

## Arctic Geophysical Project

V.S. Mogilatov\* (Trofimuk Inst. of Petroleum Geology & Geophysics), M. Epov (Trofimuk Inst. of Petroleum Geology & Geophysics)

### SUMMARY

---

The basic, fundamental problem to be solved when planning geological and geophysical research works in the Arctic consists in the challenge of dealing with the object covered by the deep sea waters which, partially, topped by multiyear ice. Such a "double pack" immediately rules out a multitude of ground-based technologies, aircraft- and satellite-based remote sensing surveys, as well as many achievements of the marine geophysics.

However, our approach implies giving up standard procedures, sacrificing their mobility in favor of arranging a complex, but effective experiment, to ensure their sustainable movement over the investigated medium occurring under the ocean floor, at the expense of the polar ice drifting.

Furthermore, we offer a specific set of methods, each specifically constructed or modified for effective sounding from the surface of drifting ice and penetrating masses of seawater. This complex is open for supplementing it with other geophysical methods for higher efficiency of the involved operations under the considered conditions.

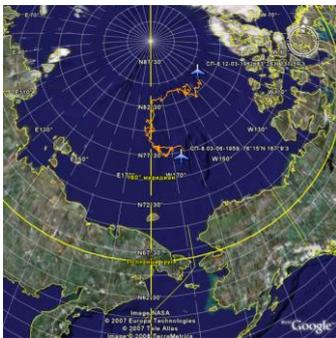
## Арктический геофизический проект

В.С. Могилатов\* (Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет), М.И. Эпов (Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН)

### Введение

Основная, принципиальная проблема, которую приходится решать при проектировании геолого-геофизического исследования в Арктике состоит в том, что объект покрыт довольно глубоким морем (до 5 км) всюду и, на значительной части, еще и вечными льдами. Такая «двойная» упаковка сразу исключает длинный ряд наземных технологий, дистанционные исследования с летательных аппаратов и спутников, но также и многие наработки морской геофизики. Что же остается? Стандартные методы сейсморазведки в этих условиях невероятно дороги и проблематичны. Гравиметрические и магнитометрические исследования малоэффективны. Электромагнитные зондирования? Электромагнитные исследования с использованием естественных полей могут сохранить свое значение. Но они не обладают необходимой детальностью. Нужны активные методы. Однако традиционные методы электромагнитных зондирований с искусственными источниками направлены на изучение общего распределения параметра сопротивления в геологической среде и становятся неэффективными при наличии такого мощного проводящего экрана как слой морской воды. Льды также делают невозможным применение некоторых морских технологий (таких как CSEM), которые все же претендуют на некоторую эффективность в море.

Наш подход состоит в том, чтобы отказавшись от стандартных методик, пожертвовав их мобильностью в пользу сложного, но эффективного устройства эксперимента, обеспечить их долговременное перемещение над изучаемой средой за счет известного полярного дрейфа льда.



**Рисунок 1** Дрейф СП-8

Можно тут сослаться на опыт советских дрейфующих станций СП. Вот, например, справка по станции Северный полюс-8 (СП-8): «Советская научно-исследовательская дрейфующая станция. Открыта 19 апреля 1959 года. Работа на станции проводилась в три смены: 1-я смена в составе 20 человек с 19 апреля 1959 года по 3 апреля 1960 года (354 дня). 2-я смена в составе 18 человек с 3 апреля 1960 года по 15 апреля 1961 года (377 дней). 3-я смена в составе 19 человек с 15 апреля 1961 года по 19 марта 1962 года (338 дней). Станция была эвакуирована по причине разлома дрейфующей льдины, проработав в общей сложности 1069 дней и продрейфовав 5976 километров в Северном Ледовитом Океане» (рис. 1).

