и только во второй и третьей декадах ноября забереги появляются в более открытых частях озера западного и восточного берегов. Устойчивый ледяной покров в центральной глубоководной части появляется в последних числах декабря. Оттаивать озеро начинает в апреле. Образуются закраины вдоль берегов, а на юге начинается увеличение большой полыньи у истоков Свири. Окончательно озеро освобождается ото льда как правило, во второй половине мая, но в случае холодной весны, лед в северных частях озера задерживается до июня. В теплую весну озеро очищается ото льда в уже конце апреля (Субетто и др., 2013).

2. История изучения четвертичных донных отложений Ладожского и Онежского озёр

История исследования Ладожского и Онежского озёр имеет схожий характер и её можно поделить на 3 больших этапа. Первый этап, посвященный естественнонаучным исследованиям озера при участии таких учёных, как: А.А. Иностранцев, К.К.Марков, К.К. Гильзен, Н.И. Эраси, И.В. Молчанов и др. В ходе данного этапа были получены первые сведения о строении озёрных котловин, физико-географических, гидрологических, геоморфологических и ландшафтно-геохимических характеристиках изучаемого региона, а также были составлены первые схемы распределения донных осадков. Завершением этого этапа явились две монографии Н.И. Семеновича, посвященные геологическому строению каждой из озёрных котловин (Семенович, 1966; Семенович, 1973). Исследования второго этапа, начавшегося в 70-х годах, носили уже более прикладной характер и были направлены на решение конкретных задач геоэкологии, региональной геологии, седиментологии и геохимии. Эти исследования носили частный научный характер и зачастую, были ограничены относительно небольшими площадями. На данном этапе выделяются такие исследователи, как: Н. Н. Давыдова, Д. Д. Квасов, С. А. Абрамова, Д. А. Субетто, А. Е. Рыбалко, В. И. Хомутова, С. М. Усенков, В. А. Щербаков, А. В. Амантов, Г. С. Бискэ и др. (Усенков, 2012). Результаты работ второго периода были обобщены в ряде монографий, таких как (Субетто, 2013; Гуревич и др., 1995; Усенков, 2012). Также во время данного этапа велись комплексные геологические исследования по объекту «Онежский озерный» ОАО ПМГРЭ (Макарьев и др., 2002). Третий этап, современный, начинается примерно в 10-х годах настоящего века и характеризуется началом комплексных исследований на акваториях обоих озёр при участии учёных МГУ, СПбГУ, ИГ СО РАН и ИВПС Кар НЦ РАН. Исследования ведутся при использовании нового геологического, геофизического и лабораторного оборудования и направлены на актуализацию результатов предыдущих исследований и на подготовку материала для детальных палеогеографических реконструкций северо-западного региона. Кроме того, во время этого этапа издана карта четвертичных отложений третьего поколения для данного региона (Максимов и др., 2015).

2.1. Ладожское озеро

Геологическое изучение котловины Ладожского началось со второй половины 19 века. В это время А.П. Андреев возглавил экспедицию, в ходе которой были получены первые представления о морфологии дна озерной котловины, и по результатам которой

была составлена самая первая карта распределения донных отложений Ладожского озера (Субетто, 2009; Андреев, 1877). В довоенные годы 20 века было несколько значимых событий в исследовании донных отложений Ладожского озера, а именно: драгирование с последующим гранулометрическим анализом отложений озера и определением остатков растительности в них (Гильзен, 1905), бурение дна котловины в районе мыса Осиновец в 1906-1907 гг., как часть работ по проектированию Ладожского водопровода (Эрасси, 1910). Позже, в 1934 году в том же районе партией ЦНИГРИ под руководством В.П. Павлова с участием И.И. Краснова проводились более детальные геологические изыскания, по результатам которых был построен разрез четвертичных отложений мощностью порядка 40 м. Отложения, вскрытые упомянутым разрезом, были отнесены исследователями к следующим типам: глины микулинского межледнековья, валунные моренные отложения и разнозернистые пески (Краснов, Рейнеке, 1936). В 1932 - 1937 гг. под руководством И.В. Молчанова Государственным гидрологическим институтом были проведены комплексные работы по исследованию донных отложений. По результатам этих работ, с использованием данных А.П. Андреева (Андреев, 1877) и К.К. Гильзена (Гильзен, 1905) была составлена новая карта донных отложений озера (Молчанов, 1945). С 1956 года начались систематические работы по изучению отложений Ладожского озера, проводимые институтом озероведения АН СССР (сейчас ИНОЗ РАН). В ходе этих исследований, было описано более 600 колонок донных отложений мощностью до 1 м, получены обширные сведения о строении, стратиграфии и распределении донных отложений Ладожского озера, впоследствии опубликованные Н.И. Семеновичем (Семенович, 1966). Кроме того, результаты, полученные в ходе изучения донных отложений, позволили провести первые палеогеографические реконструкции для поздне- послеледниковья северо-запада Европейской части СССР. Так, данные диатомового анализа позволили утверждать, что морские воды на протяжении всего голоцена не проникали в Ладожское озеро (Абрамова, Давыдова, 1966). Весомый вклад в изучение четвертичных отложений данного региона был сделан сотрудниками Лаборатории четвертичной геологии и геоэкологии КарНЦ РАН. Результаты этих исследований изложены в многочисленных статьях и монографиях, таких как (Бискэ, 1959) и использовались при построении листов ГК-1000/3 (Максимов и др, 2015). Систематическое геологическое изучение геологического строения северо-западной и южной частей Ладожского озера проводилось, начиная с 1974 года, ВСЕГЕИ. В рамках этих работ были отобраны длинные трубки и впервые был использован профилограф и непрерывное сейсмоакустическое профилирование для изучения четвертичного

покрова. Впоследствии по отобранным колонкам были выполнены палеомагнитные и палинологические анализы (Delusin, 1991).

С 1980 года по начало 2000-х годов сотрудники из Института водных проблем Севера Карельского научного центра академии наук (ИВПС КАР НЦ РАН), Института озераедения, ВСЕГЕИ, СЕВМОРГЕО и ряда других организаций осуществляли комплексное геологическое и геоэкологическое изучение котловины Ладожского озера (геологический пробоотбор и геофизические исследования). Также велись лабораторные исследования, которые включали в себя гранулометрический, химический, минералогический, спектральный, рентгеноструктурный, спорово-пыльцевой и диатомовый анализы. Геофизические же исследования (преимущественно сейсмоакустическое профилирование), подкреплённые геологическими данными, позволили впоследствии получить более детальное представление о распространении различных типов осадков на дне озёрной котловины. По результатам проведенных исследований были предприняты первые попытки реконструкции развития озёрной котловины в четвертичном периоде (Квасов и др, 1990; Субетто и др., 2013). Одновременно продолжались исследования четвертичных образований по берегам водоёма и в прилегающих более мелководных озёрах. Большое внимание неотектоническим процессам на Ладожском озере и его побережье было уделено А. Лукашовым (Лукашов, 1976). В ходе береговых исследований был уточнён уровень Ладожского озера в различное время, а также выяснены некоторые особенности новейшей тектоники, высказаны различные соображения о возрасте р. Невы и Ладожской трансгрессии (Шитов, 2007; Кошечкин, Экман, 1993; Малаховский, и др., 1993; Верзилин, Калмыкова, 2000; Субетто и др. 2013).

С середины 80-х, начала 90-х годов интерес к Ладожскому озеру возник и с точки зрения экологии. Связано это с прорывом защитных сооружений Приозерского ЦБК, а также деятельностью других ЦБК и сельскохозяйственных предприятий. Были проведены первые работы по геологической съёмке четвертичных отложений и составлена карта донных осадков северо-западной части Ладожского озера, а также дано описание экологической обстановки акватории Ладожского озера в районе города Приозерска. (Павлов и др., 1993). В период с 1993 по 1995 гг. на акватории Ладожского озера были проведены впервые комплексные геоэкологические работы (ФБГУ «ВНИИОкеангеология») Работы проводились по всему озеру, по сети геологических станций и геофизических профилей. По результатам этих работ была издана коллективная монография сотрудников «ВНИИОкеангеологии» «Геоэкология Ладожского озера» под редакцией В.Л. Иванова и В.И. Гуревича, которая включала

более 100 различных схем распределения химических элементов в донных отложениях Ладожского озера (Гуревич и др., 1995). Впоследствии, эти материалы были использованы для написания монографии «Природный и техногенный седиментогенез в Ладожском озере» (Усенков и др., 1999). В конце 90-х - начале 2000 годов специалисты ВСЕГЕИ провели комплексные геоэкологические исследования в северо-западной части и в Волховской губе Ладожского озера. В период с 2003 по 2009 гг. в Ладожском озере проводил Мониторинг геологической среды Центр Мониторинга ФГУП «Севморгео» Работы включали геоэкологический пробоотбор и локальное сейсмоакустическое профилирование (Рыбалко и др., 2007). Сведения из этих и многих других научных трудов были обобщены в монографии С.М. Усенкова «Седиментология, и геоэкология больших озер Северной Европы и Северной Америки» (Усенков, 2012).

2.2. Онежское озеро

Изучение геологического строения окрестностей Онежского озера было начато в середине XIX века Г. П. Гельмерсеном и А. А. Иностранцевым и продолжалось в последующие десятилетия, а особенно интенсивно в советское время, когда здесь велись работы, связанные с инженерно-геологическими изысканиями по трассе Беломоро-Балтийского канала. Данные о геологическом строении Прионежья были получены в период после второй мировой войны в ходе геологического картирования масштаба 1:200000 и 1:50000 (СЗТГУ) а также при тематических исследованиях Геологического института Карельского филиала АН СССР. С конца 50-х годов начались и работы в самом озере, как вновь созданным институтом Водных Проблем Севера (гидрологические и гидрохимические, а позже гидрофизические исследования), так и Институтом Озероведения, которые включали в себя изучение донных грунтов и палеонтологические исследования. Первые обобщения по донным отложениям содержались в монографии Семеновича (Семенович, 1973) и в комплексной работе Института Озероведения озера (Абрамова, Хомутова, 1973). В последней работе были обобщены результаты комплексных палеолимнологических исследований, начиная с 1964 года, в ходе которых было изучено большое количество колонок донных отложений длиной от 20 до 87 см, равномерно распределенных по всей акватории. Однако, полученные материалы, в которых было описано строение котловины Онежского озера, оказались недостаточными для решения вопроса об истории его формирования, в первую очередь ввиду недостаточной длины трубок, что привело к необходимости дополнительных целенаправленных научных изысканий с применением разнообразных геологических, геофизических, морфометрических, структурно-геоморфологических и других методов. Одной из первых работ, где детально описывались четвертичные

отложения Онежского возраста и впервые приводилась единая история развития котловины Онежского озера, была монография Г.С. Бискэ с соавторами «Строение и история котловины Онежского озера» (Бискэ и др., 1971).

В 1998-2001 гг. в Онежском озере были впервые проведены геологосъемочные работы в рамках ГК-1000/3. Исполнителем этих работ являлось АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (ПМГРЭ). В рамках проводимых работ на Онежском озере впервые было выполнено сейсмоакустическое профилирование, что позволило охарактеризовать рельеф дна котловины, получить представление о мощности четвертичных отложений, а также проследить на дне котловины распространение основных сейсмостратиграфических подразделений (ледниковых, ледниково-озерных и озерных). Геологический пробоотбор в южной и северной части озера позволил более детально охарактеризовать вещественный состав отложений и структуру четвертичного покрова изучаемых котловин (Макарьев, 2002). Результаты данных работ нигде не были опубликованы, однако, они были использованы для составления листа Р-36 ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015).

По результатам экспедиций финских исследователей (Saarnisto, Saarinen, 2001) И.Н. Демидовым (Демидов, 2004; 2005) была построена схема дегляциации Онежского озера и Прионежья в конце ледникового периода. Согласно данной схеме, дегляциация южного Прионежья происходила в период примерно 14250-12300 лет назад, а самого озера 12300-11800 лет назад (Saarnisto, Saarinen, 2001; Демидов, 2004) Ниже (рис. 4) приведена схема дегляциации по И.Н. Демидову.

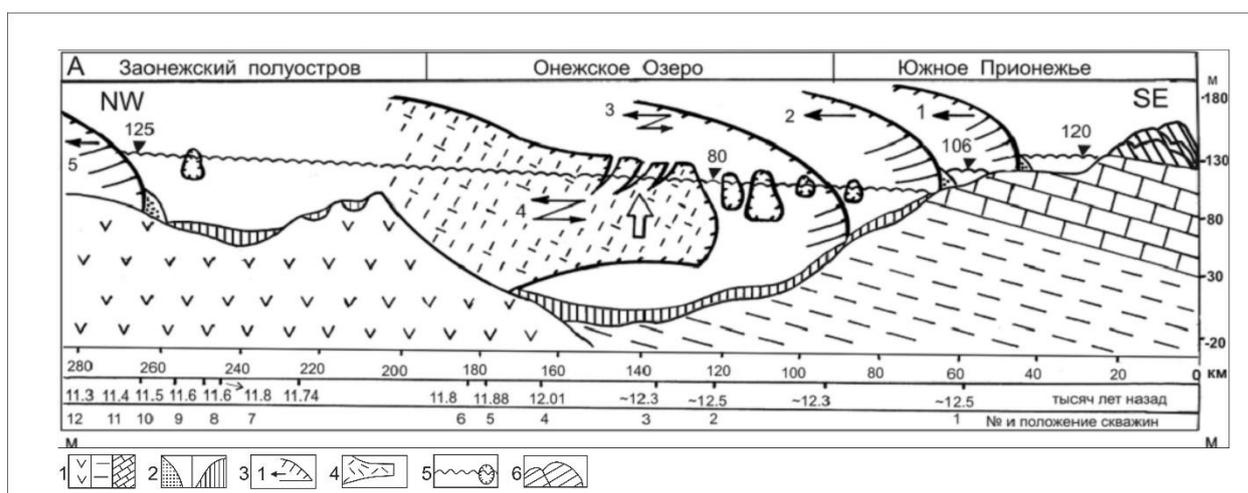


Рис. 4. Схема дегляциации По И.Н.Демидову с использованием материалов (Saarnisto, Saarinen, 2001). Условные обозначения: 1 – коренные породы; 2 – дельты, краевые морены и озёрно-ледниковые осадки; 3 – положения ледникового края и направление его движения; 4 – плавающий край ледника; 5 – уровень водоёма и айсберги; 6 – массивы мертвого льда

Параллельно с этими исследованиями велось изучение донных отложений в малых озёрах, относящихся к системе Онежского озера. Впоследствии, сотрудниками ИВПС Кар НЦ РАН была предложена палеогеографически обоснованная схема развития Онежско-Ладожского региона в голоцене (Субетто, 2009; 2013).

2.3. Исследования новейшего этапа

С начала 2000-х годов, работ по геологическому изучению исследуемого региона не велось, за исключением исследований в рамках российско-германского проекта PLOT (Andreev et al., 2016; 2019). И только с 2014 года на акватории Ладожского и Онежского озёр возобновились исследования морфологии дна и верхнечетвертичных отложений с помощью сейсмоакустического профилирования, гидролокации бокового обзора, донного пробоотбора и стационарного бурения со льда. Данные исследования ведутся при сотрудничестве СПбГУ, ИВСП Кар НЦ РАН, ЦАСД МГУ им. Ломоносова и Центра Морских Исследований МГУ им. Ломоносова. Данные исследования являются наиболее масштабными за последнее время в плане изучения отложений озёр северо-запада, а также тем, что в рамках этих исследований были впервые предприняты попытки корреляции отложений Ладожского и Онежского озёр. Были использованы новые технологии геологического и геофизического изучения, позволяющие описать отложения котловин с наибольшей детальностью. Ведутся эти работы как в целях подготовки фундаментальной научной базы, так и с целью решения прикладных задач, начиная от изучения инженерно-геологических и экологической обстановок дна, заканчивая отработкой новых методик геофизических и пробоотборных работ на акваториях. Работы с целью изучения Ладожского и Онежского озера ведутся ежегодно и к ним привлекаются всё новые специалисты. В дальнейшем планируется продолжение этих работ, расширение области исследования и вовлечение новых организаций. Работы выполняются при поддержке грантов РФФИ 18-17-00176, 18-17-00176-П, РФФИ 18-05-00303 и грантов СПбГУ (Шифр ИАС 18.42.1258.2014, 18.42.1488.2015, 0.42.956.2016). По результатам данных работ автором были неоднократно опубликованы материалы на различных отечественных и международных конференциях, статьи в рецензируемых журналах, положенные в основу этой диссертации.

3. Геолого-геоморфологическая характеристика изучаемых объектов по данным предшествующих исследователей.

В данной главе в соответствующих подразделах приведены данные предшествующих исследователей о строении коренных пород, слагающих дно котловин обоих озёр, а также сведения о четвертичных отложениях, заполняющих их котловины и слагающих прилегающую сушу в районе исследований.

3.1. Строение дочетвертичных образований Ладожского озера

Котловина Ладожского озера образовалась в начале позднего протерозоя, на ранней стадии формирования плитного чехла. Последнее существенное моделирование этой депрессии произошло в неоплейстоцене, под воздействием четвертичных ледниковых покровов. В структурно-тектоническом отношении котловина находится в зоне сочленения Балтийского щита и Русской плиты и занимает большую часть Ладожской депрессии, осложнённой крупной Ладожско-Пашской рифейской грабен-синклиналью, площадь которой примерно соответствует площади современного озёрного бассейна (Антропов и др., 1960; Субетто и др., 2009; Амантов, 2014). Лишь на юго-западе озера выходит Пашский грабен (апофиза Пашской грабен-синклинали), а на Северо-востоке её краевые ступенчатые ограничения. Положение Пашской грабен-синклинали контролируется северо-западным структурным швом, который сопровождается серией разломов глубокого заложения, относящихся к Ладожско-Ботнической зоне. Последняя обусловила и локализацию предшествующего образованию впадин постсвевокарельского Салминского массива гранитов рапакиви. Пространственная связь рифейских грабен-синклиналей южной окраины Балтийского щита с поверхностными либо глубинными краевыми частями крупных массивов гранитов рапакиви в ассоциации с габбро-анортозитами типична для данного региона. Вероятно, она обусловлена компенсационными движениями, направленными на достижение изостатического равновесия, нарушенного внедрением пород с низкой плотностью (Никонов, 2001). На рис. 5 приведена упрощённая схема строения дочетвертичного субстрата котловины Ладожского озера.

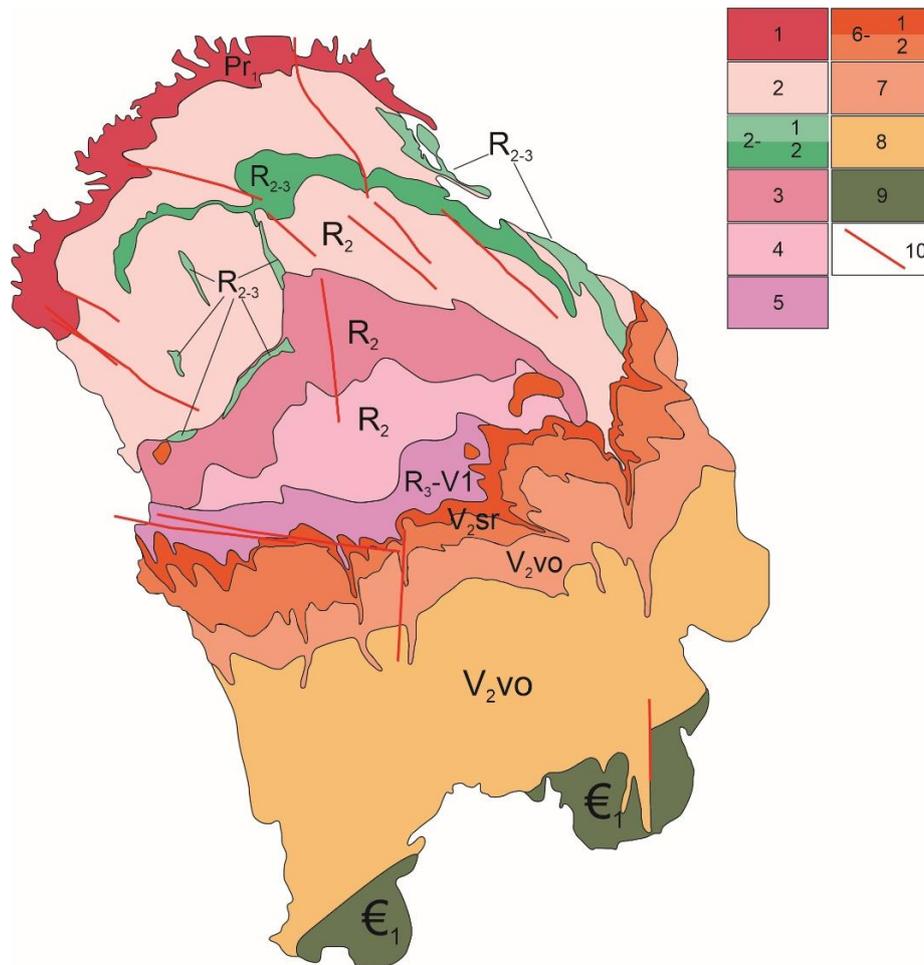


Рис. 5. Упрощённая схема строения дочетвертичных отложений Ладожского озера по А.В.Амантову (Амантов, 2014, Амантов, Спиридонов, 1989).

Условные обозначения: 1 – архейский и раннепротерозойский комплексы, нерасчлененные: гранито-гнейсы, биотитовые, роговообманковые гнейсы мигматизированные, метабазиты, амфиболиты, биотит-кварцевые, слюдяные сланцы и гнейсы. Нижний рифей: 2 – конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями песчаников и алевролитов; 2-1 –покровы базальтов К и К-Na типов; 2-2 – субвулканические тела базальтоидов, дайки и интрузии габбро-граносиенит-субщелочно-лейкогранитовой серии; 3 – осадочные, эффузивные и субвулканические образования, нерасчлененные; 4 – предположительно осадочные породы и покровы базальтов; 5 – верхний рифей – нижний венд, предположительно песчаники, алевролиты, глины, миктиты (аналоги яблоновской свиты). Верхний венд: 6 – редкинский горизонт, старорусская свита – песчаники, алевролиты, миктиты, гравелиты (6-1), уплотненные глины и аргиллиты (6-2); 7 – котлинский горизонт, василеостровская свита – песчаники, алевролиты, миктиты с прослоями уплотненных глин и аргиллитов; 8 – василеостровская свита, глины аргиллито-подобные с прослоями песчаников и алевролитов; 9 – нижний кембрий – песчаники, алевролиты, глины; 10 – разрывные нарушения

Кристаллический фундамент дна котловины Ладожского озера представлен сильно метаморфизованными архейскими и нижнепротерозойскими породами (свекокарельский гранитоидный комплекс, мигматиты и милониты, метаосадочные и метавулканогенные породы), пронизанными интрузиями, относящимися к свекокарельской складчатости. Породы рифейских неметаморфизованных терригенных осадочных и эффузивные вулканогенных комплексов, мощностью до 2000 м, слагают Ладожско-Пашскую грабен-синклинали. Залегание рифейских образований в пределах Пашской грабен-синклинали близко к горизонтальному, но они отличаются от типичных платформенных отложений с практически идеально выдержанным углом падения. Последнее обстоятельство лишней раз подчеркивает специфику раннеплатформенного этапа развития, также оно позволило выделить рифейский осадочный терригенный комплекс на сейсмограммах (Амантов, Спиридонов, 1989; Амантов, 2015).

Структура терригенных комплексов отражается на сейсмограммах в виде быстро затухающих параллельных серий осей синфазности с конфигурацией, указывающей на постепенно меняющиеся видимые углы падения. Обычно для краевых частей синклинали характерны весьма пологие и широкие складки с углом падения на крыльях до 2°; на значительных площадях залегание близко к горизонтальному. Более интенсивное «смятие» в редких зонах терригенных толщ рифейских отложений, либо волынской серии вендских отложений имеет различные причины: воздействие интрузий трапповой формации с дислокациями в верхней части и кровле лакколитов; гляциодислокации более пластичных отложений перед проксимальными склонами, выработанными в интрузивных породах; поперечные разломы северо-восточной ориентировки. Впрочем, такие разломы и связанные с ними выступы скорее ответственны лишь за единичные складки северо-восточного простирания. На современном срезе песчаники, алевролиты и аргиллиты рифейского комплекса, встреченные при драгировании и в высыпках на отдельных островах, широко представлены в северо-западной, наиболее глубоководной части бассейна, контрастными морфометрическими характеристиками. Например, диапазон изменений как дочетвертичного, так и современного рельефа достигает здесь 300 м, что считалось убедительным доказательством мелкоблокового строения зоны сочленения Балтийского щита и Русской плиты (Усикова и др., 1970).

Есть мнение, что распространение комплексов дочетвертичных пород имеет чёткую связь с неотектонической активностью (Бискэ, 1987; Ассиновская, Никонов, 1998)

Другое мнение – связь строения дочетвертичных образований с рельефом и экзогенными геоморфологическими процессами, что типично для окраин кристаллических щитов (Квасов и др., 1990; Амантов, 2015) Таким образом, наиболее резкие изменения морфологии дна котловины озера связаны не со смещениями по разломам, а с разрушением морфоструктур процессами денудации. Наиболее же возвышенные участки, создающие максимальные перепады глубин, являются отпрепарированными эрозией останцами гренвиллских расслоенных интрузий, которые представлены габбро-диабазами, переходящими в кварцевые сиенито-диориты и кварцевые габбро-диабазы, известные на островах Валаамского архипелага и на островах северной части Ладожского озера (Антропов и др., 1960; Амантов, Спиридонов, 1989). В общих чертах, элементы залегания рифейских толщ пород определяются морфологией и блоковой структурой Пашской грабен-синклинали, реже возможны бескорневые дислокации. Некоторые крайне пологие своды могут быть следствием внедрения крупных силлов, лакколлитов и штоков трапповой формации. Выделяемый на сейсмоакустических профилях 80-х годов наиболее крупный Валаамский силл моложе известных на восточном побережье лав салминской свиты; в северной части котловины Ладожского озера силл внедрялся в толщу перекрывающих эффузивные породы терригенных песчаников. Именно подобные выходы интрузий обусловили распространение возвышенностей, часто выведенных на общий гипсометрический уровень с обрамляющими поле развития рифейских отложений раннепротерозойскими кристаллическими образованиями. Эти поднятия гетерогенны с точки зрения геологического строения, поскольку с юго-восточной стороны от выступов габбродиабазов сохранились и более полные разрезы рифейских пород терригенного комплекса, перекрытых относительно мощными накоплениями осташковской морены. Иные колебания рельефа рифейского субстрата, как правило, связаны с изменениями либо литологического состава пород, отражающимися на сейсмопрофилях резкой сменой волновой картины, либо сменой направления падения слоев терригенных толщ. Специфические для рифея типы сейсмоакустической записи, указывающие на широкое распространение тел трапповой формации, характеризуют главным образом северо-восточную, центральную и южную приосевую части дна котловины Ладожского озера. В последнем случае, рифейские породы с отчётливым структурным несогласием перекрыты плитным чехлом, представленным породами предположительно, редкинско-котлинского горизонтов венда и локальными выходами нижнекембрийских отложений, а также осадками четвертичного возраста. Для них обычна слоистая волновая картина с геометрией отражающих горизонтов, указывающей

на общее весьма пологое погружение к юго-востоку. Также очевидна практически полная деградация уступа, которая во внутренних бассейнах окраины Балтийского щита связана с денудационным выклиниванием венд-палеозойского чехла. (Амантов, Спиридонов, 1989; Амантов, 2015).

3.2. Строение дочетвертичных образований Онежского озера

Котловина Онежского озера располагается в зоне сложно построенного палеопротерозойского прогиба, называющегося Онежской депрессией (Антропов и др., 1960; Онежская..., 2011). Северная часть озёрной котловины входит в зону Северо-Онежского синклинория (Бискэ и др., 1971; Лукашов, 1976; 1993; Никонов и др., 2017), отделённого глубинным разломом северо-восточного простирания от Южно-Онежского блока, захватывающего часть области Западно-Онежского поднятия (Полканов, 1965; Бискэ и др., 1971). Южная область котловины в структурном плане, по большей части, является единым бассейном с ровной береговой линией, где глубина не превышает 30 метров и постепенно уменьшается к юго-востоку. Область озёрной котловины, которая относится к Западно-Онежскому поднятию считают новейшим грабеном (Бискэ и др., 1971; Лукашов, 1976), образовавшимся по причине гляциоизостатических движений в Карелии (Николаев, 1967; Онежская..., 2011). Северная часть Онежской депрессии в структурном отношении более изометричная, чем южная. В неё входят, помимо северной части котловины, наиболее глубокая центральная часть Онежского озера, Заонежский полуостров, а также система заливов и озёр, входящих в систему Онежского озера с севера. Дугообразная впадина к востоку от Заонежского полуострова располагает в себе Заонежский и Повенецкий заливы. Мелкие озёра и заливы, расположенные в северной части, также занимают различные тектонические депрессии ССЗ-ЮВВ ориентировки. В целом, морфоструктура котловины Онежского озера не связана с избирательной денудацией (помимо обращённого рельефа Заонежского полуострова), а является наложенной по отношению к распространённым на изучаемой площади структурным комплексам (Онежская..., 2011). Неотектоническая активность Онежской депрессии подтверждается рисунком гидросети и наличием неотектонических поднятий, наследующих более древние (пример – Койкарский выступ Койкарско-сегозерской зоны). Таким образом, морфоструктура котловины Онежского озера содержит в себе 4 различные формы, наложенные друг на друга: изометричная депрессия в северной части; куполовидное поднятие, формирующее Заонежский полуостров; грабенообразный прогиб, образующий южную часть котловины; многочисленные линейные зоны, за счёт которых образовано множество гряд и депрессий (Онежская..., 2011). Выражением вертикальной составляющей неотектонических процессов, влияющих на формирование

Онежской депрессии, является образование грабена на юге озерной котловины и куполовидного поднятия в северной части, а также сопряжённой с ним изометричной части депрессии, происхождение которой объясняется сопровождающими образование купола компенсационными кольцевыми депрессиями (Летников и др., 2000). Горизонтальная составляющая подразделяется на сдвиговую и сдвигово-раздвиговую компоненты. Наличие сдвиговой компоненты выражено в линейном плане средней части котловины и морфоструктурных особенностях обрамляющих её линейных зон. Сдвигово-раздвиговая компонента, выражена в особенностях геолого-геоморфологического строения Заонежья, где наблюдаются зоны растяжения и декомпрессии, связанные с возникающей в процессе развития изгиба сланцеватости с последующим отслаиванием линзовидных зон (Николя, 1992; Онежская..., 2011)

В районе Онежского озера кристаллический фундамент сложен главным образом, вулканогенно-осадочными породами архея и протерозоя. Основная часть коренного цоколя на территории республики Карелия сложена архейскими породами, в меньшей мере протерозойскими метаосадочными образованиями и вулканитами. Непосредственно дно котловины Онежского озера сложено в основном породами протерозойского возраста. На юге западного берега озера породы представлены глинистыми сланцами, конгломератами и метапесчаниками розоватого и серого цвета, принадлежащими к петрозаводской свите (KR^3_{2pt}), которые пронизаны дайками интрузивных диабазов (Бискэ, 1959). К северу породы петрозаводской свиты сменяются породами заонежской (KR^2_{1zn}). представленной: андезибазальтами, туфами, сланцами, шунгитами, доломитами, известняками, базальтами и интрузивными породами основного состава. Восточный берег Онежского озера по большей части слагают породы онежской свиты (KR^2_{1on}) (частично мраморизованные известняки, доломиты, кварциты, сланцы, кварцито-песчаники, кварцевые конгломераты). На Онежско-Ладожском перешейке эти породы перекрыты кембрийскими глинами и верхнедевонскими песчано-глинистыми отложениями, на которых трансгрессивно залегают каменноугольные отложения, протягивающиеся на юго-восток Карелии (Бискэ, 1959; Максимов и др., 2015). Ниже (рис. 6) приведена упрощённая схема строения дочетвертичных образований котловины Онежского озера.

