

УДК 550.834.05

М.И. Алёшин<sup>1</sup>, В.Г. Гайнанов<sup>2</sup>, М.Ю. Токарев<sup>3</sup>, А.Е. Рыбалко<sup>4</sup>, Д.А. Субетто<sup>5</sup>

## ИЗУЧЕНИЕ ПРИДОННЫХ ОСАДКОВ В ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Научная компания ООО «Сплит», 121205, Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бульвар, д. 42, корп. 1  
Институт наук о Земле СПбГУ, 199178, Санкт-Петербург, 2л. 10-я линия В.О., 33–35

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
185000, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, 50

Moscow State University, Faculty of Geology, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Scientific company ООО “Split”, 121205, Moscow Innovation center Skolkovo, Bolshoy Boulevard, 42, corp. 1

Institute of Earth sciences SPBU, 199178, St. Petersburg, St. 10-ya Liniya V.O., 33–35

Institute of water problems of the North, Karelian research center RAS,  
185000, Republic of Karelia, Petrozavodsk, Prospect Alexandra Nevskogo, 50

Приводятся результаты геологической интерпретации данных инженерной сейсморазведки, полученных в ходе полевых работ на акватории Онежского озера. На обработанных сейсмограммах выделены сеймостратиграфические комплексы и дана их характеристика. Съёмка позволила в первом приближении составить сеймостратиграфическую схему четвертичных отложений Онежского озера, которая может быть использована для работ в открытой части водоема.

**Ключевые слова:** геология озер, лимнология, инженерная сейсморазведка, Онежское озеро.

This article examines the results of geological interpretation of marine engineering data acquired in Onega lake. The survey included marine seismic acquisition and geological sampling. Seismo-stratigraphic units were picked according to processed seismic data. Survey results allowed to make a seismo-stratigraphic column of quaternary sediments of Onega lake. The column could be used to analyze the structure of open part of the lake as well.

**Key words:** geology of lakes, limnology, seismic engineering, Onega lake.

**Введение.** В настоящее время палеолимнологические исследования относятся к ведущим способам восстановления палеогеографических условий в позднем неоплейстоцене—голоцене для регионов, в которых присутствует множество озер. Основное внимание при этом уделяется прямым методам изучения осадочных толщ: отбору керн рыхлых отложений гравитационными трубками и его последующему комплексному изучению литолого-геохимическими, геохронологическими, биостратиграфическими и другими методами. Кроме того, на малых озерах отработаны методика бурения толщи рыхлых отложений до коренного цоколя по перефирии озерного бассейна и высокоразрешающие биостратиграфические и литологические исследо-

вания на отобранном керне [Гурвич и др., 2017, Субетто, 2009]. Однако при изучении больших озер применение такой методики затруднено в связи с тем, что осуществить бурение с плотов и других малых плавсредств при большой глубине воды технически сложно и дорого. Сложность для бурения также может представлять наличие сокращенного разреза отложений, значительная часть которого сложена силикатными песками, значительно менее рыхлыми, чем илы или глины. Кроме того, крупнейшие озера обычно используются в качестве стратегического резерва питьевой воды для обширных территорий, что накладывает определенные ограничения на проведение на них производственных, в том числе геологоразведочных работ.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, аспирант; Научная компания ООО «Сплит», вед. геофизик; *e-mail*: maan@ifz.ru

