

## ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ОЗЕРНЫХ И МОРСКИХ БАССЕЙНОВ ВОСТОЧНОЙ ПЕРИФЕРИИ БАЛТИЙСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ – ИТОГИ РАБОТ ПО ПРОГРАММЕ В 2019 ГОДУ

<sup>1,2,3</sup>Рыбалко А.Е., <sup>3,4</sup>Субетто Д.А., <sup>5</sup>Токарев М.Ю., <sup>1,6</sup>Беляев П.Ю., <sup>2</sup>Барымова А.А.,  
<sup>2,7</sup>Федоров Г.Б., <sup>3</sup>Белкина Н.А.

<sup>1</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт наук о Земле СПбГУ

<sup>3</sup>Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

<sup>4</sup>РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

<sup>5</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова

<sup>6</sup>ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург

<sup>7</sup>ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург

В докладе приводятся данные о проведении в Петрозаводской губе Онежского залива бурения четвертичных отложений со льда. Этому предшествовали комплексные геолого-геофизические работы. На основании их были выбраны места для бурения 3-х скважин (реально были пробурены две скважины длиной 20 и 15м). В обеих скважинах был вскрыт полный разрез до морены последнего оледенения. Впервые в Онежском заливе под водой были вскрыты моренные отложения. Обсуждаются вопросы организации работ, особенности отобранного геологического разреза и предполагаемые методы обработки.

Ключевые слова: *Онежское озеро, палеолимнология, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, геологический пробоотбор, донные осадки, четвертичные отложения, палеогеография, голоцен, неоплейстоцен, бурение четвертичных отложений.*

Начиная с 2014 года, три организации: Институт наук о Земле СПбГУ, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра и организации научного парка МГУ (ЦКМИ, ЦАСД) выполняют исследования во внутренних морских и озерных бассейнах по восточной периферии Балтийского кристаллического щита по инициативной программе «Палеогеография озерных и морских бассейнов восточной периферии Балтийского кристаллического щита в позднем неоплейстоцене и голоцене». Выбор объекта исследований связан с тем, что все указанные водные бассейны возникли в результате дегляциации последнего Скандинавского ледника (Осташковской стадии) и восстановление рубежей их формирования: возникновения, переходе от озерного к морскому этапу развития, особенности формирования этих бассейнов в голоцене – во многом является ключом к реконструкции палеогеографических событий в этот отрезок времени на всем Северо-Западе России. Финансирование этих работ ведется как на грантовой основе, так и за счет собственных средств участников. Санкт Петербургский университет обеспечивает участие в этой программе участников и стратиграфический блок исследований, Институт водных проблем Севера – предоставляет НИС «Эколог», МГУ – геофизическую аппаратуру и комплекс литологических исследований, в том числе томографию. Еще одной задачей работ по этой программе – возможность практического участия студентов и аспирантов СПбГУ, МГУ, ГПУ им А.И. Герцена и других организаций.

В 2019 году основными объектами работ были: бурение Онежского озера, летние полевые работы на НИС «Эколог» в Онежском заливе, полевые работы в рамках студенческой практики на Белом море. В настоящем докладе освещаются результаты бурения в Петрозаводской губе Онежского озера в марте 2019 года, результаты водных работ будут освещены в отдельном докладе.

Совмещение в одной программе палеоокеанологических и палеолимнологических исследований имеет большое значение, так как позволяет проследить эволюцию первых приледниковых бассейнов, часто перекрывающих на ранних стадиях развития два или

несколько современных морских и озерных бассейнов в послеледниковые озерные бассейны и дальнейшее их обособление на моря и озера. При этом собственно палеолимнологическое изучение озер являются одним из наиболее действенных способов восстановления палеогеографических условий в регионах в позднем неоплейстоцене – голоцене. Разрезы крупных озер содержат наиболее полные разрезы от приледниковых бассейнов до наших дней и в палеогеографическом отношении являются наиболее полными архивами. При этом их исследования встречается с большими трудностями, которые возникают при изучении крупных озер из-за их величины и наличия больших глубин. Для их исследования необходимо использование относительно крупных научно-исследовательских судов (НИС), что, в свою очередь, требует комплексного подхода к организации подобных исследований. В тоже время изучение крупных озер (а также внутренних морских бассейнов) в настоящее время невозможно представить без изучения малых озер по их периферии, что позволяет более надежно регистрировать топографические особенности палеобассейнов на различных стадиях их развития.

