



3D БАСЕЙНОВОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ

НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ
КАРСКОГО МОРЯ

ДРЕЙФУЮЩИЕ
ЛЬДЫ

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

Neftegaz.RU

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

[11] 2018

ГРП НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ



Входит в перечень ВАК

886 лет назад

В 1132 году на территории Китая нефть добывали из скважины, которая была пробита с использованием бамбуковых шестов.

147 лет назад

В 1871 году начала работать первая нефтяная биржа. Товарно-сырьевые операции осуществлялись в штате Пенсильвания г. Тайтусвилл. Название биржи соответствует геолокации – *Titusville oil exchange*.

127 лет назад

В 1891 году начались продажи морских участков, где были обнаружены запасы углеводородного сырья. Месторождения находились в США.

100 лет назад

В 1918 году была национализирована нефтяная промышленность в России.

98 лет назад

В 1920 году создана установка по получению изопропилового спирта. Химическое соединение стало продуктом нефтепереработки.

49 лет назад

В 1969 году в Башкирии установлен монумент первооткрывателям нефти.

39 лет назад

В 1979 году в Мексиканский залив попало 460 тыс. тонн нефти. Общая сумма ущерба от аварии составила около 1,5 млрд. долл.

19 лет назад

В 1999 году впервые получена в промышленных объемах нефть с Астохского участка, на котором была установлена первая в России стационарная ледостойкая буровая платформа.

18 лет назад

В 2000 году открыты новые газовые месторождения в Карском море: Северо-Каменское и Каменномысское.

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Выпускающий редактор
Алла Юдина

Ведущий аналитик
Артур Гайгер

Журналисты
Анна Игнатьева,
Елена Алифирова,
Ольга Цыганова,
Денис Савосин

Дизайн и верстка
Андрей Клочков

Корректор
Виктор Блохин

Редколлегия

Ампилов Ю.П.

Алюнов А.Н.

Галиулин Р.В.

Гриценко А.И.

Гусев А.Ю.

Данилов А.М.

Данилов-Данильян В.И.

Загривный Э.А.

Макаров А.А.

Мастепанов А.М.

Салыгин В.И.

Третьяк А.Я.



Издательство:
ООО Информационное агентство
Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Ольга Иванова
Ольга Щербакова
Юлия Косыгина
Юлия Неруш
Екатерина Романова
Валентина Горбунова
Ольга Ющенко
pr@neftgaz.ru
Тел.: +7 (495) 650-14-82

Деловой журнал
Neftegaz.RU
зарегистрирован
федеральной
службой по надзору
в сфере массовых
коммуникаций, связи
и охраны культурного
наследия в 2007 году,
свидетельство
о регистрации
ПИ №ФС77-46285

Представитель в Евросоюзе
Виктория Гайгер

**Отдел по работе
с клиентами**
Юлия Смирнова

**Выставки, конференции,
распространение**
Татьяна Петрова

**Служба технической
поддержки**
Сергей Прибыткин
Алексей Бродский

Адрес редакции:
127006, г. Москва,
ул. Тверская, 18,
корпус 1, оф. 812
Тел. (495) 650-14-82,
694-39-24
www.neftgaz.ru
e-mail: info@neftgaz.ru

Подписной индекс
МАП11407

Перепечатка материалов журнала Neftegaz.RU невозможна без письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за достоверность информации, опубликованной в рекламных объявлениях, а также за политические, технологические, экономические и правовые прогнозы, представленные аналитиками. Ответственность за инвестиционные решения, принятые после прочтения журнала, несет инвестор.

Отпечатано в типографии
«МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж
8000 экземпляров



9 772410 383004

ДРЕЙФУЮЩИЕ ЛЬДЫ

СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОСРЕДЫ ПОД АРКТИЧЕСКИМИ РЕГИОНАМИ

В ДАННОЙ СТАТЬЕ АВТОР ФИКСИРУЕТ ТЕКУЩИЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА О СИСТЕМЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЬДАХ.

THE AUTHOR FIXES THE CURRENT STAGE OF THE PROJECT RELATED TO THE SYSTEM OF GEOPHYSICAL OBSERVATIONS ON THE DRIFTING ICE.

УДК 550.83

Ключевые слова: геофизические исследования, дрейфующие льды, геологоразведка в Арктике, сейсморазведка, электроразведка.