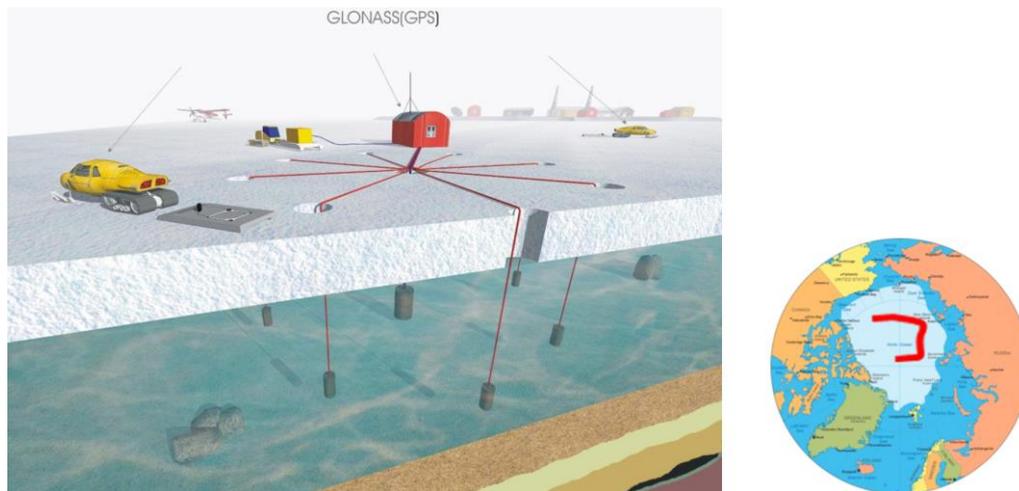
Значительная часть дрейфующих многолетних льдов начинает свой путь от северных российских островов, что облегчает задачу первоначального развертывания экспедиции. Собственно, мы продолжили бы традицию станций СП, дополнив традиционное изучение полярной области Земли мощной геофизической составляющей. Спутниковые системы навигации (ГЛОНАСС и GPS) и связи обеспечат нас точным определением местоположения и оперативной передачей и оценкой получаемых данных.

Далее мы предлагаем определенный набор методов, каждый из которых специально устроен или модифицирован для эффективных зондирований с дрейфующего льда на поверхности, возможно, глубокого моря. Этот комплекс, разумеется, открыт и может пополняться за счет других геофизических методов при эффективной их реализации для рассматриваемых условий. Мы ожидаем такие предложения.

Следует особо обратить внимание на важнейшую особенность предлагаемого геофизического эксперимента – пожалуй, что впервые так долговременно и совместно, по очень большому профилю будут использоваться разные геофизические методы. Это создает уникальные возможности для комплексного подхода и повышает достоверность интерпретаций.

## Электроразведка с контролируемым источником

Мы предлагаем совершенно особую технологию электромагнитных зондирований, основанную на возбуждении определенной (ТМ) поляризации электромагнитного поля, что с технической стороны обеспечивается применением особого же источника поля (круговой электрический диполь – КЭД). Эта технология (зондирования вертикальными токами – ЗВТ) позволяет фиксировать тонкие аномальные эффекты в отклике за счет глубокой компенсации на физическом уровне общего проводящего фона геоэлектрического разреза, в том числе и слоя морской воды. Технология, собственно, уже достаточно широко опробована в наземном варианте на различных объектах, прежде всего, на углеводородных залежах, и показала высокую эффективность. Детальность, например, позволяет говорить об оконтуривании залежей и о рекомендациях для бурения внутри контура месторождения. Теоретические аспекты нового метода и практические результаты имеют уже обширную публикацию.



*Рисунок 2 Общий вид электрической питающей установки на арктическом льду и возможная область исследований*

Характерной особенностью ЗВТ является используемый, весьма сложный с традиционной точки зрения, источник поля. Эта логичная плата за высокую эффективность обычно указывается как недостаток, учитывая необходимость перемещать источник. Но в рамках проекта этот вопрос разрешается самым удовлетворительным образом – мы используем для перемещения дрейф льдов. В рамках проекта мы предлагаем обосновать следующую методику электромагнитных зондирований придонной геологической среды глубиной до нескольких километров с целью определения распределения удельного сопротивления, а также других геоэлектрических параметров, что выявит различные региональные и локальные геологические объекты при перемещении всей экспериментальной установки в пределах арктического бассейна.

