



Рис. 4. Сейсморазведочные работы в ледовых условиях с применением УЛЗ

В 2014 г. ОАО «МАГЭ» на арендованном судне «Академик Федоров» отработана уникальная методика выполнения сейсморазведочных работ в сложных ледовых условиях. Для защиты забортного оборудования при работах во льдах спроектировано и запатентовано устройство ледовой защиты (УЛЗ). Это устройство, устанавливаемое на корме судна, обеспечивает возможность крепления буксировочных тросов ниже поверхности воды, позволяя зафиксировать магистраль пневмоисточников и сейсмическую косу вдоль устройства, защищая тем самым забортное оборудование от плавающего на поверхности льда. Внедренное оборудование и технология позволили в течение двух месяцев выполнить более 10 000 км геофизических профилей на покрытой льдом акватории, включая уникальный сейсмический профиль через Северный полюс (рис. 4). Приобретенный ОАО «МАГЭ» опыт и испытанный комплекс оборудования для работы во льдах позволят значительно расширить как географию работ, так и временные рамки проведения сейсморазведки.

Все суда ОАО «МАГЭ» оборудованы высокоскоростными системами спутниковой связи. Это позволяет передавать полевые данные для обработки, интерпретации или согласования с заказчиком в режиме реального времени, что значительно сокращает промежуток времени от получения данных до начала их применения. С целью комплексирования различных методов исследований на все суда были установлены многолучевые эхолоты. В результате проведения попутного многолучевого эхолотирования существенно повышается информативность исследований без дополнительных временных затрат.

Каждое из таких мероприятий вносит свой вклад в общий процесс совершенствования техники, технологии, методики исследований, повышает результативность геолого-геофизических исследований и увеличивает возможность оперативной адаптации научно-исследовательского флота к постоянным переменам на геологоразведочном рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанин, Г.С. Арктический шельф России: инновационный вектор развития отечественной морской геофизики / Г.С. Казанин, Г.И. Иванов, И.В. Заяц, А.Г. Казанин, Е.С. Макаров, С.А. Нечхаев, С.П. Павлов // *Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development*, Геленджик, EarthDoc.org стр. 12–17 DOI: 10.3997/2214-4609.201602176.
2. Казанин, Г.С. Инновационные технологии — основа стабильного развития ОАО «МАГЭ» / Г.С. Казанин, Г.И. Иванов // *Разведка и охрана недр*. — 2014. — № 4. — С. 3–7.
3. Казанин, Г.С. НИС «Геофизик»: новый инженерно-геологический комплекс / Г.С. Казанин, Е.С. Макаров, Г.И. Иванов, М.В. Саркисян // *Нефть. Газ. Новации*. — 2016. — № 1 (183). — С. 60–64.

© Заяц И.В., Макаров Е.С., 2017

Зяец Игорь Владимирович // zayatsi@mage.ru
Макаров Евгений Станиславович // makarov@mage.ru

УДК 550.83+551.35+553.98 (985)

Казанин А.Г., Казанин Г.С., Иванов Г.И., Саркисян М.В., Морозов В.Е. (ОАО «МАГЭ», Мурманск, Москва, Санкт-Петербург)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ РОССИИ

*Рассматриваются инновационные технологии ОАО «МАГЭ» при проведении морских инженерно-геологических изысканий на арктическом шельфе России, которые демонстрируют инновационный вектор развития отечественной морской геофизики. Из наиболее значимых в первую очередь хотелось бы выделить сейсмику высокого разрешения, акустическую съемку ультравысокого разрешения и работы с автономным телеуправляемым подводным аппаратом. Сейсмика высокого и ультравысокого разрешения была использована для детального расчленения верхней части разреза с целью обнаружения газовых «линз» и залежей газогидратов, а также для прогнозирования скопелений мелкозалегающего газа в верхней части разреза. Выполненные в Охотском море работы с подводным аппаратом показали его высокую эффективность при оценке герметичности подводных трубопроводов, заглуженных устьев скважин и целостности подводных инженерных коммуникаций. **Ключевые слова:** ОАО «МАГЭ», арктический шельф, инновационные технологии, сейсмика высокого разрешения, инженерно-геологические изыскания, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, газовые «линзы» и залежи газогидратов.*

Kazanin A.G., Kazanin G.S., Ivanov G.I., Sarkisyan M.V., Morozov V.E. (MAGE, Murmansk, Moscow, St. Petersburg)

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE IMPLEMENTATION OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL WORK ON THE ARCTIC SHELF OF RUSSIA

