

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
(СГУГиТ)

XIII Международные научный конгресс и выставка

## ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2017

Международная научная конференция

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО.  
НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА,  
РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ЭКОНОМИКА.  
ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Т. 3

Сборник материалов

Новосибирск  
СГУГиТ  
2017

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, академик РАН,  
директор Института нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

*М. И. Энов*

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, председатель Президиума  
Кемеровского научного центра СО РАН, Кемерово; научный руководитель Института  
нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

*А. Э. Конторович*

Кандидат технических наук, директор Института горного дела  
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск

*А. С. Кондратенко*

Кандидат геолого-минералогических наук,  
генеральный директор АО «СНИИГГиМС», Новосибирск

*А. С. Ефимов*

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному  
округу Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск

*А. И. Неволько*

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля  
2017 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное  
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторожде-  
ний полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т.  
Т. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 239 с.

ISBN 978-5-906948-28-1 (т. 3)

ISBN 978-5-906948-25-0

ISBN 978-5-906948-11-3

В сборнике опубликованы материалы XIII Международного научного конгресса  
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017», представленные на Международной научной конферен-  
ции «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и раз-  
работки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 622

ISBN 978-5-906948-28-1 (т. 3)

ISBN 978-5-906948-25-0

ISBN 978-5-906948-11-3

© СГУГиТ, 2017

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕЙФУЮЩИХ АРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ РАЗВЕДКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА МОРЕ

*Аркадий Вадимович Мариненко*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник, e-mail: MarinenkoAV@ipgg.sbras.ru

*Михаил Иванович Эпов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, академик РАН, директор, e-mail: EpovMI@ipgg.sbras.ru

В работе предлагается технология применения дрейфующих арктических станций для разведки нефтегазовых месторождений на море в зонах вечной мерзлоты. Для этой цели проведён численный анализ установки «источник-приёмник», которая хорошо подходит для работы в паре с плавучим льдом. В качестве математического аппарата был выбран численный метод векторных конечных элементов на тетраэдральных базисных функциях.

**Ключевые слова:** дрейфующая станция, антиклинальная ловушка, морская вода, электрическое поле, электропроводность, разность фаз.

## USAGE OF THE DRIFTING ICE STATIONS FOR OIL AND GAS MARINE EXPLORATION

*Arkadiy V. Marinenko*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Research Assistant, e-mail: MarinenkoAV@ipgg.sbras.ru

*Mikhail I. Epov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Academician, Director, e-mail: EpovMI@ipgg.sbras.ru

In the article, the technology of application of the drifting ice stations for marine exploration of oil and gas fields in permafrost zones is offer. Thereto is carry out the numerical analysis of the “source-receiver” instrument, which is well suitable for work together with floating ice. As mathematical apparatus chosen the numerical method of vector finite elements on tetrahedral basis functions.

**Key words:** drifting ice station, anticlinal trap, seawater, electric field, electroconductivity, phase difference.

Ещё с 30-х годов прошлого века в нашей стране и впервые в мире началось использование плавучих льдов в качестве научно-исследовательских дрейфующих станций, которые в СССР и России традиционно называются «Северный полюс» (СП) и имеют свой порядковый номер либо год начала экспедиции [1]. К плавучим льдам относится любая форма льда, плавающего в воде. Плавучий лёд является преобладающей категорией льда в морях и океанах и имеет все

возрастные формы – от начальных видов до многолетних льдов. Кроме того, плавучие льды подразделяются по своим размерам и формам [2]. Дрейфующие станции создаются только на двух типах плавучих льдов – на сравнительно тонком и недолговечном паковом льду (станции СП-1 – СП-5, СП-7 – СП-17, СП-20, СП-21) и на осколках глетчера, имеющих толщину 30 м и более (станции СП-6, СП-18, СП-19, СП-22).

Для проведения разведки нефтегазовых месторождений с плавучего льда предлагается приповерхностная морская геофизическая установка, состоящая из двух перпендикулярных друг другу изолированных кабелей, в которых течёт переменный ток с частотой 12 Гц, и приёмных электродов, расположенных так, как это представлено на рис. 1.