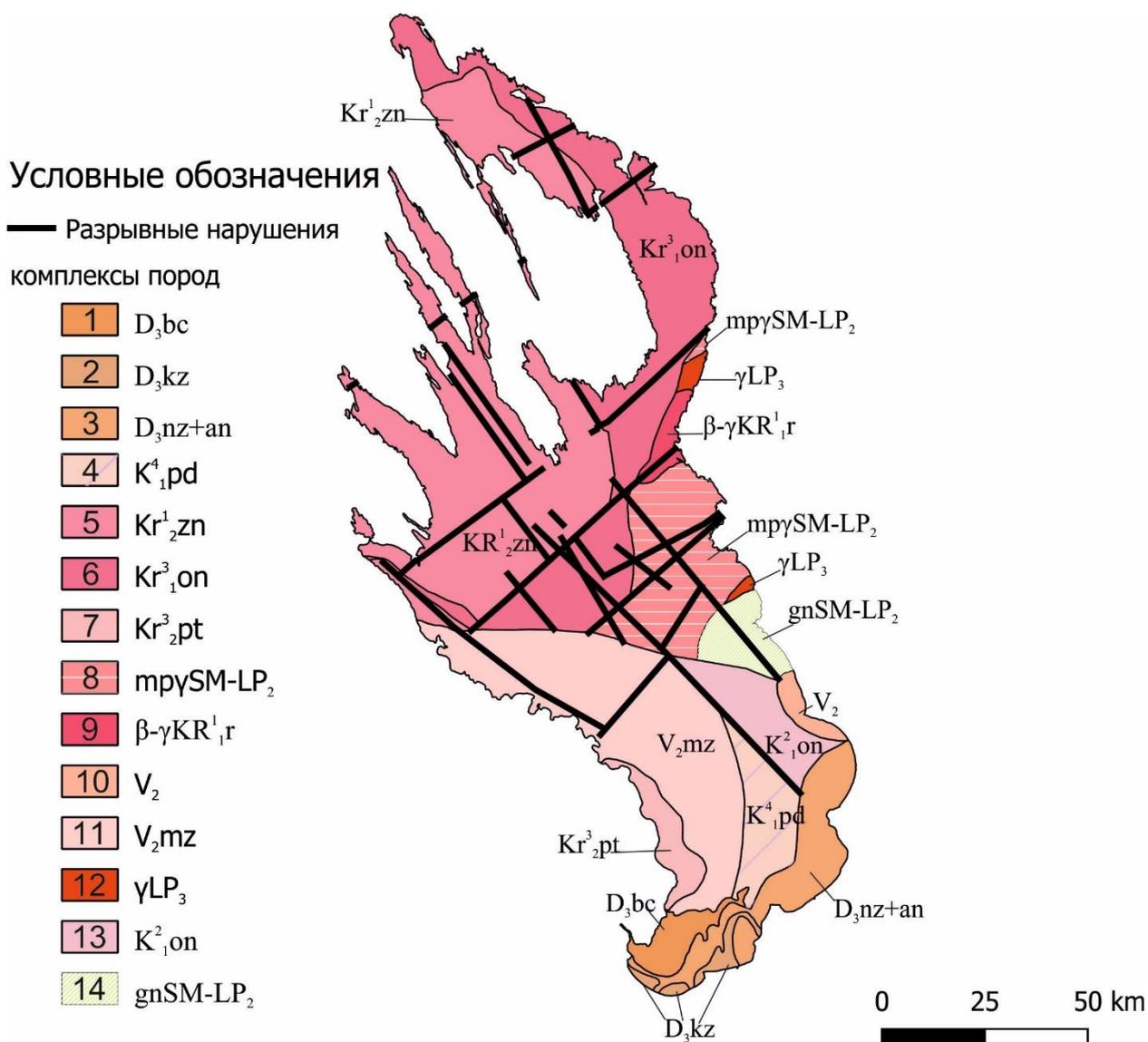


Рис. 6. Упрощённая схема строения дочетвертичных образований, слагающих котловину Онежского озера по материалам ГК-1000, листы Р-35-37, 2 и 3 поколения (Шемякина и др., 1991; Максимов и др. 2015)

Условные обозначения: 1 – Белоручейская свита. Алевритовые глины с прослоями алеврита, алевролита и песка разного цвета. Слоистые, пестроцветные. 2 – Курозерская свита. Карбонатные алевритистые глины с прослоями песков, алевритов и песчаников. 3 – Нозрекская и Андреевская толщи. Нозрекская толща сложена пёстроцветными глинами, в некоторых местах известковистыми, глины чередуются с алевритами и алевролитами, имеются прослои известковистых песчаников. Андреевская толща сложена глинами с пёстрой, местами пятнистой окраской, переслаиваемыми алевритами и известковистыми песчаниками. Отличается от Нозрекской уменьшением песчаности разреза и увеличением его карбонатности. 4 – Падосская свита. Сложена песчаниками, алевролитами, туффитами и сланцами. 5 – Заонежская свита. В нижней части – аргиллиты, карбонатные породы (преимущественно доломиты), мелкозернистые песчаники, алевролиты. В верхней части –

появляются лавы основного состава и габбродолериты, присутствует шунгит в составе осадочных пород. 6 – Онежская серия. В состав входят сланцы, известняки, доломиты, частично мраморизованные, кварцитопесчаники, metabазальты, кварцевые конгломераты. 7 – Петрозаводская свита. Строение ритмичное, подошва ритмов сложена крупнозернистыми песчаниками с косо́й слоистостью, а кровля – мелкозернистыми косо- и горизонтальнослоистыми песчаниками. между ритмами – сингенетическая брекчия. В верхней части свиты – розовато-серые песчаники, бурые слюдястые алевролиты и сланцы. 8 – Нерасчленённые плутонно-метасоматические комплексы Балтийской мегаобласти. Плагииграниты, гнейсодиабиты. 9 – Рагнозерский плутоногенный диорит-гранитовый комплекс. Граниты, гранодиариты, лейкограниты. 10 - нерасчленённые врехневендские отложения. Представлены различными осадочными и метаосадочными породами. 11 – Мезенская свита. Глины с прослоями алевролитов, песчаники. 12 - нерасчленённые плутонические граниты южной Карелии. Также гранодиориты, тонариты, граносиениты. 13 – Онежская серия. См. п. 6. 14 – Лексозерская и Хаутоваарская ПМЗ. Метаморфические гнейсы, амфиболиты, сланцы.

3.3. Строение верхнелепестово-голоценовых отложений Котловин Ладожского и Онежского озёр

На дне Ладожского и Онежского озёр нижнюю часть верхнелепестово-голоценовых отложений слагают осташковские морены ($gIII_{os}$). Они полностью покрывают дно котловин, занятых этими озёрами. Представлен данный тип отложений валунодержущими глинистыми песками с аномальной плотностью или песчаными глинами серого и коричневатого-серого цвета. В Ладожском озере морена сложена красноцветными и сероцветными песками. В состав ледниковых отложений входит большое количество обломочного материала изверженных и метаморфических пород, что указывает на их принадлежность к скандинавским центрам оледенения. Мощность отложений от 0,5 до 80 метров. В южной части Ладожского и Онежского озёр, в дельте ледниковых отложений появляются обломки песчаников и аргиллитов. На морене залегают флювиогляциальные отложения ($fIII_{os}$). Наиболее широкое распространение они имеют на суше в виде озёр, а на дне больших озёр они в основном выполняют днища погребённых долин и ложбин стока. Представлены флювиогляциальные отложения среднезернистыми и мелкозернистыми песками с прослоями гравелистых песков с галькой и валунами. На днищах палеодолин в основном залегают пески различной зернистости, зачастую с примесью гравия и гальки. Иногда в низах толщи залегают валунные отложения, являющиеся, вероятно, пережитком морены. Мощность флювиогляциальных отложений в среднем составляет 39 метров. Она в некоторых случаях достигает до 104 метров (Шемякина и др., 1991; Максимов и др., 2015). Выше залегают

лимногляциальные отложения (lgIII_{os}). Их образование связано с существованием различных приледниковых и внутрiledниковых озёр и водоёмов. Мощность отложений lgIII составляет до 10 метров, они представлены тонкослоистыми глинами, переходящими в микрослоистые и монотонные глины, которые с размывом перекрываются тонкослоистыми глинами. Для данных отложений характерна градационная слоистость. Возраст этих глин можно соотнести со временем наступления стадии Сальпаусселькя. Кроме слоёв различных стадий Сальпаусселькя, выделяются также по геоморфологическим признакам калевальские слои. Согласно Н. Rainio (Korsman, 1984), калевальские слои можно соотнести со стадией Сальпаусселькя III. В виду недостаточности информации, на территории Карелии эти слои не расчленены. На лимногляциальных отложениях залегают современные озёрные отложения (InH), приуроченные к акваториям крупных озёр. Ими сложены днища озёрных котловин, пляжи, террасы и береговые валы. В некоторых случаях этот тип отложений перекрыт торфами. На побережьях крупных озёр эти отложения представлены песками различного гранулометрического состава и окраски. Могут содержать песчано-алевритовую, галечную и валунную фракцию. На побережье Ладожского озера эти отложения представлены песками различной зернистости с прослоями 0,5-1,1 метров, состоящих из слюдистых супесей и суглинков с включениями органики. Там они слагают террасу высотой 17-20 метров. В основании разреза этой террасы залегают погребённые торфы и гиттии, на основании радиоуглеродного анализа которых был установлен возраст ладожской трансгрессии 5025 ± 100 (ТА-515) и 2280 ± 70 (ТА-363) л.н. (Кириллова, 1982). В акватории Ладожского и Онежского озер нижнеголоценовые отложения представлены илами, которые фациально замещаются к югу песчанистыми осадками и на широте устья реки Бурная они выклиниваются (Амантов, Амантова, 2014; Максимов и др., 2015). Отложения среднего и позднего голоцена представлены коричневато-серыми гомогенными илами с прослойками гидроокислов марганца (Страховенко и др., 2018), ранее считавшимися прослойками гидротроиллита (Давыдова и др., 1986).

3.4. Строение четвертичных отложений прилегающей суши

В исследуемом районе наибольшей мощности четвертичные отложения вне котловин Ладожского и Онежского озера достигают на Онежско-Ладожском водоразделе, на юге Прионежья и на Карельском перешейке в районе Лемболовской возвышенности. Максимальная мощность четвертичных отложений здесь составляет 140 м (Лемболовская возвышенность), однако в большинстве случаев, мощность четвертичных отложений составляет не более 20 м. Представлены четвертичные образования в основном позднеплейстоценовыми образованиями ледникового и водно-ледникового генезиса, а

также голоценовыми аллювиальными, болотными и озерными отложениями. В разрезах вскрываются (с различной степенью обоснованности) образования нижнего, среднего, верхнего звеньев неоплейстоцена и голоцена. Отложения нижнего неоплейстоцена включают в себя прионежский, пайский, урьинский, свирский и окский горизонты. Ниже приведено краткое описание каждого из этих горизонтов:

- **Прионежский** горизонт представлен ледниковыми и залегающими на них флювиогляциальными образованиями, вскрыт в разрезе скважин близ ст. Пай, Заозерье и Тумазы (Вигдорчик, 1983). В состав ледниковых образований горизонта входят валунные суглинки, пески и глины, их примерная мощность составляет 13 метров. Флювиогляциальные отложения сложены скоплением гравийно-галечно-валунного материала, мощность – 3,3 м (Максимов и др., 2015).

- **Пайский** горизонт представлен озерными и озерно-аллювиальными отложениями. Озёрные отложения вскрыты рядом скважин на левом берегу р. Свирь (Вигдорчик, 1983). В состав отложений входят супеси, глины, алевроиты, суглинки и пески. Мощность – до 36,5 м. Озёрно-аллювиальные отложения вскрыты в разрезе у станции Пай и бурением на реке Паша, сложены песками, глинами и суглинками. Мощность доходит до 24 метров (Максимов и др., 2015).

- **Урьинский** горизонт условно выделен по керну скважин в бассейне реки Паша (Вигдорчик, 1983). Данный горизонт включает в себя ледниковые, флювиогляциальные и ледниково-озерные образования. Ледниковые образования представлены супесями с прослоями суглинков серого и коричневатого цвета, мощность до 53 метров. Лимногляциальные отложения представлены в виде прослоев алевроитовых глин мощностью до 12,7 м. Флювиогляциальные отложения представляют из себя прослой различных песков с включениями гравия и редкой галькой мощностью до 1,7 м. (Максимов и др., 2015).

- **Свирский** горизонт. Данный горизонт был впервые выделен в разрезе Игнатовские Бараки на реке Свирь и в ходе бурения в переуглублённых участках реки Паша. Озёрно-аллювиальные отложения свирского горизонта представлены песками, супесями, глинами, суглинками и алевроитами. Мощность образований доходит до 57 м (Максимов и др., 2015).

- **Окский** горизонт представлен ледниковыми образованиями, установлен в упомянутых выше разрезах Игнатовские Бараки, разрезе на реке Тукша и в разрезе у станции Пай, а также в ряде скважин на Онежско-Ладожском перешейке: близ пос.

Матросы, ст. Орзega и другие. В состав морен входят валунные суглинки и глины, в некоторых случаях супеси красно-бурого и коричневого цвета или галечно-валунные отложения. Мощность морен до 18,1 м (Максимов и др., 2015).

Отложения среднего звена неоплейстоцена подразделяются на лихвинский горизонт и среднерусский надгоризонт, второй, в свою очередь, подразделяется на московский, горкинский и вологодский горизонты. Краткое описание горизонтов:

- **Лихвинский** горизонт в районе исследований представлен морскими и озёрными образованиями. Морские отложения изучены близ села Матросы и сложены тёмно-серыми слюдистыми алевритами мощностью до 29 м. Озёрные отложения вскрыты многочисленными скважинами в бассейне реки Свирь и на северном берегу озера Погра (Вигдорчик, 1983), а также разрезом Игнатовские Бараки и разрезом в районе города Подпорожье (Шемякина и др., 1991). Представлены озёрные отложения суглинками, глинами, песками, алевритами и супесями, мощность до 10 м (Максимов и др., 2015).

- **Вологодский** горизонт изучен в ряде скважин на Онежско-Ладожском перешейке (Апухтин, 1966). В горизонт входят ледниковые, водно-ледниковые и ледниково-озёрные отложения. Моренные отложения горизонта представлены валунными суглинками красновато-бурого, буровато-коричневого, серого и темно-серого цвета, плотными, неравномерно песчанистыми, слюдистыми, с линзами и прослоями безвалунных суглинков и глин, иногда гнездами и линзами песков, песчаников, глин девонского возраста; гравелистыми песками, а также галечниками в основании и кровле морены. В месте расположения древних долин в морену включены линзы и прослойки флювиогляциальных отложений (пески, суглинки, ленточные глины). Мощность морены составляет до 68 м. Флювиогляциальные отложения представлены разнозернистыми гальками и валунами, мощность до 11 м. Лимногляциальные отложения вскрыты рядом скважин на глубине 40-133 м., одна из них находится на Юкковской возвышенности (Афанасов, 2002). Представлены глинами серыми, темно-серыми, коричневыми тонко-горизонтально слоистыми или неяснослоистыми, суглинками голубовато-серыми, коричневыми, с единичными включениями гравия, гальки и линзами (0,1 м) песка мелкозернистого, песками темно-серыми, пылеватыми. Мощность до 45,5 м (Максимов и др., 2015).

- **Горкинский горизонт** поодобно представлен в скважине, пробуренной на Онежско-Ладожском перешейке, близ деревни Игнатовское, на глубине 65,5–81,0 м в палеодолине р. Тукша (Вигдорчик, 1983). Также горкинский горизонт встречается в

разрезах на реке Свирь близ с. Хевроньино. Этот горизонт сложен озёрными отложениями, представленными супесями, глинами, суглинками, реже песками. Супеси серого, темно-серого, иногда с буроватым и зеленоватым оттенком, буровато-коричневого, буровато-красного цветов, тонкие, плотные, слюдистые, со слабо выраженной горизонтальной слоистостью, обусловленной прослоями песков. Глины серые, темно-серые, коричневые плотные, песчаные, слюдистые, тонкослоистые, иногда ленточнослоистые за счет тонких (1–2 мм) прослоев песка и супеси, с обугленными растительными остатками. Суглинки буровато-серые, серые, песчаные, слюдистые, слоистые с тонкими прослоями супесей, гнездами и линзами песков, иногда с включениями вивианита. Пески серые тонкозернистые, реже мелкозернистые, глинистые, слабослюдистые, с редкими гравийными зёрнами и гальками гранита, диабазы. Мощность до 11,5 м (Максимов и др., 2015).

- **Московский горизонт.** Представлен моренами, лимногляциальными и флювиогляциальными отложениями, которые вскрыты многочисленными скважинами на Онежско-Ладожском перешейке. Отложения распространены главным образом в бассейне р. Важинка и вблизи г. Подпорожье. Морены данного горизонта вскрыты большим количеством скважин при создании карт 200 тысячного масштаба (листы Р-36-XXVIII, XXIX, XXXI; Р-35-XXXV). Морена сложена валунными суглинками, глинами, супесями, реже песками. Суглинки и глины плотные, местами песчаные, с линзовидными включениями песков и гравийно-галечных отложений. Цвет меняется от серого, голубовато-серого до темно-серого, буровато-серого, темно-коричневого и красновато-бурого. Содержание обломочного материала (>3 мм) не превышает 10–15%. Гравий, галька, валуны распределены неравномерно. Мощность – до 55 м. Флювиогляциальные отложения вскрыты рядом скважин, а также в карьере Старцев Бор. В их состав входят пески от тонкозернистых до крупнозернистых с гравием и галькой, иногда гравелистые; нередко с валунно-галечным материалом в основании. Мощность доходит до 24,7 м (Максимов и др., 2015).

Лимногляциальные отложения представлены песками от тонко- до среднезернистых, в различной степени глинистыми, суглинками и глинами, массивными и со слабо выраженной слоистостью, а также ленточными глинами коричневого цвета; подчиненное значение имеют супеси и разнозернистые пески с гравием и галькой. Мощность – до 35 м (Максимов и др., 2015).

Отложения, относящиеся к верхнему звену неоплейстоцена подразделяются на отложения микулинского, подпорожского, ленинградского и осташковского горизонтов.

- **Микулинские (Мгинские)** отложения в районе исследований представлены морскими, озёрными и озёрно-аллювиальными отложениями. Морские отложения вскрыты бурением в Южной Карелии на Онежско-Ладожском перешейке (район г. Петрозаводск и оз. Белое, юго-западнее оз. Светозеро и др.); на р. Свирь, в Восточном ПриОнежье (у г. Олонец, деревень Погранкондуши, Васильевский Бор, Видлица и др.); в Центральной Карелии на р. Онда и в Заонежье. В их состав входят зеленовато-черные и темно-серые глины с сероводородным запахом и включениями суглинка, местами слоистые, обычно гумусированные, присутствуют включениям вивианита, ракушечного детрита и целых раковин моллюсков. Иногда встречаются включения гравия, гальки и валунов кристаллических пород различной окатанности. В верхних, а иногда и в других слоях морской толщи слоистость часто нарушена до крутонаклонного залегания. Мощность до 36 м. Озёрные образования представлены в ряде пунктов наблюдений на Онежско-Ладожском перешейке (г. Петрозаводск, пос. Деревянное, бассейн рек Водла и Свирь). Представлены алевритами, переслаивающимися с глинами и суглинками, а также разнозернистыми песками. Мощность – до 13,5 м (Максимов и др., 2015).

- **Отложения подпорожского горизонта.** В состав данного горизонта входят морены, лимногляциальные и флювиогляциальные отложения. Морены выделены в разрезе близ города Подпорожье, а также рядом скважин близ города Петрозаводск. Представлены ледниковые образования валунными суглинками коричневатого и коричневатого-серого цвета, реже гравелистыми песками. Мощность – до 24 метров. Флювиогляциальные отложения распространены на западе Вологодской области, где слагают прослой в морене, однако там они выделены лишь условно. Представлены разнозернистыми песками с включениями гравия и гальки темно-серого, буровато-серого и коричневого цвета. Слоистость горизонтальная, косая, волнистая, линзовидная. Мощность – до 6 м (Ганин, 1983). Лимногляциальные образования хорошо изучены в разрезах около города Петрозаводск. Представлены темно-серыми и шоколадно-коричневыми ленточными глинами, суглинками, в меньшей степени супесями с редкими включениями гравия и мелкой гальки. Мощность отложений – до 29 м (Девятова, 1972; Максимов и др., 2015).

- **Ленинградский горизонт** сложен озёрными, озёрно-болотными (палюстринными) и озёрно-аллювиальными отложениями. Озёрно-болотные отложения вскрыты рядом скважин в низовьях р. Ууксуньёки в районе г. Петрозаводск, у сел Верхний Олонец, Верхние Важины, Вилга, у оз. Белое. Представлены суглинками,

глинами, алевритами и сапропелями с прослоями автохтонного торфа. Мощность – до 15 м. Озёрно-аллювиальные отложения данного горизонта встречаются на правом берегу реки Свирь. Представлены песками, супесями, суглинками, глинами, часто переслаивающимися друг с другом. Мощность – до 32,6 м. Озёрные отложения широко распространены к югу от Юкковской возвышенности. Наблюдаются они наиболее подробно в стратотипическом разрезе в г. Санкт-Петербурге (Гражданский Проспект), представлены песками разномерными, супесями и алевритами, обычно слоистыми, гумусированными и обогащенными растительными остатками, с маломощными (до 0,5 м) прослоями погребенных торфяников. Реже встречаются суглинки и глины. Мощность до 74 м (Ауслендер, 1989; Максимов и др., 2015).

- **Осташковский горизонт.** Включает в себя ледниковые, флювиогляциальные, лимногляциальные, а также морские и озерные образования. Отложения этого горизонта в основном формируют рельеф изучаемого района. Морены осташковского горизонта достаточно изменчивы по составу, прослеживается изменчивость как по площади, так и в разрезе. Резко меняется состав от супесей к суглинкам при продвижении с севера на юг. Представлена морена пылеватыми разномерными и мелкозернистыми песками, супесями и суглинками различных оттенков. Суглинки часто песчанистые, встречаются прослойки и линзы (иногда гнезда) песков, супесей, гравия и глин, а также валуны. Содержание крупнообломочного материала неравномерное, меняется от 20 до 40 %, редко достигает 80 %. Максимальное содержание крупнообломочного материала часто приурочено к верхней части разреза. Валуны, галька, гравий плохой и средней окатанности. Средний размер валунов составляет 0,3–0,8 м, максимальный размер достигает до 2 м. В местах, где морена подвергалась интенсивному размыву, наблюдаются скопления глыб и сплошные валунные поля. Мощность основной морены – до 88 м. Краевые морены представлены несортированными пылеватыми песками и супесями, реже суглинками с высоким содержанием гальки и валунов. Участками морена сложена мелкозернистыми пылеватыми песками без включений, иногда с линзами отмытых песков крупнозернистых с гравием и галькой. Краевые морены на берегу Ладожского озера отличаются почти полным отсутствием мелкозёма в верхней части разреза и состоят преимущественно из валунов. Мощность – до 40 м. Флювиогляциальные образования слагают высокие террасы в долинах рек, дельты, задровые поля, озы, флювиокамы, также ими выполнены днища погребенных долин и ложбин стока. Таким образом, задровые поля и террасы, сложены мелко-и среднезернистыми песками с прослоями и линзами гравелистых песков с галькой, реже галечников и валунников. Мощностью до

10 м.; Озы сложены косослоистыми средне- и крупнозернистыми песками с прослоями и линзами галечников, с включениями гравия и валунов того же состава, что в морене. Мощность озовых отложений – до 50–60 м, чаще – 3–25 м. Днища ложбин стока и древние погребенные речные долины выполнены песками различной зернистости, часто с гравием и галькой, иногда со слоем валунника в низах толщи. Общая мощность отложений – до 39,5 м., но иногда доходит до 104 м. Лимногляциальные отложения данного горизонта представлены серыми и коричневато-серыми глинами, суглинками, тонкослоистыми (часто ленточными) алевритами, хорошо сортированными песками с горизонтальной, облекающей или невыраженной слоистостью, иногда с прослоями и линзами гравия, гравийно-галечных отложений, супесей, суглинков и глин мощностью до 0,3–0,5 м. Ледниково-озёрные отложения слагают различные террасы, лимнокамы и равнины. Террасы и равнины сложены желтовато-коричневыми и светло-желтыми песками, часто с включениями гравия и гальки. Слоистость горизонтальная, наклонная и ячеистая. В нижних частях разрезов наблюдается переслаивание ленточных коричневато-серых суглинков, коричневой глины и тонкозернистого песка светло-серого цвета. Лимнокамы сложены хорошо сортированными горизонтально слоистыми, и косослоистыми песками с линзами гравия, гальки, прослоями супесей, реже неслоистыми песками различной зернистости, супесями. Иногда поверхность лимнокамов покрыта чехлом абляционной морены, обогащенной валунным и галечно-валунным материалом. мощность лимногляциальных отложений варьируется в диапазоне от 1–2 до 80 м. Отдельно выделяются отложения Балтийского ледникового озера (БЛО). Отложения БЛО представлены ленточными глинами, песками, реже суглинками и супесями. В районе исследований данные отложения приурочены к долине р. Свирь, протягиваясь узкой полосой от пос. Важины до пос. Пидьма, несколько расширяясь от устьевой части р. Важинка до широты поселков Граждановка, Еконда. Слагают две надпойменные террасы в долинах рек Свирь и Важинка. Мощность от 1-3 м до 15 м., иногда доходит до 35 м. Морские отложения представлены песками различной зернистости, супесями, глинами, суглинками (изредка с галькой). наблюдаются в разрезах в районе озер Сундозеро и Сямозеро (Шемякина и др., 2000). Мощность – до 9 м. Озёрные образования представлены озерными илами, иловатыми глинами, суглинками и песками. Вскрыты бурением на левом берегу р. Лососинка в 1,2 км севернее устья р. Машозерка и в основании разреза торфяника Хийлисуо (Экман, 1987). Мощность – до 2 м (Максимов и др., 2015).

Отложения голоцена в исследуемом районе объединяют морские, эоловые, аллювиально-морские, озерные, озерно-аллювиальные, аллювиальные и биогенные осадки. Подразделяются на нижнюю, среднюю, и верхнюю часть.

- **Отложения нижнего голоцена** включают в себя озёрные образования, среди которых отдельно выделяются отложения Анцилового озера. Озёрные образования представлены слоистыми и неслоистыми разномерными светло-серыми песками с прослоями гравия и гальки. Слагают 4 и 5 террасы Онежского озера. Мощность – до 3,5 м. Отложения Анцилового озера представлены серыми и буровато-серыми глинами и алевритами текуче-пластичной консистенции. Мощность 1-5 м (Максимов и др., 2015).

- **Средняя часть** голоцена включает в себя озёрные отложения, морские нефелойдные и морские волновые образования. Озёрные образования представлены хорошо окатанными, горизонтально-слоистыми, мелкозернистыми песками. Слагают третью террасу Онежского озера. Мощность – до 5 м. Морские нефелойдные образования представлены темно-серыми пелитами и алевропелитами, с высоким содержанием органического вещества. Часто в этих отложениях отмечаются линзы, прослойки и скопления серого алеврита и включения растительного детрита. Мощность – до 4 м. Морские волновые отложения представлены мелкозернистыми алевритистыми песками, в некоторых случаях, гравелистыми. Обычно с поверхности песчаной пачки залегает тонкий слой крупно-грубозернистых вплоть до гравелистых песков, ниже они переходят в средне-крупнозернистые, которые сменяются мелкозернистыми. Мощность – 8-12 м (Максимов и др., 2015).

- **Отложения верхней части** в районе исследований включают озёрные, техногенные, болотные, озёрные и озерно-аллювиальные образования. Озёрные образования приурочены к котловинам и побережьям крупных озёр, таких как: Онежское, Ладожское, Сегозеро, Выгозеро, Воже, Лача и др., а также, многочисленных небольших озер. Они слагают днища озерных котловин, пляжи, террасы и береговые валы, иногда перекрыты торфами и залегают на отложениях различного возраста и генезиса. Среди осадков побережья крупных озер распространены пески различной зернистости и окраски, песчано-алевритовые, галечные и валунные отложения, распространённые вдоль кромки берега. Мощность – до 5 м. Техногенные отложения распространены вблизи промышленных центров и крупных объектов горнодобывающей промышленности, а также крупных карьеров, рудников, объектов мелиоративных, сельскохозяйственных работ и свалок. Они представлены перемещёнными при строительстве грунтами, намывными отложениями и искусственными образованиями

(асфальт, бетон и др.). К ним относятся также культурный слой в пределах городов и крупных сел, отходы предприятий и населения – свалки бытового и промышленного мусора, различного рода отвалы добывающих и перерабатывающих производств, отходы сельскохозяйственной и агропромышленной деятельности – содержимое жижеборников и навозохранилищ, искусственные скопления валунов. Мощность доходит иногда до 40 м. Болотные (пальюстринные) образования представлены торфами, слагающими верховые, переходные (сфагново-пушициевые и сфагново-осоковые олиготрофные) и низинные (осоково-топяные, крупноосоковые и травяно-гипновые эвтрофные) болота. Многочисленные болота встречаются в понижениях холмисто-рядового ледникового и водно-ледникового рельефа, а также вокруг озер. Мощность, в отдельных случаях, превышает 10 м. Озёрно-аллювиальные образования представлены мелкозернистыми песками и алевритами с прослоями и линзами суглинков, глин, илов и торфа. Приурочены к озеровидным расширениям речных долин или дельтам крупных рек (Шуя, Водла, Олонка и др.). Мощность – до 12 м. Аллювиальные отложения представлены песками серого, коричневого и желтого цвета с сероватым оттенком различной зернистости с гравием и галькой, иногда присутствуют прослойки суглинка и торфа. Слагают береговые валы, пойму, первую и вторую террасы рек. Мощность – до 20 м (Максимов и др., 2015)

4. Методы исследований

4.1. Методы исследований, применявшиеся при изучении Ладожского озера

Данные о строении верхнеплейстоцен-голоценового чехла Ладожского озера были получены в результате работ по сейсмоакустическому профилированию, которые велись с научно-исследовательского судна «Эколог». В ходе работ по сейсмоакустическому профилированию были получены данные о следующих параметрах котловины Ладожского озера:

- Рельеф дна
- Мощность четвертичных отложений
- Строение чехла четвертичных отложений
- Геоморфологические процессы, протекающие на дне озера

Сейсмоакустическое профилирование проводилось при скорости в 5-6 узлов при помощи комплекса геофизического оборудования, включавшего в себя:

- Электродинамический источник энергии типа «бумер» с центральной частотой 2000 Гц, буксируемый за судном на катамаране, делающий 2 «выстрела» в секунду
- 16-канальная сейсмоакустическая пьезокоса с шагом 2 м между приёмниками
- Регистрирующая станция Spectrageo на базе 14-ти разрядного АЦП e440, с эффективной разрядностью 13,3 бита и максимальной частотой преобразования 400 кГц
- Накопитель энергии CSP-P Applied Acoustic с рабочим напряжением 2500-4000 V и рабочей мощностью 50-350 J
- Навигационное оборудование Trimble DSM132

Перед началом работ были проведены полевые испытания геофизического оборудования, тесты на выбор рабочей мощности источника и определению оптимальной глубины для работы источника с приёмником. Также перед началом работ было сделано несколько пробных профилей.

Глубина погружения источника в воду составила 0,3 м, длина приёмной линии составляла 30 м, глубина 50 м, при разрешающей способности 0,2-0,3 м.

Сбор данных сейсмоакустической съемки проводился в программном пакете Multichan в формате SEG-Y. Навигационные данные записывались в отдельные файлы с расширением nmea. Синхронизация производилась по времени при помощи программы

NMEA_time. Первичная обработка данных сейсмоакустической съемки проводилась в программном пакете RadExPro, а последующая в программном обеспечении KINGDOM 8.6, где были объединены профили, составлена схема их расположения, а также осуществлялась интерпретация геофизических данных. Ниже (рис. 7) представлена схема расположения фактического материала на акватории Ладожского озера.

Для интерпретации сейсмоакустических данных с целью выявления особенностей залегания четвертичных отложений, их генетической и возрастной характеристики, а также оценки геоморфологических особенностей рельефа центральной части озера, был выбран осевой профиль, проходящий через середину озера. На этом профиле было выбрано 5 наиболее характерных с точки зрения залегания рыхлых отложений и рельефа участков (рис. 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21). Далее проводилось выделение сеймопачек, а в дальнейшем, на основании геологических данных (Давыдова и др., 1986; Максимов и др., 2015) и анализа более ранних сейсмоакустических исследований (Барков и др., 1983; Давыдова и др., 1986; Амантов, Спиридонов, 1989; Субетто и др., 2013) выделенным горизонтам давалась генетическая характеристика. Также с целью уточнения генезиса рельефа и четвертичных отложений были выбраны 6 профилей в северо-западной части озера (рис. 22, 23, 24, 25, 26), в окрестностях острова Коневец. Необходимость в сгущении сети сейсмоакустического профилирования (НСП) для данной части озера вызвана также тем, что здесь проводилось бурение в ходе российско-немецкой экспедиции в 2013 году (Andreev et. al, 2016).

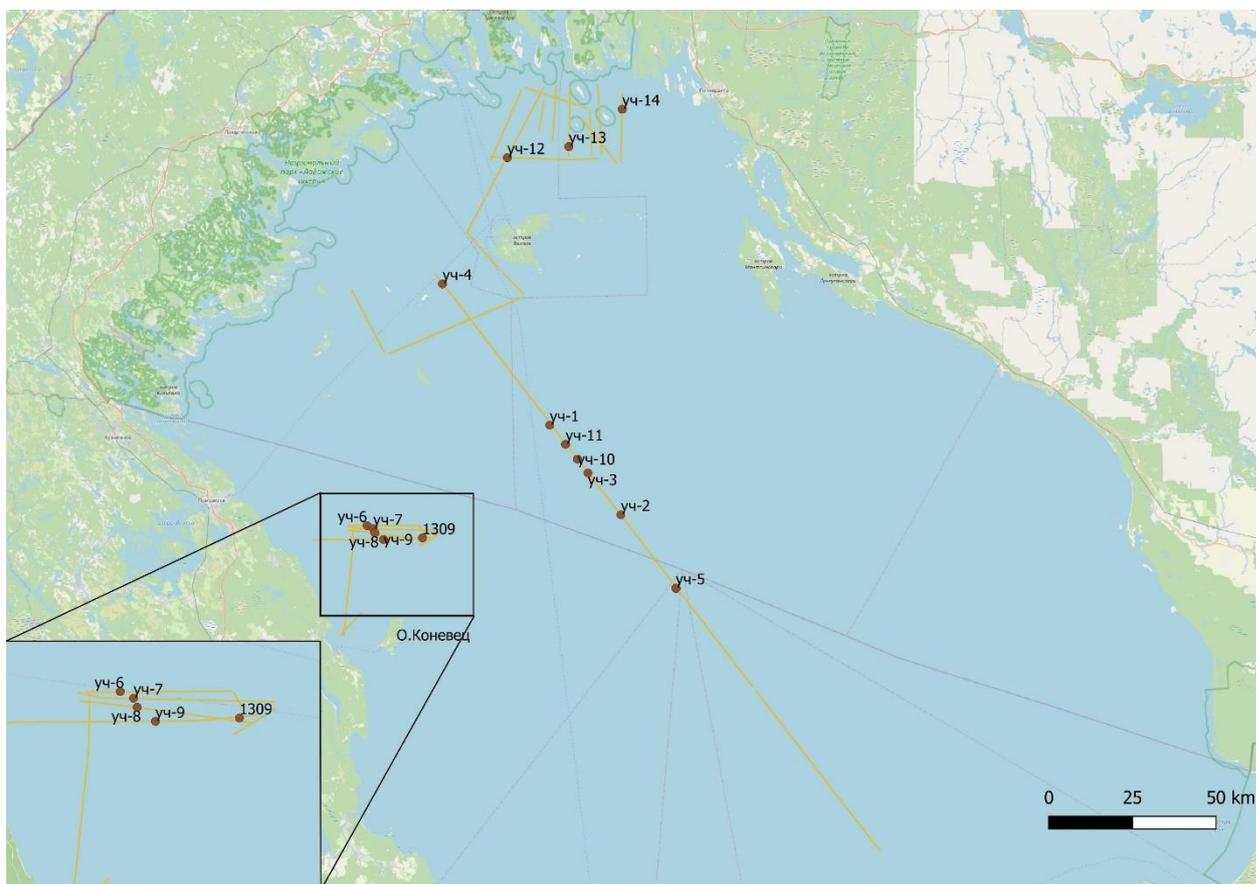


Рис. 7. Схема расположения на Ладожском озере профилей, а также ключевых интерпретационных участков. Приведено также место расположения буровой скважины российско-германской экспедиции в 2013 году (Andreev et. al, 2016).