The article describes the innovative technologies of JSC «MAGE» during the offshore engineering and geological surveys on the Arctic shelf of Russia, which demonstrate the in-

novative vector of the development of domestic marine geophysics. Of the most significant, I would first of all like to single out high-resolution seismic, ultra-high-resolution acoustic surveying and work with an autonomous remote-controlled underwater vehicle. Seismic high and ultra-high resolution were used for detailed dismemberment of the upper part of the section in order to detect gas «lenses» and deposits of gas hydrates, as well as to predict the accumulations of shallow gas in the upper part of the section. Performed in the Sea of Okhotsk work with an underwater vehicle showed its high efficiency in assessing the tightness of underwater pipelines, drowned wellheads and the integrity of underwater engineering communications. Keywords: JSC «MAGE», Arctic Shelf, innovative technologies, high resolution seismic, engineering and geological surveys, remote unmanned underwater vehicle, gas «lenses» and gas hydrate deposits.

В данной статье мы сфокусируем внимание на арктическом шельфе России и тех технологиях, которые демонстрируют инновационный вектор развития отечественной морской геофизики при выполнении инженерно-геологических изысканий.

Инженерно-геологические исследования являются относительно новым направлением деятельности компании [2, 5]. Продолжая намеченный курс на инновационное развитие нам удалось освоить новое направление исследований — инженерно-геологические изыскания, до недавнего времени не выполнявшиеся в экспедиции. Выходя на этот рынок, компания понимала, что нужно предложить что-то новое, что другие компании не могут делать. И как результат инновационной политики за последние несколько лет нам удалось разработать современный комплекс инженерно-геологических исследований на арктическом шельфе, который востребован нашими ведущими нефтяными и газовыми компаниями — Роснефть и Газпром.

В настоящее время МАГЭ выполняет практически весь спектр инженерных изысканий, включая: сейсмическую съемку высокого разрешения; акустическую съемку ультравысокого разрешения; батиметрическую съемку; магнитометрию; гидролокацию бокового обзора (ГЛБО); статическое зондирование; прободоотбор; бурение инженерно-геологических скважин (с глубиной по грунту до 50 м при глубинах до 300 м); обследование объектов с помощью телеуправляемых аппаратов; геодезию; литодинамику, гидрометеорологию; экологические изыскания; мониторинг течений, уровней волн, приливно-отливных явлений, толщины льда и т.д. [3].

Наряду со стандартными методами исследований хотелось бы отметить инновационные технологии, которые использует компания МАГЭ для проведения инженерно-геологических работ, в первую очередь сейсмику высокого разрешения, акустическую съемку ультравысокого разрешения и работы с автономным телеуправляемым подводным аппаратом.

Говоря об инновационных технологиях нельзя забывать и о стандартных методиках геофизических исследований при выполнении инженерно-геологиче-

ских работ на шельфе. В зависимости от геологического строения акватории и геологических задач наша компания, как правило, использует практически весь спектр геофизических исследований при выполнении геологических изысканий. Компания владеет достаточно широким спектром методик сейсмического и геоакустического направления. В первую очередь это различные модификации непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) как одноканальные, так и многоканальные комплексы. При этом есть возможность в зависимости от типа разреза и стоящих перед исследователями задач, выбирать либо высокочастотную модификацию с использованием электродинамического источника типа «Бумер» (Geo-Spark 1 кJ), либо Geo-Boomer 300–500 с энергией заряда кДж — 0,5, напряжением заряда кВ до — 5600, с центральной частотой порядка 4000 Гц, либо низкочастотную с источником мощностью 6–16 кJ или Geo-Source 1,6 кJ с частотой излучения — 400–600 Гц.

Многоканальное НСАП выполняется на базе 48 канальной пьезокосы Geo-Sense UHR 48 Channel Streamer (GeoMarineSurvey, Голландия) с длительностью записи не менее 0,5 с, при шаге дискретизации — 0,125; 0,25; 0,5 мс. Для освещения разреза на глубину



Рис. 1. Вибрационный прободоотборник GEO-VIBRO CORER 3000+6000

не менее 20 м с разрешением не хуже 0,5 м используется параметрический профилограф Innomar SES-2000 Light, работающий на двух каналах — 100 кГц и 5–15.

Для характеристики рельефа и морфоструктур участков дна используются многолучевой эхолот и гидролокатор бокового обзора. Кроме того, гидролокаторы бокового обзора позволяют выявлять и картировать потенциально опасные объекты на морском дне. Для этой цели используется как многолучевой эхолот Kongsberg EM 2040 C (Dual Head), так и различные варианты гидролокаторов C-Max CM2 или Klein 3000. Магнитометрические исследования выполняются с использованием магнитометра SeaSpy2.

Для координации работы подводных средств используется система подводной навигации USBL Ranger 2. По результатам исследований оперативно строятся «мозаики» изображения дна.

