

УДК 624.131.3:550.834.08:550.822.3

## Сейсмика высокого разрешения – новый шаг вперед при изучении опасных геологических процессов



**Г.И. Иванов**, д.г.-м.н.  
Тел. +7 911 313 11 12  
ivanov.gi@mage.ru



**А.Г. Казанин**, к.т.н.  
a.kazanin@mage.ru



**М.В. Саркисян**  
m.sarkisyan@mage.ru

**В.В. Ланцев**  
**Н.Т. Некрылов**  
**В.Ю. Ионов**  
**С.П. Павлов**  
**Е.С. Макаров**  
/ОАО «МАГЭ»/

Представлены инновационные технологии для выполнения сейсмических работ высокого разрешения. Данные технологии используются при проведении инженерных изысканий для детального расчленения верхней части разреза с целью обнаружения газовых линз и залежей газогидратов. Рассказывается о технических средствах и оборудовании, применяемых для проведения сейсмических работ высокого разрешения. Показаны результаты проведенных работ с использованием технологии сейсмики высокого разрешения.

**Ключевые слова:** инженерные изыскания, технология сейсмики высокого разрешения, сейсмическая коса, обнаружение газовых линз, пневмоисточники, пневмопушки, контроллер пневмоисточников, интерпретация сейсмических данных, программный пакет Kingdom Software, амплитудные аномалии, риск при проведении буровых работ, загазованность разреза.

Важным и относительно новым направлением для ОАО «МАГЭ» являются геотехнические изыскания. В настоящее время компания выполняет весь спектр инженерных изысканий, включая сейсмическую съемку высокого разрешения; акустическую съемку ультравысокого разрешения; батиметрическую съемку; магнитометрию; гидролокацию бокового обзора (ГЛБО); статическое зондирование; прободоотбор, бурение инженерных скважин (с глубиной по грунту до 50 м при глубинах до 300 м); обследование объектов с помощью телеуправляемых ап-

паратов; геодезию; литодинамику, гидрометеорологию; экологические изыскания; мониторинг течений, уровней волн, приливно-отливных явлений, толщины льда и т.д. [1]. При этом необходимо отметить, что наряду со стандартными методами исследований (бурение, прободоотбор, высокочастотная геоакустика) впервые были использованы инновационные технологии для выполнения сейсмических работ высокого разрешения и акустической съемки ультравысокого разрешения. Данные технологии используются для детального расчленения верхней части разреза с целью обнаружения



газовых линз и залежей газогидратов [2]. Необходимо отметить, что при проведении этих исследований наряду с импортными техническими средствами используется и отечественное оборудование.

### Методика

Важнейшим элементом технологии сейстики высокого разрешения является регистрирующая система комплекса, работающая на основе специализированной сейсмической косы с шагом 6,25 м (Hydroscience Technologies). Глубина пенетрации – около 1 км при разрешающей способности 2-5 м в зависимости от геологического строения осадочного чехла, что позволяет значительно повысить детальность сейсмического разреза и, в частности, выявить скопления газа (рис. 1) [1]. Немаловажную роль играет твердотельная, экологически безопасная конструкция заборной части приемного устройства.

Впервые данная технология была применена компанией на акватории Штокмановского газоконденсатного месторождения Баренцева моря [5]. Были выполнены опытно-методические работы, показавшие высокую информативность и эффективность технологии при обнаружении и картировании газовых линз в верхнем слое осадков (рис. 2) [2].

В настоящее время компания располагает косой российского производства компании «Си Технолджи Инструмент» (Россия) с близкими параметрами. В качестве приемного устройства используется российская 192-канальная цифровая коса модели XZoneBottomFish с активной длиной 1200 м и расстоянием между каналами 6,25 м (рис. 3) [2]. Стабилизация сейсмокосы на заданной глубине осуществляется при помощи компасных контроллеров глубины DigiBird 5011E. Положение сейсмокосы непрерывно выводится на дисплей управляющего контроллера DigiCOURSE в табличной и графической формах. На конце сейсмической косы установлен концевой буй PartnerPlast 800L, оборудованный проблесковым маячком, радаром-рефлектором и GNSS-приемником.