На льду располагается (один раз и очень тщательно) питаемая в импульсном режиме установка кругового электрического диполя. Установка заземляется в центре и по концам радиальных питающих линий через отверстия во льду. Радиус КЭД (длина радиальной линии) может достигать 5-10 км (вопрос подлежит изучению). Система наблюдения складывается из электрических приемников в виде фиксированных, заземленных в воде, горизонтальных и вертикальных линий, а также из площадной, оперативно выполняемой мобильными индуктивными датчиками системы измерений магнитного поля. Здесь намечается альтернатива – делать ли непрерывные измерения (что едва ли возможно), или же проводить цикл измерений, привязывать его к определенной точке, и повторять его через некоторое время (сутки – это 5-7 км дрейфа). Этот вопрос предстоит изучить. Так или иначе, исходя из опыта работ методом ЗВТ, измерениями может быть охвачена полоса вдоль траектории источника шириной в десять радиусов. Итак, исходя из радиуса КЭД 10 км, мы получаем при общей длине дрейфа в 4000 км (средний показатель по советским СП) 400 000 кв. км обследованной площади в виде, что интересно, весьма вытянутого извилистого коридора (см.

рис. 2). Интерпретация, которая должна включать одномерные и трехмерные подходы, чрезвычайно повысит свою достоверность за счет постоянно сопутствующих сейсмических зондирований, которые обеспечат надежную априорную информацию о границах.

Следует еще заметить, что именно описанный электромагнитный метод в применении на дрейфующем льду уже некоторое время обсуждается в геофизическом сообществе, а также подвергался некоторым исследованиям, и уже сделаны первые русско- и англоязычные публикации. Определены некоторые параметры такого геоэлектромагнитного эксперимента в Арктике. Однако, есть необходимость в дальнейшей разработке. Например, по поводу роли магнитных измерений (кроме основных, электрических). Наконец, теперь проект переходит на новый уровень, как применение комплекса методов. Это дает новое качество и требует более сложной подготовки и обоснования.

### **Сейсмический метод**

Сейсмические исследования с дрейфующих льдов с взрывными источниками проводились силами Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института и Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана с 1961 года для решения ряда гидрографических и геологических задач. Нужно также упомянуть уникальные работы в рамках проекта «Арктика-2014», которые провела ОАО «МАГЭ» в сотрудничестве с другими организациями. В этих работах исследования продвинулись далеко к Северному полюсу (и даже пересекли его). Основным методом была подледная сейсморазведка МОВ ОГТ, МОВ-МПВ [Казанин и др., 2015]. Это были весьма тяжелые и неповторимо дорогостоящие работы с участием специальных судов и атомного ледокола во льдах до 240 см. Тем не менее, сейсморазведка является сейчас основным геофизическим методом на суше и на море. Поэтому мы включаем сейсмический метод в наш комплекс, подразумевая при этом современную эффективную модификацию, современный аппаратный уровень, невзрывные источники, современный уровень интерпретации и учет новых выявленных факторов (приливные вариации и пр.), а также интерпретационное взаимодействие с электромагнитными методами.

Согласно нашему проекту, метод ПАС МОГТ-2,5Д может быть адаптирован для работы с дрейфующего льда. Данное направление, получившее название пассивной сейсморазведки, базируется на том, что акустическая эмиссия (естественные микросейсмические колебания, регистрируемые на определенной апертуре) характеризует термодинамическое состояние среды и может нести информацию о ней. Например, явление генерации инфразвуковых волн нефтегазовой залежью. Результаты ПАС МОГТ на суше показали высокую эффективность данного направления, поэтому использование данной технологии в рамках нашего проекта обосновано, поскольку выявление и поддержка новых технологий и приоритетных проектов освоения ресурсов УВ в арктических условиях имеет особое значение для экономического развития России.

Наблюдения предполагается проводить по технологии ПАС МОГТ 2,5Д (широкий профиль). Система наблюдений располагается на льду. Кратность системы наблюдений выбирается достаточной для прослеживания границ на отраженных волнах и регистрации геодинамических шумов. Результатом обработки являются временные разрезы и спектральные характеристики геодинамических шумов по профилям. В результате совместной интерпретации этих данных определяются положение отражающих границ, зоны аномальных значений геодинамических шумов (наличие ловушек УВ), тип ловушки УВ (антиклинальная или неантиклинальная), линейные размеры ловушки УВ на дневной поверхности, тип флюида в ловушке. Вся система наблюдений занимает площадь 5x5 км. Данные передаются по радиоканалам на центральный узел, а затем через спутники в центр обработки на материке. Система наблюдений будет уточняться в рамках исследований по проекту с учетом специфики (например, вращение всей жестко установленной системы).

