

Слаженная работа судового состава под руководством капитана А.А. Пылина, научного состава экспедиций ОАО «МАГЭ» и ОАО «Севморгео» позволила выполнить сейсмические исследования данного этапа комплексной экспедиции «Арктика-2014» с наименьшими потерями оборудования и получить материалы хорошего качества.

Подводя итоги комплексной геофизической экспедиции «Арктика-2014», необходимо отметить, что она выполнила очередной важный этап в деле изучения строения недр Северного Ледовитого океана. Полученные результаты имеют научную и практическую

ценность как для задач определения внешней границы континентального шельфа России, так и изучения геологической структуры недр океана в целом.

Результаты экспедиции были учтены в Пересмотренной частичной заявке по установлению внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане, поданной Россией в Комиссию по границам континентального шельфа ООН 4 августа текущего года.

*С.Н. Табырца, Н.Е. Леонова (ОАО «Севморгео»),  
О.Ю. Корнеев (АНИИ)*

### СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАД АКВАТОРИЕЙ ОЗЕРА ВОСТОК (ЦЕНТРАЛЬНАЯ АНТАРКТИДА) И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ МЕТОДОМ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН 60-й РАЭ

Сейсморазведка занимает особое место среди дистанционных геофизических методов, применяемых при изучении подледниковых водоемов в Центральной Антарктиде. По сути, этот метод единственный, который позволяет установить, что подледная среда представлена водным слоем, выполнить прямые измерения его толщины, а также сформировать представление о строении земной коры ниже поверхности ледникового покрова и дна подледникового озера.

Первые сейсмические наблюдения, получившие геологическую интерпретацию, в районе открытого впоследствии озера Восток были выполнены совместно с гравиметрическими в период 1958–1964 гг. в рамках внутриконтинентальных походов. Задачами исследований тогда являлось измерение мощности ледникового покрова и изучение подледного рельефа. Согласно полученным результатам, мощность ледника в районе станции Восток составляла около 3700 м. На некоторых сейсмограммах ниже границы ледового ложа было зафиксировано второе отражение, которое в то время объяснялось наличием толщи осадочных пород мощностью около 500 м.

Впоследствии в этом районе были получены и другие геофизические данные, указывающие на существование под ледниковым покровом обширного водоема, как опубликованные, так и не получившие в нужное время широкой огласки. Однако комплексное осмысление разрозненных сведений стало возможно только после появления в 1993 г. алтиметрических данных, полученных с помощью спутника ERS-1, по которым была выявлена субгоризонтальная ледовая поверхность, расположенная к северу от российской станции Восток.

С учетом этих данных в 1996 г. на основании повторной интерпретации сейсмических материалов ранних антарктических экспедиций был построен новый разрез, на котором выделялся ледниковый покров мощностью 3700 м, ниже которого располагался водный слой толщиной около 500 м. Тогда же было сделано и предположение о рифтовой природе депрессии, к которой приурочено озеро. Описанный подледниковый водоем было предложено назвать озером Восток. Таким образом, с этого момента подледниковое озеро Восток начало свое существование как общепризнанный географический объект, став одним из крупнейших геогра-

фических открытий второй половины XX века. Тогда же ПМГРЭ в тесном сотрудничестве с РАЭ начала систематические геофизические работы по изучению этого уникального природного феномена. Основными применяемыми методами в то время являлись сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ), перед которой стояла задача определения параметров водного тела озера Восток, и радиолокационное профилирование, сосредоточенное на выяснении положения его береговой линии.

На начальном этапе этих работ (1995–2001 гг.) особое внимание уделялось методическим аспектам. Были разработаны уникальные подходы, позволяющие получать качественные сейсмические и радиолокационные данные. Крайне важным научным результатом этого этапа исследований стало инструментальное подтверждение наличия водного слоя в районе станции Восток. Для этого были проведены специальные сейсмические исследования, доказывающие, что подледная среда является именно водным телом. Кроме того, в глубокой ледяной скважине 5Г-1, расположенной на станции Восток, было выполнено вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) с целью определения акустических параметров ледника, что позволило определить расстояние от забоя до воды и существенно увеличило достоверность и точность всех последующих измерений.