По результатам сейсмоакустического профилирования и анализа материалов предшественников (Давыдова и др., 1986; Амантов, Спиридонов, 1989) в разрезе рыхлых отложений было выделено 5 сеймопачек, отличающихся между собой характером записи и разделенных четкими сейсмическими отражающими горизонтами, указывающими на смену характера осадконакопления или на перерыв в осадконакоплении. Голоценовые озёрные отложения, сложенные илами (как правило, нефелоидного типа). Лимногляциальные отложения, отвечающие различным стадиям развития приледниковых водоёмов, представленные ленточными глинами. Морена осташковского возраста (валунные суглинки), фациально замещающаяся флювиогляциальными отложениями (песчано-галечные осадки). Кроме перечисленных типов, можно выделить по косвенным признакам подводный декливий (гравитационные отложения), ундалювий и флювиогляциальные отложения (Рыбалко и др, 2019; Беляев и др, 2019).

Ниже дана более подробная характеристика данных типов отложений и их признаков на сейсмоакустической записи, на нескольких ключевых участках, различающихся как строением разреза, так и геоморфологическим строением.

Всего в ходе дешифрирования было выявлено по характеру записи пять типов отложений: современные озёрные отложения (InH), три горизонта лимногляциальных отложений (IgШos) и морены (gШos) (Давыдова и др., 1986). Также по косвенным признакам были выявлены гравитационные отложения (IdШН), ундальювиальные (IvШ-IV) и флювиогляциальные отложения – (fШos) (Максимов и др., 2015).

Кроме данных сейсмоакустического профилирования, были также использованы данные, полученные в ходе бурения в рамках российско-германского проекта PLOT (Andreev et. Al, 2016; Gromig et al. 2019; Lebas et al., 2020).

4. 2. Методы исследований, применявшиеся при изучении Онежского озера

4. 2. 1. Сейсмоакустические и гидролокационные исследования

На акватории Онежского озера сейсмоакустические работы проводились при скорости 4-5 узлов и излучением сигнала раз в 6 секунд. Оборудование для ведения геофизических работ было использовано то же, что и для работ на акватории Ладожского озера. Описание дано в предыдущем разделе. Для ведения гидролокационной съёмки использовалась следующая аппаратура:

- Приемно-передающая гидроакустическая антенна "Clein-900"
- Система сбора и регистрации StarFish ScanLine V2.1
- Навигационная система GPS Star 4

Гидролокатор (антенна) при проведении работ заглублялся на 3 м, частота излучения составляла 450 кГц, ширина обзора дна была выбрана 100 м, и разрешающая способность 0,5 м затем данные гидролокации одновременно с данными навигации записывались в формате logdoc. Запись навигационных данных велась при помощи системы GPS Star 4. Итогом работ по гидролокации бокового обзора и сейсмоакустическому профилированию в Петрозаводской губе является запись с достаточно высокой степенью детализации. Пример записи ГЛБО можно увидеть на приведённой ниже картинке. В дальнейшем, на основании геофизических данных были выбраны точки для геологического пробоотбора и бурения в Петрозаводской губе. Точки для геологического пробоотбора в открытой части озера были выбраны на основании анализа карт четвертичных отложений северо-запада и пояснительных записок к ним (Максимов и др., 2015).

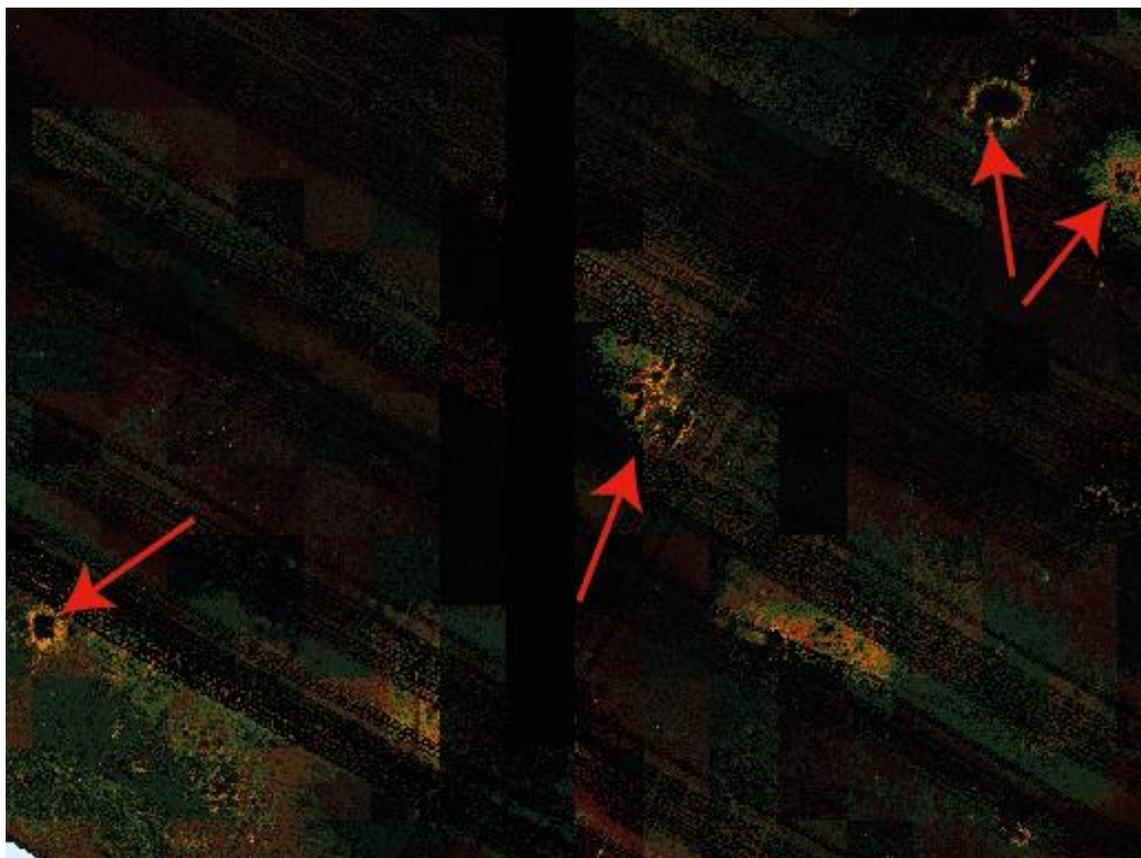


Рис. 8. Пример снимка гидролокатора бокового обзора. Петрозаводская губа. На снимке наблюдаются подводные выходы газа в виде поп-марок.

4. 2. 2. Геологический пробоотбор с судна

Геологический пробоотбор вёлся с НИС «Эколог» и «Профессор Зенкевич», по предварительно выбранным точкам на основании геофизической съёмки. Ниже дана схема их расположения на акватории.

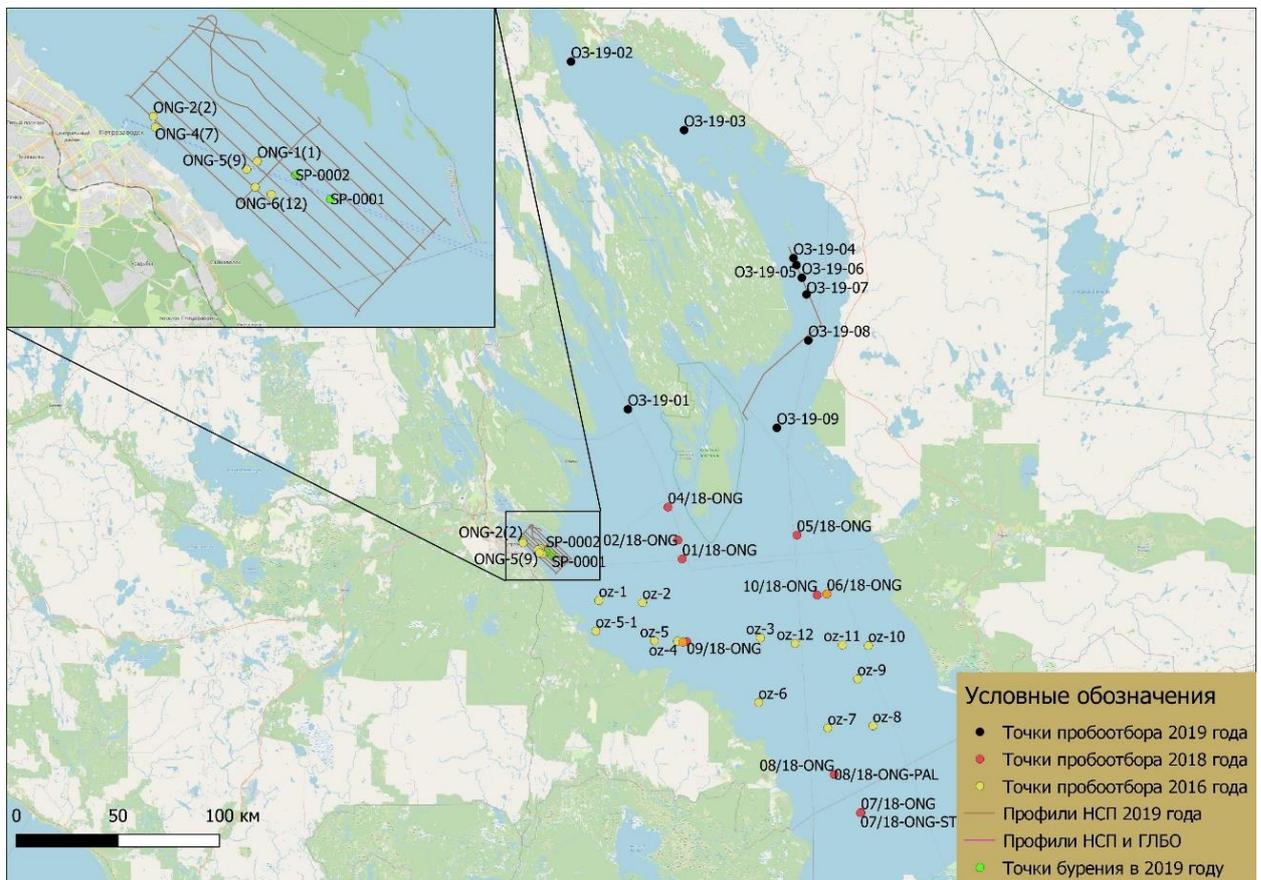


Рис. 9. Общее расположение точек пробоотбора и геофизических профилей на акватории Онежского озера

Для пробоотбора с судна использовалась помощи гравитационная труба весом около 300 кг, длиной 3 м и диаметром 127 мм. Ниже дано фото самой трубы (рис. 10).



Рис. 10. Гравитационная труба длиной 3 м. в сборе на борту НИС Профессор Зенкевич.

Все координаты точек пробоотбора фиксировались при помощи системы навигации, находившейся на судне и при помощи карманного GPS-навигатора. В ходе работ по геологическому пробоотбору за период 2016-2019 гг. было получено около 40 грунтовых колонок. При отборе трубок в поле, проводилось первичное описание осадка. Во время описания замерялась величина слоев осадка, описывались включения, проводилось первичное определение гранулометрического состава. Типичный состав отложений, вскрытых колонками: глины, пелиты, алевриты, алевропелиты. Некоторыми колонками были вскрыты песчаные отложения различной зернистости. Из включений в отложениях присутствовали линзовидные прослои гидроокислов марганца, алеврита и песка. илистой, глинистой, пелитистой и алевритистой фракции с примесью песка. В

каждой точке отбиралась дублирующая колонка отложений с целью дальнейшего анализа литологического состава и датирования в лабораториях СПбГУ и МГУ, а также геохимического анализа в институте геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН.

4.2.3. Стационарное бурение со льда

Бурение велось с ледовой платформы производства компании UWITEC. Выход керна в данном случае доходил до 12 м., что значительно больше, чем при геологическом пробоотборе с судна. Данное обстоятельство позволило провести корреляцию неоплейстоценовых отложений Онежского озера с точностью и масштабами гораздо большими, чем во время всех предшествующих работ.

Как и в случае геологического пробоотбора, выбор точек для бурения был сделан на основании анализа данных геофизической съёмки. Была выбрана одна точка с максимальной мощностью голоценовых отложений, вторая с наиболее полным разрезом неоплейстоценовых отложений. Ниже дана схема расположения данных точек в Петрозаводской губе.

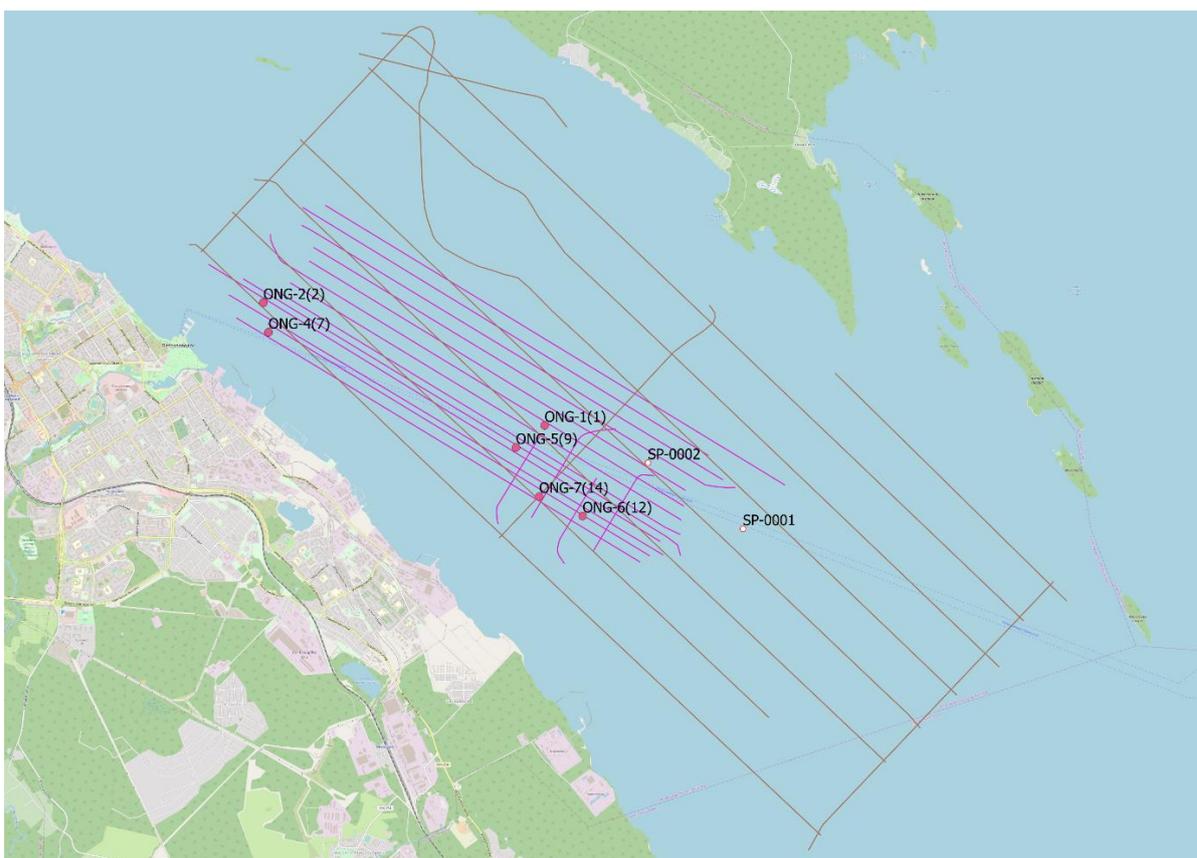


Рис. 11. Схема расположения фактического материала в пределах Петрозаводской губы. Условные обозначения:

- Точки пробоотбора 2016 года
- Профили НСП 2019 года
- Профили НСП и ГЛБО
- Точки бурения в 2019 году

В состав буровой установки входили следующие комплектующие:

- Тренога, являющаяся несущей конструкцией для бурового снаряда и лебёдок
- Гравитационная трубка, для отбора верхней части осадка
- Буровой снаряд, который в свою очередь состоит из: стального цилиндра с прозрачной трубкой-лайнером из ПВХ, буровой головки, керноулавливателя, поршня со штангой-сердечником и кернорвателя
- Ударный механизм. Представляет собой молот, приводимый в действие силой собственной тяжести и подъёмной лебёдкой
- Набор шнеков
- Подъёмно-спусковой механизм, состоящий из 3 ручных лебёдок (для ударного молота, для удержания поршня и для всего бурового снаряда).

Благодаря наличию в составе буровой системы ударного механизма, впервые за время работ появилась возможность пройти плотные песчаные флювиогляциальные отложения (fШOs). В ходе бурения были вскрыты следующие типы отложений: глинистые алевриты, глинистые пески, различные глины, пески различной зернистости и плотности, алевропелиты а также гомогенизированные илы. Ниже приложено фото керна, в нижней части которого вскрываются грубозернистые пески, по-видимому, флювиогляциального генезиса.



Рис. 12. Нижняя секция керна с точки SP-0002, в отложениях присутствует крупная галька и грубозернистый песок.

После отбора, керны были упакованы в специально подготовленные пеналы и доставлены в депозитарий ИВПС Кар НЦ РАН для вскрытия и дальнейших лабораторных анализов. Возрастная привязка отложениям, вскрытым в ходе геологического пробоотбора и бурения, была дана на основании радиоуглеродного датирования и спорово-пыльцевого анализа, проводимого в лаборатории Отто Кёппена (СПбГУ), в ходе которых было отобрано 3 пробы для радиоуглеродного датирования и 72 образца для спорово-пыльцевого анализа. В результате было выделено 11 споровых таксонов, 32 пыльцевых таксона и цисты пресноводных водорослей *Pediastrum*. (Kiskina et. al, 2018; Savelieva et. al, 2018)

5. Рельеф и четвертичные отложения Ладожского озера

Данные о строении рельефа и четвертичных отложений Ладожского озера были получены в ходе работ по многоканальному непрерывному сейсмоакустическому профилированию (НСП) в 2014 и 2015 году. Особенности проведения многоканальной сейсмоакустической съёмки описаны в главе «Методы исследований». Сейсмоакустические данные также подтверждены данными геологического пробоотбора, полученными в 2013 году в рамках российско-германского проекта PLOT (Andreev et. al, 2016; Gromig et. al, 2019; Lebas et. al, 2020) и данными предшественников (Рыбалко и др., 2007).

5. 1. Данные о строение верхнеоплейстоцен-голоценовых отложений Ладожского озера по результатам анализа профилей НСП

Типичный сейсморазрез верхнеоплейстоцен-голоценовых отложений котловины Ладожского озера представлен на участке №1 (рис. 13). Участок находится в зоне прохождения 100-метровой изобаты. Рельеф дна плоский, с глубинами 120-130 метров. В геоморфологическом отношении описываемая часть дна котловины представляет собой озерную аккумулятивную равнину на моренном цоколе. Характерным для этого типа рельефа является отсутствие контрастных форм рельефа в связи с низкой расчленённостью. Для отложений в районе распространения этого типа рельефа характерны субгоризонтальное или пологоволнистое залегание всех слоев и облекающий характер залегания.

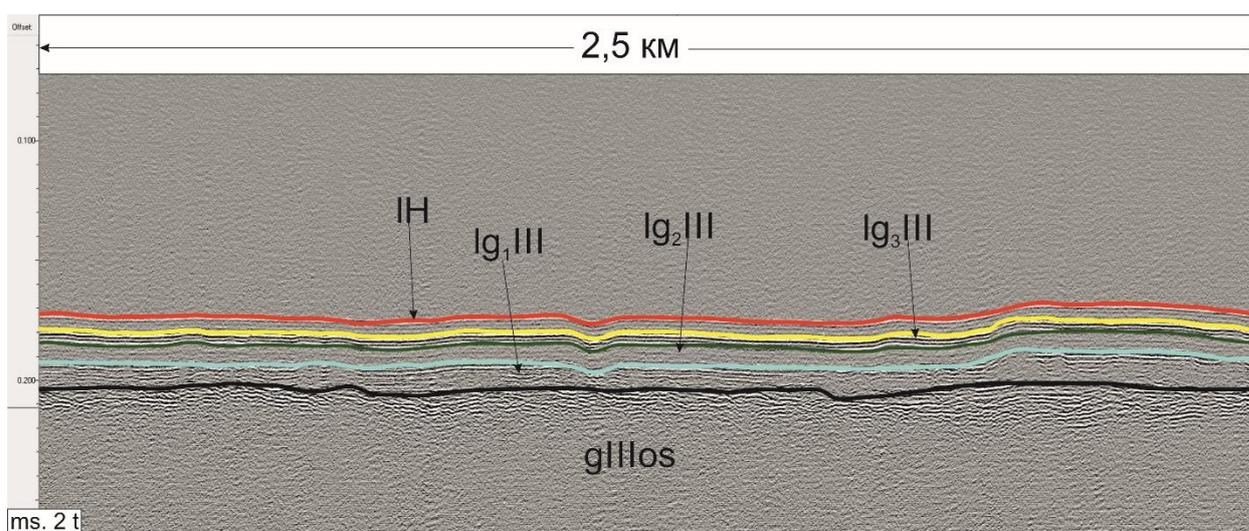


Рис. 13. Участок № 1. Фрагмент сейсмоакустического профиля, на котором представлен типовой разрез четвертичных отложений в южной части озера. Условные

обозначения: ИН – Голоценовые озёрные осадки, IгIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены осташковского возраста.

В основании разреза залегает толща с хаотическим характером записи (gIIIos). Рефлекторы короткие и разноориентированные. Местами наблюдается предполагаемая линзовато-слоистая текстура. Верхняя граница четкая, резкая и неровная, свидетельствует о резком возрастании акустической жесткости. Рельеф поверхности неровный, на рисунке подчеркнут коричневым цветом. Сами рефлекторы короткие, четкие. По характеру записи и положению в разрезе, эта сеймопачка может быть диагностирована как морена осташковской стадии Валдайского оледенения (Давыдова и др., 1986; Амантов, Спиридонов, 1989). Нижняя граница морен на использованных материалах сейсмоакустической записи не выделяется, поскольку сливается с акустическим фундаментом.

Морена на большей части озера перекрыта сеймопачкой с неясной субгоризонтальной слоистостью (Iг₁III), слоистость местами пропадает из-за появления неструктурной диффузионной записи. Субгоризонтальная слоистость обусловлена, вероятно, наличием пачек относительно мощных проксимальных ленточных глин. Мощность описываемой пачки лимногляциальных отложений составляет 17-20 метров. Кровля четкая, проводится по фазе появления первой слоистой пачки, в середине участка выделяется понижение (рис. 13), заполненное вышележащими осадками. Характер залегания – облекающий. Есть предположение, что неструктурная запись обусловлена наличием в данной сеймопачке перемытых флювиогляциальных отложений.

Выше по разрезу залегают скрытослоистые отложения (Iг₂III). Мощность толщи 12-15 метров. Характер залегания облекающий.

Описываемые отложения перекрываются сеймопачкой с четко выраженной субгоризонтальной слоистостью (Iг₃III). Мощность этого горизонта 8-10 метров. Характер залегания облекающий.

Исходя из имеющихся данных по геологическому строению дна Ладожского озера, вышеописанную трехчленную толщу можно отнести к ледниково-озерным отложениям верхнего неоплейстоцена. Выделенные три сеймопачки можно сопоставить с данными ОАО «Севморгео» по северной части озера (Рыбалко и др., 2007) и выделить их под индексами: Iг₃III, Iг₂III и Iг₁III. Они отражают различные стадии приледниковых озер. Так, третья пачка сложена проксимальными ленточными глинами, которые фациально замещаются песчанистыми флювиогляциальными отложениями. Верхние две пачки – это ленточные глины, нижняя из которых отвечает осадкам озера

Рамсея, а верхняя сформировалась, вероятно, в результате наступления ледника в стадию Сальпаусселькя (Квасов, 1975).

Венчает цикл осадконакопления пачка современных озёрных отложений (IH). Слоистость скрытая. Отложения характеризуются тонким гранулометрическим составом (о чём можно судить по характеру записи). Характер залегания облекающий. Верхняя граница чёткая. Мощность 10-12 м. По кровле данных осадков, на большей части котловины Ладожского озера отбивается линия рельефа дна.

В целом, осадки в «спокойных» местах залегают согласно, деформации же слоёв вызваны, скорее всего, неотектонической активностью. Однако слои осадков могут выклиниваться в определённых местах. Таким образом, слой современных озёрных осадков «исчезает» на участках №2, 3, 4 вероятно из-за сильной транзитной деятельности подводных течений, либо геоморфологических особенностей строения дна, препятствующих осадконакоплению.

Участок 2 расположен в зоне выположенного грядового рельефа, сформированного в вепсовскую стадию последнего оледенения (Максимов и др. 2015), краевые образования которого наблюдаются в центральной части Ладожского озера (рис. 14). Соответственно совсем другой вид имеют и сейсмограммы. Так, участок озерного дна, изображенный на рисунке 15 состоит из трех крупных элементов рельефа: гряды, равнины и оползневого тела у борта гряды.

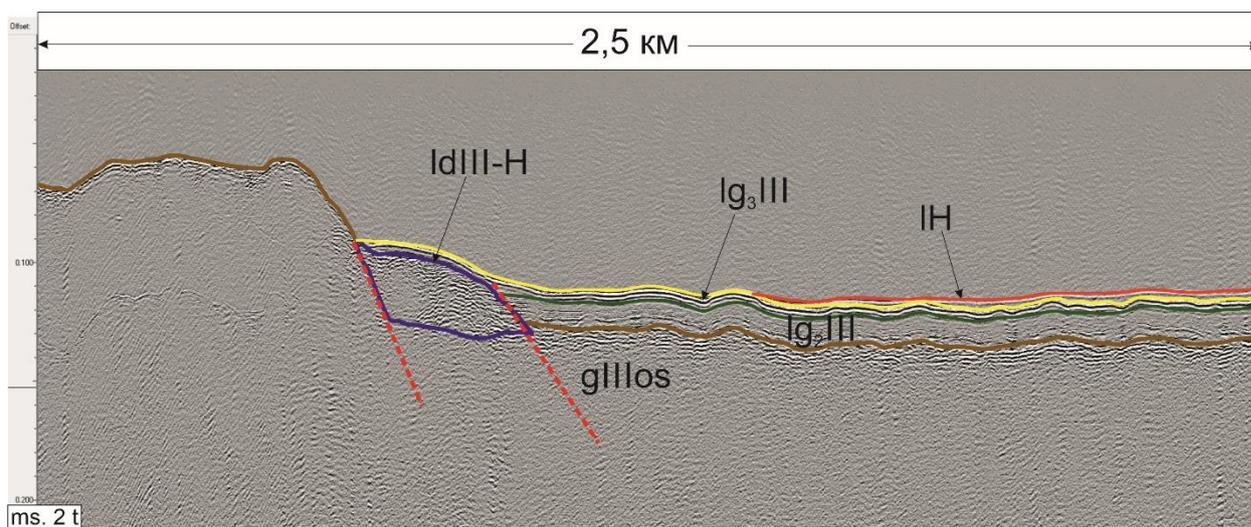


Рис. 14. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок № 2.

Условные обозначения: IH – озёрные современные отложения, IgIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены осташковского возраста, IdIII-H – подводное оползневое тело (декливий), пунктирные линии – зоны предполагаемой тектонической активности.

В основании разреза залегает морена осташковского оледенения (gIIIos), залегающая в основании разреза четвертичных отложений в пределах равнинной подводной территории. Она характеризуется чётко выраженной хаотичной записью, мощность на данном участке у морен неопределима, как и на предыдущем рисунке (по тем же причинам). Граница с верхним горизонтом не чёткая. Наблюдаются следы возможной эрозионной деятельности водотоков в кровле. Моренные отложения видимо, слагают гряды, геоморфологические черты которой вероятно, предопределены строением дочетвертичного субстрата. Выше по разрезу залегает пачка – lg₂III, характеризующаяся по типу записи скрытой слоистостью. Мощность пачки составляет 8-10 метров. Контакт с залегающими выше отложениями чётко выраженный, резкий. Данная толща заполняет палеоврезы в нижележащей толще. Эта пачка, в свою очередь, перекрывается отложениями пачки lg₃III, которая представлена четкими ритмически переслаивающимися ленточными глинами. Толщины пар слойков составляет 5-8мм, а общая мощность осадков данной пачки варьируется от 10-12 до 3-6 метров. Слоистость в данной пачке чётко выраженная, субгоризонтальная, в кровле данной пачки иногда присутствуют следы эрозионного размыва. Верхнюю часть слагают осадки пачки современных озёрных отложений (IH). Мощность ее составляет 5-7 метров, она сложена тонкозернистыми осадками, плотность отложений, скорее всего, достаточно низкая, о чем говорит прозрачный характер записи. Характеризуется неявной субгоризонтальной слоистостью с облекающим характером залегания. На самой возвышенности отсутствует по причине того, здесь более активная гидродинамика и тонкозернистые осадки не отлагаются. Индексом I_dIII-H обозначено сложно построенное оползневое тело, прислонённое к борту гряды, мощность около 47 метров. Образовано, вероятно, вследствие отделения крупного блока слабодиагенизированных осадков, триггером же для отделения тела, вероятно, являлась тектоническая активность. На это может указывать наличие предполагаемого разлома вдоль склона гряды, которая сложена акустически жесткими породами. Это могут быть как коренные породы, так и морена, которая из-за своей плотности оказалась непроницаемой для высокоразрешающего бумера.

Хотя на большей части рассматриваемого участка дно перекрыто толщей сравнительно молодых осадков, тем не менее, на значительной части дна котловины на поверхность выходят морены и флювиогляциальные отложения (fIIIos и gIIIos) Это является следствием интенсивного подводного размыва, а также недостатка поступления осадочного материала в голоцене в результате усиления гидродинамической активности

на контакте плотных пород и мягких осадков. Похожий выход морены или флювиогляциальных отложений наблюдается на участке № 3 (рис. 15).

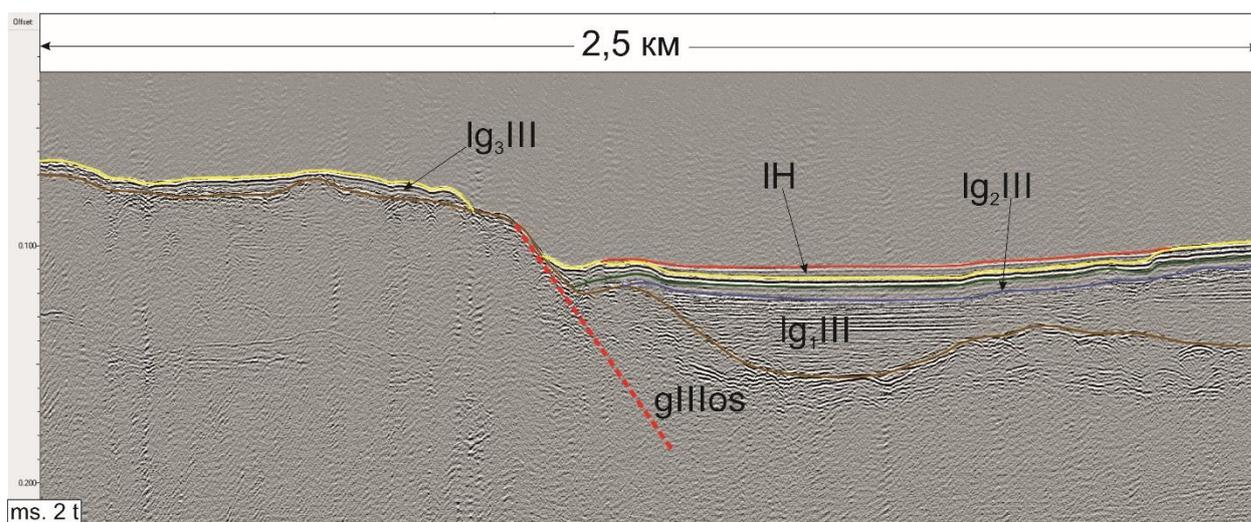


Рис. 15. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок №3.

Условные обозначения: ИИ – озёрные нефелиты, IgIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены осташковского возраста, пунктирная линия – зона предполагаемой тектонической активности.

Участок № 3 находится между участками №1 и №2 и пространственно приурочен к северной части грядобразных поднятий в центральной части озера. Грядовые поднятия, вероятно являются структурно-предопределёнными, также в их образовании принимала активная участие тектоника, о чём свидетельствует выделяемая зона тектонической активности в основании гряды, Аналогичные рельефообразующие зоны тектонической активности выделяются на участках №10 и №11. Облик же гряд в значительной степени сформирован процессами денудации, а также ледниковой и водноледниковой аккумуляции. По-видимому, эти гряды являются краевыми образованиями вепсовской стадии валдайского оледенения (Максимов и др., 2015). Как и на участке №2, на данном фрагменте сейсмограммы выделяется часть гряды, с которой современные осадки были удалены гравитационными и гидродинамическими процессами и межгрядового понижения, выполненного лимниевыми и лимногляциальными отложениями. Гряда сложена ледниковыми отложениями, выделяемыми по хаотичному характеру записи, сливающимися с акустическим фундаментом. В отличие от предыдущего участка, на вершине гряды развит маломощный покров лимногляциальных отложений (до 5 метров). Отнести данные отложения к лимногляциальным глинам даёт основание характер их записи.

На участке №3 в цоколе выделяются морены (gIIIos), характеризующиеся чётко выраженной хаотичной слоистостью с различной ориентировкой непротяженных рефлекторов. Выше по разрезу следует пачка лимногляциальных отложений (lg₁III), характеризующаяся чётко выраженной горизонтальной слоистостью, имеющая мощность 17-20 метров. Эти отложения выполняют долину, протягивающуюся вдоль уступа высотой около 20 метров. Затем мощность данной пачки снижается до 7-8 метров. Заполняет понижение в моренах. Распространена данная пачка на участке не повсеместно. Их перекрывают отложения сейсмopачки (lg₂III), которые имеют мощность 12-14 метров, характеризуются скрытой слоистостью, тонкозернистым составом отложений. Они также заполняют понижение, как и вышележащий слой, и распространены спорадически. Выше по разрезу залегают отложения (lg₃III). Отложения этой пачки отличаются чётко выраженной субгоризонтальной слоистостью. Они выделены в пределах участка повсеместно мощность сильно варьирует от одного до десяти метров. Судя по тому, как чётко видна слоистость этой пачки на сейсмограмме, можно говорить о том, что данные отложения характеризуются высокой плотностью.