В качестве опытного полигона для проведения бурения была выбрана Петрозаводская губа (Рис.1).

Выбор этого места определялся комплексом ранее проведенных исследований этими же исполнителями в Петрозаводской губе, начиная с 2016 года.

На первом этапе были проведены геофизические исследования, в состав которых входили: сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР) с источником «бумер» и 16-канальной аналоговой сейсмокозой, сейсморазведка ультравысокого разрешения (СУВР) с параметрических профилографом SES-2000 Light, гидролокация бокового обзора (ГЛБО) с Klein450. Данный комплекс позволил провести детальные исследования дна и поддонных границ, обеспечивая глубинность до 50-100 м, в зависимости от сейсмогеологических условий. Задачей этого блока исследований являлось получение информации о разрезе рыхлых отложений, а также о наличии газов, проявлениях разрывной тектоники.

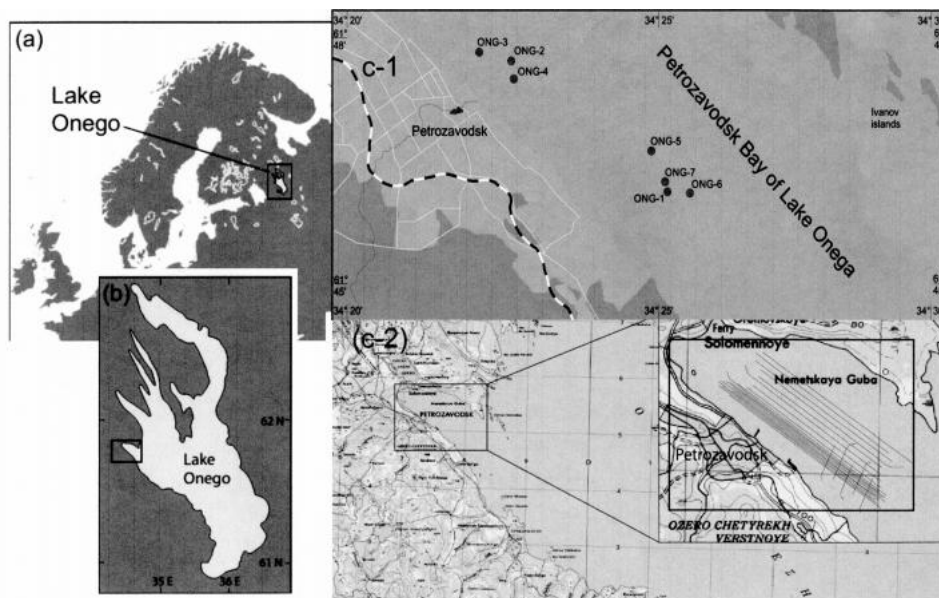


Рис.1 Схема расположения геофизических профилей (с-2) и геологических станций (с-1) в Петрозаводской губе Онежского озера в 2016 году.

Эти данные послужили основой для выбора контрольных точек пробоотбора. Общая длина профилей составила около 80 км. Эти данные послужили основой для проведения геологического пробоотбора. Интерпретация сейсмоакустических данных позволила составить базовую сеймостратиграфическую схему донных отложений Петрозаводской губы (Рис.2).