Период изучения озера Восток как географического объекта продолжался до 2008 г. К этому времени было получено достаточно данных, чтобы сформировать целостное представление о рельефе подледной и подводной поверхности этого района, а также определить параметры водного тела. Несмотря на то, что сейсмо-радиолокационные исследования не были сосредоточены на изучении геологического строения этого района, в процессе получения новых данных неоднократно поднимался вопрос о наличии и особенностях строения осадочного чехла во впадине озера Восток. На многих сейсмограммах ниже поверхности дна фиксировались отражения от более глубоких границ, но методические особенности МОВ не позволяли сделать однозначных выводов.

Поскольку с точки зрения понимания природы и эволюции формирования озера Восток вопрос о наличии

и строении осадочного чехла является очень важным, было принято решение сосредоточить возможности сейсморазведки на изучении разреза верхней части земной коры этого района. С этой целью в 2008 г. (54-я РАЭ) ПМГРЭ совместно с РАЭ приступает к выполнению сейсмических исследований методом преломленных волн (МПВ). Особенности этого метода заключаются в том, что за счет значительного удаления расстановки пунктов приема сигнала от пункта возбуждения на сейсмограммах выявляются не только отраженные волны, характеризующие глубину залегания изучаемых границ, но и преломленные волны, которые позволяют определить скорости распространения упругих колебаний в породах земной коры и охарактеризовать их состав.

Основываясь на большом опыте выполнения сейсмических работ в этом районе, было решено изучать структуру желоба озера Восток по новой схеме, согласно которой сейсмопрофили были бы ориентированы вдоль основного направления простираения озерной структуры. Несмотря на то, что этот подход увеличивает временные затраты, он позволяет минимизировать количество помех в волновом поле, связанных с перетражениями волн от крутых бортов узкого желоба. Сейчас можно сказать, что эта схема себя оправдала; с 2008 г. по ней были выполнены два профиля (в прямом и обратном направлении). Один — на западном борту котловины озера, а второй — в ее южной части. Полученные материалы позволили впервые определить скорости распространения упругих колебаний ниже подледно-подводной поверхности и охарактеризовать раз-

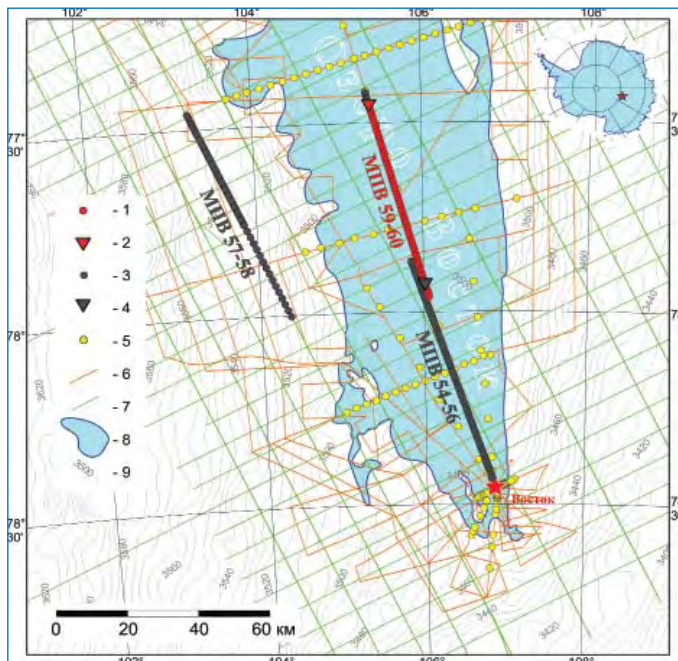


Схема геофизической изученности и расположение работ МПВ:  
 1 – положение пунктов приема работ МПВ 60-й РАЭ; 2 – положение пункта возбуждения работ МПВ 60-й РАЭ; 3 – положение пунктов приема работ МПВ 54–59-й РАЭ; 4 – положение пункта возбуждения работ МПВ 59-й РАЭ; 5 – пункты зондирования МОВ в 41–50-й РАЭ; 6 – наземные отечественные работы РЛП; 7 – зарубежные площадные аэрогеофизические работы; 8 – подледная поверхность озера Восток; 9 – изолинии высот поверхности ледового покрова.