В качестве источника упругих колебаний используется кластер, состоящий из 4 пневмопушек G.GUN II объемом от 150 до 40 куб. дюймов каждая. Эти пневмоисточники являются передовыми в своем классе в результате высокой производительности в самых тяжелых условиях. Также имеется альтернативный источник, состоящий из 4 пневмопушек SleeveGun по 40 куб. дюймов каждая. Автоматический контроль и синхронизация работы пушек осуществляются с помощью контроллера BigShot, который имеет временное разрешение 0,1 мс. Дополнительно контроллер пневмоисточников получает информацию о заглублении кластера пневмопушек. Для набивки пневмоисточников воздухом до давления 2000 psi используется российский компрессор высокого давления ЭК 2ВМ-5 221 Краснодарского компрессорного завода.



Рис. 1. Образец записи сейстики высокого разрешения с газовой линзой [5]

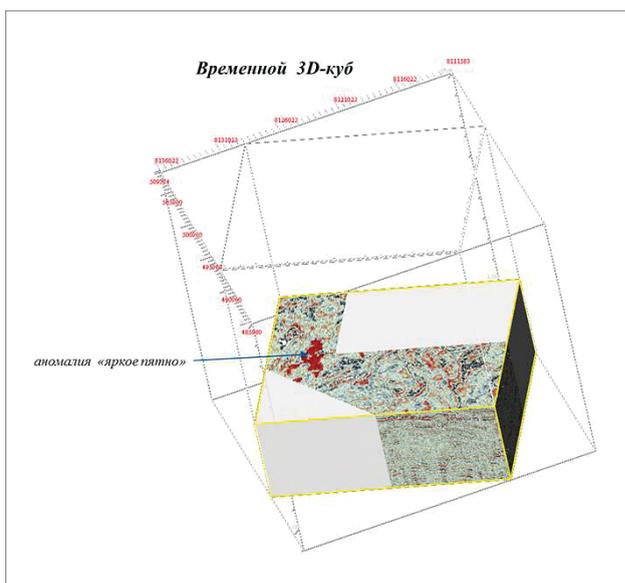


Рис. 2. Газовые аномалии на Штокмановском ГКМ. Временной 3D-куб [5]



Рис. 3. Российская 192-канальная цифровая коса модели XZoneBottomFish производства компании «Си Технолджи Инструмент»

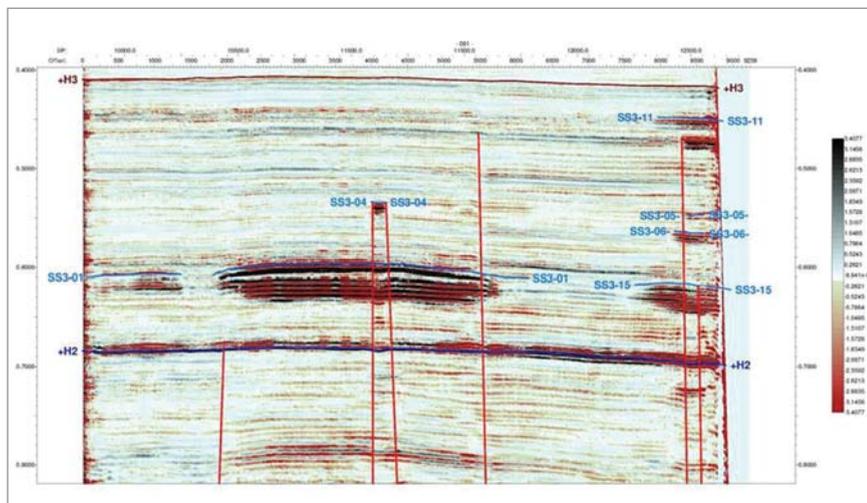


Рис. 4. Сейсмический разрез AVO-атрибута (произведение интерсепта и градиента), иллюстрирующий аномальные участки