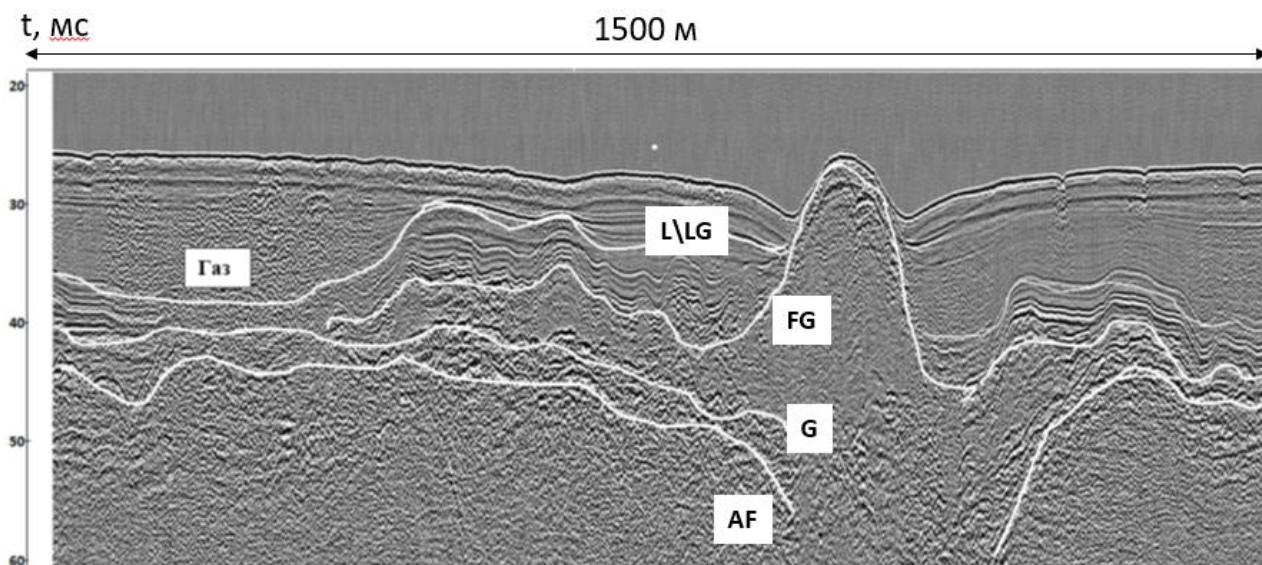


Рис. 2 Сейсмостратиграфический разрез по профилю 3\_1. Белыми линиями помечены отражающие сейсмоакустические горизонты. Буквенными обозначениями помечены названия интерпретируемых сейсмокомплексов. AF – акустический фундамент, G- ледниковые отложения (морена), FG- флювиогляциальные отложения, LG –лимногляциальные отложения, L – лимниевые нефелоидные отложения

Данные гидролокации бокового обзора позволили уточнить простирание основных элементов донного рельефа (флювиогляциальная гряда), а также выделить многочисленные кратерные структуры (так называемые пок-марки), которые пространственно связаны с глубокой депрессией в коренных породах, возможно, обусловленной тектоническим нарушением. Они могут достигать в ширину до 7м и имеют различную форму.

Геологический пробоотбор проводился как для заверки сейсмоакустических данных, так и для получения материала для дальнейших литолого-стратиграфических исследований. Использовалась грунтовая прямоточная трубка с пластмассовым вкладышем диаметром 109 мм. Всего было выполнено 8 станций (Рис.1). На каждой из них было отобрано по 4 трубки (из одной точки). Первая трубка была вскрыта, описана. Из нее отбирались образцы на литологические исследования. Вторая трубка была доставлена в Санкт-Петербург для литолого-стратиграфических исследований. Третья трубка ушла в Москву для радиографических и инженерно-геологических исследований. Из четвертой трубки отбирались пробы для исследования газов.

Таким образом, был создан базовый каркас для проведения комплексных исследований четвертичных отложений в северной и центральной частях Онежского озера. Эти исследования впоследствии были дополнены геологическими и геофизическими работами в открытой части озера, а на опытном Петрозаводском полигоне были проведены дополнительные геофизические исследования, включающие электроразведочные работы.

Данные геологического пробоотбора были использованы для создания корреляционных схем литостратиграфических горизонтов. Наиболее древними из вскрытых отложений являются неоплейстоценовые ледниково-озерные (ленточные) глины. В основании изученного разреза залегает толща ленточных глин с цветовой слоистостью. Характер переслаивания - близкий к ритмичной. В кровле этой толщи обычно выделяется маломощный горизонт так называемых «розовых глин», отличающийся более яркими тонами окраски и особыми текстурными особенностями. Выше по разрезу залегает сложно построенная толща голоценовых нефелоидных лимниевых осадков. В основании залегает пачка тонких пепельно-серых алевропелитов (мягких глин) текуче-пластичной консистенции. Глины однородные, иногда отмечаются