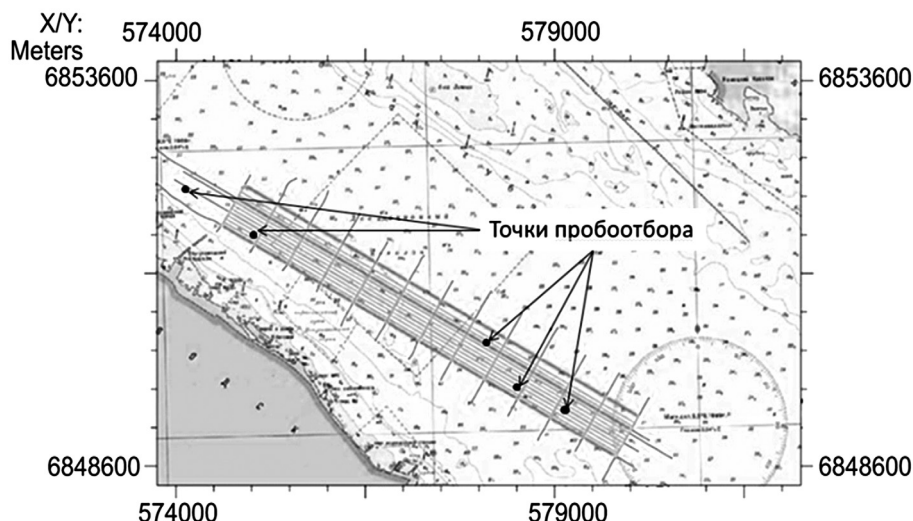
<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, профессор, доцент; *e-mail*: gainan@ya.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, вед. науч. с.; *e-mail*: tokarev@decogeo.com

<sup>4</sup> Институт наук о Земле, СПбГУ, кафедра геоморфологии, профессор; *e-mail*: rybalko@sevmorgeo.com

<sup>5</sup> Карельский научный центр РАН, лаборатория палеолимнологии Института водных проблем Севера, ст. науч. с.; *e-mail*: dsubetto@nwpi.krc.karelia.ru

Рис. 1. Карта фактического материала по результатам полевых исследований 2016 г. По оси ординат и абсцисс — координаты площадки в системе UTM-36N (WGS-84)



Отсутствием бурения и пробоботбора с вибротрубками в крупных озерах обусловлена недостаточная степень изученности структуры и осадочного чехла озер. В связи с этим большое значение приобретают дистанционные геофизические и прежде всего сейсмоакустические методы, которые позволяют наглядно получить представление о форме геологических тел и в результате определить генезис слагающих их осадочных образований. Выделение в сейморазрезе отличающихся по физическим свойствам толщ и присвоение им предполагаемого или достоверного возраста в свою очередь представляет собой надежный метод для воссоздания палеогеографических условий и тесно связанного с ними чередования наземных и подводных ландшафтов.

**Материалы и методы исследований. Изученность объекта исследований и постановка задачи.** В Онежском озере до настоящего времени сейсмоакустические работы проводились крайне редко. В 2002 г. силами ФГУП НПП «Полярная МГРЭ» проведено непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП) по сети редких профилей в рамках геолого-съёмочных работ масштаба 1 : 500 000 в южной части акватории Онежского озера [Макарьев, 2011, 2001; Максимов и др., 2015]. Кроме того, сейсмоакустическое профилирование для выбора постановки скважин в северной части озера в XXI в. провели финские исследователи [Saarnisto, Saarinen, 2001]. К сожалению, и те, и другие данные в настоящее время труднодоступны, а их анализ в публикациях отсутствует.

Новый этап сейсмоакустических исследований на Ладожском и Онежском озерах был начат в 2014 г. в рамках комплексной Программы по изучению палеогеографии и формирования палеоландшафтов в позднем неоплейстоцене и голоцене в крупных озерных и морских бассейнах по восточной периферии Балтийского кристаллического щита, которая была предложена сотрудниками Института водных проблем Севера КарНЦ РАН с

привлечением геофизиков из МГУ имени М.В. Ломоносова, а также сотрудниками Института наук о Земле СПбГУ. В рамках этой программы в 2016 г. были проведены комплексные геолого-геофизические работы на полигоне «Петрозаводская губа» [Алёшин и др., 2018]. Эти работы были продолжены в 2017 и 2018 гг. Выбор Петрозаводской губы в качестве ключевого участка обусловлен обнаружением скоплений газа в донных осадках по данным сейсмоакустических исследований в 2015 г., а также доступностью этого участка для организации комплексных исследований.