рез земной коры в районе озера Восток. По этим данным стало возможно предположить в пределах южной части акватории наличие высокоплотных консолидированных, вероятно метаосадочных пород, залегающих на кристаллическом фундаменте. На прилегающей к озеру с запада территории подледниковое основание также сложено очень плотными, возможно слабометаморфизованными осадочными породами, мощностью около 1,5 км.

В полевой сезон 2014/15 г. (60-я РАЭ) сейсмические исследования методом МПВ были продолжены в центральной части котловины озера Восток, а именно в наиболее глубоководной ее области. В настоящий момент полученные материалы находятся в стадии обра-

ботки, но уже сейчас можно сказать, что они позволяют расширить представления о строении земной коры в этом районе и получить дополнительные сведения об истории образования и развития подледникового озера Восток.

Как и в предыдущие годы, полевые исследования котловины озера Восток 60-й РАЭ выполнялись сейсмическим отрядом ПМГРЭ в специализированном научном санно-гусеничном походе (СГП). На сейсмическом профиле протяженностью 60 км было выполнено 6 физических наблюдений (ф.н.) в 60 пунктах приема (п.п.). На сводной полевой сейсмограмме выявлены целевые волны, характеризующиеся прямолинейными годографами и кажущимися скоростями  $V = 5,4$  км/с и  $V = 6,4$  км/с. Эти волны связаны с границами в земной коре, залегающими ниже дна подледникового озера Восток.

Интерпретацию полученных данных существенно облегчило наличие информации о строении подледной

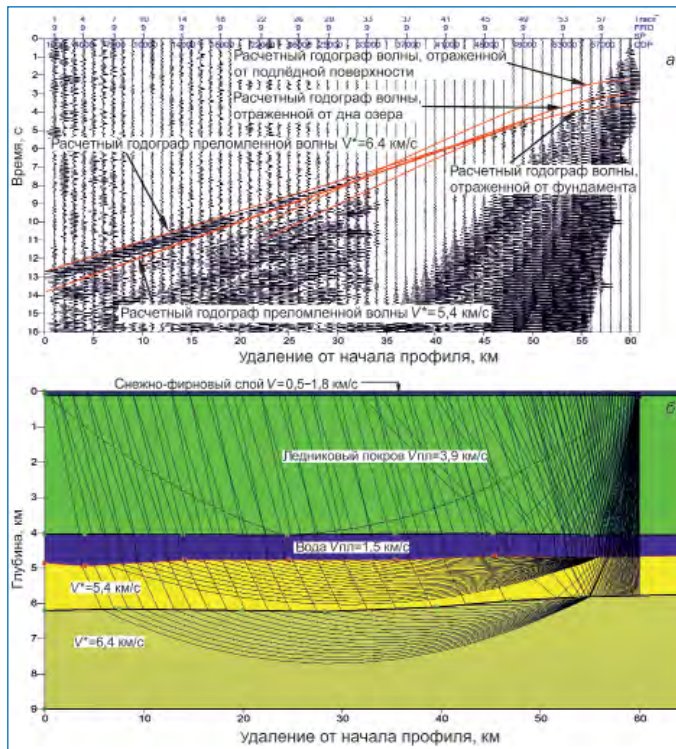
Работа СГП-2–3 в 60-й РАЭ на пункте возбуждения.