нечетко выраженные скопления гидроокислов марганца и пиролюзита. При этом, в средней части этой пачки часто отмечаются слои, резко обогащенные черными сажистыми примазками. Эти примазки по данным В.Д. Страховенко сложены преимущественно гидроокислами марганца. Выше залегает толща типичных озерных илов. Латеральные различия в ней связаны с особенностями донного рельефа, мощностью озерных голоценовых осадков, что определяет и содержание в них метановых газов (чем больше мощность, тем вероятнее выделить в ней по геофизическим данным скопления газов).

В колонках были проведены палинологические исследования и радиоуглеродное датирование. Радиоуглеродное датирование проводится с использованием традиционных методов и методов AMS. В отсутствие раковинного материала определение абсолютного возраста производилось по органическому веществу. Достаточное количество его содержалось только в верхней части колонок, и поэтому все датировки уложились в интервал верхнего или самых верхов среднего голоцена. Были получены следующие результаты. В колонке ONG – 2/2 две верхние датировки (~1340 и ~2510 кал. лет) четко укладываются в интервал верхнего голоцена и по предварительной литостратиграфической схеме попадают в тот же интервал. Наиболее древние отложения вскрыты в колонке ONG5 и по данным биостратиграфических исследований отнесены к аллереду.

Дополнительный материал о формировании донных осадков был получен в результате томографических исследований керна. В основании толщи ледниково-озерных глин были выявлены текстурные признаки происходивших здесь оползаний. В толще голоценовых нефелоидных лимниевых осадков, представленной тонкими пепельно-серыми алевропелитами были выявлены зерна аутигенных сульфидов псаммитовой размерности. На полученных томограммах четко видны особенности локализации в них газов, с которыми связаны многочисленные поры, ориентированные в субвертикальном направлении, что указывает на инфильтрацию газофлюидов вверх к озерному дну.

Таким образом, в результате проведенных исследований была получена достаточно полная картина строения четвертичных отложений в Петрозаводской губе и в результате биостратиграфических исследований получена схема палеогеографического развития этого района на стадии завершения развития приледникового озера и перехода его к нормальному озерному режиму осадконакопления. Была проведена корреляция данных геологического пробоотбора и сейсмостратиграфических исследований в Петрозаводской губе и в открытой части озера.

К этому времени оставалась неисследованной прямыми методами нижняя часть ледниково-озерных отложений, что имело принципиальное значение для оценки возраста первых приледниковых озер в пределах современных очертаний Онежского озера.

С этой целью было принято решение о проведении бурения в Петрозаводской губе четвертичных отложений на всю их мощность. Эта проблема опиралась на два крайне важных фактора. С одной стороны в это время Институтом наук о Земле СПбГУ была приобретена буровая установка для бурения озерных осадков. С другой стороны в 2019 году было подтверждено проведение гранта РФ 17-18-00176 по изучению четвертичных отложений Онежского озера, т.е появились реальные деньги на проведение этого вида работ. В результате заключения Договора между грантодержателем - ИВПС КарНЦ РАН и Институтом Наук о Земле СПбГУ буровые работы со льда были проведены в марте-апреле 2019 года. В работах принимали участие сотрудники Института наук о Земле СПбГУ, Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (на базе которых и выполнялось бурение) и МГУ имени М.В. Ломоносова, а также представители Педагогического университета им А.И. Герцена, Института геологии и минералогии СО РАН, ВСЕГЕИ и ВНИИОкеангеологии.

Бурение четвертичных отложений было проведено с помощью поршневой системы для отбора колонок донных отложений производства UWITEC(Австрия), принадлежащей

Санкт-Петербургскому Государственному Университету. Использованная установка позволяет отбирать керны донных отложений, длиной до 20-25 м, при глубине воды до 140 м. Она состоит из разборной треноги высотой 4м, трех ручных лебедок в комплекте с 310 м подъемного кабеля (диаметр 8 мм, материал кевлар), 170 м кабеля поршневого керноулавливателя (диаметр 5 мм, с покрытием из стали), 160 м кабеля ударного молота (диаметр 3 мм, нержавеющая сталь). Общий вес составляет 200 кг, грузоподъемность 3200 кг (Рис.3).