Могилатов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения РАН (ИНГГ СО РАН), Профессор кафедры геофизики Новосибирского государственного университета (НГУ)

Основная принципиальная проблема, которую приходится решать при проектировании геолого-геофизического исследования в Арктике состоит в том, что объект покрыт глубоким морем и, частично, многолетними 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. Спутниковые гравиметрические и магнитометрические исследования предоставляют важную информацию о региональных структурах, однако они не имеют пока достаточного

разрешения для выделения локальных неоднородностей, имеющих наибольшее практическое значение. Электромагнитные исследования с использованием естественных полей могут сохранить свое значение, однако они также 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.

РИС. 1. Схема прихода сейсмических лучей на станции, установленные на льду. Справа: примеры сейсмограмм, записанных станцией на дрейфующей льдине, от телесеismicкого, регионального и локального событий. Показаны также кратные волны, отраженные от дна и льда

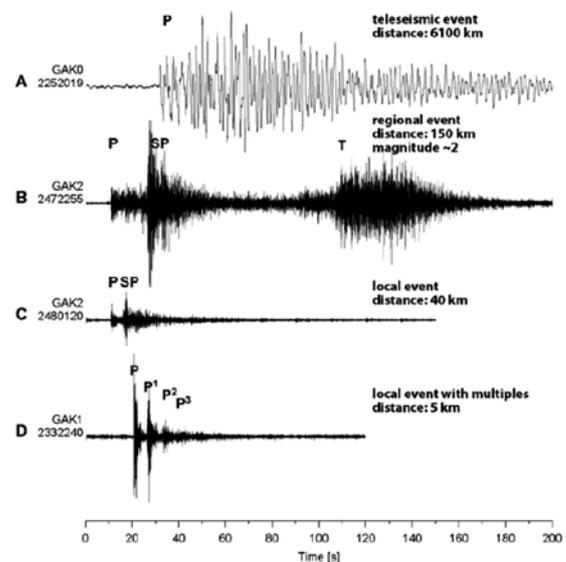
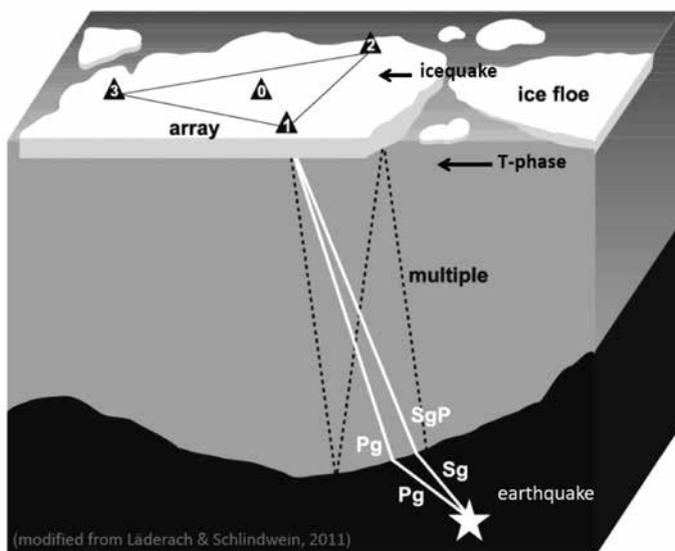
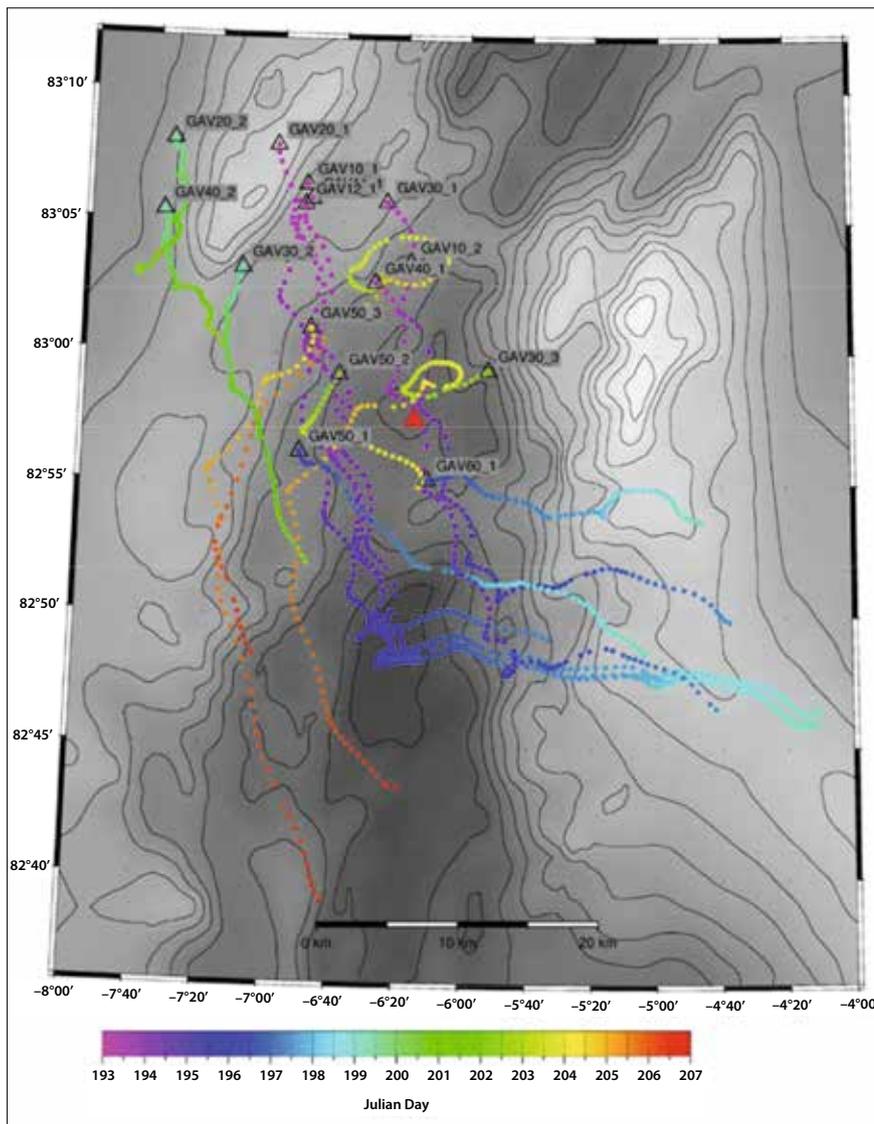