В задачи работ входило изучение строения и сейсмогеологических характеристик рыхлого чехла Онежской губы комплексом геофизических методов, включающим акустический профилограф, гидролокатор бокового обзора, сейсмоакустическое профилирование, с целью последующего использования результатов при расширении подобных работ на акваторию открытой части Онежского залива; структурная интерпретация геофизических данных для составления сводного сеймостратиграфического разреза; выбор мест для геологических станций, как для целей привязки геофизических данных, так и для получения комплексной литостратиграфической и биостратиграфической характеристик отложений и для оценки содержания газов в донных отложениях. Рассмотрим интерпретацию сейсмоакустических данных, полученных в ходе полевых изысканий.

**Материалы и методы исследований. Методика геолого-геофизических работ.** Работы выполнены в Петрозаводской губе Онежского озера. Ключевой участок находился в южной части губы, где выполнено более 10 продольных профилей северо-западного простирания длиной 10 км с шагом 100 м, а также 13 поперечных профилей длиной 0,7 км (рис. 1). Съёмка проведена с нового научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Зенкевич», специально приспособленного для

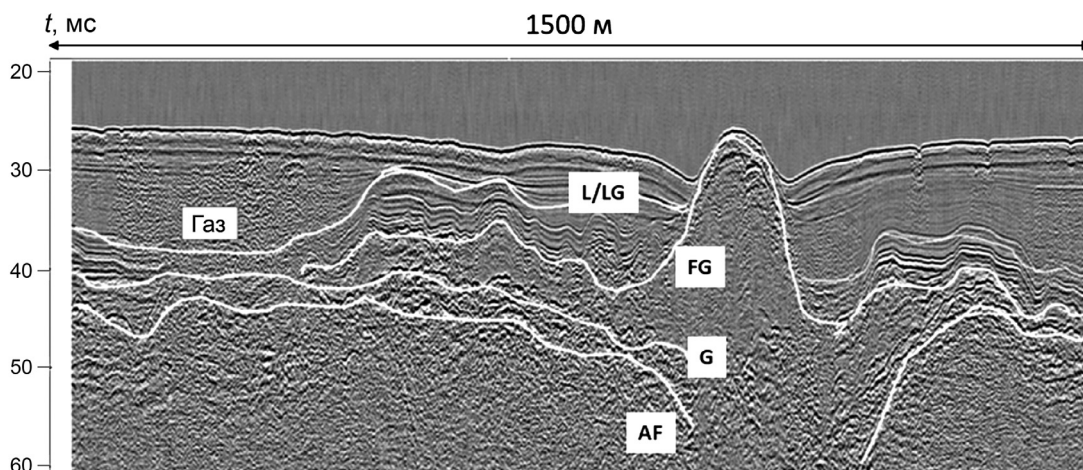


Рис. 2. Сейсмоакустический профиль 3\_1. Суммированный разрез ОСТ, полученный методом ССВР, с помощью источника типа «бумер», центральная частота 1500 Гц. Белые линии — отражающие сейсмоакустические горизонты. Буквенные обозначения — названия интерпретируемых сейсмокомплексов. Описания и названия комплексов см. в тексте

проведения геофизических и геологических работ на шельфовых морях и крупных озерах Северо-Запада России.

Геофизический комплекс включал в себя сейморазведку сверхвысокого разрешения (ССВР, центральная частота 1500 Гц) с источником «бумер» и 16-канальной аналоговой сеймокозой, сейморазведку ультравысокого разрешения (СУВР, центральная частота 10 кГц) с параметрических профилографом SES-2000 «Light», гидролокацию бокового обзора (ГЛБО) с «Klein450». Антенна профилографа была жестко закреплена на штанге у борта судна, остальные устройства буксировали за судном. Для высокоточного позиционирования работ использована навигационная система «Trimble R7», работавшая в режиме RTK. Этот комплекс позволяет проводить детальные исследования дна и поддонных границ, обеспечивая глубинность до 50–100 м, в зависимости от сейсмогеологических условий региона.

По данным СУВР выбирали места для станций геологического пробоботвора. На каждом из них было выполнено 4 спуска ударной грунтовой трубки длиной 3 м и отобраны пробы для литологических, биостратиграфических, газогеохимических и физико-механических исследований.