Забивание керна производится вручную, путем подъема ударного молота весом 20 кг и резкого опускания его на заднюю часть стальной трубки керноотборника, длиной 2 м, с замыкающей головкой, по которой и производятся удары. Отбор керна производится в ПВХ-трубки диаметром 60 мм, которые помещаются внутри пробоотборной трубы.

Выбор места проведения бурения именно в Петрозаводской губе среди прочих причин определялся относительной близостью точек бурения к городской инфраструктуре. Была организована в рамках Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. Именно он обеспечил завоз оборудования на лед и перемещение по поверхности озера с помощью снегоходов, принадлежавших институту. На льду был организован лагерь для обслуживания персонала и ночевки дежурных. При этом был использован опыт институтских работников, обеспечивших проведение палеолимнологических исследований Петрозаводской губы в 2017 году совместной швейцаро-русской экспедиции. Работы проводились в световой день, а ночевка членов экспедиции (за исключением дежурных) - на берегу, в гостинице. Полученные керны доставлялись в ИВПС, где помещались в холодный депозитарий. Обработка кернов заключалась в распиливании трубок вдоль их оси, описанию кернов и отбору образцов для литолого-стратиграфических исследований.

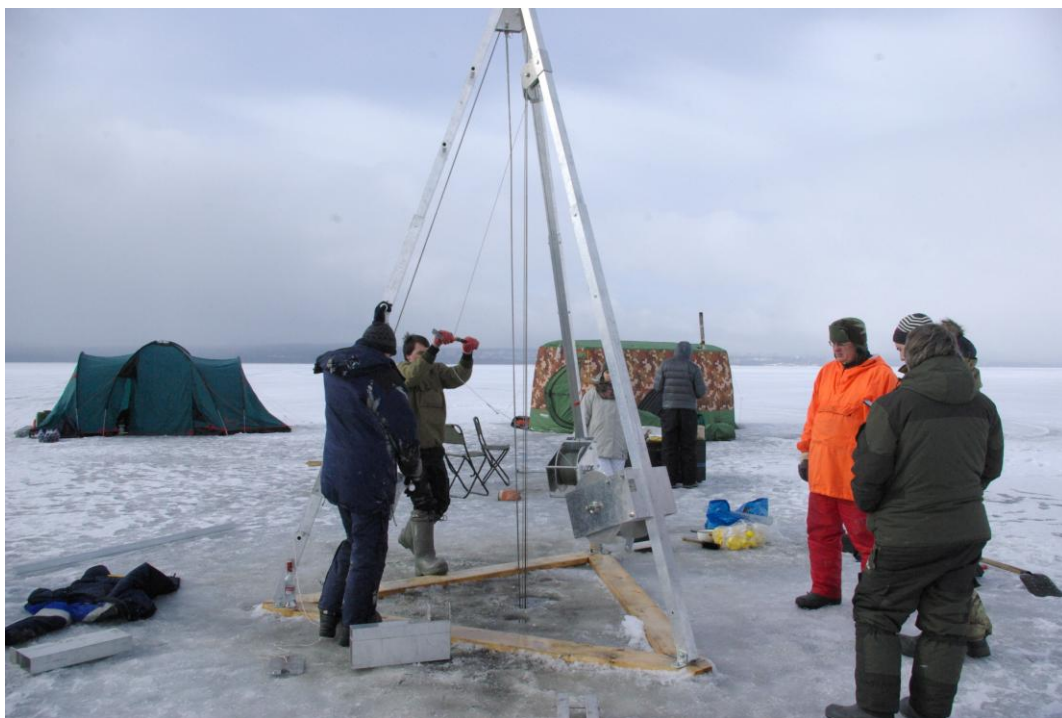


Рис. 3 Общий вид буровой установки. Момент ручного забивания бурового снаряда. На каждой из «ног» треноги прикреплены лебедки для спуско-подъемных операций

Выбор точек для буровых скважин проводился по данным сейсмоакустического профилирования, проведенного в 2016 года (Рис. 4). Было выбрано три точки (Рис.5), однако, бурение проводилось только в точках 1 и 3, т.к точка 2 оказалась в зоне торшения льдов.