РИС. 2. Траектории миграции сейсмических станций, установленных на дрейфующих льдах силами сотрудников AWI Bremerhaven. Начальное положение станций показано треугольниками; время их функционирования отмечено цветом. Установка производилась в районе хребта Гаккеля



Понимание глубинного строения литосферы под Северным Ледовитым океаном необходимо для воссоздания этапов развития региона в геологическом прошлом, что, в свою очередь, может позволить определить условия образования месторождений полезных ископаемых и помочь обнаружить их положение. В настоящий момент тратятся большие ресурсы на проведение геофизических изысканий в полярных областях, которые существенно более затратные, чем аналогичные работы в средних широтах. Так, проведение сейсморазведочных работ требует расчистки акватории ото льда с помощью ледокола, что приводит к многократному увеличению стоимости исследований. Поэтому разработка относительно недорогих геофизических систем,

базирующихся на дрейфующих льдах, которые обеспечивали бы информацию о геологическом строении среды под дном океана, является актуальной задачей. 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. Можно тут сослаться на опыт советских и российских СП. Собственно, мы продолжили бы традицию станций СП, дополнив традиционное изучение полярной области Земли мощной геофизической составляющей. Кстати, и организация очередных станций СП переводится на новый уровень. Согласно государственной

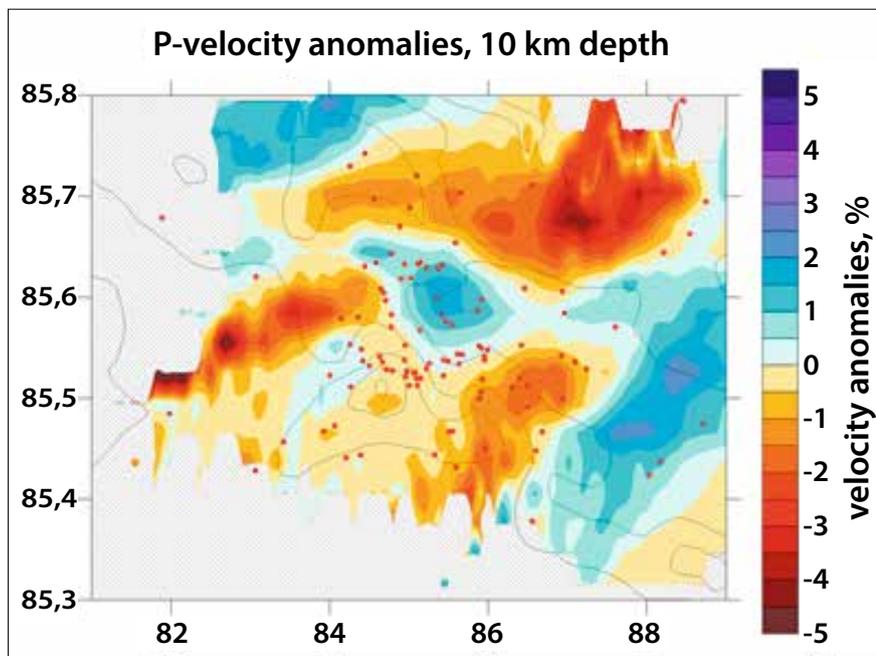
программе, они будут основаны на использовании так называемых ледостойкой самодвижущейся платформы (ЛСП), что значительно повышает реалистичность и безопасность станций СП и нашего предложения.