#### Результаты исследований и их обсуждение.

**Результаты сеймостратиграфического анализа.** Одна из главных задач исследований — сеймостратиграфическое расчленение толщи рыхлых осадков. Учитывая отсутствие на момент начала работ для Петрозаводской губы, как и вообще для Онежского озера, надежных стратиграфических данных, идентификацию толщ на сейсмограммах проводили в соответствии с легендой Балтийской серии листов для Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 [Максимов и др., 2015] и результатах ранее проведенных сейсмоакустических исследований на Ладожском озере и Финском заливе [Method., 2018].

Пример сеймостратиграфического расчленения четвертичных отложений приведен на рис. 2. На приведенной выше сейсмограмме выделены следующие сеймостратиграфические единицы (снизу вверх).

Наиболее глубокая отражающая граница, представляющая акустический фундамент (рис. 2, горизонт AF). Эта граница неровная, ниже нее не отмечены другие отражающие горизонты. Перепады уровня поверхности могут достигать 10 м и более. Во всех внутренних бассейнах Северо-Запада России эта граница ассоциируется с кровлей кристаллического фундамента [Максимов и др., 2015; Рыбалко и др., 2017] (рис. 2).

На акустическом фундаменте залегает толща отложений с характерной хаотической записью, отражающей чешуйчатое строение толщи вмещающих отложений. Традиционно, принимая во внимание форму залегания геологических тел, а также положительный рельеф кровли и структуру самой толщи, эти отложения относят к ледниковым образованиям, а именно к основной или донной морене, формирующейся при таянии ледника. Ледниковая природа этого комплекса подтверждена геологическими данными для Ладожского озера и Кандалакшского залива Белого моря [Рыбалко и др., 2017; Rybalko et al., 2018]. В кровле ледниковых голоценовых отложений выделен четкий отражающий горизонт (рис. 2, горизонт G), который имеет преимущественно площадное распространение. Однако в единичных местах он выделяется локально. Это связано с несплошным распространением моренных отложений на дне Петрозаводской губы, преимущественно в виде гряд. Высокая амплитуда этой отражающей границы связана с высокой плотностью моренных отложений (до 2,1 г/см<sup>3</sup> [Рыбалко и др., 2017]).

Отражающая граница FG (рис. 2, горизонт FG) развита локально. Она проходит по поверхности гряды в центральной части полигона (рис. 3),