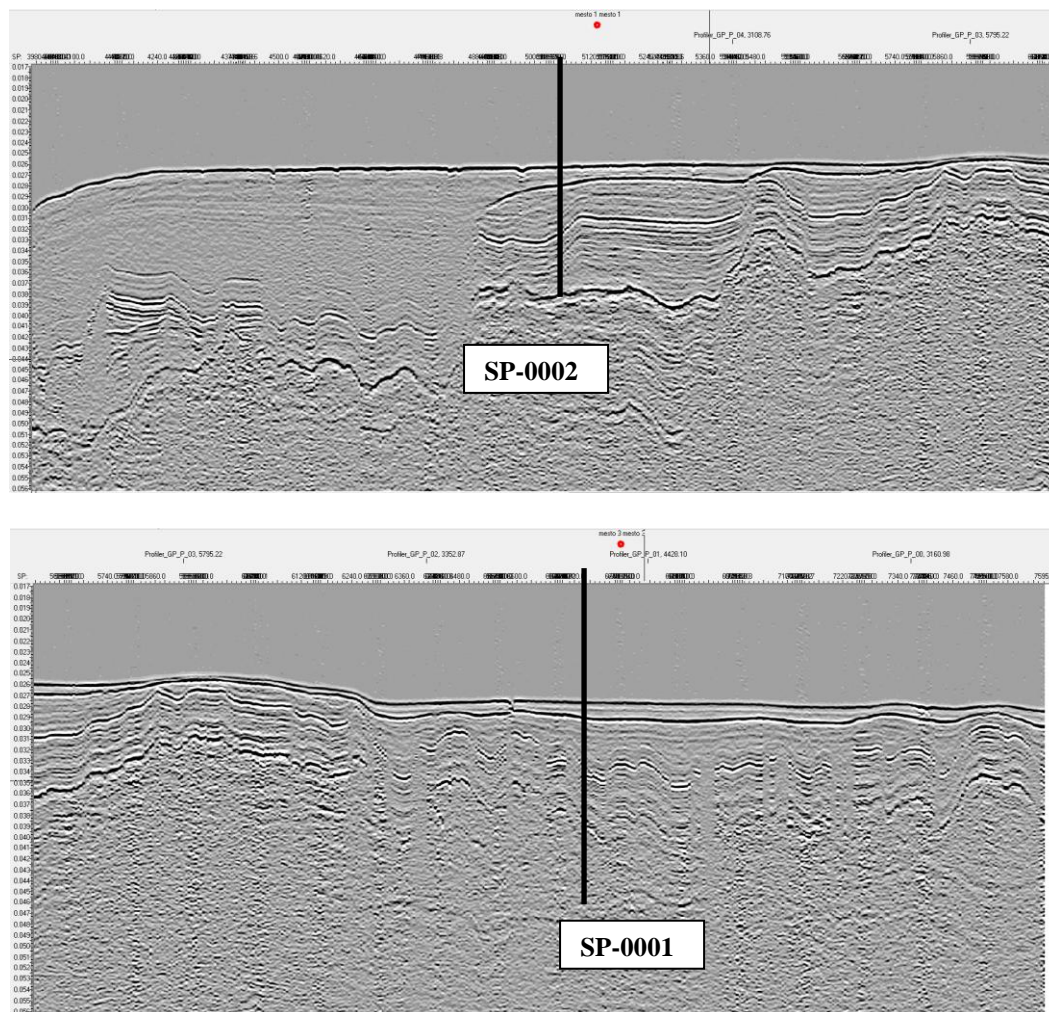


Рис.4 Положение буровых скважин на сейсмограммах

Первая из буровых скважин (т.н. 3) располагалась в зоне преимущественного развития ленточных глин, а вторая (т.н.1) - наоборот в зоне мощной толщи голоценовых озерных илов. Следует отметить, что сейсмоакустические данные были в целом подтверждены данными бурения, хотя оценка мощностей оказалась разной.