Верхняя часть разреза сложена современными озерными отложениями (II). Судя по тому, что на записи не видна слоистость данной пачки, можно судить о низкой плотности слагающих ее отложений и тонкозернистом гранулометрическом составе частиц. Характер залегания – облекающий. Максимальная мощность пачки 1,9 м., а в некоторых местах данного участка этот тип отложений выклинивается.

Поскольку на профиле между участками №2 и №3 рельеф характеризуется очень низкой степенью расчленения, можно предположить, что между ними находится область аккумуляции, возможно аккумулятивная равнина, выполненная озёрно-ледниковыми и озёрными отложениями.

Отрезок профиля между участком №3 (рис. 15) и участком №4 (рис. 18) характеризуется значительным увеличением мощности озёрных и ледниково-озёрных отложений, а также, в некоторых местах, значимыми перепадами высот, что позволяет судить о наличии здесь зоны аккумуляции.

На участках №3 и №2 заметны зоны предполагаемой тектонической активности, выделяемые по характеру смещения пород, приуроченные к неровностям рельефа. Такие же зоны можно наблюдать на участках №10 и №11 (рис. 16, 17).

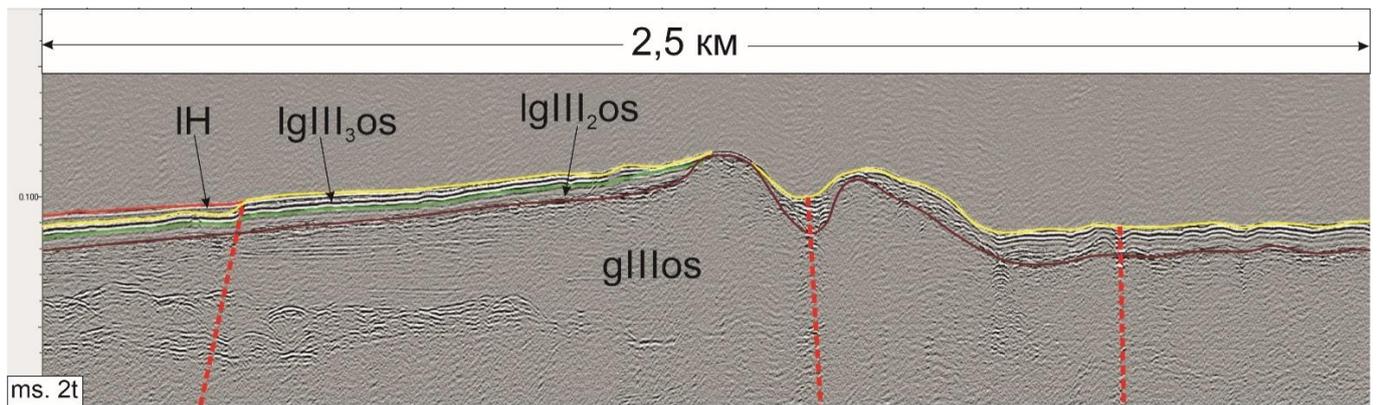


Рис. 16. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок № 10.

Условные обозначения: IH – озёрные нефелоиды, lgIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены осташковского горизонта, пунктирная линия – зона предполагаемой тектонической активности.

Представленный на рис. 17 участок находится в 5 км на северо-запад от уч. №3. по характеру смещения пород выделяются несколько зон тектонической активности, одна из которых приурочена к понижению в рельефе.

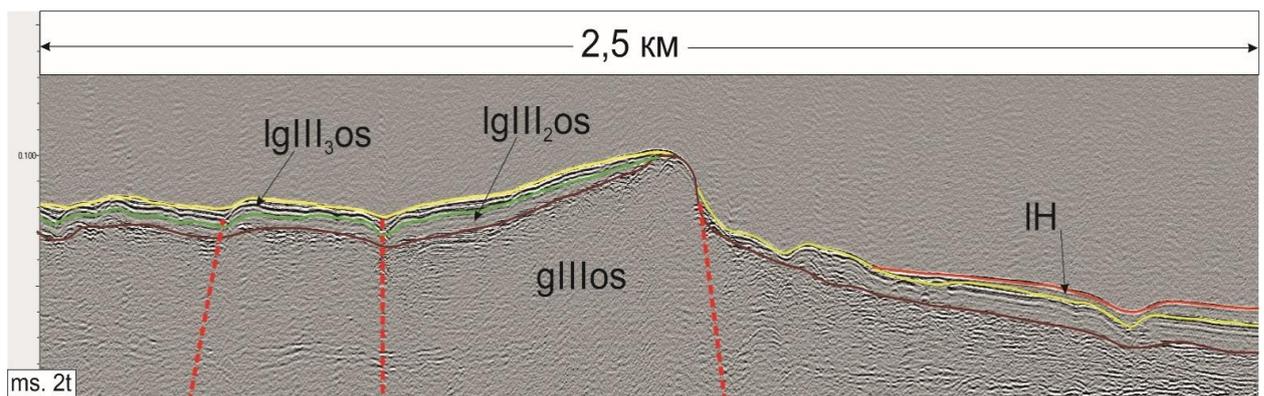


Рис. 17. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок № 11.

Условные обозначения: IH – озёрные нефелоиды, lgIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены осташковского горизонта, пунктирная линия – зона предполагаемой тектонической активности.

Участок №11 находится в 11 км на северо-запад от участка №3. На нём так же, как и на уч.№11, выделяются несколько зон тектонической активности, выделяемых по характеру смещения пород. Зона в центре приурочена к положительной форме рельефа.

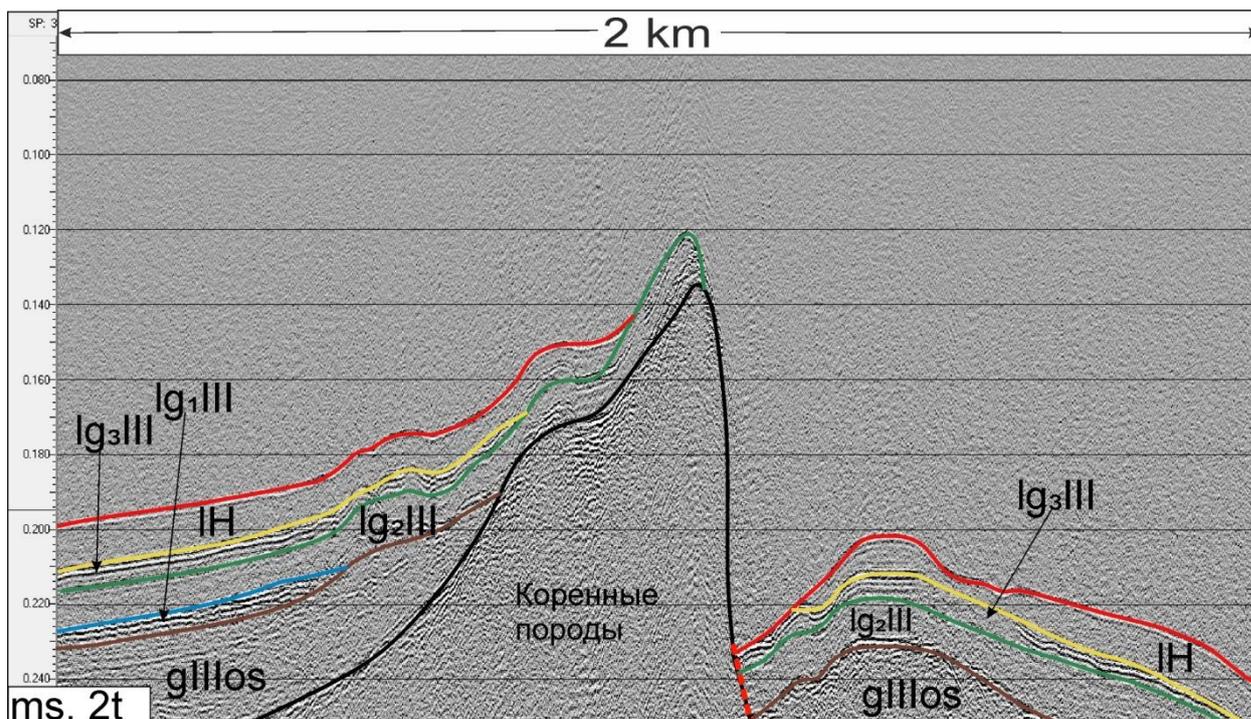


Рис. 18. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок № 4.

Условные обозначения: IH – озёрные нефелоиды, lgIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены ошашковского горизонта, пунктирная линия – зона предполагаемой тектонической активности.

Участок №4 расположен в зоне интенсивно расчленённого грядового рельефа с преобладающим северо-северо-западным простиранием структур. Характерной чертой рельефа, на участке №4 является ярко выраженный уступ, по-видимому, тектонического происхождения, который можно также наблюдать на соседнем профиле Р_6-1 и выровненный участок, скорее всего, являющийся частью седиментационного бассейна. Как раз из-за наличия столь резкого уступа, прослеживаемого и на соседних профилях, был выбран данный участок. Также на профиле видно смещение отложений вдоль уступа, что тоже является основанием для того, чтобы полагать, что здесь находится зона современной тектонической активности. Расположение зоны тектонической активности соотносится с выделенными Б.А. Ассиновской зонами неотектонических разломов (Ассиновская, Карпинский, 2020). Характерные для северной части котловины Ладожского озера ярко выраженные смещения пород можно наблюдать на участках №12, №13 и №14 (рис. 19). Далее по профилю Р_7-12 наблюдается тенденция к повышению глубины озера и увеличению мощности четвертичных отложений.

На участке №4 в основании выделяются коренные породы, слагающие находящуюся в центре гряду. Прямо на этих породах залегают ледниковые отложения

(gШos). Они характеризуются хаотичной и скрытой слоистостью, что можно установить на основании различной ориентировки непротяжённых рефлекторов. Мощность морен на данном участке не определима, так как ее подошва сливается с акустическим фундаментом в большей части участка. Однако можно сказать, что мощность ледниковых отложений становится заметно меньше к середине профиля. Кроме того, на вершинах гряд практически отсутствуют озерные отложения (И) и резко сокращена мощность ледниково-озерных отложений. На кровле ледниковых отложений (gШos) с размывом залегают 3 подпачки лимногляциальных отложений (lgШ), характеризующиеся ярко выраженной субгоризонтальной слоистостью (третья и первая пачка) и скрытой слоистостью (вторая пачка). По данным предшествующих исследований с этими отложениями можно сопоставить горизонты ленточных глин, которые можно рассматривать как проксимальные фации, имеющие локальное распространение. Возможно, что глины первой подпачки имеют генетическое сходство с перемытыми флювиогляциальными отложениями. Мощность отложений (lg₁Ш) в пределах участка 4-6 метров. Выше по разрезу залегают скрытослоистая подпачка (lg₂Ш). Мощность пачки варьируется от 18 до 5 метров, сокращаясь на поднятиях и увеличиваясь в понижениях. Венчает последовательность лимногляциальных отложений подпачка (lg₃Ш), характеризующаяся на записи четкой субгоризонтальной слоистостью. Её мощность 4-6 метров. В некоторых местах на данном участке эта толща выклинивается, что может являться следствием размыва, либо деятельности склоновых процессов.

Как и на всех остальных участках, верхняя часть разреза сложена современными озёрными осадками (И). Их мощность составляет в основном 10-12 метров, однако на верху возвышенности в зоне предполагаемого развития эрозии данные отложения отсутствуют из-за подводного размыва, либо склоновых процессов.

5. 1. 1. Свидетельства неотектонической активности на дне котловины Ладожского озера

Ладожское озеро располагается в тектоническом отношении на границе плитного чехла и кристаллического щита, что подразумевает практическое отсутствие активных неотектонических (геодинамических) процессов. Однако, имеющиеся на настоящее время данные, в которых даётся описание многочисленных палеосейсмодислокаций на прилегающей части Карельского перешейка (Лукашов, 1976; 1993; Никонов, 2017; Shvarev, 2018; Субетто и др., 2018; Ассиновская, Карпинский, 2020) свидетельствуют о

неоднократном проявлении сейсмотектонических явлений на протяжении позднего неоплейстоцена – голоцена в изучаемом регионе. По результатам геолого-геофизических исследований рельефа дна Ладожского и Онежского озера также можно сделать заключение, что неотектонические процессы оказали значительное влияние на формирования современного облика изучаемых котловин. Ярко выраженные смещения наблюдаются на интерпретационных участках №12, №13 и №14, расположенных в северной части Ладожского озера (рис. 19). Все участки объединяет схожее строение валдайских-поствалдайских отложений, а также принадлежность к зоне структурно-предопределённых седиментационных бассейнов. Отложения на всех участках представлены залегающими в основании моренными отложениями, залегающими выше лимногляциальными отложениями, и озёрными отложениями, слагающими верхнюю часть разреза. Участок № 12 – наиболее пологий в плане рельефа. На участках же №13 и №14 выделяется куэстовый рельеф, который судя по характеру смещения пород, связан со структурным фактором. Выделенные зоны тектонической активности соотносятся по простиранию с разломами, выделенными по данным ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015). Расположение рельефообразующих разломов, выделенных по данным НСП дано на геоморфологической схеме (рис. 28) и геоморфологической карте Ладожского озера (приложение 1).

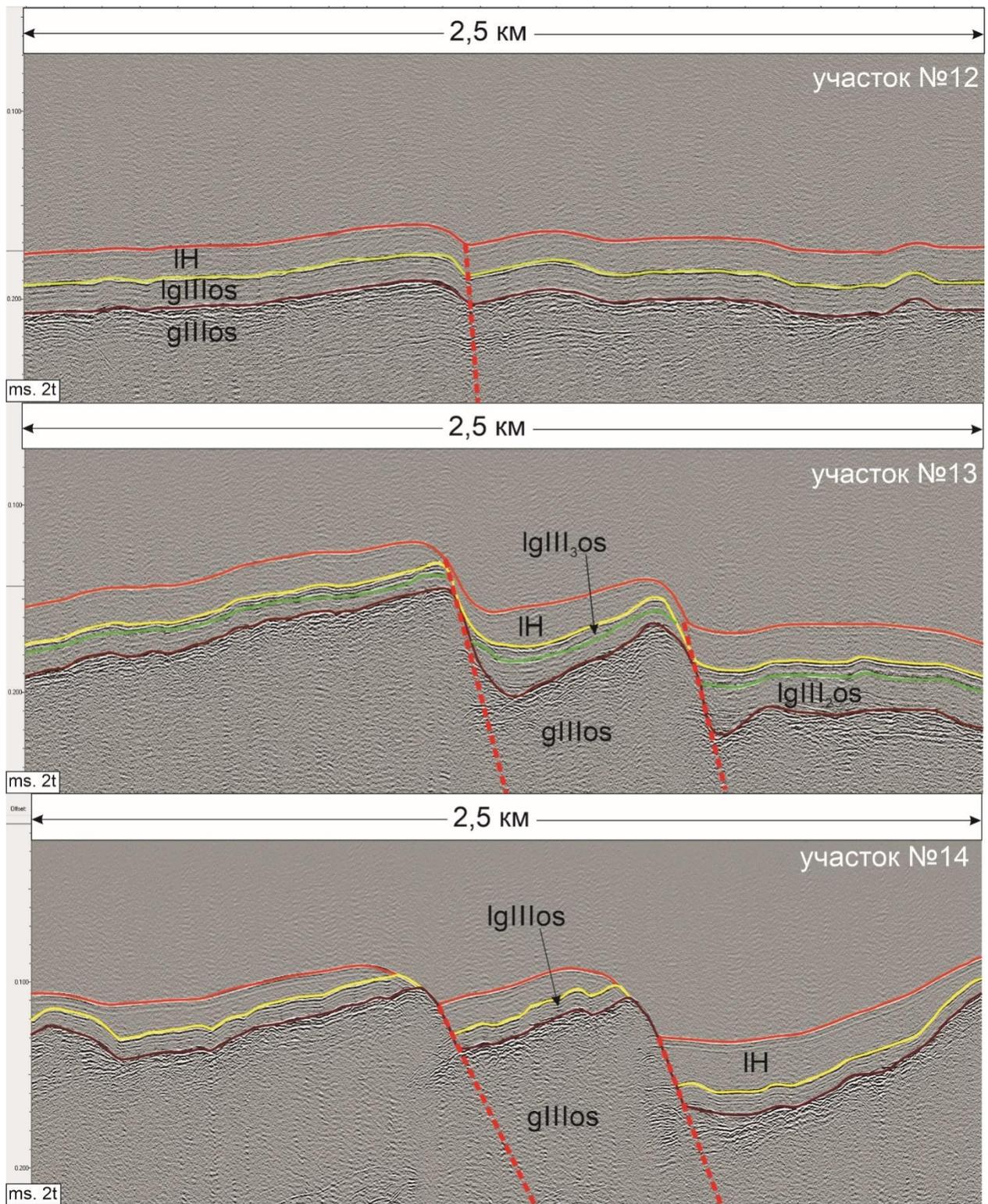


Рис. 19. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок № 12, №13 и №14.

Условные обозначения: IH – озёрные нефелоиды, IgIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, gIIIos – морены ошастковского горизонта, пунктирная линия – зона предполагаемой тектонической активности.

Между участками №2 и №5 (рис. 20) наблюдается такая же картина, как и между участками №2 и №3: на протяжении профиля рельеф слабо расчленён, а на участке №4

наблюдается ярко выраженная гряда. Кроме того, на протяжении всего профиля р_2-6 единственная значимая в рельефе неровность находится на участке №5. В остальном на профиле не наблюдается резких перепадов высот, и он характеризуется тенденцией к уменьшению глубины. Если делать заключение на основании анализа профиля р_2-6, то южная часть Ладожского озера является областью интенсивного современного размыва, поскольку к югу наблюдается постепенное уменьшение мощности слоя современных осадков почти до полного его исчезновения.

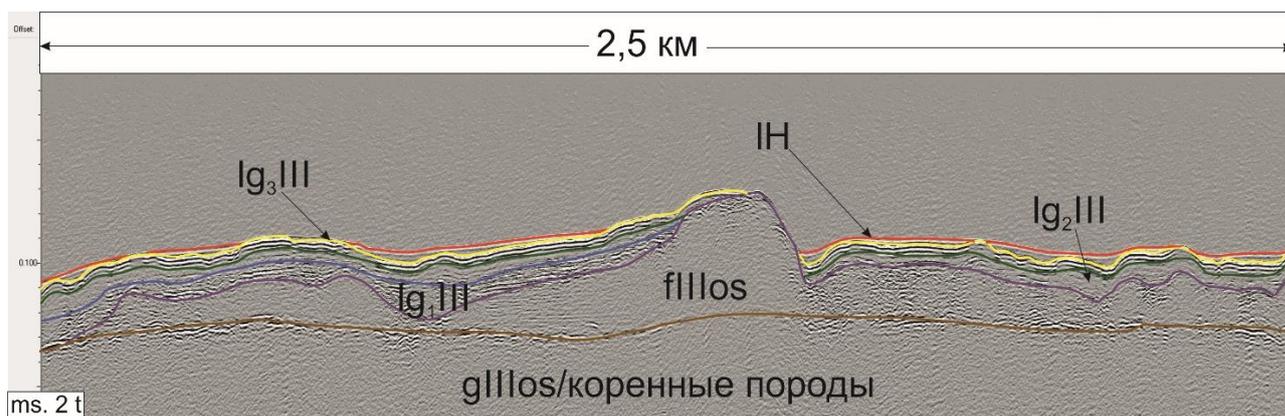


Рис. 20. Фрагмент сейсмоакустического профиля, Участок № 5.

Условные обозначения: ИИ – современные озёрные отложения, IгIII_{1,2,3} – лимногляциальные отложения, fIIIos – флювиогляциальные отложения, gIIIos – моренные отложения ошашковского горизонта

Участок №5 (рис. 20) отличается от остальных участков тем, что в основании рыхлого разреза залегают как моренные, так и частично перемытые флювиогляциальные отложения. Поверхность выровненного рельефа осложнена грядами, представляющими собой, скорее всего, озы. Поскольку есть основания полагать, что показанная на фрагменте сеймопрофиля возвышенность является озом, можно предположить, что в основании разреза на данном участке залегают перемытые флювиогляциальные отложения (fIIIos), фациально замещающие моренные (gIIIos). Данная пачка характеризуется частичной акустической прозрачностью, а там, где слоистость прослеживается, характер записи ярко выраженный и хаотический (о чём говорит различная ориентировка рефлекторов). Максимальная мощность данной пачки составляет около 50 метров. Мощность морен неопределима, поскольку они сливаются с коренным фундаментом. Выше залегает пачка (Iг₁III), по характеру записи отличается субгоризонтальной и, частично скрытой слоистостью (возможно её отсутствием) в местах с акустической прозрачностью. Вполне возможно, что эти места являются палеоврезами, заполненными отложениями вышележащего горизонта. Мощность данной пачки варьируется от 10-12 до 2-4 метров. Она перекрыта отложениями пачки

(lg₂III), которые характеризуются скрытой слоистостью. Мощность пачки составляет 6-8 метров, но в некоторых местах уменьшается примерно до метра. В кровле данной толщи наблюдаются палеоврезы. Примерно в середине участка данная толща выклинивается. Выше по разрезу находится пачка (lg₃III), выделяемая по чётко выраженной субгоризонтальной слоистости. Мощность этих отложений примерно 5-6 метров. Примерно в середине участка можно заметить смещение толщи, что позволяет судить о наличии зоны предполагаемой тектонической активности в этом месте. Верхняя часть сложена современными озёрными отложениями (II), их можно чётко отделить по характеру записи от нижележащих лимногляциальных отложений. Характеризуется данная пачка не ярко выраженной или скрытой слоистостью и низкой плотностью (что видно по записи). Мощность пачки разнится от 6-8 метров до 1 метра. Из форм рельефа на участке №5 присутствуют: перемытый оз и несколько палеоврезов.. Сам же участок находится в зоне с относительно невысокой степенью расчленения рельефа, где преобладают в данный момент, условия размыва. Таким образом, проведенная интерпретация сейсмопрофилей на 5 участках позволила выделить на описываемой подводной поверхности 6 типов отложений, дала основания, чтобы судить о наличии неотектонической активности на дне озера, гравитационных процессах и развитии подводной эрозии. В целом, на данных профилях видно, что рельеф озерного дна в северной части более интенсивно расчленен, чем в южной.

Ещё одним интересным в плане геоморфологического и геологического строения участком является район к северу от острова Коневец. Здесь 4 профилями пересекается подводная долина, расширяющаяся к северу. Кроме того, в этом месте в рамках проекта PLOT при сотрудничестве российских и германских исследователей было проведено бурение озёрных отложений, сопоставление результатов которого с геофизическими материалами, даёт возможность построить подробный литолого-стратиграфический разрез для данного района (Andreev et. al, 2016).

Всего долина пересекается 4 профилями, соответственно было выбрано 4 участка, на которых было описано строение четвертичных отложений и рельефа по данным сейсмоакустического профилирования.

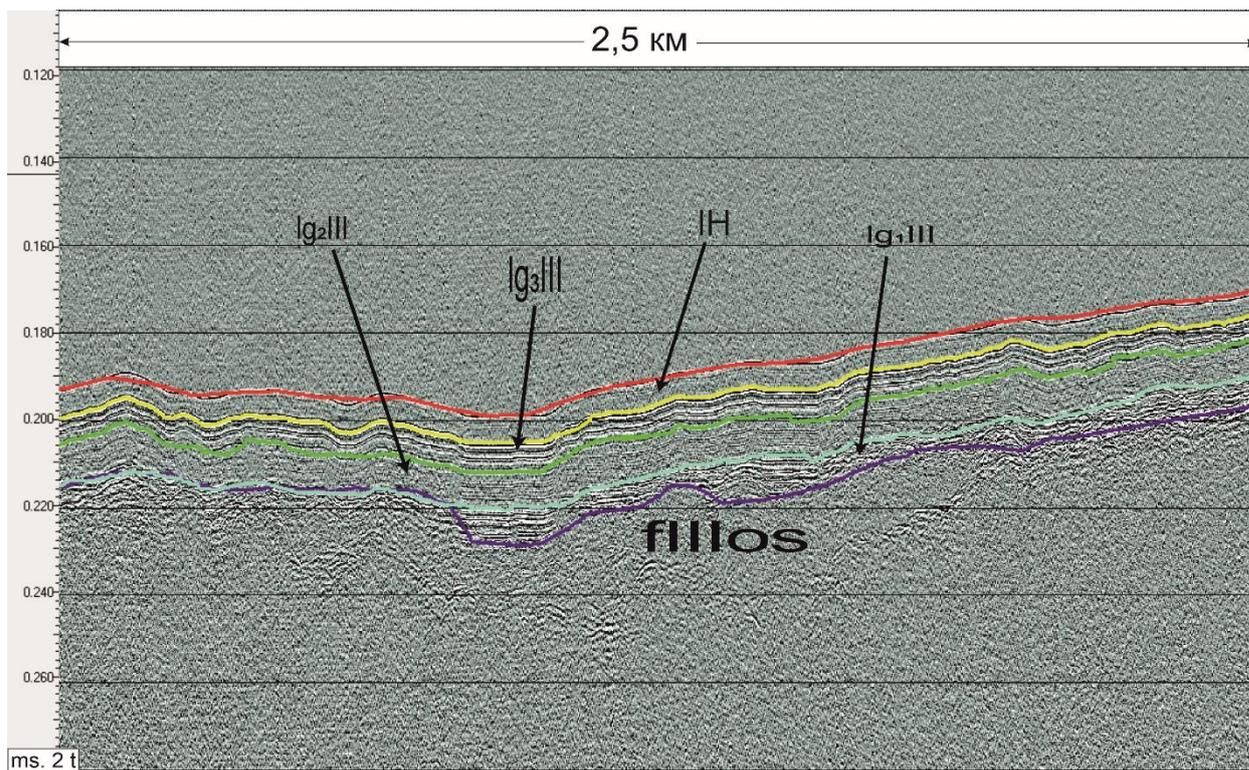


Рис. 21. Участок № 6. Подводная долина у острова Коневец. Условные обозначения: IH – современные озёрные осадки, lgIII – толщи лимногляциальных отложений, соответствующих различным стадиям приледниковых озёр, fIIIos – флювиогляциальные отложения.

На данном рисунке приведена самая северная и наиболее широкая часть подводной долины. Участок интересен тем, что на нём можно наблюдать все типы отложений, которыми сложено озерное дно в районе острова Коневец. Характеризуется участок достаточно низкой степенью расчленения рельефа, однако общая морфология, характерная для долины в широком смысле, уже начинает прослеживаться. В основании разреза на этом участке залегают флювиогляциальные отложения (fIIIos). Характеризуются частичной акустической прозрачностью, однако там, где слоистость наблюдается, она ярко выражена и хаотическая, о чём можно судить по различной ориентировке рефлекторов. Нижняя граница неопределима. Выше по разрезу залегают ледниково-озёрные отложения (lgIII). Отличаются чётко выраженной субгоризонтальной слоистостью, частичной акустической прозрачностью и облекающим характером залегания по отношению к нижележащим. Возможно, частично, отложения данной пачки сложены перемытыми флювиогляциальными отложениями, о чём говорит местами пропадающая запись. Они перекрыты пачкой лимногляциальных отложений, характеризующихся скрытой слоистостью – (lg2III). Слоистость имеет облекающий характер залегания по отношению к (lg1III) и чёткий контакт с ней. Перекрывают (lg2III) отложения (lg3III). Характеризуется, как и (lg1III),

чётко выраженной субгоризонтальной слоистостью. Контакт с вышележащей толщей чёткий. Вероятнее всего, данная пачка сложена дистальными ленточными глинами. Венчают цикл осадконакопления (IH) – современные озёрные отложения. Они характеризуются неярко выраженной субгоризонтальной слоистостью и представлены илами и алевритами.

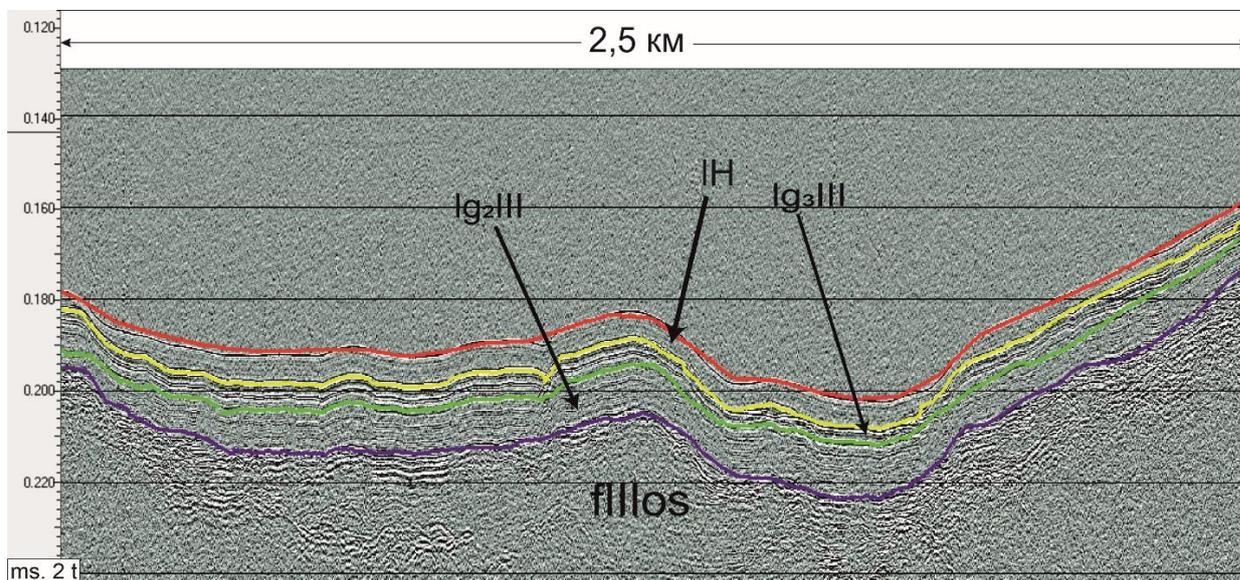


Рис. 22. Подводная долина у острова Коневец. Участок №7. Условные обозначения: IH – современные озёрные осадки, IgIII – толщи лимногляциальных отложений, соответствующих различным стадиям приледниковых озёр, fIIIos – флювиогляциальные отложения.

Участок № 7 характеризуется большим расчленением рельефа, нежели вышеописанный участок. Также здесь отсутствует пачка (Ig₁III) (нижняя пачка лимногляциальных отложений). Строение осадочного чехла представлено здесь следующими типами отложений:

флювиогляциальные отложения (fIIIos), характеризуются хаотическим расположением рефлекторов, местами ярко выраженной субгоризонтальной слоистостью и частичной акустической прозрачностью. Они перекрыты отложениями пачки (Ig₂III), которые характеризуется скрытой слоистостью, чётко выраженным контактом с нижележащей пачкой и облекающим характером залегания. Выше по разрезу залегают отложения (Ig₃III), пачка отложений, характеризующаяся ярко выраженной субгоризонтальной слоистостью. Имеет облекающий характер залегания по отношению к (Ig₂III). На её поверхности можно заметить углубления небольшого размера, скорее всего являющиеся палеоврезами, которые заполнены озёрными нефелоидами (IH). Верхнюю часть сейсморазреза составляют современные озёрные

нефелоиды ІН. Характеризуются скрытой субгоризонтальной слоистостью и чёткими верхними и нижними границами. Заполняют палеоврезы в Іg₃ІІІ.

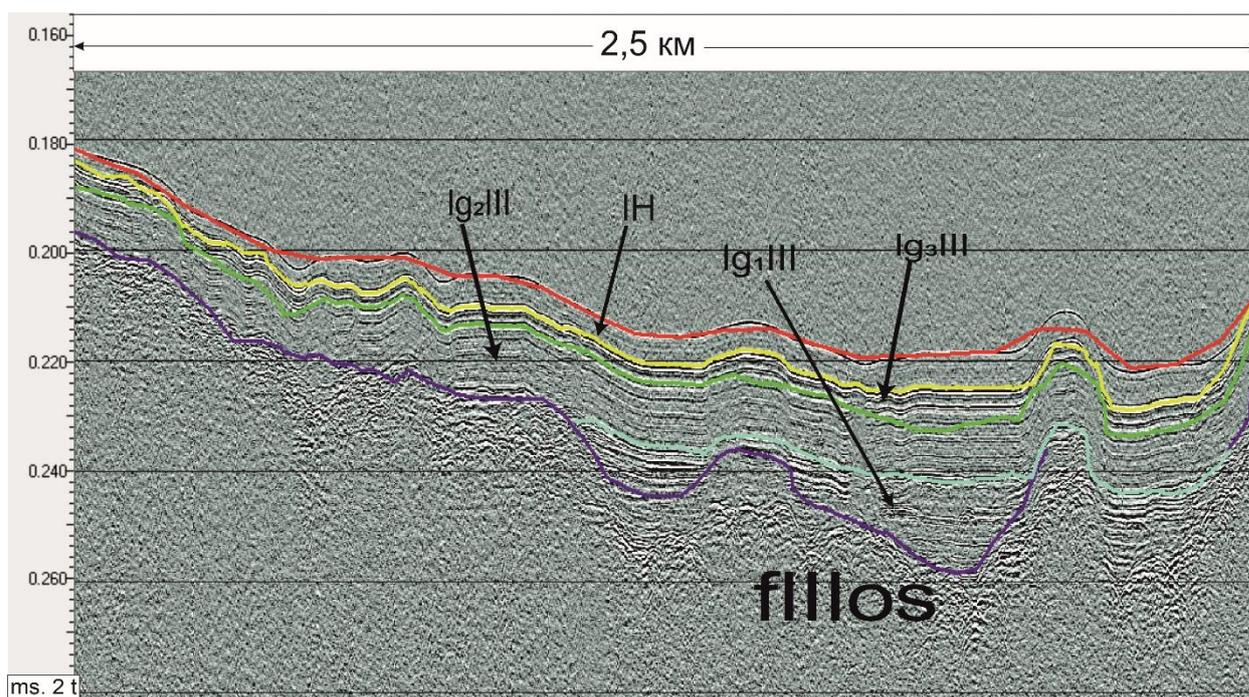


Рис. 23. Подводная долина у острова Коневец. Участок № 8. Условные обозначения: ІН – современные озёрные осадки, ІgІІІ – толщи лимногляциальных отложений, соответствующих различным стадиям приледниковых озёр, fІІІos – флювиогляциальные отложения.