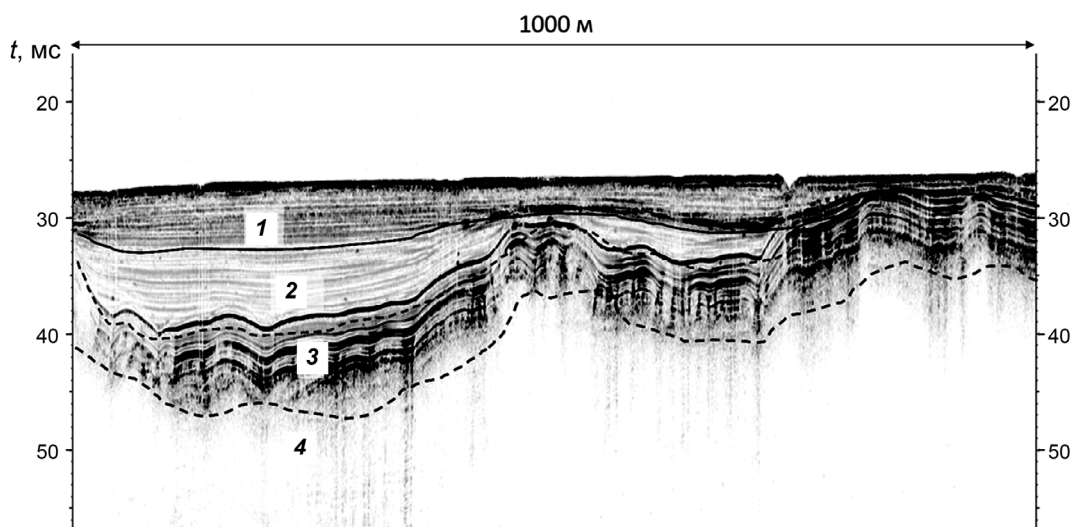


Рис. 3. Пример данных, полученных методом СУВР с профилографом SES-2000 Light. Центральная частота сигнала 10 кГц. Сейсмостратиграфические горизонты: 1 — озерные нефелоиды голоценового возраста (InH); 2 — ледниково-озерные отложения позднелепистоценового возраста (верхняя пачка, IgIII<sup>2</sup>); 3 — ледниково-озерные отложения позднелепистоценового возраста (нижняя пачка IgIII<sup>1</sup>); 4 — ледниковые отложения (gIII)

а также по поверхности погребенного тела с однородным заполнением и редкими элементами слоистой текстуры, которые составляют с грядой одно целое. Так как эти отложения залегают на морене и перекрыты ледниково-озерными глинами, время их формирования можно соотнести с дегляциацией Осташковского оледенения [Saarnisto, Saarinen, 2001]. Мы предполагаем, что в генетическом отношении гряда и сопутствующие отложения относятся к флювиогляциальным, а сама гряда — к озам. Доказательством этому служит морфология гряды, а также результаты пробоотбора, показывающие повышенную плотность слагающих эту гряду отложений, о чем свидетельствуют возникновение зон эрозии у ее подножия и яркая отражающая граница кровли. Приуроченность к ложбине в кристаллическом фундаменте, которая, возможно, служила каналом ледникового стока подтверждает наше предположение. Сама гряда в плане имеет сложное строение: на юг она разветвляется, а на север основная гряда постепенно погружается под осадочные образования. Впрочем, отсутствие прямых геологических данных позволяет также выдвинуть гипотезу, что это ледниковые (моренные) образования одного из завершающих стадий Осташковского оледенения.

Отражающая граница L/LG (рис. 2, горизонт L/LG) расположена на контакте между отчетливо слоистой толщей и полупрозрачной толщей с слабо проявленной волнистой слоистостью. Эта толща опробована колонками ONG-1 и ONG-5, где вскрыты типичные ленточные глины светло-бурого цвета с градиционной слоистостью, мощность осадков для разных ритмов колебалась от 0,8 до 2,0 см. В колонке ONG-5 по данным спорово-пыльцевого анализа описаны слои от аллерета до позднего дриаса, т.е. подтвержден их поздне-

ледниковый возраст. Таким образом, осадочные образования, залегающие между отражающими горизонтами LG/G и G (FG), сформировались в приледниковом озере при отступлении Осташковского оледенения. А сам отражающий горизонт LG/G можно идентифицировать как раздел между голоценовыми морскими и ледниково-озерными верхнелепистоценовыми отложениями.

Между поверхностью озерного дна и отражающим горизонтом LG/G находится толща осадков, характеризующаяся акустически прозрачной волновой картиной, иногда с намечающейся слоистостью. Опробование в Петрозаводской губе показало, что эти осадки представлены тонкозернистыми разностями (пелитами и алевропелитами) с текучей и текуче-пластичной консистенцией со стяжениями, иногда имеющими полосчатость, сложенными черными гидроксидами Mn. Это типичные нефелоидные озерные илы.

Дополнительная информация для литостратиграфического расчленения донных отложений и характеристики подводных ландшафтов получена при интерпретации записей профилографа (рис. 3). На записи практически отсутствует граница между мореной (рис. 2, линия G) и ледниково-озерными отложениями, так как морена для профилографа является акустическим фундаментом. Отметим, что мощность ледниково-озерных осадков велика, что приводит к ослаблению высокочастотного акустического сигнала. В структуре озерно-ледниковой толщи четко выделяются две пачки: нижняя, к особенностям волновой картины которой относится наличие относительно мощных парных слоев (рис. 3, IgIII<sup>1</sup>), и верхняя полупрозрачная с тонкой облекающей слоистостью (рис. 3, IgIII<sup>2</sup>). Нижняя пачка отражает начальную (проксимальную) стадию развития приледнико-