Далее мы обсуждаем и анализируем определенный набор методов, каждый из которых специально устроен, модифицируется и анализируется 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. В данной работе мы отражаем очередной этап развития этого проекта.

Сейсмический метод

Проведение стандартных сейсморазведочных работ в условиях Арктики требует расчистки акватории ото льда с помощью ледокола, что приводит к многократному увеличению стоимости исследований (например, Казанин и др., 2015). Тем не менее, сейсмика является сейчас основным методом геофизическим методом на суше и на море. Поэтому мы включаем сейсмический метод в наш комплекс, подразумевая идею использовать плавучие льды для установки сейсмологических сетей, которая возникла относительно недавно. Эксперименты такого рода были проведены силами немецкого Института арктических исследований в Бремерхафене (AWI Bremerhaven), начиная с 2007 года под руководством Веры Шлиндвайн (Schlindwein et al., 2007). По ходу регистрации было записано достаточно много локальных событий из зоны спрединга, несколько региональных и телесеизмических событий, примеры регистрации которых показаны на рис. 1, взятые из работы (L derach and Schlindwein, 2011). Можно видеть, что помимо четкой P волны, можно достаточно надежно выделить обменную SgP волну, которую можно легко пересчитать в S волну. На рис. 2 показаны траектории миграции станций одной из сетей, установленных на плавающих льдах, в районе хребта Гаккеля, а на рис. 3 показана томографическая

РИС. 3. Томография коры в районе хребта Гаккеля в Арктике по данным сети на дрейфующих льдах, установленной AWI-Bremerhaven (А.Яковлев и И.Кулаков)



интерпретация наблюдений (А. Яковлев и И. Кулаков, ИНГГ СО РАН). Таким образом, этот эксперимент показал, что сети, установленные на льду, вполне способны дать полноценные записи приходящих Р и S волн, что позволяет использовать их, например, для задачи сейсмической томографии. Несмотря на столь обнадеживающие результаты специалистов из AWI, нам неизвестны аналогичные работы в этом направлении, выполненные другими организациями. Несомненно, такого рода практику необходимо развивать и в Российской части Арктики, и настоящий проект нацелен именно на то, чтобы сделать реализацию этого предложения возможным. Поскольку данные работы являются лишь первыми попытками такого рода, многие научные вопросы пока еще не изучены. Например, пока не ясно, могут ли такого рода сети регистрировать поверхностные волны от землетрясений и можно ли выделить полезные волны путем кросс-корреляции микросейсмического шума.

Электроразведка с контролируемым источником

Мы также предлагаем совершенно особую технологию электромагнитных зондирований, основанную на возбуждении определенной (ТМ) поляризации

электромагнитного поля, что с технической стороны обеспечивается применение 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. Особая чувствительность метода к наличию углеводородов объясняется возбуждением областей среды над залежами нефти (ореолы). Такое возбуждение, разумеется, в разной степени происходит в любом геоэлектромагнитном методе, но наблюдается отчетливо лишь в методе ЗВТ в силу особых свойств применяемого источника поля. Фиксация ореолов, которые поднимаются высоко вверх, возможно, до самого дна

бассейна, позволяет надеяться на «углеводородную» эффективность предлагаемого метода в условиях глубокого моря.

Характерной особенностью ЗВТ является особый, 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. Итак, мы предлагаем в комплексе для геофизических исследований с дрейфующих льдов следующую методику электромагнитных зондирований (Могилатов, Злобинский, 2016).

На льду располагается (один раз и очень тщательно) питаемая в импульсном режиме установка кругового электрического диполя. Как показано на рис. 4, 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. 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.