Для отбора проб донных осадков используются как стандартные методы пробоотбора, так и новейшие вибрационные пробоотборники GEO-VIBRO CORER 3000+6000, позволяющие отбирать ненарушенный керн длиной до 6 м (рис. 1).

Еще одним, на наш взгляд важнейшим видом исследований, является геостатика (СРТ — зондирование), где для определения физико-механических свойств (лобовое сопротивление и сопротивление вращательному срезу) «in situ» используется установка 50kN CPT System.

Далее переходим собственно к инновационным технологиям. Сейсмика высокого и ультравысокого разрешения используется в первую очередь для детального расчленения верхней части разреза с целью обнаружения газовых «линз» и залежей газогидратов, а также для прогнозирования скоплений мелкозалегающего газа в верхней части разреза [4, 6]. Своевременное обнаружение скоплений газа является актуальной задачей при разведке и разработке месторождений углеводородов на шельфе. Избыточные пластовые давления, возникающие в таких газовых карманах, представляют значительные риски при строительстве скважин и размещении подводных объектов обустройства. Одной из причин пристального внимания к данной проблеме послужила авария на скважине 2 в Охотском море [7].

Важнейшим элементом технологии сейсмики высокого разрешения является регистрирующая система комплекса, работающая на основе специализированной сейсмической косы. В настоящее время мы используем современное оборудование российской компании «Си Технолоджи Инструмент» (Геленджик) с близкими параметрами. Компании удалось создать 192-канальную цифровую косу (XZoneBottomFish) с активной длиной 1200 м. Важным элементом данной косы является уменьшенный шаг между каналами сейсмодоски (6,25 м и 3,125 м), который значительно повышает детальность сейсмического разреза [1]. Глубина проникновения полезного сигнала составляет около 1 км, при разрешающей способности 2–5 м [5]; твердотельная, экологически безопасная конструкция заборной части приемного устройства играет важную роль.



Рис. 2. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат Sperre SUB-fighter 15k

Результаты проведенных за последнее время работ с использованием технологии сейсмики высокого разрешения показывают ее высокую эффективность и информативность для детального расчленения верхней части разреза с целью обнаружения газовых линз и залежей газогидратов. Были обследованы лицензионные участки ПАО «Газпром» и ПАО «Роснефть» в Охотском и Карском морях [4, 6].

Более подробно об этой технологии рассказано в предыдущей статье.

В данной статье мы более детально остановимся на работах с телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом Sperre SUB-fighter 15k. Для выполнения специализированных инженерно-геологических изысканий мы приобрели новое судно и назвали его в честь одного из сотрудников МАГЭ, воевавшего в Заполярье в партизанском отряде — «Федор Ковров». Оно оборудовано системой динамического позиционирования и имеет на борту телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) Sperre SUB-fighter 15k, размещенный в 20-футовом контейнере (рис. 2).

Аппарат имеет размеры 200 × 82 × 130 см. Он оснащен четырьмя горизонтальными двигателями мощностью по 2000 Вт каждый, двумя вертикальными (2 × 2000 Вт) и одним лаговым мощностью 2000 Вт. Тяга для каждого двигателя 400 Н. Он может двигаться со скоростями: горизонтальная 3,5 узла, вертикальная 1,9 узла и лаговая 1,2 узла. Максимальная глубина погружения около 3000 м.

ТНПА оснащен тремя видеокамерами высокой четкости с десятикратным оптическим и четырех цифровым зумом. Камеры способны работать в условиях низкой освещенности до 0,05 люкс. Запись осуществляется в режиме Full HD 1080p (1920x1080).

Кроме того, аппарат оснащен сонаром MS 1000 Kongsberg Mesotech 1171 и гидравлическим манипулятором HLK-HD5. На нем установлены специальные устройства для отбора проб воды, донных осадков и газовой фазы (рис. 3).

Спектр задач, которые можно решать с помощью данного устройства очень широк. Это: изучение рельефа и построение цифровой модели;



Рис. 3. Оборудование для отбора проб придонной воды и донных осадков

определение планово-высотного положения оси трубопровода;

оценка глубины залегания трубопровода;

оценка геометрических размеров участков частичного/полного замыыва/размыыва;

оценка повреждений трубопровода от воздействия льда, рыбопромыслового оборудования, якорей и якорных цепей;

фиксация утечек углеводородного сырья из трубопровода, деформаций, поврежденных металлических манжет, стыков труб (каждые 12 м) на открытых участках;

состояние бетонного покрытия трубопровода на открытых участках;

определение дефектов с помощью электрометрии: повреждения изоляции, измерения параметров анодной защиты (недозащита, перезащита) на открытых участках, визуальное обследование ЛКП на предмет повреждений, анализ состояния защиты;

оценка наличия посторонних предметов на морском дне, в т.ч. представляющих опасность для трубопровода/шлангокабеля;

очистка индикаторов ЗРА, элементов управления ЗРА и указателей положения открыто/закрыто запирающего элемента ЗРА, фиксация положения ЗРА (откр./закр.), очистка информационных надписей, обозначений от водорослей и отложений;

отбор и анализ проб воды/газа в случае газопроявлений в районе линейного тройника.