Возбуждение акустических сигналов предполагается производить пневматическим источником типа «Пульс». Вся сейсмическая система срабатывает один раз в час, и это не выглядит энергозатратным. Необходимо разработать все технические детали, которые должны

обеспечить долговременную работу и контроль однажды помещенного под лед источника, подачу воздуха через толщину.

### Магнитотеллурические исследования

Довольно очевидным и логичным выглядит дополнение электромагнитных зондирований с контролируемым источником магнитотеллурическими зондированиями. Это авторитетный и независимый метод, но также есть и дополнительные соображения в пользу его применения в предлагаемом комплексе. МТ зондирования – более глубокие и прекрасно дополняют данные зондирования становлением (ЗС), которые обеспечивают большее разрешение в верхах разреза. Второе соображение состоит в том, что использование магнитотеллурического метода,



**Рисунок 3** Схему измерений в ЗС можно использовать в МТЗ

использующего природные поля, практически совсем не утяжеляет серьезную проблему с энергоресурсами. Разумным было бы дополнить МТЗ магнитовариационным методом.

Есть вопрос с размещением системы измерений. Теория и практика морских МТЗ утверждает, что оптимально измерения производить вблизи дна. Однако в нашем случае очень желательно размещать измерительную систему на льду. Математическое моделирование показывает, что в этом случае эффективность снижается, но остается достаточной [Коротаев и др., 2010]. В рамках проекта этот вопрос будет изучаться.

Может быть, нужно использовать для МТЗ подготовленную для ЗС систему приемных горизонтальных и вертикальных линий, а также использовать питающую установку КЭД в качестве измерительной, что позволит регистрировать вертикальную электрическую компоненту магнитотеллурического поля, что является совершенно новой возможностью (рис. 3).

### Выводы

Здесь напомним, что мы сейчас предлагаем не выполнение собственно геофизического проекта, а его научно-техническое проектирование. Что касается самого геофизического эксперимента, то его народно-хозяйственный эффект, в случае исполнения, конечно же велик и касается национальных интересов. Авторы, безусловно, уверены в эффективности предлагаемых нетрадиционных геофизических исследований. Однако такой масштабный эксперимент должен быть тщательно подготовлен и обоснован. Необходимо выполнить сложное математическое моделирование, оценить технические параметры, провести сбор геолого-геофизической информации. Такой научно-обоснованный, подготовленный к реализации проект сам по себе имеет большое народно-хозяйственное значение, позволяя планировать, оценивать перспективы и рассматривать альтернативы. Потенциальными потребителями научного результата по данному проектированию является, прежде всего, нефтегазовая отрасль России, в лице таких компаний как Газпром, Роснефть, которые, как известно, в последнее время планируют работы на арктическом шельфе в сотрудничестве с мировыми нефтяными компаниями. Как кажется, они заинтересованы в том, чтобы иметь в своем портфеле научно-обоснованные проекты по поиску и разведке углеводородных ресурсов по всему арктическому бассейну

### Библиография

Казанин Г.С. и др. [2015] Экспедиция «Арктика-2014»: комплексные геофизические исследования в районе Северного полюса, Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2015, № 2 (22), 92-97.

Коротаев С.М. и др. [2010] Изучение возможности магнитотеллурического зондирования в Северном ледовитом океане с помощью численного моделирования. Физика Земли, №9, 35-47.

Могилатов В.С., Злобинский А.В. [2016] Геоэлектрический эксперимент в Арктике (проект). Геофизика, № 1, 75-80.

## References

Kazanin G.S. i dr. [2015] Ekspediciya «Arktika-2014»: kompleksnye geofizicheskie issledovaniya v rajone Severnogo polyusa, Nauchno-tehnicheskij sbornik «Vesti gazovoj nauki», 2015, № 2 (22 ), 92-97.

Korotaev S.M. i dr. [2010] Izuchenie vozmozhnosti magnitotelluricheskogo zondirovaniya v Severnom ledovitom okeane s pomoshch'yu chislennogo modelirovaniya. Fizika Zemli, №9, 35-47.

Mogilatov V.S., Zlobinsky A.V. [2016] Geoelectrical experiment in Arctic (project) // Geofizika. № 1. Pp. 75-80.