Рис. 1. Приповерхностная морская геофизическая установка

Идеи применения геофизических установок на плавучем льду озвучивались ранее [3], однако не имели практического опыта использования в арктических зонах. Мы полагаем, что наличие альтернативы для относительно нового научного подхода пойдёт ему только на пользу.

Необходимым условием работы установки является небольшое заглубление (приблизительно на 1 м) источников и приёмников тока в слой морской воды. Однако, поскольку в нашем случае кабели с током являются изолированными, основная часть кабелей может располагаться на поверхности льда и только концы кабелей помещаются в пробуренные во льду лунки. Бурение целесообразно только в случае работы на паковом льду и может быть осуществлено, например, с помощью простейшего ледового бура, которому легко поддаётся толщина льда до 2 м (рис. 2).

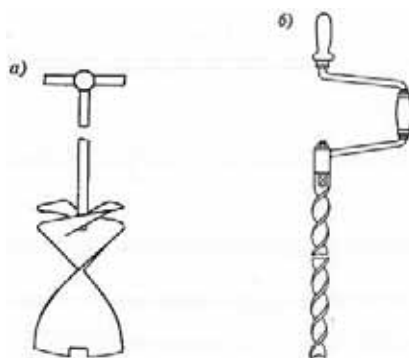


Рис. 2. Ледовые буры: а – ГГИ, б – ГГИ-47

В случае же работы на осколке глетчера разумнее представляется вариант заглубления концов кабелей по краям дрейфующей станции, однако в данном случае мощный слой льда может оказать отрицательное влияние на эффективность установки.

Проведём численные эксперименты для первого (паковый лёд) и второго (осколок глетчера) случаев. Пусть моделируемая область представляет собой четырёхслойную среду, состоящую из слоя воздуха с электропроводностью  $\sigma = 0$ , морской воды, электропроводность которой линейно изменяется в зависимости от глубины (на поверхности  $\sigma = 5$  См/м, вблизи дна  $\sigma = 7$  См/м), подстилающей среды ( $\sigma = 0.1$  См/м) и слоя льда. Электропроводность морских льдов значительно больше, чем у пресноводного льда, и изменяется в широких пределах:  $10^{-6} \div 10^{-1}$  См/м [4]. Для молодых льдов она составляет:  $10^{-3} \div 10^{-1}$  См/м; для многолетних льдов, в зависимости от солёности и температуры, т. е. от содержания рассола, электропроводность может быть в пределах  $10^{-6} \div 10^{-3}$  См/м. Будем брать среднее значение:  $10^{-3}$  См/м. Траекторию дрейфа станций СП условно разделяют на 3 группы [1]: 1 – станции, дрейфовавшие «путём Фрама» через полюс или вблизи его в Гренландское море; 2 – станции, вовлечённые в антициклонический круговорот льдов западного сектора Арктики; 3 – станции, дрейф которых необычен, отличается от первых двух «стандартных» вариантов. Многолетняя история работы станций СП так и не дала точного ответа на вопрос, каким путём пойдёт плавучий лёд. Рассмотрим средние глубины тех морей, которые были пересечены в те или иные годы станциями СП: Чукотское море – 71 м, Гренландское море – 1444 м, море Бофорта – 1004 м, Восточно-Сибирское море – 66 м. Конечно, современные технологии позволяют вести добычу с океанских глубин в несколько километров, однако в данной работе рассмотрен случай, когда глубина слоя морской воды составляет 100 м, поскольку опыт освоения морских арктических и субарктических месторождений показал, что первоочередные месторождения для организации морских нефтегазовых промыслов в условиях сложной ледовой обстановки рационально выбирать вблизи побережья с широко развитой инфраструктурой, где глубины моря не так велики [5]. В подстилающей среде на глубине 50 м от дна расположен объект, представляющий собой антиклинальную ловушку (рис. 3).