Участок № 8 находится примерно в середине подводной долины. На нём уже начинает вырисовываться профиль этой долины (в поперечном сечении) и снова появляются отложения (Іg₁ІІІ). На приведённом снимке представлен один из её бортов.

В основании разреза залегают отложения (fІІІos), в кровле которых можно увидеть два понижения, заполненных осадками (Іg₁ІІІ). Перекрывает флювиогляциальные отложения пачка лимногляциальных отложений (Іg₁ІІІ), которые на данном участке характеризуются чётко выраженной, субгоризонтальной слоистостью и частичной акустической прозрачностью, связанной, вероятно, с наличием однородных песчаных отложений, сформировавшихся за счет размыва флювиогляциальных отложений. Об этом может свидетельствовать и четкий контакт с (fІІІos). Выше по разрезу залегают пачка (Іg₂ІІІ), характеризующаяся скрытой слоистостью. Имеет облекающий характер залегания относительно (Іg₁ІІІ). Также в этой толще имеются палеоврезы, которые заполнены вышележащими осадками. Контакт с нижележащей пачкой чёткий. На отложениях (Іg₂ІІІ) залегают отложения (Іg₃ІІІ). Данная пачка характеризуется ярко выраженной субгоризонтальной слоистостью и заполняет палеоврезы в (Іg₂ІІІ). Контакт постепенный. Характер залегания по отношению к

нижележащим сеймопачкам облекающий. Верхнюю часть разреза формируют отложения (II). Слоистость скрытая, характер залегания по отношению к (I_{g3}III) облекающий.

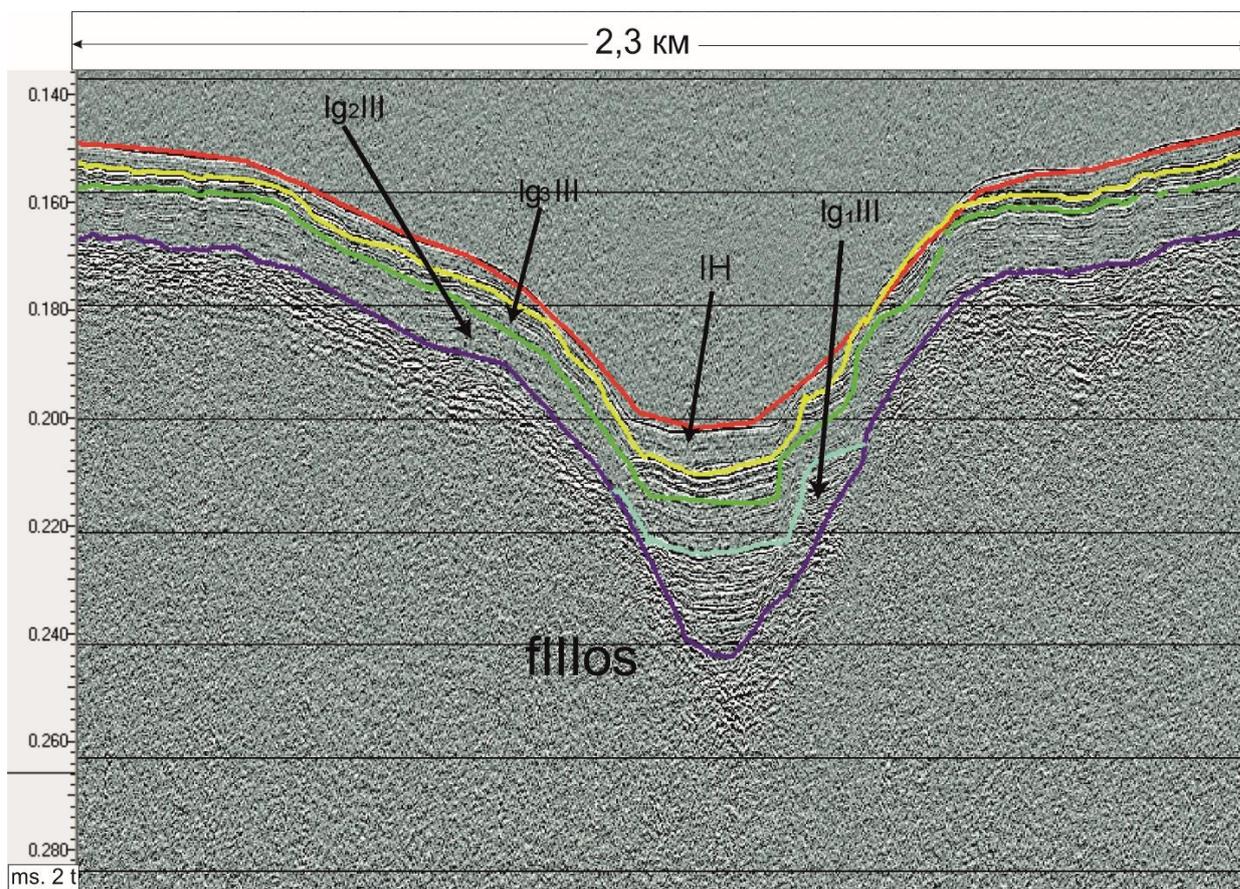


Рис. 24. Подводная долина у острова Коневец Участок № 9. Условные обозначения: II – современные озёрные осадки, I_{g3}III – толщи лимногляциальных отложений, соответствующих различным стадиям приледниковых озёр, fIIIos – флювиогляциальные отложения.

На участке № 9 выделяется наиболее узкая и ярко выраженная в рельефе часть подводной долины. Отложения, которые можно наблюдать на этом участке не отличаются от отложений на предыдущих участках, однако отложения (I_{g1}III) встречаются только на дне долины, и при этом отсутствуют по бортам. Также мощность отложений сильно изменяется от бортов ко дну долины, на основании чего можно говорить о развитии подводных склоновых процессов.

5. 2. Сопоставление данных сейсмоакустического профилирования и геологического пробоотбора

Кроме данных сейсмоакустического профилирования, на данном участке, мы также имеем данные геологического пробоотбора в заливе Лехмалаhti (Рыбалко и др., 2007) и бурения в окрестностях острова Коневец, в рамках проекта PLOT (Andreev et. al,

2016, 2019), это даёт нам возможность подтвердить данные геофизических исследований о строении четвертичного покрова геологическими данными. При этом в месте отбора колонки 1309 проходили профили НСП, что позволяет сопоставить геологическую информацию с данными НСП. Ниже приведён снимок профиля с места отбора колонки и описание самой колонки (Andreev et. al, 2016; 2019).

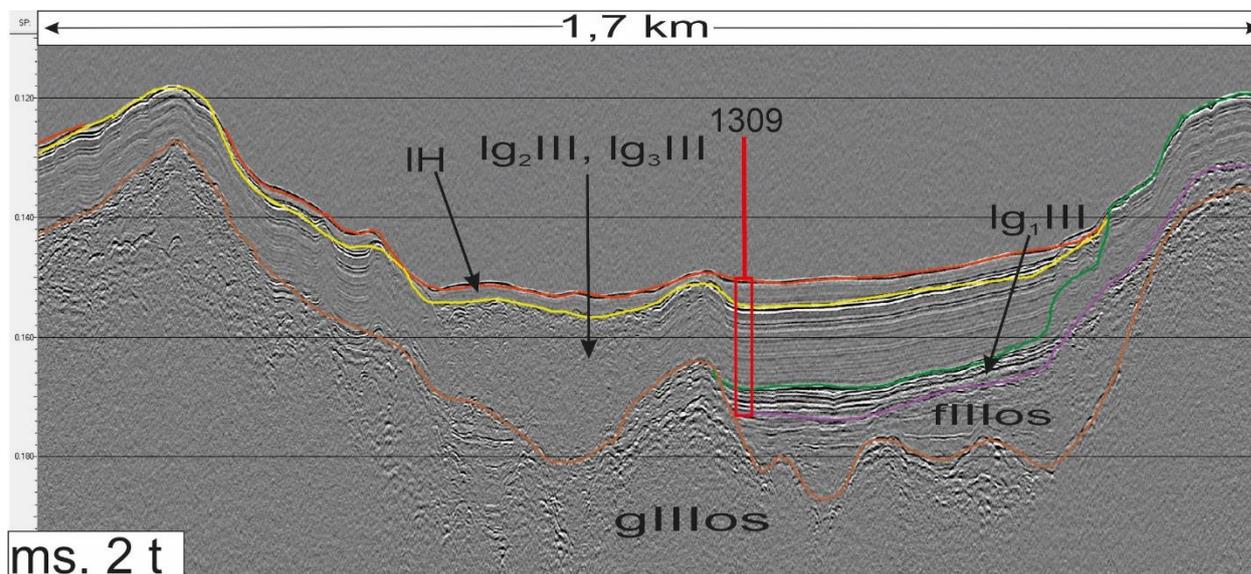


Рис. 25. Снимок сейсмоакустического профиля с места отбора интерпретационной колонки донных отложений. Условные обозначения: IИ – современные озёрные осадки, IgIII – толщи лимногляциальных отложений, соответствующих различным стадиям приледниковых озёр, fIIIos – флювиогляциальные отложения. Красной стрелкой показано место отбора колонки.

В основании разреза на данном участке залегают флювиогляциальные отложения, характеризующиеся различной ориентировкой рефлекторов и частичной акустической прозрачностью, в их кровле имеются 2 понижения, одно из которых выполнено осадками (Ig₁III), а второе осадками (Ig₂III).

Осадки (Ig₁III), залегающие на (fIIIos), на данном участке характеризуются четко выраженной горизонтальной слоистостью и частичной акустической прозрачностью. Они представлены перемытыми флювиогляциальными отложениями и заполняют одно из понижений в кровле (fIIIos). Имеют постепенный контакт с нижележащей пачкой.

Осадки (Ig₁III) перекрывает пачка (Ig₂III). Слоистость в ней скрытая, имеет характер залегания облекающий, контакт резкий. Отложения данной сеймопачки заполняют понижение в кровле (fIIIos).

Выше по разрезу залегает пачка (Ig₃III). Характеризуется ярко выраженной субгоризонтальной слоистостью, имеет постепенный контакт с нижележащей пачкой. примерно в середине участка структура записи нарушена.

Венчает цикл осадконакопления пачка современных озёрных отложений (И). Характеризуется облекающим характером залегания, неярко выраженной субгоризонтальной слоистостью, и резким контактом с нижележащими отложениями. Что примечательно, присутствует только в средней, наиболее углублённой части участка, вероятно вследствие подводного размыва и деятельности гравитационных процессов.

Данные НСП, как уже говорилось выше, подтверждены данными бурения и геологического пробоотбора. Ниже (Рис. 26) приведено схематичное изображение колонки 1309 и её описание.

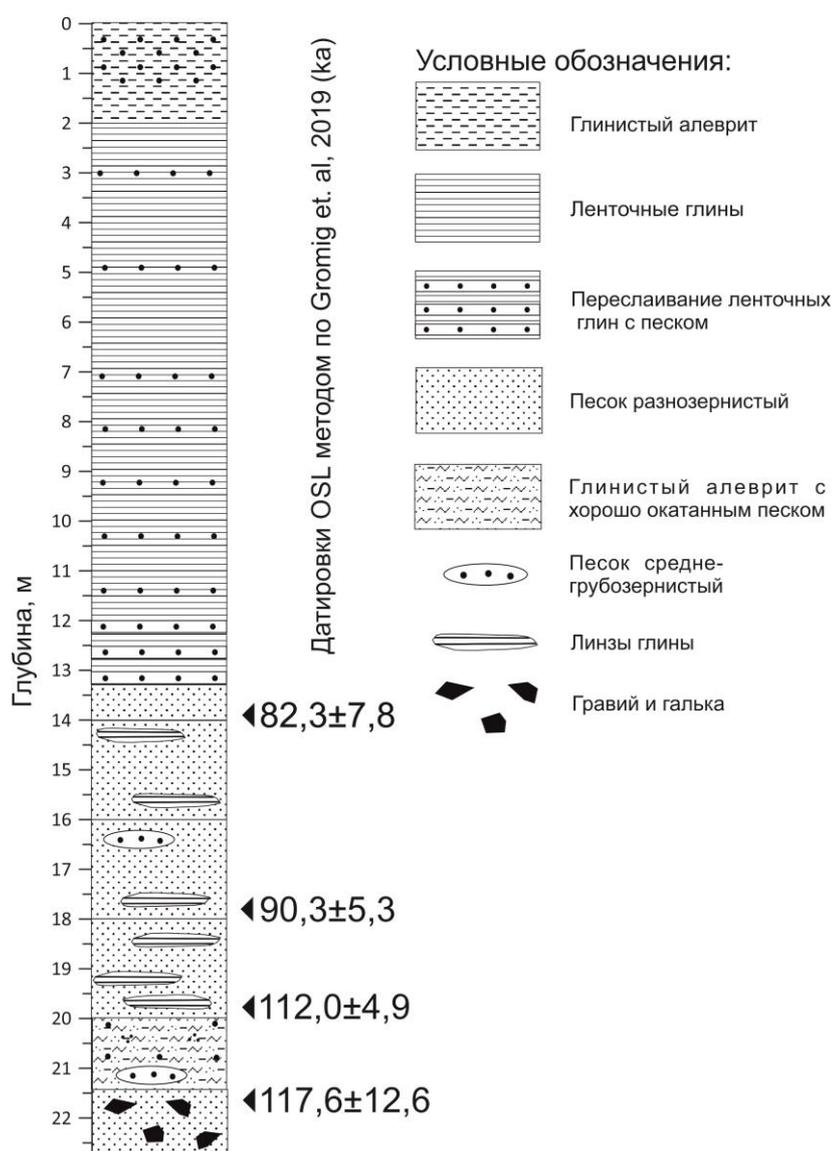


Рис. 26. Схематичное изображение колонки 1309 (Andreev et. al 2016; 2019) с датировками (Gromig et. al, 2019). Условные обозначения: 1. Глинистый алеврит; 2. Ленточные глины; 3. Переслаивание ленточных глин с песком; 4. Песок разномерный; 5. Глинистый алеврит с хорошо окатанным песком; 6. Песок средне-грубозерный; 7. Линзы глины; 8. Гравий и галька.

Ниже дано описание вскрытых колонкой типов отложений и их индексы.

Отличительная особенность данной колонки в том, что она вскрывает достаточно полный разрез верхнеплейстоцен-голоценовых отложений. В основании колонки вскрывается песчано-галечная смесь, относящаяся к флювиогляциальным отложениям (fШос). Однако на основании данных исследований проекта PLOT, эти отложения были интерпретированы как морские отложения Микулинского межледникового, в пользу чего, по мнению (Andreev et. al, 2019; Lebas et. al, 2020) свидетельствуют датировки, полученные методом OSL. Однако, вопрос о генезисе этих отложений остается дискуссионным, о чем свидетельствует, в частности, недавняя статья А. Лудиковой, в которой обсуждаются данные диатомового анализа предполагаемых морских отложений и неоднозначность этой трактовки (Ludikova et al., 2020). В рамках же данной работы, эти отложения отнесены к флювиогляциальным отложениям, поскольку формы погребённого рельефа, сложенные данными отложениями, по морфологии схожи с озами. При соотнесении результатов наших исследований с данными ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015), на побережье Ладожского озера в этом районе выделяются формы рельефа флювиогляциального генезиса и месторождения песка с крупнообломочным материалом, имеющего явный соответствующий генезис, что также даёт основания интерпретировать описываемые отложения как флювиогляциальные. Выше по разрезу залегают маломощные глинистые алевриты с прослоями песка, вероятно являющиеся переходным горизонтом от флювиогляциальных к озёрным отложениям. На интервале 20-21 м залегают глинистые алевриты с включениями хорошо окатанного песка, относящиеся к нижней пачке лимногляциальных отложений (lg₁Ш). На интервале 13,5-20 м залегают среднезернистые пески с включениями песка и линзами глины, относящиеся к пачке (lg₂Ш). Перекрывают их отложения, которые можно рассматривать как горизонт, переходный между различными пачками лимногляциальных отложений. Выше по разрезу залегают ритмично переслаивающиеся глины и алевриты, относящиеся к пачке (lg₃Ш). Верхняя часть вскрытых колонкой отложений (2 метра) сложена глинистыми алевритами низкой плотности, в верхней части которых появляются включения песка, отнесены к (lnH).

На основании анализа состава колонки 1309 (Gromig et. al, 2019) и сейсмоакустических профилей, часть дна озерной котловины к северу от острова Коневец представляет из себя озёрную аккумулятивную равнину на флювиогляциальном цоколе, осложнённую реликтовой подводной долиной, выраженной в современном рельефе. Поскольку эта долина выработана во флювиогляциальных отложениях и заполнена современными осадками, а также расширяется с юга на север, то мы можем

сделать предположение, что она является долиной стока талых ледниковых вод. Конфигурация долины и её местоположение даны на геоморфологической схеме (рис. 29).

Состав верхней части отложений дна котловины Ладожского озера можно охарактеризовать по результатам пробоотбора в заливе Лехмалахти, проводимого (Рыбалко и др., 2007; Субетто, 2009).

Из колонок, отобранных в заливе Лехмалахти, выбрана колонка № 903 (рис. 27), так как она находится ближе всего к открытой части озера и даёт наиболее полную информацию о строении вскрытых в том районе четвертичных отложениях. Ниже дано описание этой колонки сверху вниз.

0-0.09 м. Жидкий наилок. В верхней части наблюдается примесь песка, на интервале 0.02 м присутствует линзовидный прослой черного цвета, с 0.025 по 0.09 м присутствует зона вторичного ожелезнения, в которой полосы рыже-бурого цвета чередуются со слойками более светлого оттенка. В нижней части наблюдаются отчетливые диагенетические уплотнения. Относится к И.

0.09-0.81 м. Текуче пластичные алевропелиты. Цвет – буровато-серый, с интервала 0.25 появляется зеленоватый оттенок. Текстура нечётко выраженная полосчатая. Присутствуют чёрные и зелёные прослойки. До интервала 0.25 наблюдаются стяжения вивианита. Контакт с нижележащей пачкой постепенный, по исчезновению чёрных прослоев. Относится к И.

0.81-1.10 м. Глины слабоуплотнённые светло-серые. Текстура – слабо выраженная неоднородная. В верхней части присутствует незначительная примесь песка. В середине интервала наблюдаются скопления органического вещества неправильной формы. К низу интервала цвет сменяется на бурый. Нижний контакт неровный. Относится к И.

1.10-1.15 м. Более плотные серые глины. Тонкослоистая текстура, мощность ритма 1-2 мм слойки слабо изогнуты. Относится к $Ig_2Шос$.

1.15-1.82 м. Глины серые с буроватым оттенком. Текстура – горизонтальнослоистая. До 1.32 м микрослоистые, с примесью алеврита. На 1.32 появляется примесь песчаного материала. На 1.32-1.34 прослой белого тугопластичного алеврита. После интервала 1.34 слоистость нечёткая, слабовыраженная, двучленная. Нижний контакт чёткий, по изменению цвета. Возможно, является переходным горизонтом между $Ig_2Шос$ и $Ig_1Шос$.

1.82-3.30. глины коричнево-серые, плотные. Полосчатые за счёт чередования слойков серого и бурого цвета. До 2 м слоистость горизонтальная и слабовыраженная,

на интервале 2.00-2.28 слоистость становится чётко выраженной, субгоризонтальной и двучленной. Мощность ритма 1-1.5 мм. На интервале 2.280-2.76 м слоистость становится менее ярко выраженной и наблюдается преобладание серого цвета. На интервале 2.76-3.30 м слоистость становится отчётливо горизонтальной и мощность ритма доходит до 3 мм. Относится к $Ig_1Шос$.

3.30-3.60. Глины коричнево-серые, плотные. Чёткая горизонтально-слоистая текстура. Мощность ритма до 1 мм. Наблюдается небольшой изгиб слойков, вероятно, являющийся результатом деятельности ледникового края. Возможно, данная пачка является проксимальной пачкой приледниковых отложений. Относится к $Ig_1Шос$.

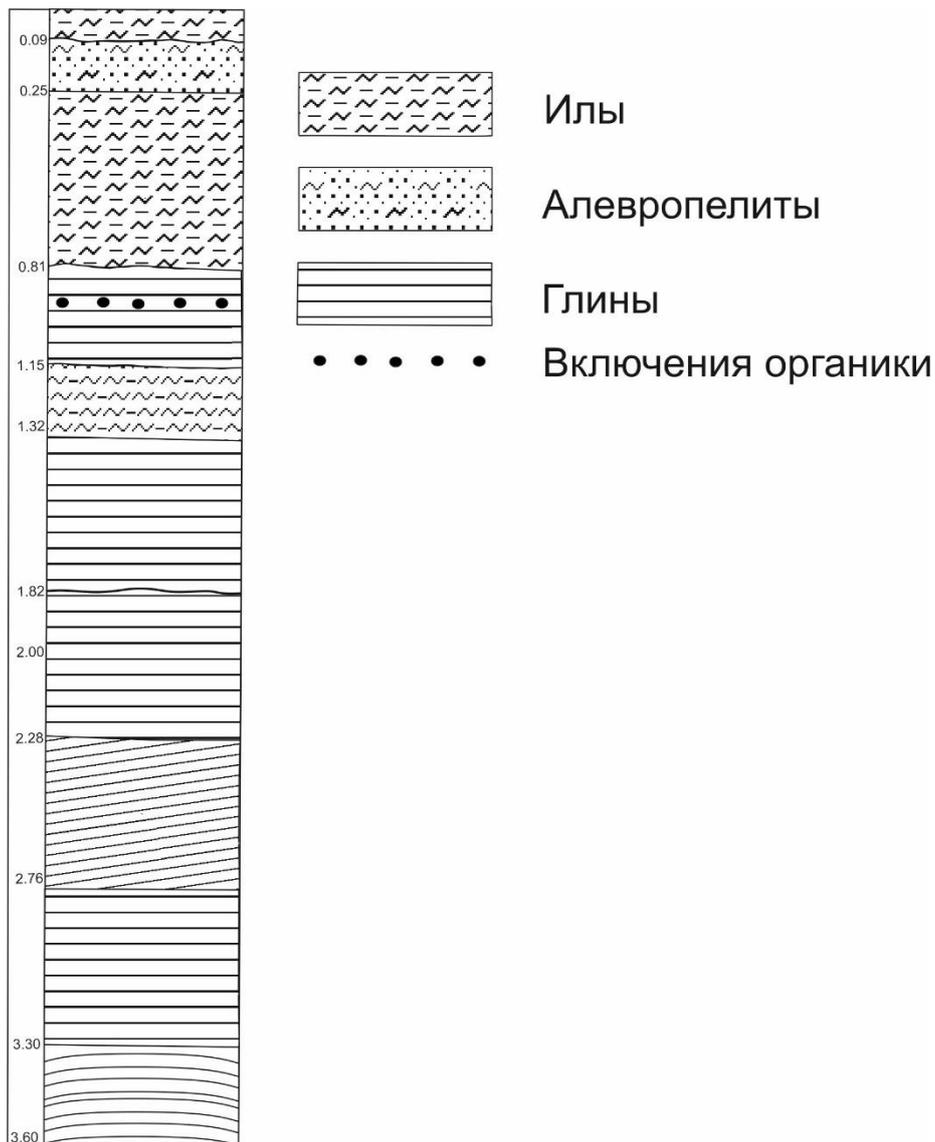


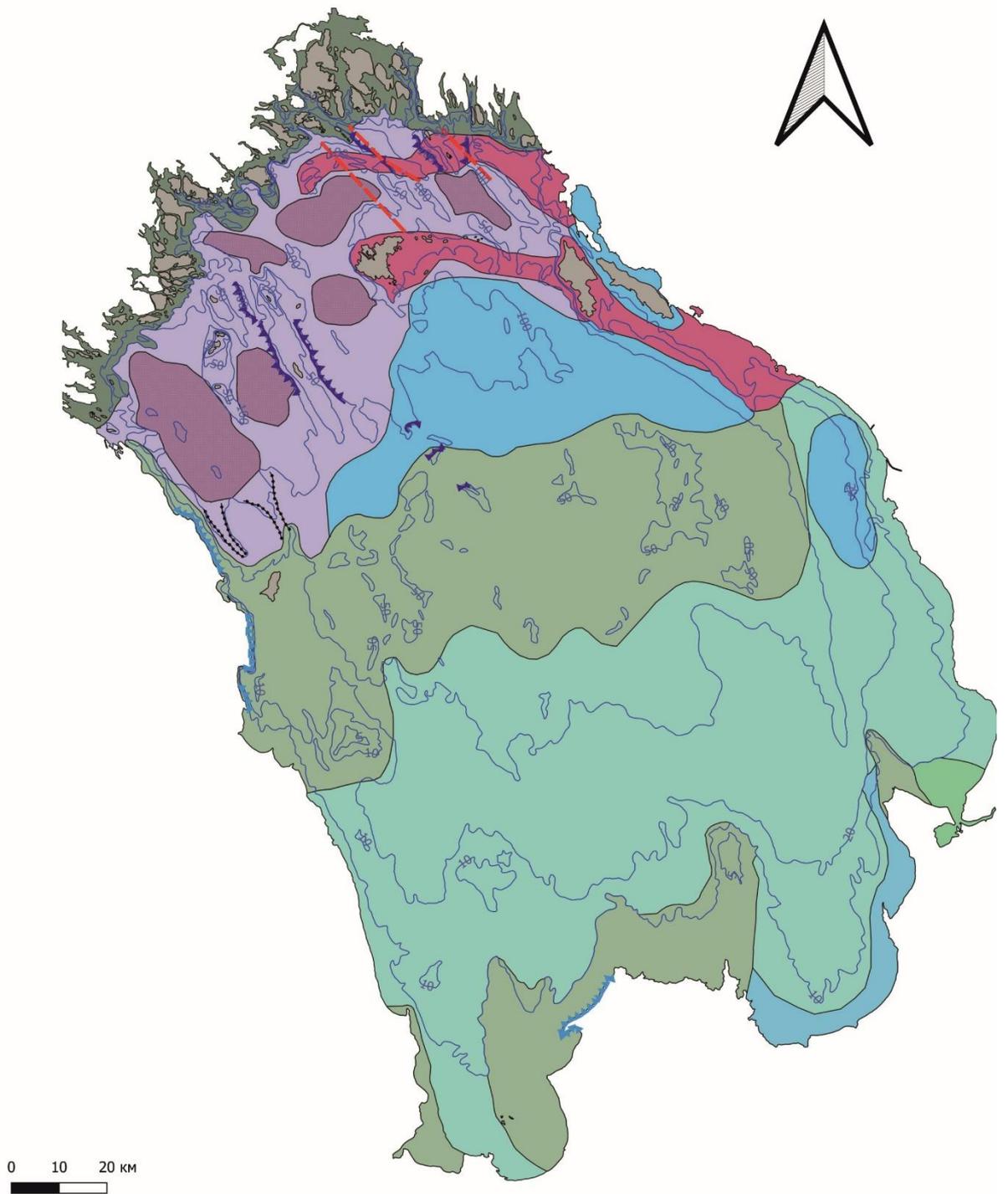
Рис. 27. Схематичное изображение колонки 903 из залива Лехмалахти. Глубина дана в метрах (Рыбалко и др., 2007; Субетто, 2009).

Данная колонка вскрывает озёрные отложения и отложения приледниковых водоёмов, а также соотносится с данными сейсмоакустического профилирования. В колонке не вскрыты отложения ($Ig_3Шос$), вероятно, из-за условий, препятствовавших

осадконакоплению во время соответствующей стадии приледникового водоёма. При этом, вскрытые отложения коррелируются с теми, что определены по данным сейсмоакустического профилирования. Также колонка помогает понять особенности строения и состав озёрных и озёрно-ледниковых верхнеплейстоцен-голоценовых отложений котловины Ладожского озера.

5.3. Геоморфологическая схема дна Ладожского озера

По результатам анализа профилей НСП с последующим выделением различных по генезису типов подводных поверхностей, а также благодаря анализу данных предшествующих исследователей (Максимов и др. 2015; Andreev et al., 2016), была построена карта геоморфологического строения дна котловины Ладожского озера (Приложение 1, рис. 28). Она была построена согласно методическим рекомендациям ВСЕГЕИ (Методическое руководство..., 2009). Вначале, рельеф подводной поверхности котловины был разделен на 3 генетические группы: структурно-денудационный рельеф, аккумулятивно-денудационный рельеф и аккумулятивный рельеф. Каждая генетическая группа включает в себя несколько типов подводных поверхностей. Также, помимо различных типов рельефа, были выделены некоторые заслуживающие внимания геоморфологические особенности, которые целесообразнее отобразить на схеме линейными знаками.



Условные обозначения:

- 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13

Рис. 28. Геоморфологическая схема Ладожского озера.

Условные обозначения: Рельеф структурно-денудационной группы:

1. Интенсивно расчлененные грядово-увалистые и фиардово-шхерные равнины на кристаллическом субстрате с проявлением современных геодинамических процессов; 2. Массивы и гряды, сформировавшиеся за счет препарирования пластовых интрузивных тел; 3. Структурно-предопределенные впадины в фиардово-шхерных равнинах с покровом озерных нефелоидов. *Рельеф аккумулятивно-денудационной группы:* 4. Грядово-волнистые равнины на отпрепарированных породах кристаллического субстрата, осложнённые аккумулятивными возвышенностями ледниковой природы; 5. Холмисто-увалистые равнины ледниковые и ледниково-озерные равнины на моренном субстрате (зоны краевых образований). *Рельеф аккумулятивной группы:* 6. Выровненные, местами всхолмленные, озерные нефелоидные равнины; 7. Озерно-аллювиальные плоские равнины; 8. Субгоризонтальные выположенные ледниково-озерные равнины; 9. Ундалювиальные, слабо наклоненные, равнины; *Прочие условные обозначения:* 10-Предполагаемые гравитационные склоны; 11-Абразионные берега; 12-Погребённые долины, выделенные по данным НСП; 13-Рельефообразующие разломы, выделенные по данным НСП

Структурно-денудационная группа включает в себя следующие типы подводных поверхностей:

- *Интенсивно расчлененные грядово-увалистые и фиардово-шхерные равнины на кристаллическом субстрате с проявлением современных геодинамических процессов.* Занимают большую часть севера озёрной котловины в зоне прохождения 100-метровой изобаты. Как ясно из названия, характеризуются высокой степенью расчленения рельефа. Данная область изобилует грядами и увалами с ориентировкой СЗ-ЮВ, предположительно ледникового и водно-ледникового генезиса, морфология которых при этом в большой степени связана с рельефом поверхности коренного субстрата. Перепады глубин в данной области достаточно значительны: от 10 до 200 м. Рельеф, является типичным для фиардово-шхерной области. В понижениях между грядами находятся бассейны с мощными скоплениями озёрных осадков нефелоидного типа, что прослеживается на сейсмоакустической записи (уч. № 4, рис. 18). В некоторых понижениях, исходя из отсутствия современных озёрных отложений, можно судить об интенсивной деятельности подводных течений. В области распространения данного типа также наиболее сильно проявляются склоновые процессы, выделяемые на сейсмоакустической записи.

- *Структурно-предопределенные впадины в фиардово-шхерных равнинах с покровом озерных нефелоидов.* Данный тип поверхности распространен в понижениях и межгрядовых пространствах описанной выше области, преимущественно в фиардах. Поверхности данного типа слабо расчленены, отвечают типичной нефелоидной обстановке осадконакопления. Облик зависит, в основном, от поверхности дочетвертичного субстрата. На основании данных НСП выделяются мощные покровы современных озёрных и озёрно-ледниковых отложений.

- *Массивы и гряды, сформировавшиеся за счет препарировки пластовых интрузивных тел* – тип поверхности, развитый у восточного берега и простирающийся в западном направлении. Имеет чёткую связь с поверхностью погребённого Валаамского силла, являясь по сути, отпрепарированной его частью. Данная поверхность включает в себя гряды и останцы, образовавшиеся в результате препарировки и частичного разрушения Валаамского силла в позднем неоплейстоцене-голоцене. Ареал распространения данного типа поверхности маркируется цепью островов в северо-восточной части озера. Рельеф достаточно сильно расчленён.

Рельеф аккумулятивно-денудационной группы включает в себя два типа поверхности:

- *Грядово-волнистые равнины на отпрепарированных породах кристаллического субстрата, осложнённые аккумулятивными возвышенностями ледниковой природы.* Занимают самую северную шхерную часть озера. Характеризуются высокой степенью расчленения рельефа. На большей части данной области глубина не превышает 50 м. В данной зоне также имеется обилие островов.

- *Холмисто увалистые равнины ледниковые и ледниково-озерные равнины на моренном субстрате (зоны краевых образований).* Занимают центральную часть озера, примерно в зоне прохождения 50-метровой изобаты. Также имеется в южной части озера, по берегам бухты Петрокрепость и у истока реки Невы. Характеризуется средней расчленённостью рельефа. Присутствует большое количество гряд вероятно, ледникового и водно-ледникового генезиса высотой до 20 метров. По данной области проходит граница Вепсовской стадии Валдайского Оледенения (Максимов и др., 2015).

Преобладающая на дне котловины озера группа рельефа – аккумулятивная. Включает в себя четыре типа поверхности:

- *Субгоризонтальные выположенные ледниково-озерные равнины.* Занимают значительную часть юга озёрной котловины. Рельеф выработан, характеризуется низкой степенью расчленения. В центральной части глубина около 50 м., к берегам – уменьшается до 10 м. Малая мощность современных озёрных отложений

в области распространения этого типа рельефа говорит о возможном господстве транзитно-денудационной обстановки в настоящее время.