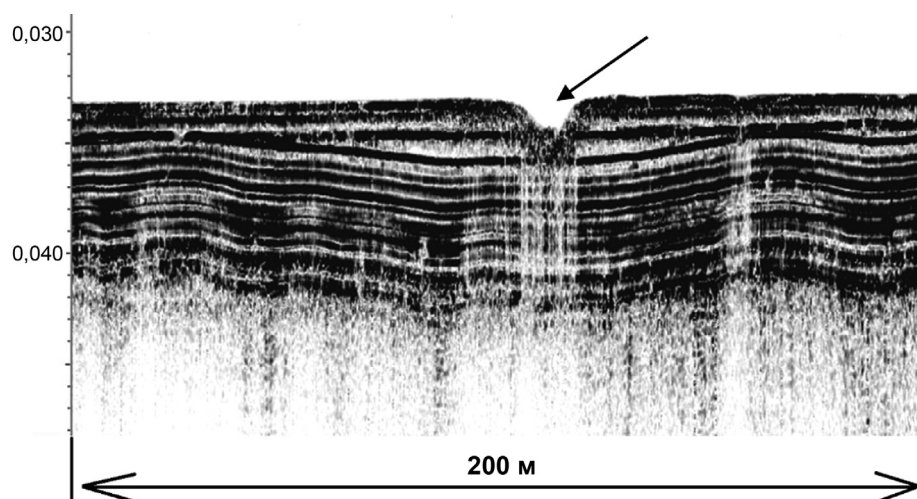


Рис. 4. Пример данных, полученных методом СУВР в месте разгрузки газа. Стрелкой показано понижение в рельефе, соответствующее покмарку. Заметно ослабление амплитуды сейсмической записи, вероятно, вызванное наличием газа в осадках

вого бассейна, а верхняя — стадию зрелого озера, существовавшего в позднем неоплейстоцене, когда уже сформировался сток в Ладожское озеро [Потахин и др., 2016].

По мере продвижения на восток, где мощность ледниково-морских осадков существенно снижается, изменяется и характер отражающего горизонта, идентифицированного в качестве кровли ледниково-озерных глин. Яркость отражения от этого отражающего горизонта существенно возрастает, что указывает на увеличение акустической жесткости. Вероятно, это связано с увеличением содержания песка, а появление границы — с разрывом и сокращением разреза подстилающих глин.

Приблизительно так же выглядит и поверхность озерного дна (самый верхний отражающий горизонт). В восточной части, где практически к самой поверхности дна подходит нижняя пачка ледниково-озерных глин, резко возрастает и акустическая жесткость. Это связано с изменением литологического состава донных осадков: на северо-западе развиты преимущественно пелиты и алевропелиты, которые на поднятии подстилающих горизонтов сменяются песками. Происходит существенное изменение и биологической составляющей донных ландшафтов, которые тесно связаны с составом донных отложений.

Таким образом, сейсмоакустическое профилирование в Петрозаводской губе с двумя разночастотными (ССВР и СУВР) сейсмоакустическими системами позволило составить в первом приближении сеймостратиграфическую схему четвертичных отложений Онежского озера, состоящую из (сверху вниз):

- озерные нефелоидные илы голоценового возраста ( $lnIH$ );

- ледниково-озерные слоистые глины позднеоплеистоценового возраста ( $lgIII_{ost}$ ). Как в первом, так и во втором случае в выделенных горизонтах возможно (особенно с помощью высокочастотного профилографа) выделение подгоризонтов, что и продемонстрировано на рис. 3;

- флювиогляциальные отложения ошашковского горизонта ( $fgIII_{ost}$ );

- ледниковые отложения ошашковского горизонта ( $gIII_{ost}$ ).