Заключение

Результаты проведенных за последнее время исследований с использованием технологии сейсмики высокого разрешения показывают ее высокую эффективность и информативность для детального расчленения верхней части разреза с целью обнаружения газовых «линз» и залежей газогидратов. Были обследованы лицензионные участки в Карском море и западной и северо-западной частях Охотского моря. Работы выполнялись для ПАО «Газпром» и ПАО «Роснефть».

По данным высокоразрешающей сейсморазведки наблюдается загазованность разреза, проявляющаяся

аномалиями повышенных амплитуд. Выделенные зоны характеризуются рядом признаков, идентифицирующих их с газонасыщенными отложениями, которые, в свою очередь, указывают на вероятность наличия в разрезе зон высоких давлений (АВПД). Таким образом, для более безопасной проходки верхнего ствола скважины рекомендуется при выборе проектных координат расположения буровой платформы исключить участки с разрывными нарушениями, а также минимизировать количеством контактов с аномальными зонами повышенных амплитуд по вертикали в точке бурения.

Выполненные в Охотском море работы с подводным аппаратом показали его высокую эффективность при оценке герметичности подводных трубопроводов, заглушенных устьев скважин и целостности подводных инженерных коммуникаций.

МАГЭ — это комплексные инженерно-геологические изыскания (высокоразрешающая сейсморазведка, сейсмика ультравысокого разрешения, многоканальное НСАП, гидромагнитка, СРТ — зондирование, донный пробоотбор, гидрофизическое зондирование, работы с АНПА) с помощью самого современного оборудования с использованием инновационных технологий.

Впервые в практику инженерно-геологических изысканий на российском континентальном шельфе внедрены технологии высокоразрешающей и ультравысокоразрешающей сейсморазведки с использованием оборудования произведенного в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Запорожец, Б.В.* Технологии сейсморазведочных работ в зонах мелководья с оборудованием XZone / Б.В. Запорожец, А.Л. Крутов, И.В. Леонтьев // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2015. — № 1.
2. *Иванов, Г.И.* Морская геофизика на самом современном уровне / Г.И. Иванов // Нефть. Газ. Новации. — 2014. — № 1. — С. 28–30.
3. *Иванов, Г.И.* Эндогенные источники поступления нефтяных углеводородов в придонную экосистему и технологии их исследования / Г.И. Иванов, М.А. Холмянский, М.Ю. Шкатов, Г.С. Казанин, С.П. Павлов // Записки горного института. — 2013 — Т. 201. — С. 253–261.
4. *Казанин, Г.С.* Инновационные технологии ОАО «МАГЭ» — потенциал для укрепления МСБ арктического шельфа России / Г.С. Казанин, Г.И. Иванов, И.В. Заяц, А.Г. Казанин, Е.С. Макаров, С.И. Шкарубо, С.П. Павлов, С.А. Нечхаев // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 9. — С. 56–64.
5. *Казанин, Г.С.* Инновационные технологии — основа стабильного развития ОАО «МАГЭ» / Г.С. Казанин, Г.И. Иванов // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 4. — С. 3–7.
6. *Курносова, О.М.* Прогнозирование скоплений мелкозалегающего газа в верхней части разреза на месторождениях Киринского ЛУ / О.М. Курносова, И.В. Яковлев, С.В. Зиновкин // Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток (ROOGD-2014): тезисы V междунар. конф. — М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2014. — С.34–36.
7. *Павлов, С.П.* Сейсмика высокого разрешения на шельфе морей российской Арктики / С.П. Павлов, Г.С. Казанин, И.В. Заяц, Е.С. Макаров, Г.И. Иванов // Тр. Междунар. конф. и выставки по судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа Offshore Marintec Russia — 2014, Санкт-Петербург — СПб.: ХИМИЗДАТ, 2014.

© Коллектив авторов, 2017

*Казанин Алексей Геннадьевич // a.kazanin@mage.ru
Казанин Геннадий Семенович // kazaning@mage.ru
Иванов Геннадий Иванович // ivanov.gi@mage.ru
Саркисян Михаил Валерьевич // m.sarkisyan@mage.ru
Морозов Виктор Евгеньевич // victor.morozov@mage.ru*