- *Выровненные, местами всхолмленные, озерные нефелоидные равнины.* Развита в северной части, в зоне преобладания глубин более 100 м; в окрестностях острова Лункулансаари в северо-восточной части озера и у восточного побережья выделяется данный тип недалеко от места впадения рек Тулокса и Видлица, занимая глубины от 10 до 40 м. Характеризуется высокой мощностью современных озёрных отложений нефелоидного типа и низкой степенью расчленения рельефа. Встречающиеся неровности же очевидно, обусловлены геоморфологическими особенностями подстилающих моренных и флювиогляциальных отложений.

- *Ундалювиальные, слабо наклоненные, равнины.* Развита в прибрежной части озера. Распространение, возможное для отображения в масштабе представляемой схемы имеют только в пределах Волховской губы, не доходя до 10-метровой изобаты. Образованы волноприбойной деятельностью, косвенным признаком для их выделения может являться наличие береговых валов. Рельеф характеризуется низкой степенью расчленения и наклоном к глубоководной части озера.

- *Озерно-аллювиальные плоские равнины.* Развита в устьях крупнейших рек. В частности – в устье Свири. Рельеф фактически не расчленён, сама равнина сложена речными наносами. Глубина менее 10 метров.

Среди геоморфологических особенностей, не имеющих площадное выражение на представленной схеме, выделены:

- *Подводные гравитационные склоны.* Выделены по данным НСП, имеют преимущественное распространение в северной части озера, в пределах грядово-увалистых фиардово-шхерных равнин. Подробнее о данных формах рельефа написано в предыдущих разделах.

- *Абразионные уступы.* Расположены на западном и северном побережье озера, достаточно резко выражены в рельефе, выделены исходя из анализа ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015).

- *Подводные палеодолины.* Выделены по данным НСП к северу от острова Коневец. Расширяются с юга на север. Отличительная особенность долин в том, что они выполнены в поверхности флювиогляциальных отложений. Подробнее об этих долинах дана информация в предыдущих разделах.

Благодаря описанию состава четвертичных отложений, слагающих дно котловины Ладожского озера, их характеристике и взаиморасположения, также групп

форм рельефа, а также особенностей строения лимногляциальных отложений на дне Ладожского озера, данная глава отвечает 1 и 3 защищаемым положениям.

6. Строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений и рельеф дна Онежского озера

Как и на акватории Ладожского озера, в Онежском озере проводились геофизические работы, предшествующие геологическому пробоотбору. Ниже (рис. 29) приведён сейсмоакустический разрез отложений, слагающих дно Онежского озера.

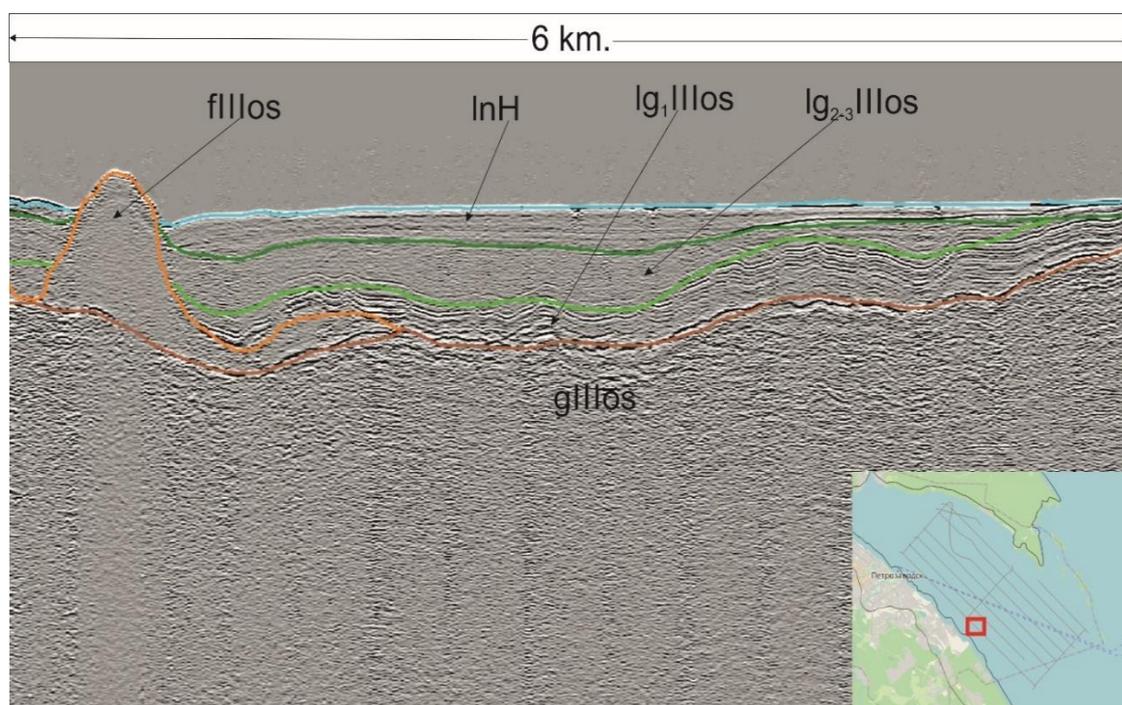


Рис. 29. Фрагмент сейсмоакустического профиля, отражающий строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений котловины Онежского озера. В правом нижнем углу дано расположение участка. Описание сейсмоакустического разреза дано в тексте.

В основании разреза залегает морена осташковского горизонта (gIIIos). Она выделяется на сейсмоакустической записи по хаотичному расположению рефлекторов. Частично перекрывается, а в ряде случаев фациально замещается флювиогляциальными отложениями (fIIIos), которые характеризуются частично скрытой слоистостью и выделяются по геоморфологическим признакам, а также по характеру записи. Отличаются акустической прозрачностью. Выше по разрезу залегают отложения нижней пачки ледниково-озерных глин (lgIIIos). Характеризуются ярко выраженной субгоризонтальной слоистостью. Перекрываются отложениями, которые соответствуют

второй и третьей пачке лимногляциальных отложений, выделяются по данным пробоотбора (см. ниже). Так как эти образования по данным сейсмоакустического профилирования разделить невозможно, то на данном фрагменте они обозначены как (lgIII_{2-30s}), характеризуются скрытой слоистостью. Верхняя часть сейсмореза представлена типичными озёрными отложениями (InH). Они характеризуются неярко выраженной субгоризонтальной слоистостью и соответствуют нефелоидным обстановкам осадконакопления.

В геоморфологическом отношении, дно Онежского озера представляет собой чередование аккумулятивных равнин ледниково-озерного и озёрного генезиса на моренном цоколе, которые местами осложнены поднятиями ледникового и водно-ледникового генезиса, слагающих грядовый рельеф. Рядом с грядами зачастую находятся структурно-предопределённые понижения, заполненные осадками, соответствующими различным стадиям приледниковых озёр, а также современными озёрными отложениями.

6.1. Строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений дна Онежского озера по результатам геологического пробоотбора

По данным геологического пробоотбора, в основании разреза рыхлых осадков, слагающих дно котловины Онежского озера, залегает, как уже отмечалось, морена осташковского возраста (gIIIos). Она представлена валунными суглинками, супесями, песками с галькой и валунами кристаллических пород (Максимов и др., 2015). В рамках полевых работ эти отложения были впервые вскрыты в Петрозаводской губе по результатам бурения со льда (колонка SP-001, рис. 30) (Беляев и др., 2020).

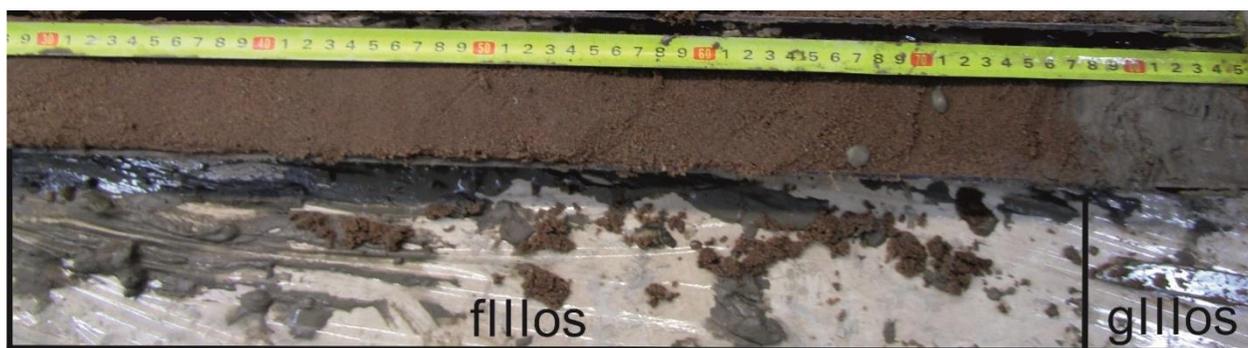


Рис. 30. Морена и флювиогляциальные отложения. Колонка SP-0001. Интервал 4,85-5,44 м.

Морены были вскрыты на глубине 4,85-5,44 м от поверхности дна и сложены глинами серо-коричневыми, тугопластичными с прослоями супесей. Ближе к середине интервала присутствует зона ожелезнения, отчего осадок приобретает коричневато – буровые тона. Имеются включения красноватого песка с примесью мелкой гальки. К

забою плотность глин возрастает, наблюдается преобладание песчаной фракции и появляется галька гранитоидных пород. На дне котловины озера моренные отложения слагают грядообразные формы рельефа в южной и северной части озера. Они выходят на поверхность дна в прибрежных частях Повенецкого и Кондопожского заливов, а также Петрозаводской губы. Кроме того, они установлены в центральной части Повенецкого залива и в Заонежском заливе, в пересекающей его гряде, на которой расположен о. Хед (Заонежский залив). Морфология ледниковых гряд почти всегда имеет чёткую связь с поверхностью дочетвертичного субстрата, а именно со структурно-предопределёнными поднятиями (Максимов и др., 2015).

Моренные отложения местами перекрыты, либо фациально замещены флювиогляциальными отложениями осташковского оледенения (fШos), которые формировались как в ледниковой области в заключительные этапы осташковского времени, так и в перигляциальной зоне. Данный тип отложений вскрыт на станциях OZ-4 и SP-002 (рис. 31). В их состав входят глинистые пески коричневатого цвета, галька, песчано-глинисто-алевритовые миктиты, дресва. Появление глинистой фракции в верхней части, вероятно, указывает на переыв флювиогляциальных отложений и их перенос в приледниковые озерные бассейны. На дне озера данные отложения формируют грядообразные формы (предположительно, озы) и выходят на поверхность в прибрежной части на юге озера в заливах Большое Онего, Заонежский и Повенецкий. Зачастую, особенности строения кровли моренных и флювиогляциальных отложений указывают на преобладание условий подводного размыва, либо на деятельность подводных склоновых процессов.



Рис. 31. Нижняя пачка лимногляциальных отложений, флювиогляциальные отложения. Колонка SP-002. Интервал 8,7-9,0 м.

Выше по разрезу залегают лимногляциальные отложения (lgШos). Они выделены по результатам геологического пробоотбора и бурения в Петрозаводской губе, центральной части Онежского озера, заливах Большое Онего, Заонежском и Повенецком. В составе единой толщи можно выделить три обособленных пачки,

последовательно сменяющих друг друга в разрезе и отвечающих различным стадиям существования приледникового водоёма. Лимногляциальные отложения нижней пачки ($Ig_1Шос$) вскрыты в Петрозаводской губе бурением в 2019 году и на одной из станций при колонковом пробоотборе в 2018 году. Представлены циклично переслаивающимися глинами коричневого цвета, серыми песками и песчано-глинисто-алевритовыми миктитами тугопластичной консистенции. В верхней части данной пачки преобладает глинистая фракция, с глубиной повышается преобладание песчаной. Выделяются отдельные прослой песка тонкозернистого мощностью до 6 см (рис. 32) Также к этим отложениям можно отнести и переходный тип между лимногляциальными и флювиогляциальными либо моренными отложениями, в котором наблюдается чередование песков и глин.



Рис. 32. Отложения $Ig_1Шос$. Прослой песка тонкозернистого. Колонка SP-002.

Вторая пачка лимногляциальных отложений $Ig_2Шос$ (рис. 33) представлена ленточными глинами серо-коричневыми и буровато-серыми, а также песчаными алевритами серого и тёмно-серого цвета. Глины ритмично переслаивающиеся, мощность ритма от 1 до 12 мм. Консистенция мягкопластичная, к нижней части интервала доходит до до тугопластичной. Местами слои имеют следы дислокации (смятия), что заметно на томограммах (рис. 34). Присутствует примесь песка и аутигенных минералов. Обычно контакты с вышележащими и нижележащими осадками согласные, постепенные, но иногда в верхней части этого горизонта фиксируется тонкий прослой песков, свидетельствующий о размыве.



Рис. 33. Lg₂Шос. Колонка SP-002.

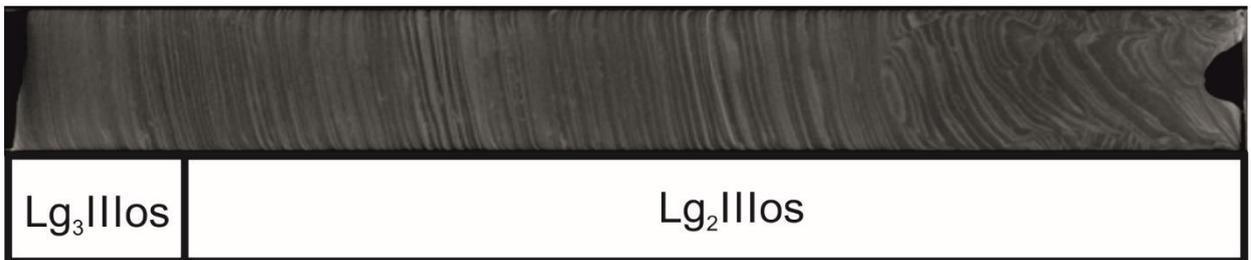


Рис. 34. Колонка ONG-9. Толщи lg₃Шос и lg₂Шос. Фрагмент томограммы керна.

В отложениях (lg₁Шос) и (lg₂Шос) обнаружен «розовый» горизонт, являющийся, как считается, индикатором резкой смены уровня приледникового водоёма (Демидов, 2004).

Отложения верхней пачки лимногляциальных глин (lg₃Шос) представлены микрослоистыми глинами серого, светло-бурого, коричнево-серого цвета иногда с кремоватым либо зеленоватым оттенком, которые переходят в однородные светло-серые текуче-пластичные глины. Присутствуют прослои аутигенных родохрозита и вивианита (Страховенко и др., 2018), линзы песка, розоватых глин. В Петрозаводской губе в нижней части лимногляциальных отложений присутствуют прослои песчанистых алевроитов. Контакт с нижележащими ленточными глинами обычно постепенный, а с перекрывающим горизонтом озерных отложений чёткий, без размыва, либо же с границей размыва и угловым несогласием, что показано на фото колонки SP-002 (рис. 35), и томограммах колонки SP-0001 (рис. 36).

Лимногляциальные отложения слагают подводные аккумулятивные равнины, в некоторых случаях покрывают гряды ледникового и флювиогляциального генезиса.



Рис. 35. Контакт между LnH и lg3IIos. Колонка SP-002.



Рис. 36. Фрагмент томограммы колонки SP-0001. Контакт между LnH и lg3IIos.

Верхняя часть отложений котловины Онежского озера сложена современными озёрными отложениями, как правило отвечающими нефелоидным обстановкам осадконакопления (LnH). Отложения вскрыты фактически повсеместно бурением и геологическим пробоотбором. В их состав входят мягкопластичные, текуче-пластичные и текучие глинистые алевриты и алевропелиты серого и зеленовато-серого цвета (нижняя часть, рис. 37). В верхней части кернов они повсеместно представлены текучими гитиями и жидким глинистым наилком тёмно-бурого цвета (рис. 38). Отмечаются незакономерные включения песка и органического материала различной степени разложения. Как и в лимногляциальных отложениях, включают в себя прослой аутигенных минералов (рис. 37).



Рис. 37. Озёрные отложения LnH. Нижняя часть. заметны чёрные прослой аутигенных минералов. Колонка SP-002.

В отложениях Петрозаводской губы, Повенецкого, Заонежского и залива Большое Онего в верхней части присутствует железистая корка. Данные осадки отвечают нефелоидным обстановкам седиментации. При этом, наличие жидкого глинистого наилка (рис. 38) в верхней части является индикатором преобладания условий

нефелоидной седиментации и отсутствия каких-либо гидродинамических, либо гравитационных процессов в настоящее время. Местами присутствуют следы размыва, либо углового несогласия по отношению к нижележащим отложениям.



Рис. 38. LnH, верхняя часть. Колонка SP-002.

Обобщая данные геологического пробоотбора, можно провести сравнение характеристик отложений в различных частях озёрной котловины. Распространённые по большей части дна котловины голоценовые озёрные отложения (LnH) представлены текуче-пластичными алевритами серого и серо-зелёного цвета. Зачастую, верхняя часть данных отложений представлена бурым жидким глинистым наилком. В отложениях заливов второго порядка наилок имеет следы ожелезнения, а также железистую корку в придонной части разреза. Отсутствие жидкого глинистого наилка в верхней части озёрных отложений, как правило, является следствием подводных гидродинамических процессов, в результате чего, эта часть разреза голоценовых отложений частично уничтожена. Изменение же мощности серых глинистых алевритов может являться свидетельством более интенсивной озёрной седиментации в конкретной части озера, в случае увеличения мощности, либо же следствием деятельности подводных склоновых процессов, в случае уменьшения мощности.

Отложения IgIII, соответствующие различным стадиям приледниковых озёр, представлены ритмичными серыми, серо-бурыми и коричневыми ленточными глинами. Контакт с вышележащей пачкой имеют резкий, в некоторых колонках наблюдается угловое несогласие, но при этом, граница размыва не всегда прослеживается. Имеют включения аутигенных минералов и песка, обнаруженные в ходе пробоотбора в отложениях Петрозаводской губы и открытой части озера. Флювиогляциальные отложения (fШос) были вскрыты в центральной части озера и в Петрозаводской губе. Они представлены глинистыми песками в обоих случаях, но в Петрозаводской губе в составе флювиогляциальных отложений присутствуют включения дресвы, в то время, как в тех же отложениях из открытой части озера присутствует грубоокатанная галька. Данный факт указывает на различие в обстановках осадконакопления открытой части озера и в районе Петрозаводской губы при формировании флювиогляциальных отложений. А именно – на более интенсивную обработку водой обломочного материала в открытой части озера.

Отложения (gШos) представлены валунными суглинками, глинами и песками. Также в Петрозаводской губе были вскрыты отложения, по-видимому являющиеся переходными между лимногляциальными и моренными, которые были представлены переслаиванием ленточных глин и валунных суглинков. Согласно данным (Демидов, 2005), данные отложения можно отнести к краевым моренным образованиям, а их верхнюю возрастную границу провести на 11 600 л.н., так как северная часть Заонежского полуострова была свободна ото льда уже в это время (Демидов, 2005).

6. 1. 2. Обоснование возрастной привязки отложений котловины Онежского озера

Возрастная характеристика отложений Онежского озера дана по результатам спорово-пыльцевого анализа и радиоуглеродного датирования, проводимых по колонке отложений ONG-5, описанным (Kiskina et. al, 2018; Savelieva et. al, 2018), было получено обоснование для стратиграфической привязки. Колонка ONG-5, для которой автором было проведено подробное описание (Subetto et. al., 2020; Беляев и др., 2021) вскрывает отложения, по литологическим признакам соответствующие условиям приледникового и озёрного водоёма для изучаемого района. Ниже дано описание колонки и её схематичное изображение (Рис. 39).

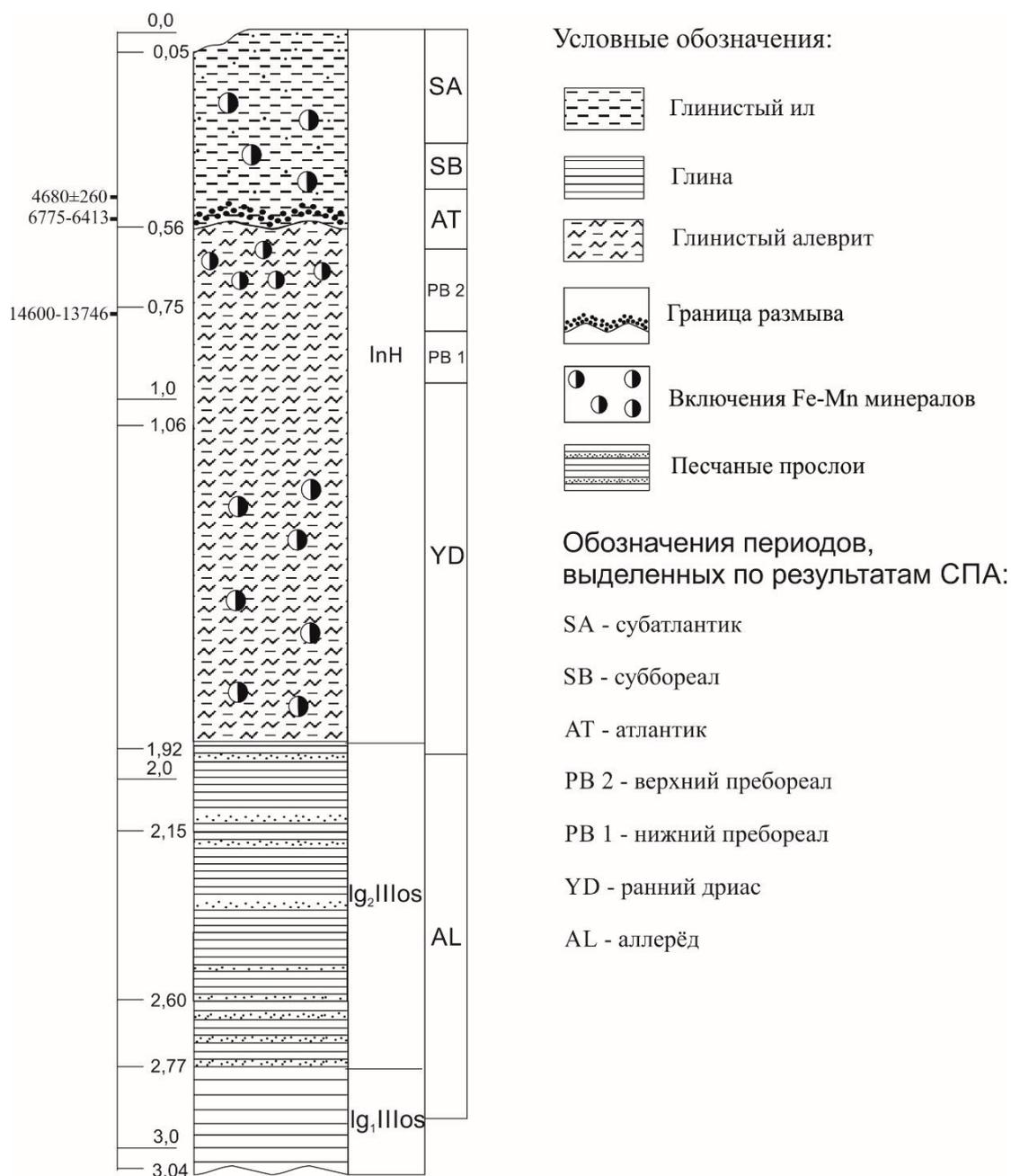


Рис. 39. Схематичное изображение колонки ONG-5 с выделенными по результатам СПА периодами (Kiskina et. al, 2018; Savelieva et. al, 2018). Ниже дано описание колонки.

0 – 0,56 м. Глинистый ил текучий зеленовато-серого цвета. Верхняя часть содержит следы ожелезнения. Имеются включения аутигенных минералов и примесь песка. Нижний контакт чёткий, с размывом, выделяется по скоплениям алевроитового песка. Относятся к озёрным нефелоидам InH.

0,56 – 1,92 м. Глинистый алевроит текуче-пластичный серый, по большей части гомогенный. Присутствуют включения гидроокислов марганца гнездообразной и

линзовидной формы в верхней и нижней части. В нижней части интервала проявляется диагенетическая полосчатость. Относятся к озёрным нефелоидам lnH.

1,92 – 2,77 м. Микрослоистая глина текуче-мягкопластичная, серая, слоистость горизонтальная, мощность ритмов 1-2 мм, к нижней части возрастает. На глубине 2,60 м появляется бежеватый оттенок. Относится к лимногляциальным отложениям lg₂Шос.

2,77 – 3,05 м. Ленточные глины слоистые мягкопластичные, переслаивание светлых и тёмно-серых слойков. Мощность слойков больше, чем в предыдущем интервале, появляются алевритовые прослойки. Относятся к лимногляциальным отложениям lg₁Шос.

По результатам спорово-пыльцевого анализа отложений, представленных ленточными глинами, было выявлено высокое содержание пыльцы тундровой растительности с преобладанием ерниковых сообществ, типичных для аллерёдского потепления, что говорит об установлении озёрно-ледниковых условий осадконакопления на изучаемой территории в аллерёде и позволяет отнести отложения к (lg₂Шос) и (lg₁Шос), соответствующим позднеледниковому этапу развития Онежского озера.

Нижняя часть гомогенных глинистых алевритов серого цвета характеризуется увеличением содержания пыльцы трав. Наблюдается высокое содержание тундровой и лесотундровой растительности с участием перигляциальной флоры и преобладанием ксерофитных сообществ. Наблюдаемые изменения в литологическом и палинологическом составе отложений указывают на потепление и, как следствие, смену условий осадконакопления с приледниковых на озёрные.

Средняя часть глинистых алевритов характеризуется сменой содержания пыльцы с тундровой растительности на лесотундровую, однако так же доминируют кустарниковые и кустарничковые формы берёз. Кроме того, на изменения климатических параметров, указывает содержание гидроокислов марганца, что так же может быть свидетельством потепления. По результатам СПА, данные отложения были отнесены к пребореальному периоду, а в совокупности с литологическими данными они могут быть отнесены к отложениям (lnH) (Savelieva et. al, 2018). По результатам радиоуглеродных датировок, возраст отложений был определён как 14600-13746 лет (Kiskina et. al, 2018).

Пыльца растений, характерных для бореального периода в отложениях не была найдена, вероятно, по причине перерыва в осадконакоплении, на который может указывать граница размыва на глубине 0,56 м (рис. 39).

Верхняя же часть отложений содержит пыльцу атлантического, суббореального и субатлантического периода. Это пыльца сосновых, еловых и берёзовых пород. Также была выявлена пыльца ржи и других антропохоров. Образцы для радиоуглеродных датировок, отобранных в данной части разреза имеют возраст 6775-6413 и 4680±260 лет. Отложения так же относятся к (InH) (Savelieva et. al, 2018; Kiskina et. al, 2018).

На основании анализа результатов (Savelieva et. al, 2018; Kiskina et. al, 2018; Gromig et. al, 2019; Andreev et. al, 2019; Lebas et. al, 2020) и совмещения их с данными, положенными в основу этой работы, была построена представленная ниже таблица (таблица 1), в которой представлены основные этапы постледникового развития котловин Онежского и Ладожского озёр.

Событие	Время для Ладожского озера, л.н. (Gromig et. al, 2019; Andreev et. al, 2019; Lebas et. al, 2020)	Время для Онежского озера, л.н. (Kiskina et. al, 2018; Savelieva et. al, 2018)
Установление условий приледникового водоёма	13910 ± 140 yr. cal.bp	14100-13900
Установление озёрных условий	11380± 140 yr. cal.bp	14600-13746
Установление условий, близким к современным	2550± 170 yr. cal.bp	4680 ± 260

Таблица 1. Основные этапы развития котловин Ладожского и Онежского озёр.

Анализ геофизических данных и материалов колонкового пробоотбора, включая бурение в Петрозаводской губе, позволил построить сводный разрез четвертичных отложений, выполняющих котловину дна Онежского озера (рис. 40). Залегающие в основании разреза отложения (gШos) и (lg₁Шos) были вскрыты бурением в Петрозаводской губе, их состав описан выше. Перекрывающие морену флювиогляциальные отложения (fШos) были вскрыты также в открытой части озера, на станции OZ-4. Отличие данных отложений в открытой части озера и Петрозаводской губе в том, что в флювиогляциальных отложениях, вскрытых в открытой части выше содержание глинистой фракции. Ниже дано описание отложений, отражённых в сводном разрезе, вскрытых в различных частях озера.

Отложения (lg₂Шos) в Петрозаводской губе вскрыты бурением 2-х скважин глубиной 10 и 11 м (SP-001 и SP-0002) а также геологическим пробоотбором в точках ONG-1 и ONG-5. Представлены переслаиванием коричнево-серых и серых глин с

прослоями алевритов и включениями песка, ленточными глинами серого и серо-коричневого цвета с мощностью ритма от 1-2 мм до 10-12 мм. Важной особенностью этой части разреза является так называемый розовый горизонт. Обнаружен на глубине 0,8-1,23 м от поверхности дна. В нижней части данных отложений слойки изогнуты, что возможно является следствием пластичных деформаций, вызванных деятельностью склоновых процессов. Верхняя часть по консистенции мягкопластичная, нижняя – ближе к тугопластичной. В данном месте, на отложениях ($Ig_2Шos$) залегают отложения ($Ig_3Шos$), контакт постепенный. В открытой части озера отложения вскрыты колонками 10-18-ONG, OZ-1 и OZ-7. Розовый горизонт выделен на глубине 1,5-1,9 м от поверхности дна.

Отложения ($Ig_3Шos$) являются верхней частью цикла ледниково-озерного осадконакопления и представлены серыми мягкопластичными глинами с прослоями песчаных алевритов. В открытой части озера данные отложения сложены ленточными глинами серого, буровато-серого цвета, иногда с кремовым оттенком. Встречаются прослойки розоватых алевритов и зеленоватые линзовидные включения, предположительно, вивианита (Страховенко и др., 2018). Мощность ритма от 2 до 15 мм. В нижней части мощность ритма больше, чем в верхней, увеличение её постепенно. Присутствуют прослойки песка и алеврита мощностью до 4 мм. Консистенция мягкопластичная. Нижняя и верхняя граница зачастую с размывом, что подтверждается в нижней части наличием песчаного прослоя, а в верхней – углового несогласия. В Заонежском и Повенецком заливах данные отложения вскрыты колонками O3-19-1, O3-19-3, O3-19-6. Сложены ленточными глинами серого цвета, иногда с зеленоватым оттенком. Мощность ритма – до 10 мм. Верхняя часть отложений – микрослоистая, мощность ритма повышается к нижней части. В верхней части лимногляциальных отложений Заонежского залива замечены следы ожелезнения. Контакт отложений в Заонежском заливе постепенный, в Повенецком же заливе контакт резкий, с размывом, что подчеркнуто угловым несогласием и песчаным прослоем. Отложения ($IпН$) вскрыты колонками повсеместно. Мощность озёрных отложений сильно изменчива. Состав отложений и его различие для различных частей озера также описаны выше.

6. 1. 3. Сводный разрез отложений котловины Онежского озера

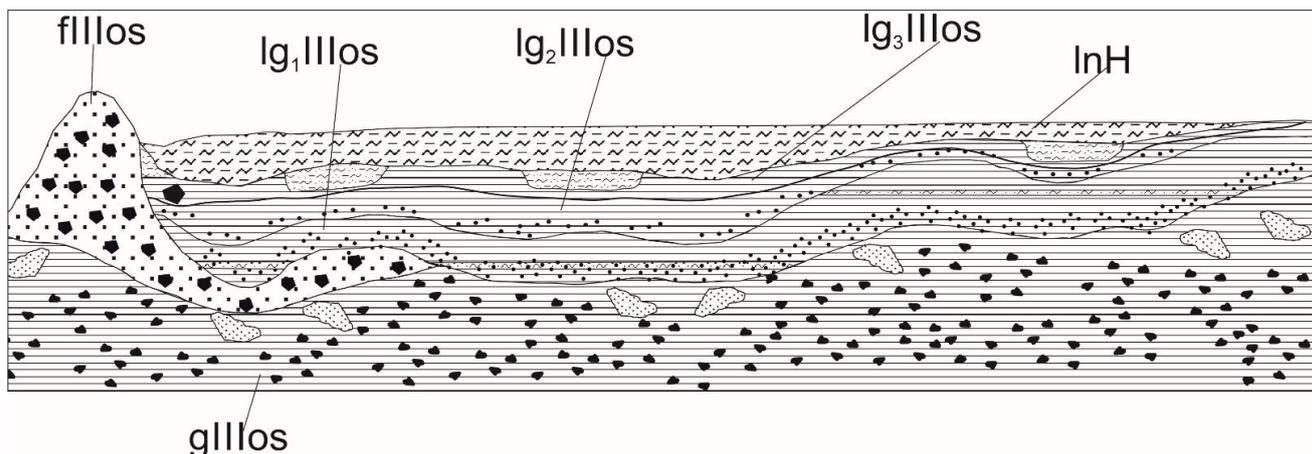


Рис. 40. Сводный разрез отложений Онежского озера.

На основании данных корреляции колонок, и сопоставления их со сводным разрезом, были построены продольный и поперечный (относительно расположения озёрной котловины) разрезы четвертичных отложений. Построенные разрезы (представлены в соответствующем разрезе), а также, данные предыдущих исследователей (Курочкина, 1976; Макарьев, 2002; Максимов и др., 2015) послужили основой для построения схемы четвертичных отложений дна котловины Онежского озера (Приложение 1).