Предложенная схема близка к аналогичным для Ладожского озера, а следовательно, ее можно использовать и при изучении открытой части Онежского озера. В 2018 г. были проведены такие работы. Предварительная интерпретация сейсмоакустических данных показала, что описанный разрез, характерный для Петрозаводской губы, полностью согласуется с региональной сеймостратиграфической легендой и может быть использован для идентификации слоев на сеймограммах и для других районов Онежского озера. В настоящее время ведется обработка материалов, полученных в южной и центральной частях озера.

К задачам работ в Петрозаводской губе относился и поиск газовых скоплений в донных осадках. Это имело как утилитарное значение, связанное с положением возможных выбросов газа в непосредственной близости от г. Петрозаводск — столицы Карельской Республики РФ, так и методическое. Рассмотрим методические вопросы, связанные с изучением газовой выделений, которые затем предполагалось использовать при работах на арктическом шельфе, на объектах нефтегазовой отрасли, где этим вопросам уделяется самое пристальное внимание.

Выявление и оконтуривание скоплений газов в Петрозаводской губе проводилось с использованием всех геофизических методов. Сразу оговоримся, что крупные скопления газа в описываемом районе отсутствуют. Однако на сеймограммах, в зонах повышенной мощности осадочных образований, часто отмечалось отсутствие всех отражающих горизонтов и другие признаки наличия газонасыщенных осадков (рис. 2). Еще лучше скопления газифлюидов отражаются на записях профилографа, где в случае появления газов обширные участки сейсмограмм характеризуются практически полным исчезновением доступного для интерпретации

изображения. На записях же профилографа часто можно увидеть и многочисленные точки («яркие пятна»), указывающие на скопления газов. Здесь же обычно проявляются и характерные структуры выхода газофлюидов из грунта — покмарки [Алешин и др., 2018].

Геофизические данные получили подтверждение и в данных геологического пробоотбора. В кернах донных осадков, отобранных в местах выявления скоплений газов по данным СУВР, было заметно активное выделение газов, что фиксировалось по появлению пор, захватывающих значительные площади керна (рис. 4). Полученные в лаборатории томографические снимки геологических образцов также показали наличие в таких колонках большого количества пор, многие из которых имели вытянутую форму, образовывали цепочки, которые вытягивались вверх по керну. Геохимические исследования подтвердили преимущественно метановый состав выделяемых газов. [Inland Watter Biology, 2018].

Таким образом, можно считать, что в Петрозаводской губе мы имеем дело с двумя источниками газа. Первый из них связан с деструкцией органического вещества и его диагенетическом преобразованием, второй источник — предположительно глубинные газы, проникающие в водную толщу по активизировавшимся в настоящее время нарушениям, о чем свидетельствует и пространственное расположение покмарок [Inland Watter Biology, 2018]. Исследования показали, что комплексное использование геофизических методов, т.е. одновременное применение нескольких сейсмоакустических систем, работающих на различных частотах, позволяет получить объем информации, достаточный для предварительного сейсмостратиграфического расчленения толщ, а также для выявления скоплений газов в донных осадках (рис. 5).

**Выводы.** 1. Создана сейсмостратиграфическая схема строения четвертичных отложений. Проводимое в настоящее время литостратиграфическое изучение образцов керна, отобранных в точках на дне и выбранных по результатам интерпретации данных непрерывного сейсмоакустического профилирования, позволит получить полное представление о смене палеогеографического режима на рассматриваемой территории в конце позднего неоплейстоцена—голоцена, а дополнительные работы по интерпретации локации бокового обзора позволят получить представление о развитии здесь в это время подводных ландшафтов.

В ходе исследований в Петрозаводской губе выделены флювиогляциальные отложения, парагенетически связанные со структурными депрессиями в кровле кристаллического фундамента, это заставляет предполагать наличие на ранних стадиях дегляциации наличие крупных подледных



Рис. 5. Пример записи ГЛБО, полученной на Онежском полуострове. Белым кругом обведено положение одного из покмарков. Понижение в рельефе имеет изометрическую форму и радиус ~5 м

потоков, которые впоследствии превратились в потоки талых вод вдоль фронта отступающего ледника. Возможно, что форма Петрозаводской губы, как и других северных заливов Онежского озера, связана, по крайней мере с точки зрения моделирования стадий геологического развития региона, именно с этими потоками. Таким образом, структурный фактор является определяющим в формировании постледникового, в том числе аккумулятивного рельефа в северной части озера.