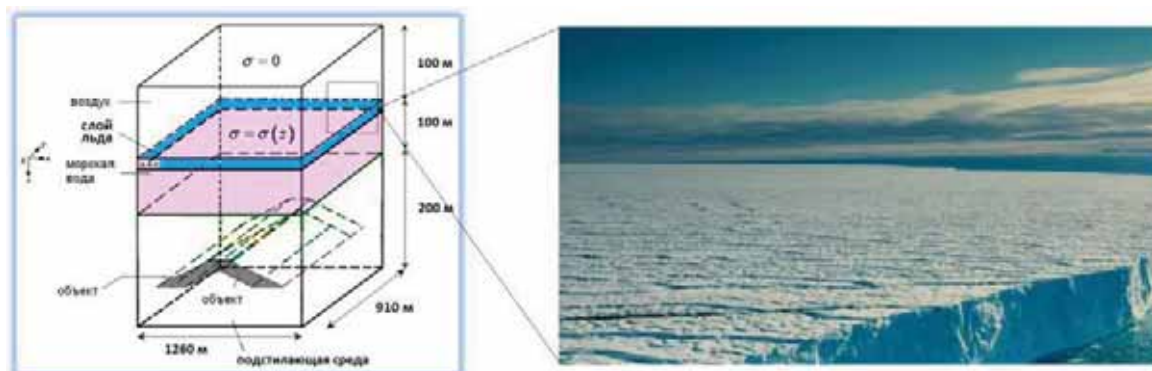


Рис. 3. Модель задачи и расчётная область

Антиклинальная ловушка состоит из четырёх подобластей – глины и коллекторов, насыщенных газом, нефтью или водой (рис. 4).

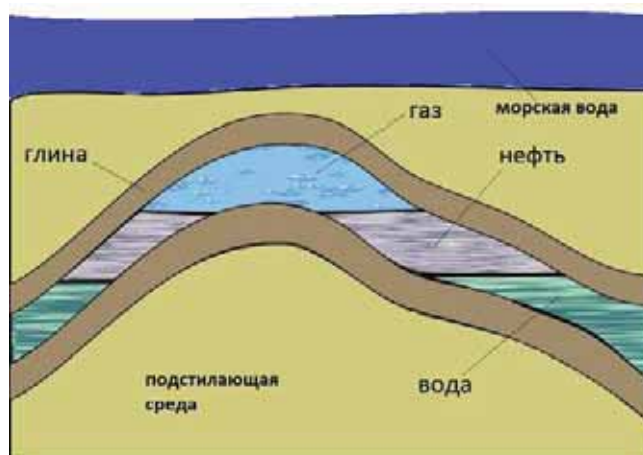


Рис. 4. Модель антиклинальной ловушки

У водонасыщенного коллектора электрическое сопротивление ( $\rho$ ) может варьироваться в промежутке от 2 до 6 Ом·м, у нефтенасыщенного – от 4 до 50 Ом·м, у газонасыщенного – от 30 до 200 Ом·м и, наконец, у глинистых пластов – от 2 до 6 Ом·м. В нашем случае будем задавать следующие значения  $\rho$  :

водонасыщенный коллектор – 4 Ом·м;

нефтенасыщенный коллектор – 40 Ом·м;

газонасыщенный коллектор – 100 Ом·м;

глинистые пласты – в зависимости от того, с какой средой происходит контакт (при контакте с газом – 3 Ом·м; с нефтью – 3.5 Ом·м; с водой – 4 Ом·м).

Ширина коллекторов составляет от 30 до 100 м (у газонасыщенного коллектора), толщина глинистых пластов – около 20 м.

Остаётся определить размеры установки «источник–приёмник». Для тех глубин, которые представлены в расчётной области (рис. 3), целесообразно брать длины кабелей 500 м, расстояние от точки пересечения кабелей до первого приёмника – 500 м, расстояние между приёмниками – 70 м.