и подводной поверхности, которая базируется на данных радиолокационных и сейсмических исследований методом отраженных волн, выполненных ПМГРЭ в предыдущих экспедициях. Предварительное полевое моделирование геолого-геофизического разреза осуществлялось на основе полученной характеристики скорости распространения упругих колебаний в разрезе земной коры и с учетом материалов сейсмических исследований МОВ, выполненных в 44, 45 и 50-й РАЭ. По сейсмическим данным профили подледной и подводной поверхности. Сопоставление расчетных годографов с наблюдаемыми указывает на то, что первая волна ( $V = 5,4$  км/с) является преломленной на поверхности дна озера Восток, а вторая ( $V = 6,4$  км/с) — на поверхности кристаллического фундамента. Другими словами, можно сказать, что в депрессии озера Восток присутствует относительно низкоскоростной слой ( $V = 5,4$  км/с) на поверхности кристаллического фундамента, который может являться консолидированными осадочными, возможно, слабометаморфизованными породами. На полевом этапе исследований мощность этого интервала оценивается примерно в 1 км, но будет уточняться в результате окончательной обработки материалов. При этом стоит отметить, что полученные материалы не исключают полного отсутствия на дне озера Восток более рыхлых осадков. В случае, если их мощность не превышает 100–200 м, при сохранении применяемой методики исследований обнаружить их будет достаточно трудно.

Несмотря на то, что присутствие дополнительного комплекса пород в разрезе земной коры ниже дна озе-



Сопоставление наблюдаемых годографов с расчетными (а) и предварительный геолого-геофизический модельный разрез (б).

яющееся полным отсутствием или крайне малой мощностью осадочных образований современного этапа в этой депрессии, может объясняться либо малым геологическим возрастом водного тела, либо крайне низкой скоростью седиментации. Последнее может быть обусловлено отсутствием привноса осадочного материала вследствие консервации экзогенных процессов ледниковым покровом. И в том и в другом случае полученные результаты могут указывать на то, что озеро Восток сформировалось, вероятно, после появления в этом районе устойчивого покровного оледенения.

С учетом результатов работ 54–59-й РАЭ сейсмические исследования МПВ 60-й РАЭ позволяют обосновать предположение о наличии осадочного чехла во впадине озера Восток и получить сведения о его мощности. Для расширения представлений о геологической природе депрессии, к которой приурочено озеро, необходимо продолжить работы МПВ в районе ее восточного борта.

Участники сейсмического похода СГП-2–3 в 60-й РАЭ после завершения работ.



## □ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Коллектив сейсмического отряда искренне признателен руководству Российской антарктической экспедиции за логистическую поддержку проведения работ в непростых условиях Центральной Антарктиды. А также сотрудникам транспортного отряда, принимавшим непосредственное участие в полевых сейсмических

работах 60-й РАЭ и в особенности начальнику похода С.Ю. Зыкову за содействие во всех вопросах.

**П.И. Лунев (ФГУНПП «Полярная морская геологоразведочная экспедиция»).**  
Фото автора

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ АНТАРКТИЧЕСКИХ ГОР ПРИНС ЧАРЛЬЗ

Антарктическим летом 2015 г. в сезоне 60-й РАЭ впервые были проведены исследования наземной флоры и растительности горных массивов Раймилл, Блумфилд и Стинир, расположенных у края выводных ледников Ламберта и Фишера в южной части гор Принс Чарльз. В настоящее время это самые южные районы континента в этом секторе Антарктики, посещенные биологом.

Исследование стало возможным благодаря любезному приглашению автора заметки принять участие в работе геологического отряда Полярной морской геолого-разведочной экспедиции под руководством Д.М. Воробьева и А.С. Бирюкова. Полевые работы в массивах продолжались в течение месяца с 18 января по 16 февраля 2015 г. Ранее в сезон 58-й РАЭ (2013 г.) тот же отряд, включая автора заметки, работал на соседнем, расположенном в 140 км севернее, массиве Клеменс.