Проект «плавающих» геофизических сетей наблюдения начинался именно с предложения о помещении кругового электрического диполя на дрейфующий лед как развитие практики станций СП. Однако было понятно проблемы с надежностью долговременной работы такой установки и со снабжением энергоресурсами (источник требует довольно мощное электрическое питание). Сейчас, согласно Госпрограмме, предполагается устраивать станции СП на основе ледостойкой самодвижущейся платформы

РИС. 4. Общий вид электрической питающей установки на арктическом льду при использовании ЛСП

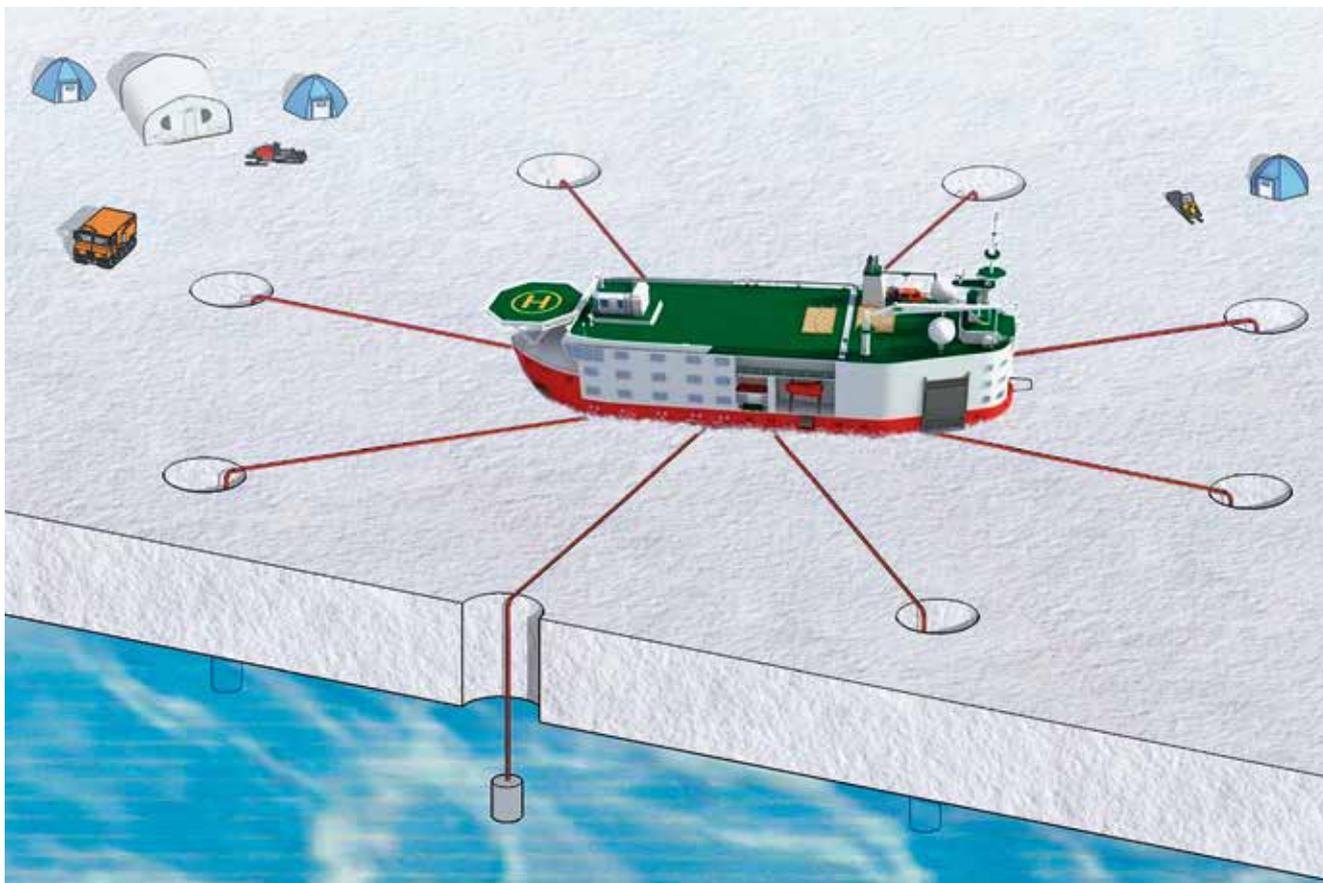
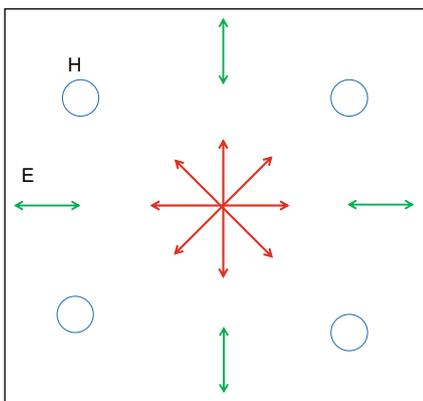


РИС. 5. Общий вид электрической установки на арктическом льду



(ЛСП), которая вмораживается в многолетний лед и дрейфует вместе с ним. Это делает проект значительно реальнее.