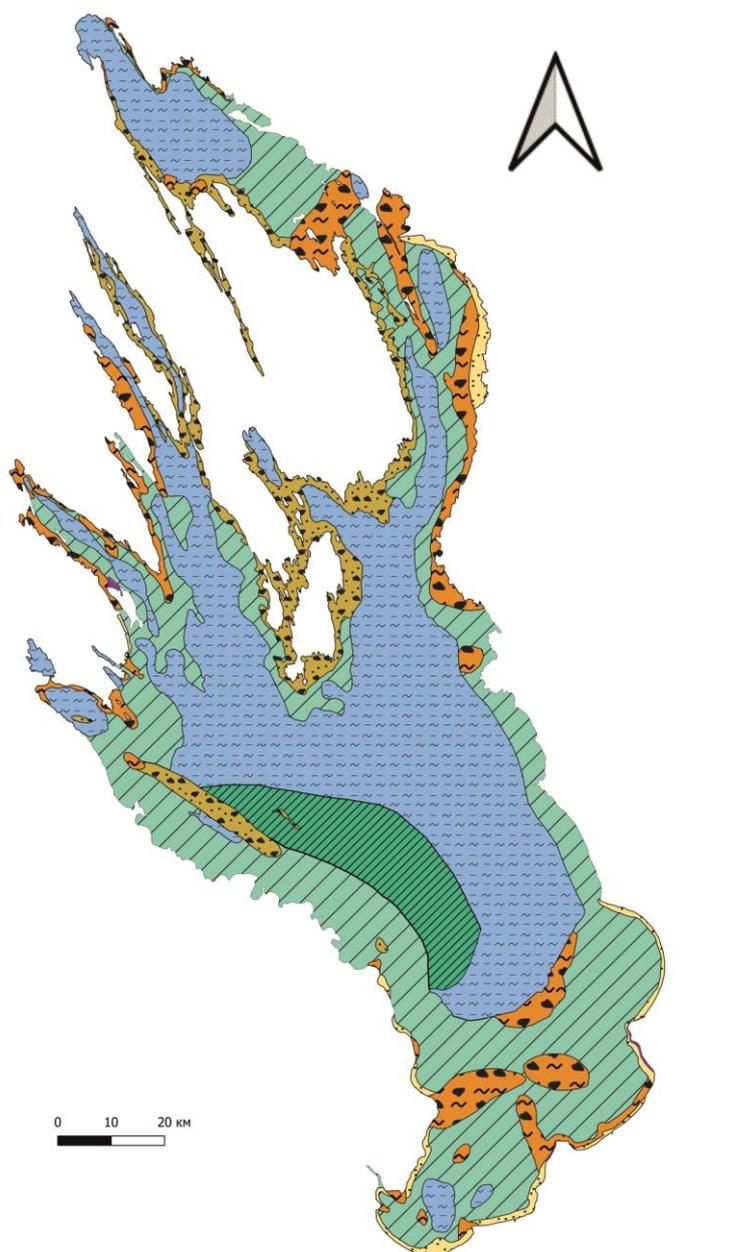
Продольный разрез протягивается от Петрозаводской губы до южной части озера. Разрез разбит на 3 части: разрез отложений Петрозаводской губы, разрез от станции пробоотбора SP-001 до OZ-5, разрез от станции пробоотбора OZ-4 до 08-18-ONG. На дне Онежского озера представлены отложения, формирующие единый гляциоседиментационный цикл. В основании разреза залегают отложения осташковской стадии валдайского оледенения (glllos), представленные валунными суглинками. Мощность в ходе полевых исследований не была установлена, однако по данным ГК-1000/3, (Максимов и др., 2015), мощность данных отложений доходит до 88 м в значительной степени, строение кровли морены определяет морфоскульптуру котловины Онежского озера. Особенности же геоморфологического строения форм, слагаемых ледниковыми отложениями, во многом предопределены структурными особенностями строения поверхности дочетвертичных пород. Выше по разрезу залегают флювиогляциальные отложения. Отложения представлены крупнозернистыми песками с включениями гальки. Верхняя часть отложений содержит глинистые частицы. В некоторых местах данные отложения отсутствуют, в силу описанных в предыдущих абзацах причин. В рельефе флювиогляциальные отложения прослеживаются в виде озовых гряд. Они выделяются на сейсмограммах (рис. 29) и выделяются в виде положительных форм на картах рельефа озерного дна (Онежское озеро..., 2010).

Мощность флювиогляциальных отложений 5-10 м, в озях доходит до 25 м. Выше по разрезу наблюдаются три пачки лимногляциальных образований (IgIIIos), отвечающих различным стадиям приледниковых озёр. Отложения представлены ленточными глинами с различным характером слоистости и включениями песчанистых линз и аутигенных минералов. В нижней и верхней частях присутствует песчанистый материал. Именно в этих отложениях обнаружен розовый горизонт, который как считается, является следствием смены уровня вод в приледниковом бассейне (Демидов, 2004). Мощность отложений сильно различается в зависимости от рельефа. Так, в понижениях мощность лимногляциальных отложений достигает 15 м, в то время, как на склонах и вершинах положительных форм рельефа, мощность данных отложений уменьшается. Верхняя часть разреза сложена озёрными отложениями (InH). Отложения представлены илами и глинистыми алевропелитами. Верхняя часть озёрных отложений представлена жидким глинистым наилком с включениями органического вещества, иногда присутствует железистая корка. Остальная же часть представлена гомогенными глинистыми алевропелитами с прослойками алевролита. Зачастую, в данных отложениях присутствуют стяжения гидроокислов марганца (Страховенко и др., 2018). Максимальная мощность отложений в пределах дна котловины – 8 м. Средняя мощность составляет 1-3 м.

Поперечный разрез отложений котловины Онежского озера проходит от западного до восточного берега. Состав отложений, показанных на данном разрезе не отличается от тех, что показаны на продольном разрезе. В западной части разреза находится гряда, протягивающаяся на дне котловины в направлении север-юг. Вероятно, гряда является озом, в пользу чего свидетельствуют данные пробоотбора и морфология гряды. В трёх километрах восточнее начала разреза находится впадина, глубина которой доходит до 100 метров. Эта впадина, скорее всего, является частью структурно-предопределённой долины, которая, протягивается с севера на юг озера. По данным геологического пробоотбора, долина выполнена лимногляциальными и современными озёрными отложениями. С востока долина ограничена возвышенностью, сложенной лимногляциальными отложениями. За возвышенностью находится долина, ориентированная, как и предыдущая, однако характеризующаяся меньшими глубинами. Дно долины также покрыто озёрными и лимногляциальными отложениями. К востоку, при приближении к берегу, глубина уменьшается, однако в отличие от западной части разреза, мощность современных озёрных отложений в этой части выше. Возможно, это следствие менее интенсивного подводного размыва и склоновых процессов.

6. 2. Карта четвертичных отложений котловины Онежского озера

Имеющиеся данные, позволившие провести корреляцию верхнелепесточен-голоценовых отложений котловины Онежского озера послужили основой для составления карты четвертичных отложений котловины Онежского озера (Приложение 2). В тексте (рис. 41) приведена схема четвертичных отложений Онежского озера. Для ее составления были использованы все ранее описанные особенности разрезов четвертичных отложений, а также подробная батиметрия, предоставленная сотрудниками ИВПС Кар НЦ РАН.



Условные обозначения:



Рис. 41. Схема четвертичных отложений котловины Онежского озера.

Большую часть дна котловины Онежского озера покрывают **озёрные голоценовые отложения (InH)**. Представлены отложения гомогенизированными илами и алевропелитами от тёмно-зеленого до серого цвета. Как правило, этот тип отложений соответствует преобладающему нефелоидному типу седиментации. Развит в центральной части озера в зоне прохождения 50-метровой изобаты, а также в закрытых частях заливов.

Ундалювиальные озёрные отложения (IvIII-H). Слагают прибрежную часть дна озёрной котловины с глубиной не более 15 м. Они развиты на южном, юго-восточном и северо-восточном побережье. Представлены хорошо окатанным мелким и средним песком иногда с галькой. Нередко слагают озёрные террасы. У северного берега озера в окрестностях полуострова Заонежье распространены до 10-метровой изобаты.

Лимногляциальные отложения (IglIII), соответствующие различным стадиям приледниковых озёр. Представлены ритмичными ленточными глинами серого и серо-коричневого цвета с прослоями песка. Присутствуют включения аутигенных минералов. Данные отложения выходят на поверхность вследствие подводного размыва, либо из-за различных геоморфологических особенностей дна, препятствующих накоплению озёрных нефелоидных отложений. Описываемые осадки вскрываются в прибрежных частях котловины с глубинами менее 50 м.

Морены осташковского возраста (gIIIos), залегающие в основании разреза неоплейстоценовых отложений представлены валунными суглинками серого и серо-коричневого цвета. Выходят на поверхность в прибрежной части Кондопожского и Повенецкого заливов, пересекают узкую часть Заонежского залива, где он переходит в Повенецкий., обнажаются на восточном берегу Заонежского залива и в районе мыса Петропавловский. Также эти отложения слагают различные грядовые формы рельефа, развитые в пределах глубин до 30 м. Вероятно, по аналогии с формами ледникового генезиса в Ладожском озере, морфология ледниковых форм в пределах котловины Онежского озера зависит от структуры поверхности дочетвертичных образований.

Дочетвертичные образования выходят на поверхность только в районе мыса Андомский и северной оконечности о. Суйсари (северо-западная часть озера). Выход коренных пород в данных местах очевидно, обусловлен резким перепадом глубин и гидродинамическим условиям, препятствующим накоплению отложений. Формы рельефа, сложенные каждым типом отложений описаны в следующем разделе.

6.3. Геоморфологическая характеристика котловины Онежского озера

На основании построенной карты четвертичных отложений, а также на основании анализа GRID-модели рельефа, была построена геоморфологическая карта дна котловины Онежского озера. Легенда геоморфологической карты, в значительной степени позаимствована с одноименной карты, входящей в комплект ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015). В рамках карты было выделено 6 типов подводных поверхностей, руководствуясь методическими рекомендациями ВСЕГЕИ (Методическое руководство..., 2009). Карта дана в качестве приложения к данной работе (Приложение 3). Ниже приведена геоморфологическая схема (рис. 42).

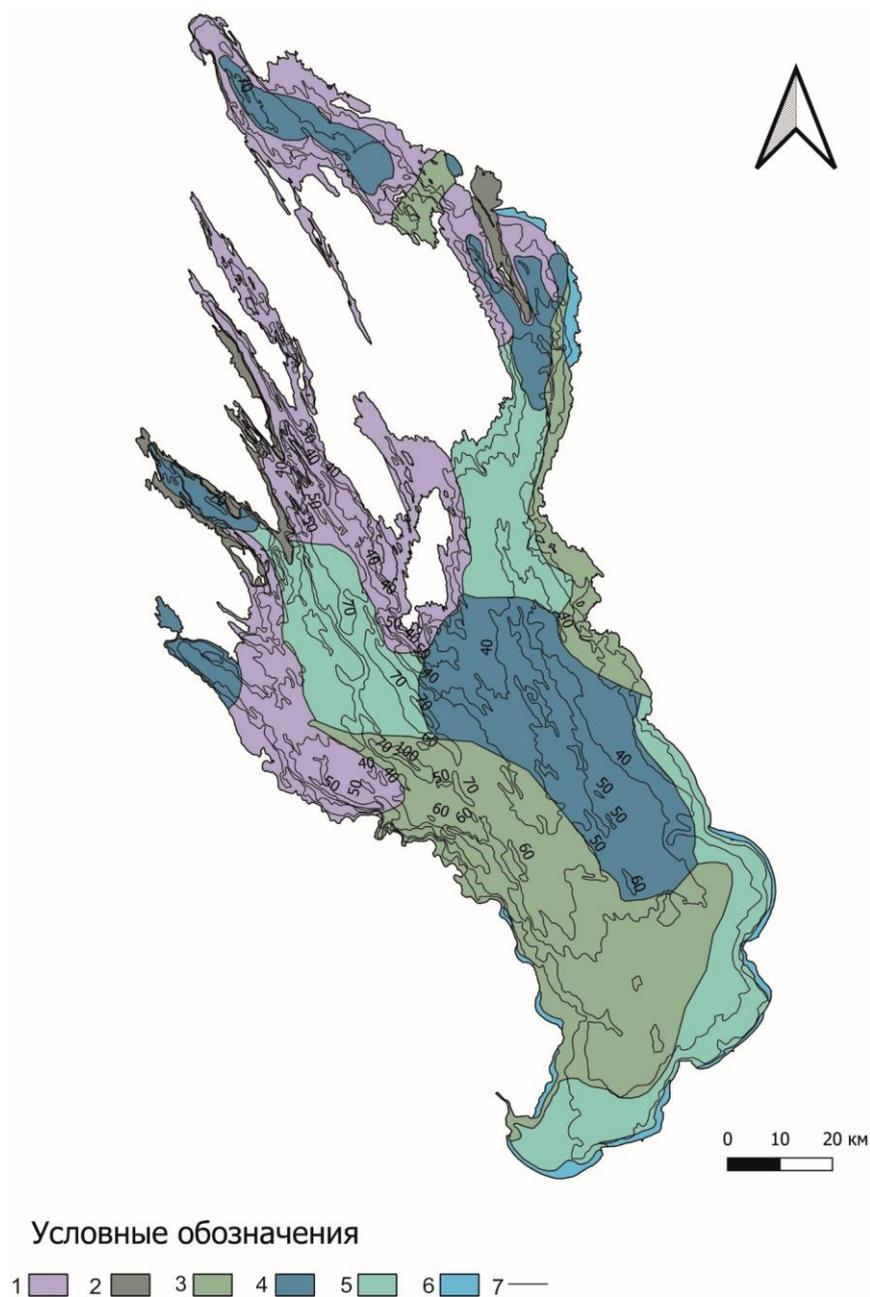


Рис. 42. Геоморфологическая карта-схема Онежского озера. Описание типов подводных поверхностей дано в тексте.

Условные обозначения: *Рельеф структурно-денудационной группы*: 1. Интенсивно расчлененные грядово-увалистые и фиардово-шхерные равнины на кристаллическом субстрате с проявлением современных геодинамических процессов; *Рельеф аккумулятивно-денудационной группы*: 2. Грядово-волнистые равнины на отпрепарированных породах кристаллического субстрата, осложнённые аккумулятивными возвышенностями ледниковой природы; 3. Холмисто-увалистые равнины ледниковые и ледниково-озерные равнины на моренном субстрате (зоны краевых образований). *Рельеф аккумулятивной группы*: 4. Выровненные, местами всхолмленные, озерные нефелоидные равнины; 5. Субгоризонтальные выположенные ледниково-озерные равнины; 6. Ундалювиальные, слабо наклоненные равнины; 7. Изобаты, м

Рельеф структурно-денудационной группы:

Интенсивно расчлененные грядово-увалистые и фиардово-шхерные равнины на кристаллическом субстрате с проявлением современных геодинамических процессов. Развиты в северной части озера, имеют достаточно высокую степень расчленения рельефа, характеризуются значительными перепадами глубин, в пределах развития данного типа подводной поверхности в большом количестве находятся гряды с ориентировкой СЗ-ЮВ. Также данный тип осложнён структурно-предопределёнными седиментационными бассейнами, которые, в пределах котловины Онежского озера, в отличие от котловины Ладожского озера, слишком малы для выражения в масштабе геоморфологической карты.

Рельеф аккумулятивно-денудационной группы:

Грядово-волнистые равнины на отпрепарированных породах кристаллического субстрата, осложнённые аккумулятивными возвышенностями ледниковой природы. Наблюдаются в северной части котловины. Развиты у берега, выделяются по наличию структурно-предопределённых возвышенностей и положительных форм, образованных ледниковой аккумуляцией.

Холмисто-увалистые равнины ледниковые и ледниково-озерные равнины на моренном субстрате (зоны краевых образований). Имеются в северной, северо-восточной прибрежной и южной части озера. Характеризуется средней расчленённостью рельефа. Присутствуют гряды и увалы вероятно, ледникового и водно-ледникового генезиса высотой до 20 метров. В пределах развития данного типа выделяется граница вепсовской стадии валдайского оледенения (Максимов и др., 2015).

Рельеф аккумулятивной группы:

Выровненные, местами всхолмленные, озерные нефелоидные равнины. Занимают среднюю, наиболее глубокую часть озера, а также кутовые части заливов. Характеризуются наименьшей степенью расчленения рельефа среди выделенных типов поверхности и максимальной мощностью озёрных отложений.

Субгоризонтальные выположенные ледниково-озерные равнины. Занимают центральную и южную части озера. Глубины – от 10 до 70 метров. Рельеф слабо расчленён, превышения незначительны. По своей сути, являются аккумулятивными полями, образованными аккумуляцией, характерных для приледниковых водоёмов. В прибрежной части наблюдаются террасированные поверхности.

Ундалювиальные, слабо наклоненные равнины. Образованы волноприбойной деятельностью. Выделены в прибрежной зоне залива Южное Онего и на востоке Заонежского залива. Глубины не более 10 метров, наблюдается уклон в сторону глубоководной части озера.

Благодаря описанию состава четвертичных отложений, слагающих дно котловины Ладожского озера, их характеристике и взаиморасположения, а также форм рельефа, сложенных ими, данная глава отвечает 1 и 2 защищаемым положениям. Также глава отвечает 3 положению, так как в ней описаны особенности строения пачек лимногляциальных отложений на дне Онежского озера.

7. Сравнение геоморфологических характеристик и строения четвертичного покрова котловин Ладожского и Онежского озёр

Рельеф котловин Ладожского и Онежского озёр очень схож в общих чертах в виду общности геологического положения и характера формирования. Это сказывается в первую очередь в большей расчленённости рельефа в северной части и меньшей в южной. Однако рельеф котловины Ладожского озера гораздо менее изометричен, чем рельеф Онежского. По результатам анализа геологических и геоморфологических данных об особенностях котловины Ладожского озера было выделено 9 типов поверхности, в то время, как для котловины Онежского озера было выделено всего 5 типов поверхности. Северная часть котловин обоих озёр занята интенсивно расчленёнными грядовыми и грядово-увалистыми равнинами, развитыми на кристаллических и интенсивно метаморфизованных породах кристаллического фундамента архей-протерозойского возраста. Данный тип поверхности в обоих случаях

характеризуется резкими перепадами высот, за счёт которых изобилует грядами, чередующимися с аккумулятивными бассейнами. Гряды и аккумулятивные бассейны зачастую являются структурно предопределёнными, о чём говорилось в предыдущих главах. В пределах котловины Онежского озера к данному типу поверхности с юга примыкают аккумулятивные нефелоидные голоценовые и лимногляциальные верхнеплейстоценовые равнины, в то время, как в пределах Ладожской котловины, данный тип поверхности переходит в грядово-увалистые структурно-денудационные подводные поверхности, развитые на верхнепротерозойских породах. Данный тип поверхности охватывает большую часть севера котловины Ладожского озера, в то время, как в котловине Онежского озера схожий тип поверхности занимает лишь область у западного и у восточного берега. Центральная часть дна Онежского озера занята аккумулятивной волнистой озёрной равниной. Схожий по характеристикам тип поверхности на дне Ладожского озера выделяется лишь в северной части, в зоне преобладания глубин более 100 м., в окрестностях острова Лункулансаари на северо-востоке, а также у восточного берега, в районе впадения рек Тулокса и Видлица. Центральная часть котловины Ладожского озера занята холмисто-увалистой равниной, в пределах которой расположены краевые образования, которые, как считается (Максимов и др., 2015) относятся к вепсовской стадии валдайского оледенения. В пределах же котловины Онежского озера, край вепсовской стадии валдайского оледенения проводится в северной части, в пределах залива Большое и Малое Онего, а также в заливе Повенецкий (Максимов и др., 2015, Демидов, 2005). Начиная от центра озёрной котловины, вдоль берега, примыкая к нему на востоке и отчленённая зоной холмисто-увалистого рельефа, описанной выше, с юга на север Онежского озера протягивается область плосковолнистых ледниково-озёрных равнин и террас. В пределах котловины Ладожского озера, данный тип поверхности занимает почти всю площадь от центра до юга, отчленённый лишь у южного побережья зонами краевых ледниковых образований, а также зонами ундалювиальной и озёрно-аллювиальной аккумуляции. В случае обеих котловин, данный тип поверхности характеризуется почти полным отсутствием современных озёрных осадков, вероятно, по причине воздействия современных гидродинамических процессов. Юг котловины Онежского озера отличается от того же района в пределах котловины Ладожского озера наличием пологоволнистой описанной ранее зоны нефелоидной аккумуляции, а также всхолмленной аккумулятивно-денудационной ледниковой равниной. Последний тип характеризуется сравнительно небольшими глубинами и наличием поднятий ледникового генезиса. По данным ГК-1000/3 (Максимов и др., 2015), данный тип рельефа

выделен также в северо-восточной части Ладожского озера, упомянутыми авторами отнесена к нему и возвышенность, входящая на геоморфологической схеме, являющейся приложением к данной работе, в зону холмисто-увалистых, ледниковых и ледниково-озерных равнины на моренном субстрате, а также краевых ледниковых образований.

Продольный разрез четвертичных отложений Ладожского озера (рис. 43) построен преимущественно по результатам интерпретации данных сейсмоакустического профилирования, проведенного в 2014-2015 гг. Северная часть является более глубокой, чем южная, преобладающий рельеф здесь – структурно-денудационный. Здесь мощность современных озёрных отложений (InH) значительно выше, чем в южной. Понижения между подводными возвышенностями зачастую заняты седиментационными бассейнами. По данным сейсмоакустики, все возвышенности сложены ледниковыми или флювиогляциальными образованиями. В центральной части степень расчленённости рельефа уменьшается, появляются возвышенности, сложенные, предположительно, флювиогляциальными отложениями. Однако группа исследователей, работающих по российско-германскому проекту PLOT полагают, что данные отложения относятся не к флювиогляциальным отложениям осташковского возраста, а к микулинским отложениям, на основании OSL датирования (Gromig et. al., 2019). В средней части озера мощность отложений (InH) становится меньше, местами на поверхность выходят лимногляциальные отложения (lgIIIos). В южной же части ближе к берегу, отложения (InH) практически пропадают, что вероятно является следствием гидродинамических условий, препятствующих отложению илов, рельеф выположенный, а на поверхность выходят отложения (lgIIIos). В плане макрорельефа, для котловины Ладожского озера характерна определённая асимметрия в продольном сечении, выраженная в достаточно резкой смене глубин в северной части и плавной в южной.

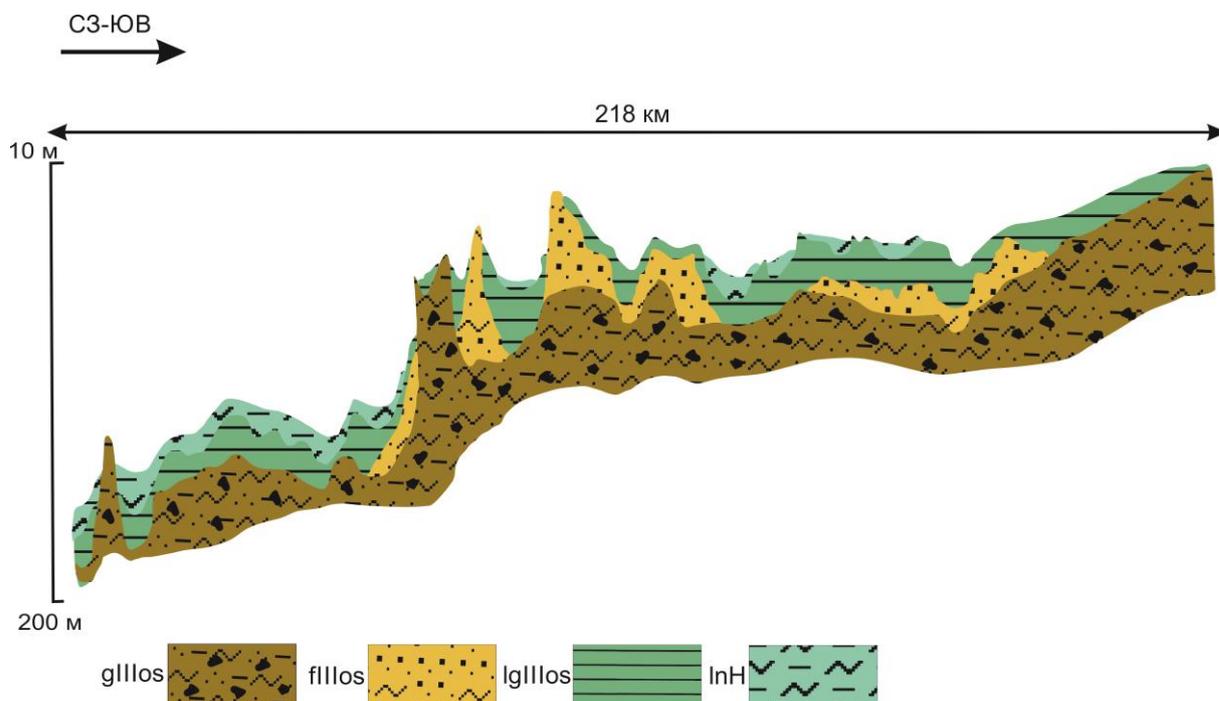


Рис. 43. Продольный разрез четвертичных отложений Ладожского озера, построенный по результатам полевых работ. Расположение разрезов дано на рис. 45.

Продольный разрез четвертичных отложений, слагающих дно котловины Онежского озера (рис. 44), построен по результатам совмещения материалов полевых работ с данными о строении рельефа, полученными по результатам анализа GRID-модели дна котловины Онежского озера. Разрез проходит из Петрозаводской губы до залива Южное Онего, так как это позволяет более подробно показать изменчивость строения верхнелепестово-голоценового чехла и подводного рельефа. Возможность для этого имеется в виду хорошей изученности четвертичного чехла по данному профилю в ходе полевых работ, а также в виду имеющихся литературных данных (Макарьев, 2002). Петрозаводская губа по большей своей части покрыта чехлом современных озёрных отложений (lnH). Лишь ближе к выходу их мощность уменьшается, вплоть до выхода на поверхность отложений (lgIIIos). Также в средней части губы наблюдается гряда, вероятно, флювиогляциального генезиса, что подтверждается данными геофизических исследований 2016 года и данными бурения 2019 года (Беляев и др., 2021). В средней части на поверхность выходят моренные отложения (gIIIos) флювиогляциальные отложения (fIIIos) и лимногляциальные отложения (lgIIIos), спорадически перекрытые современными озёрными отложениями (lnH). В южной части, почти вся поверхность котловины, в пределах залива Южное Онего, заполнена отложениями (lnH). Выходы моренных отложений находятся лишь вблизи к выходу из залива. Продольный разрез котловины Онежского озера гораздо более симметричен в плане макрорельефа, чем продольный разрез котловины

Ладожского озера, но общая тенденция к изменению глубины в уменьшении ее к югу достаточно схожа, за тем лишь различием, что наиболее углублённой в Онежском озере является центральная часть.

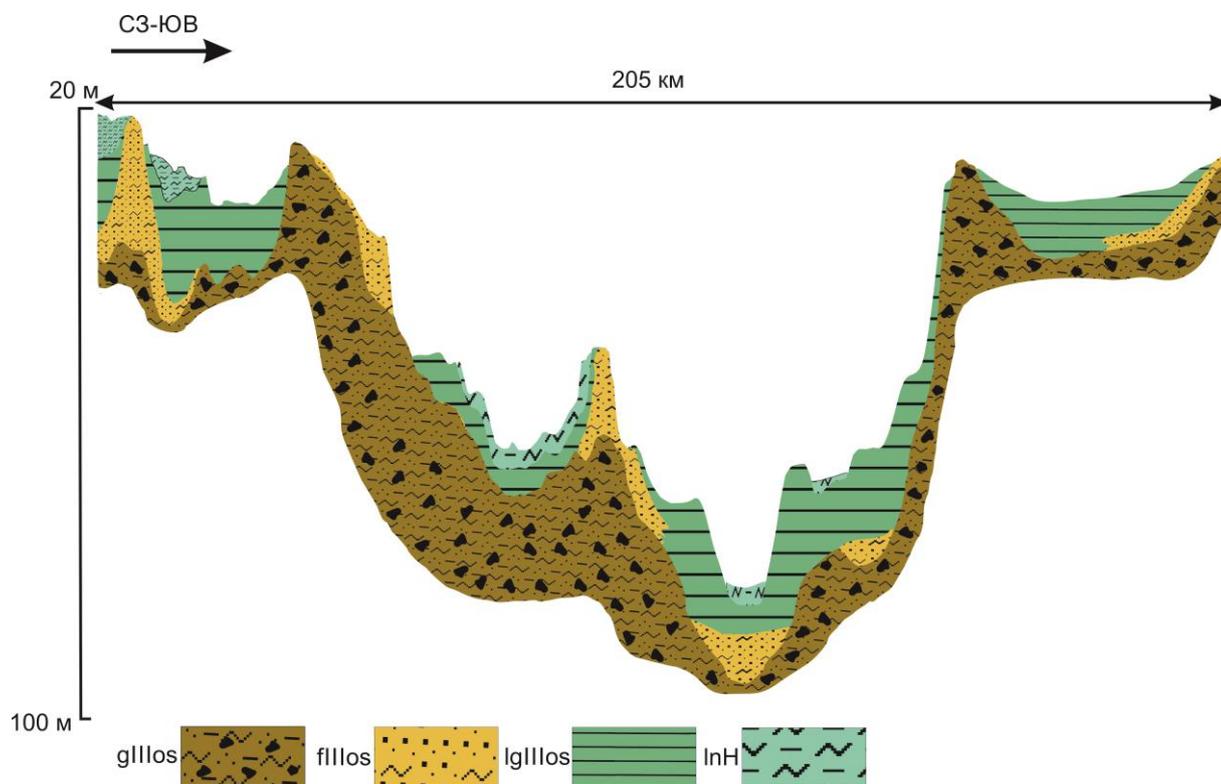
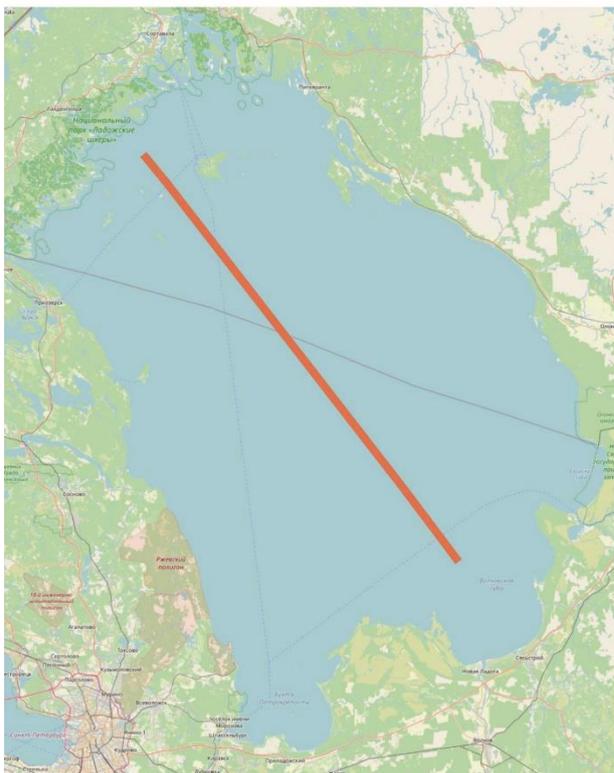


Рис. 44. Продольный разрез четвертичных отложений Онежского озера, построенный по результатам полевых работ. Расположение разрезов на акваториях озёр показано на рис. 45.

Ладожское озеро



Онежское озеро

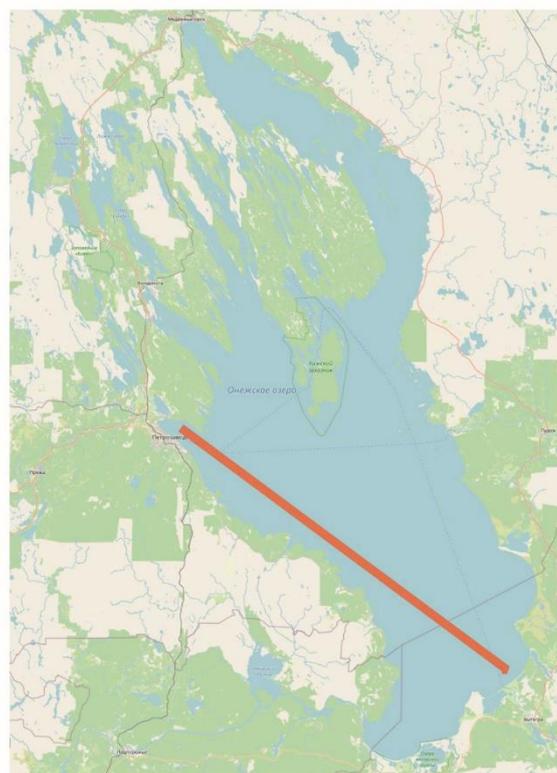


Рис. 45. Расположение продольных геолого-геоморфологических профилей на акваториях Ладожского и Онежского озера.

Проводя сравнение двух продольных геолого-геоморфологических профилей, проходящих через котловины Ладожского и Онежского озёр, можно выделить их генеральное сходство в составе слагающих их четвертичных отложений, представляющих единый гляциоседиментационный цикл, большую степень расчленения рельефа в северной части и меньшую в южной, а также тенденцию к глубинам в открытой части гораздо меньшим для юга, чем для севера котловин. Среди различий выделяются следующие: спорадически распространённые флювиогляциальные отложения на дне Ладожской котловины, в то время, как на дне Онежской котловины наблюдается более широкое распространение данного типа отложений. Северная часть дна Ладожской котловины гораздо в большей степени расчленена, чем Онежская. Глубина Ладожского озера гораздо постепеннее сменяется от севера к югу, чем глубина Онежского озера, также в Ладожском озере наиболее глубокой частью озера является северная, в то время, как в Онежском – центральная. Из данного факта выходит следующее различие – продольная асимметрия котловины Ладожского озера и квазиизометричность котловины Онежского озера. И последнее значимое различие – отсутствие, либо малая мощность современных озёрных отложений в Ладожском озере наблюдается в южной части, в то время, как на дне котловины Онежского озера, наименьшая мощность, либо полно

отсутствие данного типа отложений наблюдается в центральной и южной частях, что как и в случае Ладожского озера, связано с гидродинамическими либо геоморфологическими условиями.

Данная глава соответствует второму защищаемому положению, так как в ней дана характеристика последовательности отложений, слагающих гляциоседиментационный цикл обоих озёр.

Заключение

В результате интерпретации геолого-геофизических данных, полученных в ходе работ, а также на основании анализа построенных схем, сделаны следующие выводы:

1. Отложения верхнеоплейстоцен-голоценового чехла котловин обоих озёр формируют единый гляциоседиментационный цикл со следующей последовательностью отложений: Морены (gШос) - Флювиогляциальные отложения (fШос) - три пачки лимногляциальных отложений (lg₁Шос, lg₂Шос, lg₃Шос) - современные озёрные отложения (lnН).