Геофизические исследования, сопровождавшиеся выборочным пробоотбором, позволили оконтурить места распространения газа, предварительно разделить их по типу источника газа на биогенные и, возможно, связанные с зонами активизированных разломов.

По результатам работ можно обоснованно считать, что комплексные сейсмоакустические исследования, дополненные другими инженерными и геофизическими методами, могут послужить реальным прототипом комплекса геофизических исследований, используемого как при геологической съемке шельфа в среднем и мелком масштабе, так и для инженерно-геофизических изысканий.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках темы «Разработка программно-аппаратных комплексов для поиска, разведки, геофизического и геохимического мониторинга разработки месторождений углеводородов, в т.ч. в труднодоступных регионах и сложных природно-климатических условиях» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации с использованием оборудования приобретенного по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова (Соглашение № 14.607.21.0187 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60717X0187).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алёшин М.И., Миронюк С.Г., Рыбалко А.Е. и др. Первые итоги изучения покмарок Онежского озера // Процессы в геосредах. 2018. Т. 1, № 14. С. 732–740.
- Гурвич В.А., Потахин М.С., Субетто Д.А. Стратиграфия донных отложений реликтовых водоемов Онежского озера (на примере оз. Полевское) // Астрах. вестн. кол. образования. 2017. № 3 (41). С. 4–13.
- Макарьев А.А. Объяснительная записка к листу Р-36-XXX по производству геологической съемки 1 : 500 000 дна Онежского озера. СПб., 2001.
- Макарьев А.А., Макарьева Е.М., Киселев А.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение) / Максимов А.В., Богданов Ю.Б., Воинова О.А. и др. / Серия Балтийская. Лист Р-35, 36, Петрозаводск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 400 с.
- Потахин М.С., Субетто Д.А., Зобков М.Б. и др. Реконструкция развития Онежского озера в позднеледниковые ГИС-методами // Палеолимнология Северной Евразии. Опыт, методология, современное состояние. Proceed. of the Intern. Conf.. North-Eastern Federal University, Russian Academy of Sciences. 2016. P. 99–102.
- Рыбалко А.Е., Журавлев В.А., Семенова Л.Р. и др. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного Беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене-голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 16–84.
- Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ имени А.И. Герцена, 2009. 339 с.
- Rybalko A., Tokarev M., Aleshin M. et al. New data on the structure on Quaternary sediments and modern geodynamic movements in Lake Ladoga // Lateral-Interglacial transition: glaciotectonic, seismoactivity, catastrophic hydrographic and landscape changes: INQUA Peribaltic Working Group Meeting and Excursion 2018 Intern. Sci. Conf. and School for Yung Scientist, 19–25 August 2018: Excursion and Abstr. Petrozavodsk: Karelian RC of RAS, 2018. P. 101–102.
- Rybalko A., Tokarev M., Subetto D. et al. Methods of conducting complex studies to restore the paleolimnological conditions and underwater landscapes of large lakes by the example of Petrozavodsk Bay of Lake Onega // Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientist school in microscopy skills in Paleolimnology: proceedings of the 3rd International Conference (Kasan, Republic of Tatarstan, Russia, 1–4<sup>th</sup> of October, 2018). Kasan: Kasan University, 2018, P. 96–98.
- Saarnisto M., Saarinen T. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the lake Onega basin to the Salpausselkyä End Moraine // Global and Planet. Changes 2001. Vol. 31. P. 333–405.
- Subetto D., Rybalko A., Tokarev M. Lithostratigraphy of deposits and pockmarks in the Petrozavodsk Bay, Lake Onega, Russia // Inland Waters, 2019 (in press).

Поступила в редакцию 19.02.2019

Поступила с доработки 27.02.2019

Принята к публикации 27.02.2019