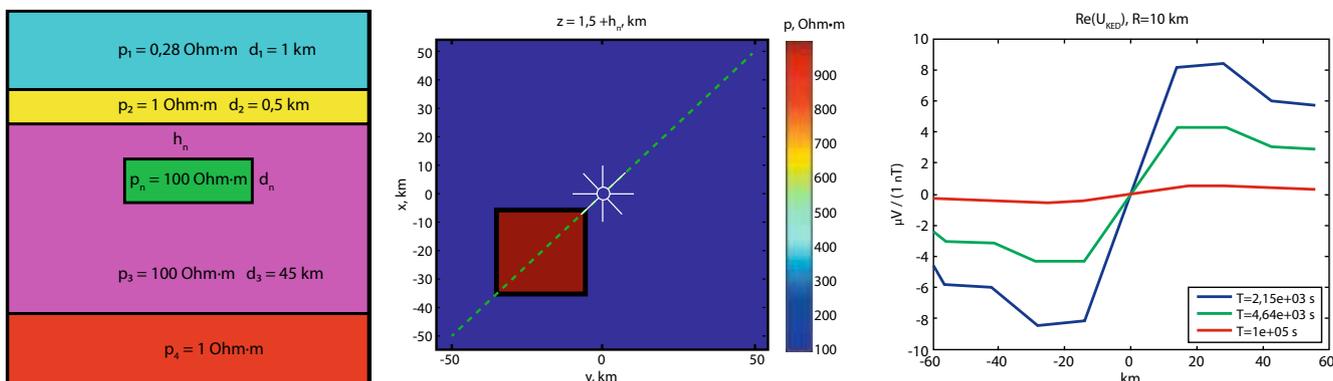
Магнитотеллурические исследования

Довольно очевидным и логичным выглядит дополнение электромагнитных зондирований с контролируемым источником 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, 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.

РИС. 6. Глубинный разрез, план и разность потенциалов с КЭД на трех временных периодах вдоль профиля над неоднородностью



Может быть, нужно использовать для МТЗ подготовленную для ЗС систему приемных горизонтальных и вертикальных линий (рис. 5). Совершенно новым инструментом может стать КЭД как измерительная установка для МТЗ. Для оценки возможностей применения КЭД при МТЗ, проведены численные расчеты электромагнитного поля в трехмерно неоднородной среде по методу Треффца (Плоткин, Губин, 2014). Результаты показаны на рис.6 и свидетельствуют о том, что прием сигнала с КЭД, который есть, собственно, аналог вертикальной электрической линии, является новым эффективным средством в МТЗ для исследования глубинных объектов с поверхности моря.

Выводы

В настоящее время авторы предлагают 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. Автор (и участники проекта), безусловно, уверен 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. ●

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-17-00095).

Литература

1. 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.
2. Коротаев С.М. и др., 2010. Изучение возможности магнитотеллурического зондирования в Северном ледовитом океане с помощью численного моделирования. Физика Земли, №9, 35-47.
3. Могилатов В.С., Злобинский А.В., 2016. Геоэлектрический эксперимент в Арктике (проект). Геофизика, № 1, 75-80.
4. Плоткин В.В., Губин Д.И. Учет приповерхностных неоднородностей над горизонтально слоистым разрезом при магнитотеллурическом зондировании // Геология и геофизика, 2015, т. 56(7), с. 1381-1390.
5. Läderach, C. and Schlindwein, V., 2011. Seismic arrays on drifting ice floes: experiences from four deployments in the Arctic Ocean. Seismological Research Letters, 82(4), pp.494-503.
6. Schlindwein, V., Müller, C. and Jokat, W., 2007. Microseismicity of the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean: a pilot study. Geophysical Journal International, 169(1), pp.100-112.

KEYWORDS: *geophysical studies of floating ice exploration in the Arctic, seismic prospecting, electrical prospecting.*