2. Несмотря на сходство в строении отложений, покрывающих дно котловин изучаемых озёр, существуют различия в вещественном составе: отложения Ладожского озера более песчанисты; флювиогляциальные отложения в пределах Ладожской котловины развиты в меньшей степени, нежели в пределах Онежской котловины, при описании отложений Ладожского озера не замечено упоминаний о присутствии аутигенных минералов, в то время, как в отложениях Онежского озера они встречаются почти повсеместно.

3. Тектурные особенности различных типов отложений является индикатором господствовавших во время их формирования условий. Например, характер слоистости лимногляциальных отложений может служить индикатором положения края ледника во время их формирования. Таким образом, преобладание более грубых слоев является индикатором близости края ледника, а при удалении ледника толщина слоев уменьшается, вплоть до гомогенизации осадка. Помимо тектурных особенностей, индикаторами палеоклиматической обстановки могут служить включения органики или аутигенных минералов (гидроокислов железа и марганца).

4. Полученные по отложениям Ладожского озера (Lebas et al., 2020) и Онежского озера (Savelieva et al., 2018; Kiskina et al., 2018; Subetto et al., 2020) датировки позволяют предположить, что установление типичных озёрных условий, близких к современным, произошло в Ладожском озере в пребореальном, а в Онежском озере - в

атлантическом периоде голоцена.

5. Наиболее заметные в продольном профиле изменчивость рельефа и характер залегания верхнеплейстоцен-голоценовых отложений имеют ряд существенных различий для котловин Ладожского и Онежского озёр. Например, в случае Ладожского озера наиболее углублённой является северная часть, а для Онежского – центральная, что очевидно, предопределено геологической структурой дочетвертичных пород. Наибольшая мощность четвертичных отложений для Ладожского озера характерна в северной части, а для Онежского, помимо северной, также и для центральной. Однако в случае обоих изучаемых озёр – наименьшая мощность озёрных отложений характерна для южной части.

В перспективе, материалы данной работы могут быть использованы для актуализации листа Р-36 государственной геологической карты, для решения задач палеогеографических реконструкций Северо-Запада, а также для решения задач экологии, применительно к двум крупнейшим резервуарам пресной воды Ленинградской, Вологодской области и республики Карелия.

Использованная литература

1. Абрамова С. А., Хомутова В. И. Палинологические исследования донных отложений Онежского озера // Палинология голоцена и маринопалинология. Труды III международной палинологической конференции, издательство «НАУКА», Москва, 1973, С 27-35
2. Абрамова С.А., Давыдова Н.Н. К палеолимнологии Ладожского озера // Известия ВГО. 1966. Т.98, №1. С. 19 - 25.
3. Абрамова С.А., Давыдова Н.Н., Квасов Д.Д. История Ладожского озера в голоцене по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов. – В кн. История озер Северо-Запада. Л.: 1967. С. 113-132.
4. Амантов А. В., Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22-32.
5. Амантов А.В., Порошин Е.Е. Опытные-методические работы по совершенствованию методики карт дочетвертичных образований применительно к пресноводным бассейнам окраины Балтийского щита и составление схематической геологической карты Ладожского озера м-ба 1:500 000. 1991.
6. Амантов А.В., Спиридонов М.А. Геология Ладожского озера // Советская геология. 1989. № 4. С. 83-86.

7. Андреев А.П. Ладожское озеро. СПб., 1877. Ч.1. 264 с., Ч.2.136 с.
8. Антропов П.Я., Волотовская Н.А., Кратц К.О., Нумерова В.Н. Геология СССР. Том 37. Геологическое описание. Карельская АССР. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, Москва, 1960 740 с.
9. Апухтин Н. И. и др. Объяснительная записка к Госгеолкарте-200 по листу Р-35-XXXVI (серия Карельская). – М., 1966. 101 с.
10. Б.А. Ассиновская, В.В. Карпинский Ладожские сейсмические явления. — СПб: изд-во ВСЕГЕИ – 2020. 46 с.
11. Ассиновская Б.А., Никонов А.А. Загадочные явления на Ладожском озере // Природа. 1998. № 5. – С. 49–53.
12. Ауслендер В. Г. Четвертичная система // Геологическая карта СССР, масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист О-(35)–36. – Ленинград. Объяснительная записка. – Л., 1989. С. 98–127.
13. Афанасов М. Н. Отчет о проведении работ на объекте ГДП, ГГД-ЭГИК-200 и ГСШ-200 Карельского перешейка и западной части акватории Ладожского озера Р-35-XXIX, XXX, XXXIII–XXXVI, Р-36-XXV, XXXI (24 869 км²), 2002.
14. Барков Л.К., Щербаков В.М., Усенков С.М. Состав и динамика современных донных осадков южной части Ладожского озера // Вест. ЛГУ. Геология. География. 1983. Вып. 6. С.32-40.
15. Бахмутов В.И., Давыдова Н.Н., Делюсина И.В. и др. История развития залива Лехмалаhti в поздне- и послеледниковье // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. МПБ: 1993 с.45-48
16. Беляев П.Ю. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Алешин М.И. Результаты работ по изучению верхнеплейстоценового чехла котловины Онежского озера. Обобщение данных за период 2016-2019 гг. // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)» Том III (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020, 265 с.: ISBN 978-5-6042986-0-2.

17. Беляев П.Ю., Рыбалко А.Е., Субетто Д.А. Геоморфология котловины Ладожского озера. Новые данные. // Астраханский вестник экологического образования. 2020. №5(59). С. 142-154.
18. Бискэ Г. С., Лак Г. Ц., Лукашов А. Д., Горюнова П. Н., Ильин В. А. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск: Карелия, 1971. 73 с.
19. Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Государственное издательство Карельской АССР, Петрозаводск, 1959 г., 321 с.
20. Богословский Б.Б., Кириллова В.А. Водные массы озёр с различным водообменом (на примере озёр Ладожского, Онежского и Ильменя).-в кн. Вопросы современной лимнологии. Ленинград, 1973, С. 102-113
21. Верзилин Н.Н., Калмыкова Н.А. Особенности и причины изменений уровня воды в Ладожском озере в голоцене // Вестн. С.-Петербур. Ун-та.: Геология, география. 2000. Вып.1 (№7). С. 15-22
22. Вигдорчик М. Е. и др. Объяснительная записка к Госгеолкарте-200 по листу Р-36-XXIX (серия Тихвинско-Онежская). – М.,1983. 140 с.
23. Ганин В. А. (отв. исп.). Отчет по групповой съемке и геологическому доизучению масштаба 1 : 50 000 Елмозерского синклиория и его обрамления в Муезерском, Медвежьегорском, Сегежском районах КАССР в 1978–1983 гг. – Петрозаводск, 1983. ИФО СЗРГЦ.
24. Гарункштис А.А. Седиментационные процессы в озёрах Литвы. – Вильнюс, 1975. 297 с.
25. Гильзен К.К. Исследование грунта озер России: Ладожское озеро. Материалы по исследованию грунта Ладожского озера (химический анализ образцов грунта). Санкт-Петербург: тип. М. Стасюлевича, 1905. 28 с.
26. Гуревич В.И., Куликов И.В., Михалюк Т.Ю. Геоэкология Ладожского озера. СПб: ВНИИОкеанология, 1995. 209 с.
27. Давыдова Н.Н., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Субетто Д.А. Новые данные по стратиграфии донных отложений Ладожского озера // Изучение озерно-болотных формаций в целях палеогеографических реконструкций. Таллинн, 1986. С. 24-30.

28. Девятова Э. И. Паленологическая характеристика верхнечетвертичных отложений Карелии // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. – Л., 1972. С. 59–96
29. Демидов И. Н. Деграция поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геол. и полезн. ископ. Карелии. 2005. Вып. 8. С. 134–142.
30. Демидов И. Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позделедниковье // Геол. и полезн. ископ. Карелии. 2004. Вып. 7. С. 207–218.
31. Демидов И. Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геол. и полезн. ископ. Карелии. 2006. Вып. 9. С. 171–182.
32. Квасов Д. Д. Происхождение котловины Онежского озера // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С. 7-40.
33. Квасов Д. Д., Кошечкин Б. И., Амантов А. В. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки. Ленинград: Наука: Ленингр. отд-ние, 1990. 279 с.
34. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озёр и внутренних морей восточной Европы. Ленинград: Наука: Ленингр. отд-ние. 1975. 278 с.
35. Кириллова В.А., Малинина Т.И. Речной сток и водный баланс озера // Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера Л.: Наука, 1982. С. 31–39.
36. Кордэ Н.В. Биостратификация и типология русских сапропелей. Ленинград. Издательство Академии Наук СССР. 1960. 220 с.
37. Кошечкин Б.И., Экман И.М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера. // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб, изд. РГО, 1993, С. 49-60.
38. Краснов И.И., Рейнеке В.И. О газоносности четвертичных отложений Ленинградской области // Природные газы. Ленинград: Глав. ред.

геол. развед. и геодезич. лит-ры, 1936. С. 3-32. Ладожское озеро / под ред. Г.С. Бискэ. – Петрозаводск, 1978. – 203 с.

39. Курочкина А.А. Литология и хемотратиграфия донных отложений Онежского озера // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С. 74-127.

40. Ладожское озеро. Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. 490 с.

41. Летников Ф.А., Балышев С.О., Лашкевич В.В. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника. 2000. № 1. С. 3–22.

42. Лопотко М.З. Озёра и сапропель. Минск, Наука и техника 1978. 88 с.

43. Лоция Онежского озера. Упр. гидрогр. службы Воен.-Мор. Флота. Ленинград. 1961. 196 с.

44. Лукашов А.Д. Новейшая тектоника Карелии. Ленинград. Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. 108 с.

45. Лукашов А.Д. Палеосейсмодислокации Заонежья // Кижский вестник. Заонежье. 1993 № 2. Петрозаводск. С 35-42.

46. Макарьев А. А. геологическая съемка масштаба 1: 500 000 дна Онежского озера. (объект Онежский озерный), 2002.

47. Максимов А. В., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Коссовая О. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Р-(35),36 – Петрозаводск. Объяснительная записка. Санкт-Петербург, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 400 с.

48. Малаховский Д. Б. , Марков К. К. Геоморфология и четвертичные отложения Северо-Запада европейской части СССР.: Ленинградская, Псковская и Новгородская области // К VIII конгрессу INQUA. Франция. Ленинград: Наука , 1969. С. 226.

49. Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А. и др. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера. // Эволюция природных обстановок и

современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб, изд. РГО, 1993, С. 61-73.

50. Молчанов И.В. Ладожское озеро. Л.-М., Гидрометеиздат, 1945. 556 с.

51. Науменко М.А., Каретников С.Г. Ладожское озеро и его водосбор: цифровая модель и новые результаты // Доклады XII съезда РГО Картография, геоинформатика, дистанционные методы исследований. СПб., 2005. С. 82-86.

52. Николаев Н.И. О новейшем этапе развития Фенноскандии, Кольского полуострова и Карелии / Бюл. МОИП. 1967. Т. 42. Вып. 1. С. 49–6

53. Николя А. Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992. 167 с

54. Никонов А.А. К неотектонике Ладожской депрессии // Тектоника Неогена: общие и региональные аспекты. Материалы XXXIV Тектонического совещания. Том 2. М.: ГЕОС. 2001. С. 80-83.

55. Никонов А.А. Воздействие голоценовых пертурбаций Онежско-Ладожской гидрологической системы на древнее население прибрежных пространств // Самарский научный вестник. 2017. Т. 6, №3 (20). – С. 171–177.

56. Никонов А.А., Полещук А.В., Зыков Д.С. О новейших разрывах и палеосейсмодислокациях в Онежской палеопротерозойской структуре Фенноскандинавского щита // Труды Карельского научного центра РАН. № 11. 2017. С. 3–18

57. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011, 431 с. + 1 вкл., ил. 233, табл. 76. Библиогр. назв. 718. ISBN 978-5-9274-0456-8

58. Онежское озеро. Атлас, Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2010. 151 с.

59. Павлов А.Н., Соболев Ч.С., Федоров П.В. Основные черты формирования экологической обстановки в районе города Приозерска. // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб, изд. РГО, 1993. 118 с.

60. Перфильев Б.В. К изучению озёрных отложений. // изв. ГГИ, 1927. №19. С. 90-93.
61. Подоличко А.П. Озёрные отложения Белорусской ССР: генезис, стратиграфия и некоторые качественные особенности. Минск, Наука и техника, 1975. 119 с.
62. Полканов А. А. 1956. Геология хогландия-иотния Балтийского щита (стратиграфия, тектоника, кинематика и магматизм). М .— Л ., И зд. АН С С С Р (Тр. ЛАГЕД , вып. 6)
63. Пустовалов Л.В. петрография осадочных пород. М. Гостоптехиздат, 1940. т. 1. 476 с. т. 2. 420 с.
64. Р. А. Нежиховский. Река Нева и Невская губа, Ленинград. Гидрометеоздат, 1981. 109 с.
65. Россолимо Л.Л. Основы типизации и лимнологического районирования. Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. С.5-46.
66. Рыбалко А.Е., Беляев П.Ю. Строение верхнеплейстоцен-голоценовых отложений Заонежского залива (Онежское озеро) по результатам полевых работ 2019 года // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Выпуск 6. Санкт-Петербург. 2019. С 250-253
67. Рыбалко А.Е., Корнеев О.Ю., Пшеничный Г.А., и др. Осуществление государственного мониторинга состояния геологической среды континентального шельфа Баренцева, Белого и Балтийского морей. Окончательный геологический отчет по госконтракту № 03/08/60-11. Санкт-Петербург, 2007. 485 с.
68. Рыбалко А.Е., Субетто Д.А., Токарев М.Ю., Беляев П.Ю., Барымова А.А, Федоров Г.Б., Белкина Н.А. Палеогеография озерных и морских бассейнов восточной периферии Балтийского кристаллического щита в позднем неоплейстоцене и голоцене – итоги работ по программе в 2019 году. // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Выпуск 6. Санкт-Петербург. 2019. С 242-248.

69. Семенович Н. И. Донные отложения Ладожского озера. АН СССР. Ленинград. Изд-во «Наука», 1966. 124 с.
70. Семенович Н.И. Донные отложения Онежского озера. Л., Наука, АН СССР. Ленинград. Изд-во «Наука», 1973, 104 с.
71. Смирнов А.В. Озерные сапропели, их добыча и использование в сельском хозяйстве. М. Колос, 1965. 157 с.
72. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. М. Издательство АН СССР, 1960. 212 с.
73. Страховенко В. Д., Субетто Д. А, Овдина Е. А., Белкина Н. А., Ефременко Н. А., Маслов А. В. Современные донные отложения онежского озера: строение, минеральный состав и систематика редкоземельных элементов. // Доклады академии наук, 2018, том 481, № 4, с. 414–417
74. Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. Издательство РГПУ им. А.И.Герцена, 2009. 349 с.
75. Субетто Д.А., Никонов А.А., Шварев С.В., Зарецкая Н.Е., Гурбич В.А., Потахин М.С., Полещук А.В., Греков И.М. Роль природных катастрофических событий в формировании водных объектов и их донных отложений на границе Фенноскандинавского щита и Восточно-Европейской платформы. // Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология»: сборник статей Москва, 2018, с. 162-163
76. Субетто Д.А., Поздняков Ш.Р., Рыбалко А.Е. Ладога. Нестор-История, 2013. – 468 с
77. Тихомиров А.И. Температурный режим и запасы тепла Ладожского озера. Ленинград, 1968. –в кн. Тепловой режим Ладожского озера Т.22. С. 65-78
78. Усенков С. М. Седиментология и геоэкология больших озер Северной Европы и Северной Америки. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2012. 192 с.
79. Усенков С. М., Свешников А.Г., Щербаков В.А. Природный и техногенный седиментогенез в Ладожском озере. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1999. 140 с.

80. Усикова Т.В., Малаховский Д.Б., Гарбар Д.И. Домикулинские озерные отложения Северо-Западного Приладожья // История озер: Труды Всесоюзного симп. Т. 2. – Вильнюс, 1970. С. 123-133.
81. Шемякина Н.М. и др., Геологическая карта СССР масштаба 1:2000, Листы Р-37-1, VII, VIII, Объяснительная записка. 1991 г.
82. Шенурин, Виктор Евграфович. Лоция Ладожского озера. Гидрогр. деп. СПб, 1873 107 с.
83. Шитов, М. В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера. Автореф. Дисс. Канд. геолого-минералогических наук, Санкт-Петербург. 2007. 21 с.
84. Шостакович В.П. Иловые отложения озёр и периодические колебания в явлениях природы. // Зап. ГГИ, 1934.Т. 13. С. 95-140.
85. Экман И. М. Четвертичная система // Геология Карелии. – Л.: Наука, 1987. С. 79–93.
86. Эрасси Н.И. Геологический журнал осмотра береговой полосы Ладожского озера к югу от д. Остерман до мыса Сосновец в сентябре-октябре 1905 г. И Ладожское озеро как источник водоснабжения г. С.-Петербурга. СПб., 1910
87. A.A. Andreev, L.A.Savelieva, L.Shumilovskikh, R.Gromig, V.Wennrich, G.Fedorov, D.A.Subetto, S.Krastel, B.Wagner, M.Melles. GERMAN-RUSSIAN PROJECT PLOT: NEW PALYNOLOGICAL DATA FROM THE LAKES LADOGA AND BOL'SHOE SHUCH'E POSTGLACIAL-GLACIAL-PREGLACIAL SEDIMENT RECORDS. Routes of evolutionary geography, Processing of conference in memory of prof. A.A. Velichko. Moscow. 2016. 13-16.
88. Andreev, A.A., Shumilovskikh, L.E., Savelieva, L.A., Gromig, R., Fedorov, G.B., Ludikova, A., Wagner, B., Wennrich, V., Melles, M. Environmental conditions in northwestern Russia during MIS5 inferred from the pollen stratigraphy in a sediment core from Lake Ladoga. *Boreas*, 48. 2019, 377–386.
89. Bennett, E. Characteristics of the thermal regime of Lake Superior. *Journal of Great Lakes Research* 4. 1978 pp 310–319.

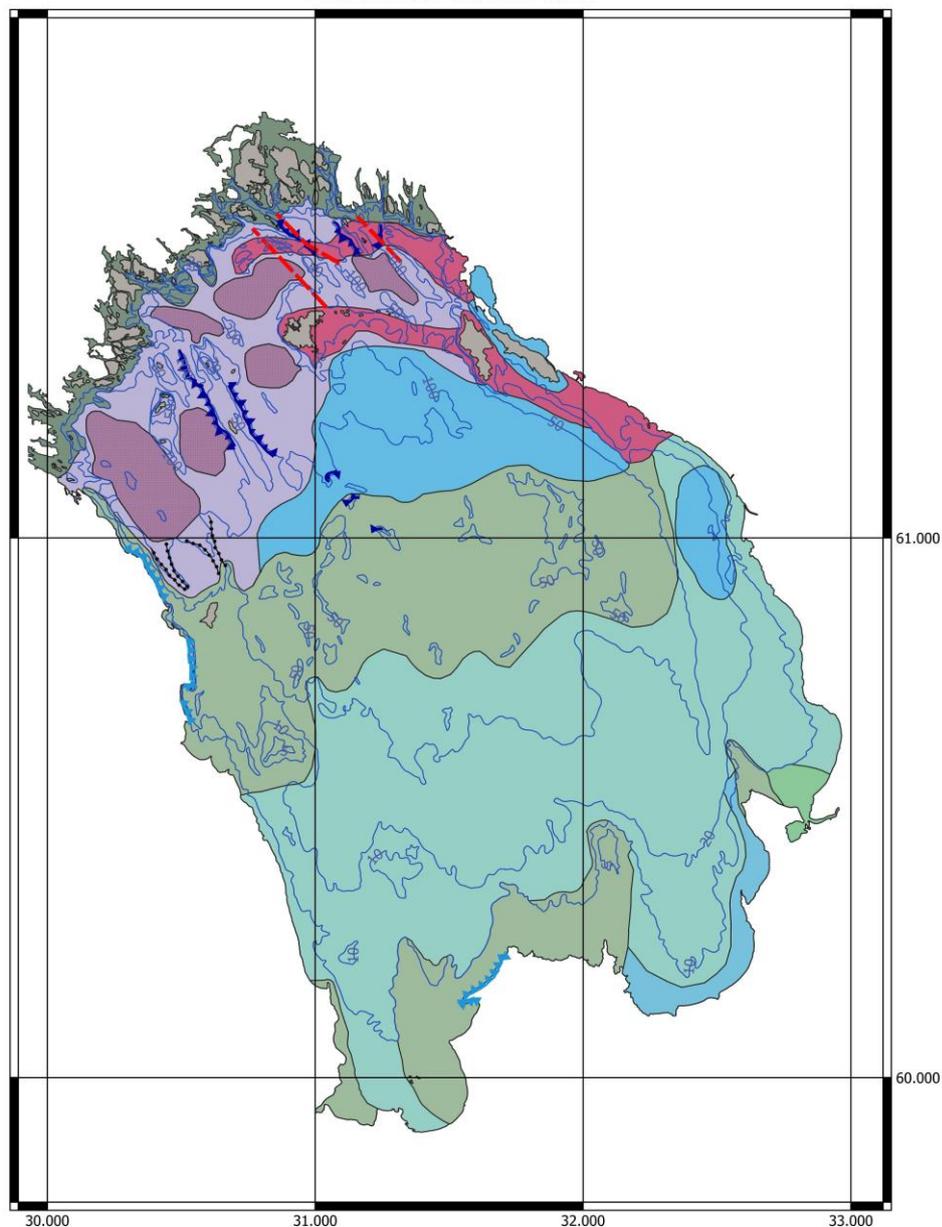
90. Delusin, 1991 — Delusin I. The Holocene Pollen Stratigraphy of Lake Ladoga and Vegetational History of its surroundings (Annales Academiae Scientiarum Fennicae, 153). 1991. 66 p.
91. E. Lebas, R. Gromig, S. Krastel, B. Wagner, G. Fedorov, C. Görtz, T. Avers, D. Subetto, M. Naumenko, M. Melles, Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga, Quaternary Science Reviews, Volume 251, 2021, 106637, ISSN 0277-3791, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106637>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379120305990>)
92. Gromig, R., Wagner, B., Wennrich, V., Fedorov, G., Savelieva, L., Lebas, E., Krastel, S., Brill, D., Andreev, A., Subetto, D. & Melles, M. 2019 (April): Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments. // Boreas, 2020, <https://doi.org/10.1111/bor.12379>, 330–348.
93. Korsman, K., Hölttä, P., Hautala, Tuula and Wasenius, P. Metamorphism as an indicator of evolution and structure of the crust in eastern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 328. 1984. 40 p.
94. Ludikova A.V., Subetto D.A., Andreev A.A., Gromig R., Fedorov G.B., Melles M. The first dated preglacial diatom record in Lake Ladoga: long-term marine influence or redeposition story // Journal of Paleolimnology. 2021. doi: 10.1007/s10933-020-00150-0, 85–99
95. Saarnisto, M.; Saarinen, T. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the Lake Onega basin to the Salpausselkä End Moraine. Glob. Planet. Chang. 2001, 31, 333–405.
96. Shvarev S. Traces of postglacial seismic activity in the bedrock and unconsolidated sediments on the south-western shore of Lake Onega// Lateglacial – Interglacial transitions: glaciotectonic, seismoactivity, catastrophic hydrographic and landscape changes. — Petrozavodsk, 2018. – P.15–18.
97. Strakhovenko, V.; Subetto, D.; Ovdina, E.; Danilenko, I.; Belkina, N.; Efremenko, N.; Maslov, A. Mineralogical and Geochemical composition of Late Holocene bottom sediments of Lake Onega. J. Great Lakes Res. 2020, 46, 443–455.

98. Subetto, D., Davydova N., Rybalko A. Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga / D. Subetto, N. Davydova, A. Rybalko // Palaeogeography, Palaeoclimatology. Palaeoecology. – 1998. – № 140. – P. 113-119.

99. 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 2020, 10, 964.

Приложения

Геоморфологическая карта дна котловины Ладожского озера Масштаб 1:500 000



Условные обозначения:

- Рельефообразующие разломы, выделенные по данным НСП
- Предполагаемые гравитационные склоны
- Абразионные берега
- Погребённые долины, выделенные по данным НСП
- Изобаты, м

Рельеф аккумулятивно-денудационной группы

- Грядово-волнистые равнины на отрепарированных породах кристаллического субстрата осложнённые аккумулятивными возвышенностями ледниковой природы
- Холмисто-увалистые равнины ледниковые и ледниково-озерные равнины на моренном субстрате (зоны краевых образований)

Рельеф структурно-денудационной группы

- Интенсивно расчлененные грядово-увалистые (фиардово-шхерные) равнины на кристаллическом субстрате с проявлением современных геодинамических процессов
- Массивы и гряды, сформировавшиеся за счет препарировки пластовых интрузивных тел
- Структурно-предопределенные впадины в фиардово-шхерных равнинах с покровом озерных нефелоидов

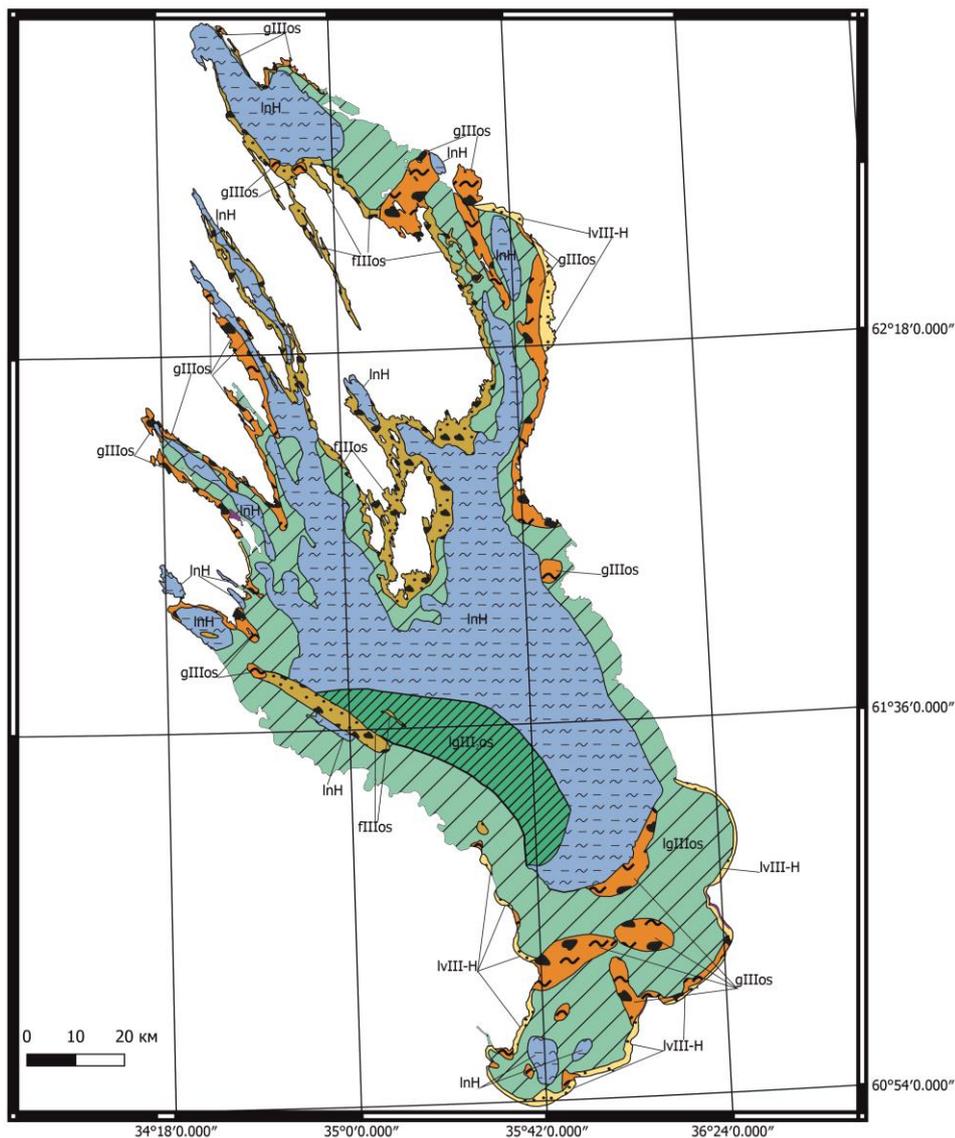
Рельеф аккумулятивной группы

- Выровненные, местами всхолмленные, озерные нефелоидные равнины
- Озерно-аллювиальные плоские равнины
- Субгоризонтальные выположенные ледниково-озерные равнины
- Ундальювиальные, слабо наклоненные равнины

Приложение 1.
составили: Беляев П.Ю., Рыбалко А.Е.
Исполнил: Беляев П.Ю.
Система координат: WGS 1984

Приложение 1. Геоморфологическая карта дна котловины Ладожского озера

**Карта четвертичных отложений дна котловины Онежского озера
Масштаб 1:500 000**



Условные обозначения

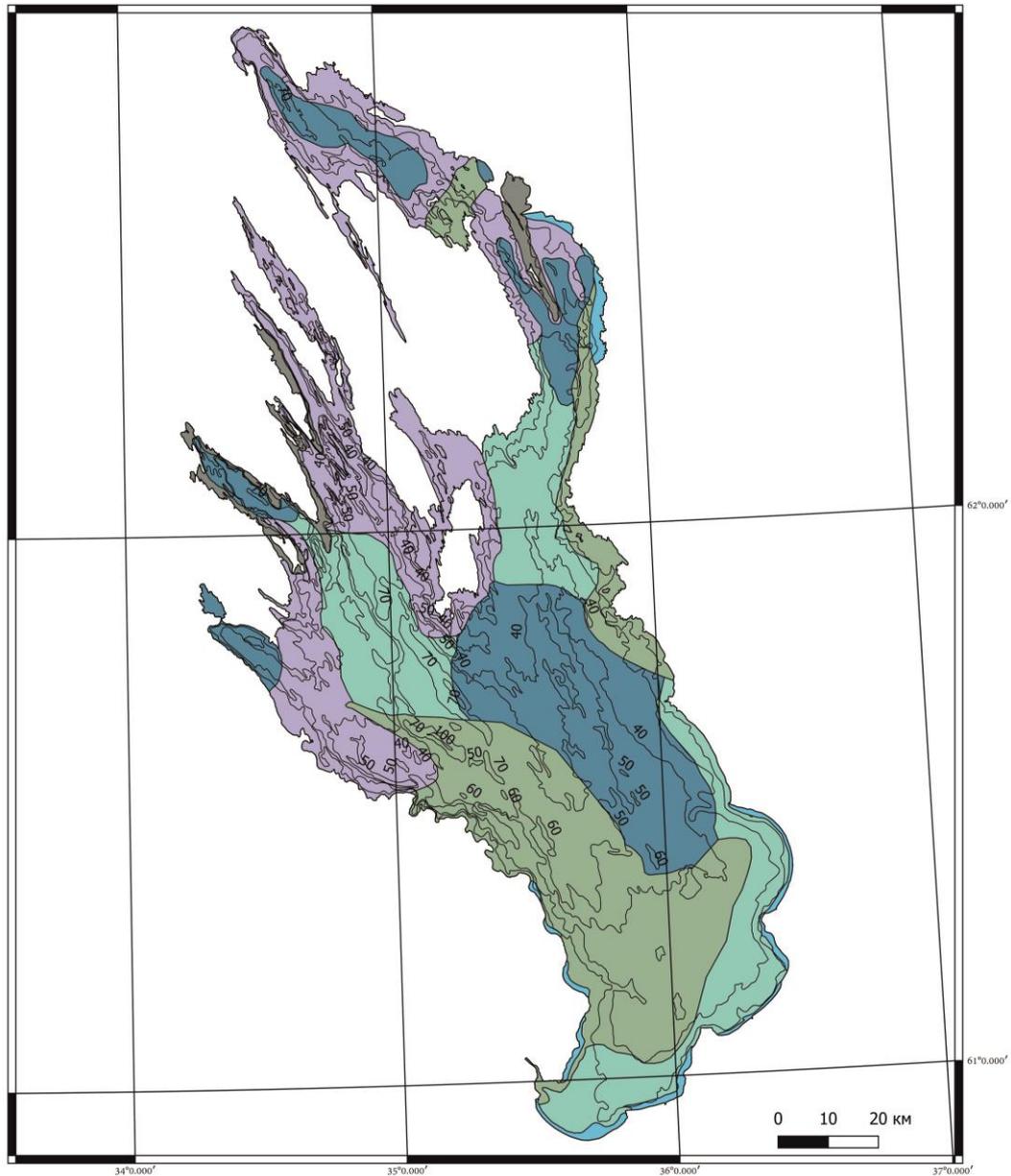
Типы отложений

- Дочетвертичные образования
- fIIos - Флювиогляциальные отложения. Песчано-галечная смесь.
- gIIos - Морены. Валунные суглинки
- IgIIos. - Лимногляциальные отложения дистальной пачки. Ленточные глины микрослоистые.
- IgIII₂os - Лимногляциальные отложения проксимальной пачки. Ленточные глины слоистые.
- InH - Озёрные отложения. Гомогенизированные илы, алевропелиты.
- IvIII-H - Волновые отложения. Пески.

Приложение 2
Составили: Рыбалко А.Е., Беляев П.Ю.
Исполнил: Беляев П.Ю.
Система координат - WGS 1984

Приложение 2. Карта четвертичных отложений дна котловины Онежского озера

Геоморфологическая карта дна котловины Онежского озера
Масштаб 1:500 000



Условные обозначения

Структурно-денудационный рельеф

■ Интенсивно расчлененные грядово-увалистые (фиардово-шхерные) равнины на кристаллическом субстрате с проявлением современных геодинамических процессов

Аккумулятивно-денудационный рельеф

■ Грядово-волнистые равнины на отрепарированных породах кристаллического субстрата, осложнённые аккумулятивными возвышенностями ледниковой природы

■ Холмисто-увалистые равнины ледниковые и ледниково-озерные равнины на моренном субстрате (зоны краевых образований)

Аккумулятивный рельеф

■ Выровненные, местами всхолмленные, озерные нефеловидные равнины

■ Субгоризонтальные выположенные ледниково-озерные равнины

■ Ундулювиальные, слабо наклоненные равнины

— Изолинии, м.

Приложение 3

Составили : Беляев П.Ю., Рыбалко А.Е.

Исполнил: Беляев П.Ю.

Система координат: WGS 1984

Приложение 3. Геоморфологическая карта дна котловины Онежского озера