Перейдём непосредственно к расчётам. Пусть дрейфующая станция проходит над объектом со скоростью 1 км/ч, что соответствует 2–3 баллам по шкале скорости движения льда [6]. Во время движения происходит фиксация разности фаз между точками измерения (рис. 1). Изначально амплитуды токов в кабелях установки выставлены таким образом, чтобы разность фаз в случае отсутствия объекта в подстилающей среде была около нуля. Для проведения расчётов применялся векторный метод конечных элементов на тетраэдральных базисных функциях, нюансы применения которого в задачах морской геофизики изложены в работе [7]. Получившаяся реакция на объект для случаев работы установки на паковом льду и на осколке глетчера представлены на рис. 5.



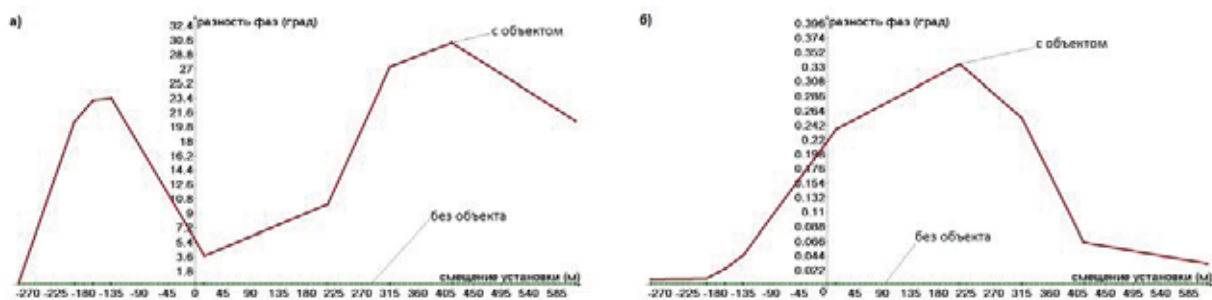


Рис. 5. Реакция на объект (разность фаз, град) при работе установки на паковом льду (а) и на осколке глетчера (б)

Как видно из результатов (рис. 5, а), в случае работы установки на паковом льду на кривой профилирования присутствуют два скачка – при прохождении краёв токового кабеля над краями залежи. Зона скачкообразных изменений оконтуривает залежь. Однако в первом случае контур находится немного ( $\approx 10\%$ ) внутри залежи, а во втором – немного ( $\approx 30\%$ ) выше неё. Максимальная реакция разности фаз на залежь составляет около  $30^\circ$ , что можно считать очень значительной величиной, поскольку погрешность измерений разности фаз в полевых условиях, как правило, составляет не более  $2^\circ$ . Результаты для работы установки на осколке глетчера оказались не столь впечатляющие (рис. 5, б). Как и предполагалось выше, невозможность провести бурение толстого слоя льда оказывает отрицательное влияние на эффективность поиска нефтегазового месторождения, и даже заглубление кабелей по краям дрейфующей станции не помогает избавиться от отрицательного влияния айсберга, которым по сути и является осколок глетчера. Кривая профилирования в данном случае имеет только одно пиковое значение, а реакция разности фаз на объект не доходит и до половины градуса.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угрюмов А.И., Коровин В.П. На льдине к северному полюсу. История полярных дрейфующих станций. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. – 125 с.
2. Шамраев Ю.И., Шишкина Л.А. Океанология. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 382 с.
3. Могилатов В.С., Злобинский А.В. Геоэлектрический эксперимент в Арктике (проект) // Геофизика. – 2016. – № 1. – С. 75–80.
4. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мёрзлых пород и льдов. – Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. – 515 с.
5. Богоявленский В.И. Перспективы и проблемы освоения месторождений нефти и газа шельфа Арктики // Бурение и нефть. – 2012. – № 11. – С. 4–9.
6. Дерюгин К.К., Степанюк И.А. Морская гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 391 с.
7. Мариненко А.В. Моделирование трёхмерных электромагнитных полей в градиентных средах. – Германия: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. – 116 с.

© А. В. Мариненко, М. И. Энов, 2017