В результате проведенного бурения впервые был вскрыт весь разрез надледниковых отложений, включая верхние горизонты донной морены, которая по сейсмоакустическим данным перекрывает поверхность коренных пород. Наиболее древними из вскрытых отложений являются предположительно ледниковые и флювиогляциальные отложения позднего валдая, представленные очень плотными серыми супесями с большим количеством несортированного грубообломочного материала (т.н.3). В одном из кернов (т.н.1) при этом были подняты типичные русловые пески, возможно представляющие флювиогляциал.

Ледниковые образования перекрыты толщей ленточных глин, в которой предварительно можно выделить три литологические субпачки. Выше по разрезу залегают пачка ленточных глин, в которой по данным предварительного описания можно выделить три субгоризонта (снизу вверх): 1) ленточные глины бежевого цвета. Слоистость субгоризонтальная тонкая, консистенция мягкопластичная, 2) серые, мягкопластичные глины с горизонтальной микрослоистостью, 3) горизонт микроленточных глин серого цвета. Верхняя граница этих осадков четкая, представлена пачкой переслаивания серых глин и глинистых песков.



Рис.5 Схема расположения проектных точек бурения в Петрозаводской губе

Выше по разрезу залегает сложно построенная толща голоценовых нефелоидных лимниевых осадков, в основании которой залегает пачка тонких пепельно-серых алевропелитов, со стяжениями черных гидроокислов марганца которые условно сопоставляются нами по данным прежних исследований с ранним голоценом. Разрез венчается толщей зеленовато-серых с буроватым оттенком илов, отражающих озерную стадию развития Онежского острова, когда его воды проникли в депрессию Петрозаводской губы.

Таким образом, проведенное бурение вскрыло полный разрез отложений последнего гляциоседиментационного цикла, который ранее нами был описан по результатам исследований в 2016 году.

В настоящее время полученные материалы обрабатываются. Выполнена рентгенография кернов. Ожидаются результаты биостратиграфических исследований.

Данные исследования были проведены при поддержке гранта РФФ № 18-17-00176 и гранта РФФИ № 18-05-00303. В рамках первого гранта были оплачены буровые работы по Договору с Санкт-Петербургским университетом, а также определительские работы по палинологии, а при содействии второго были организованы работы по обработке керна и оплата литологических исследований. Кроме того для обоснования точек бурения были использованы материалы, полученные при поддержке грантов Санкт-Петербургского государственного университета № 18.42.1258.2014, 18.42.1488.2015, 0.42.956.2016 (для полевых исследований) и № 18.40.68.2017 (для закупки научного оборудования).

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность администрации и сотрудникам ИВПС за организацию полевых работ по проведению наледного бурения.

**PALEOGEOGRAPHY OF LAKES AND MARINE BASINS OF THE EASTERN PERIPHERY OF THE BALTIC CRYSTAL SHIELD IN LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE - RESULTS OF THE INVESTIGATION ON PROGRAM IN 2019**

<sup>1,2,3</sup>Rybalko A., <sup>3,4</sup>Subetto D., <sup>5</sup>Tokarev M., <sup>1,6</sup>Belyaev P., <sup>2</sup>Barymova A.,  
<sup>2,7</sup>Fedorov G., <sup>3</sup>Belkina N.

<sup>1</sup>FSBI VNIIOkeangeologiya

<sup>2</sup>Institute of Earth Sciences of SPSU

<sup>3</sup>Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences,

<sup>4</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia

<sup>5</sup>Lomonosov Moscow State University

<sup>6</sup>VSEGEI

<sup>7</sup>Arctic and Antarctic Research Institute

The report provides data on drilling Quaternary deposits from ice in the Petrozavodsk Bay of Onega Bay. This was preceded by complex geological and geophysical work. Based on them, locations for drilling 3 wells were selected (two wells 20 and 15 m long were actually drilled). In both wells, a complete section was opened to the moraine of the last glaciation. For the first time in the Onega Bay, moraine deposits were discovered under water. The organization of work, the features of the selected geological section and proposed processing methods are discussed.

Keywords: *Lake Onega, paleolimnology, continuous seismoacoustic profiling, geological sampling, bottom sediments, Quaternary sediments, paleogeography, Holocene, Neopleistocene, Quaternary drilling.*