Массивы Раймилл, Блумфилд и Стинир посещались советскими геологами в 1971–1974 гг. во время рекогносцировочных работ 17–19-й САЭ, а позже — геологами Австралии и Германии в ходе международной экспедиции *Prince Charles Mountains Expedition of Germany and Australia (PCMEGA)*, но флора и растительность этого района до настоящего времени оставались совершенно неизученными.

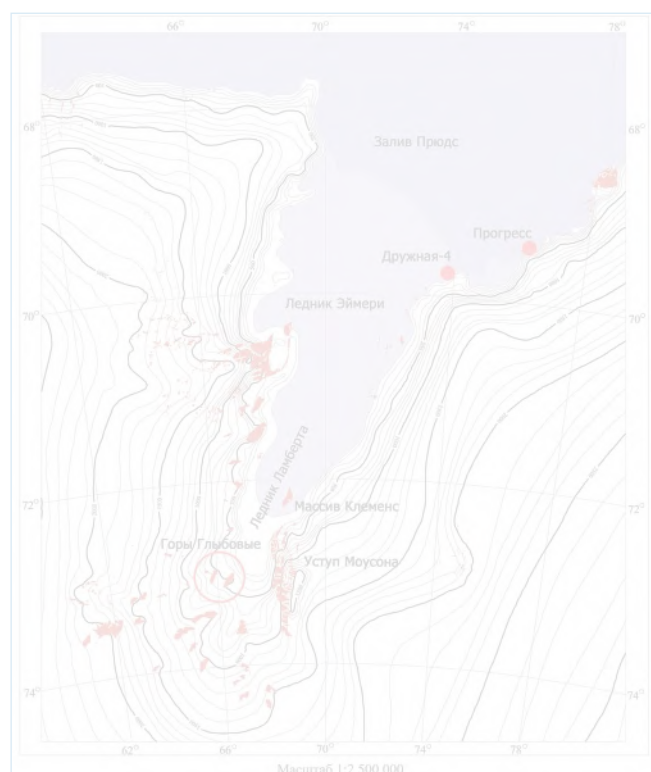
Массивы Раймилл, Блумфилд и Стинир, объединенные на карте 1978 г. под общим названием горы Глыбовые, расположены в глубине антарктического континента, на значительном удалении от морского побережья и от ближайших антарктических станций. Отдаленность массивов от станций и полевых баз РАЭ весьма существенна, что делает их крайне труднодоступными для посещения и детального изучения. Тем не менее после организации двух основных и двух промежуточных заправочных подбаз и завоза на них необходимого количества авиационного топлива полевому отряду ПМГРЭ в составе 6 человек (А.С. Бирюков, Н.А. Гонжу-

ров, В.А. Маслов, А.Ю. Мельник, А.А. Сахаров и автор этой заметки) удалось высадиться в пологой седловине между горами Потанина и Раймилл у края ледника Фишера и организовать полевой лагерь в наиболее укрытом от сильных южных ветров месте.

Сложную и многоэтапную операцию по заброске, а позднее и по вывозу отряда мастерски осуществил экипаж вертолета Ка-32 авиакомпании «Авиалифт» (Владивосток) (командир — Н.Ф. Воронов, члены экипажа — Д.А. Костин и Н.А. Городилов). Вместе с людьми в полевой лагерь были завезены два мобильных домика, шатровая палатка, снегоход и небольшой колесно-гусеничный вездеход, электрогенератор, необходимое для работы оборудование, топливо, вода и продукты. Вся операция по заброске, включая подготовительные работы по завозу топлива на промежуточные подбазы, заняла 73 летных часа, а успешному ее выполнению, кроме мастерства и смелости летчиков, способствовали устойчивая хорошая погода и длинный полярный день.

Лагерь, состоящий из двух домиков и большой шатровой палатки, расположился на пологой песчано-каменистой морене у края ледника. В одном домике

Район ботанических исследований в районе ледников Ламберта и Фишера в 2015 г.



Полевой лагерь ПМГРЭ в массиве Раймилл.