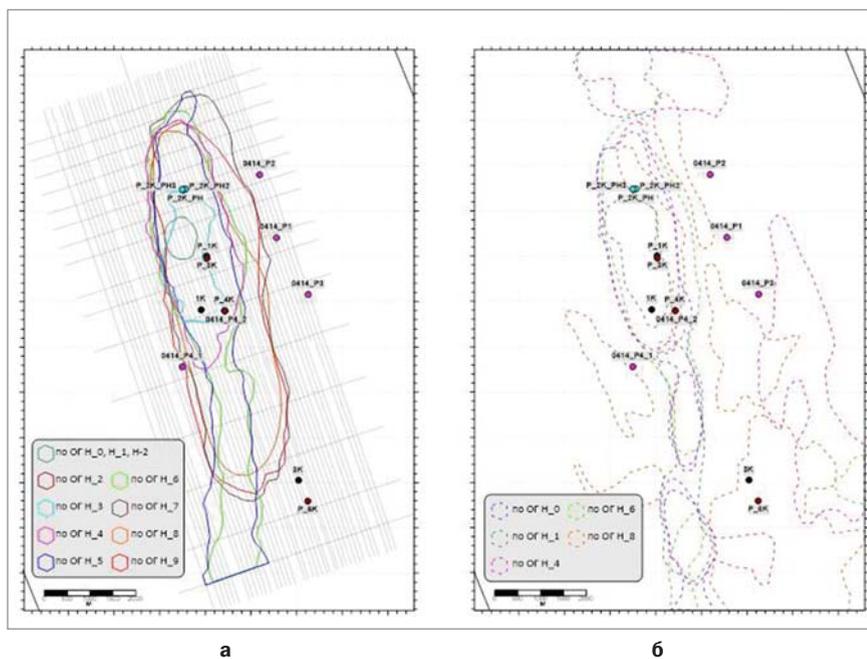


Рис. 5. Пример картирования областей аномально высоких амплитуд волнового поля: а – по данным 2D-съемки; б – по данным 3D-съемки [4]

**Результаты**

Интерпретация сейсмических данных производилась в программном пакете Kingdom Software. Для более удобного ранжирования аномальных зон в изучаемом разрезе были выделены основные отражающие горизонты. Детальный анализ сейсмических разрезов показал наличие большого количества амплитудных аномалий разной мощности и размеров в пределах выделенных сейсмических комплексов.

Максимальный риск при проведении буровых работ связан с наличием на сейсмических разрезах амплитудных аномалий, предположительно приуроченных к газонасыщенным отложениям, и зонам разрывных нарушений, которые, вероятно, служат каналами миграции газа вверх по разрезу. Для анализа и идентификации аномальных зон нами использовались следующие признаки: очень высокие амплитуды отражений (более чем в 10 раз превышающие сред-

нее значение по латерали), высокие амплитуды отражений (более чем в 5 раз превышающие среднее значение по латерали), инверсия фаз отражений (смена полярности), «прогибание» осей синфазности под аномалией, обусловленное уменьшением значений скорости («скоростной эффект»), резкое уменьшение амплитуд по латерали, не связанное с разрывными нарушениями, поглощение высоких частот под аномалиями, высокие значения AVO-атрибута – произведение интерсепта на градиент, ослабление амплитуд под аномалией, приуроченность аномалий к ослабленным зонам (в т.ч. системам разломов). Совокупность всех перечисленных признаков указывает на значительную загазованность отложений верхней части разреза. Аномальные зоны характеризуются в основном субгоризонтальной формой по латерали, а также небольшой мощностью (рис. 4).

Для каждого фактора было определено весовое значение. Оценка производилась по 10-балльной шкале. После ранжирования всех составляющих по совокупности вклада каждого из факторов была составлена классификация амплитудных аномалий по степени риска для бурения. Интегрированный показатель оценки степени риска определялся на основе суммы всех составляющих. В итоге была предложена следующая классификация: незначительный – 0; низкий – 1-24; средний – 25-48; высокий – 49-72.

Трансформация временного масштаба в глубинный производилась с помощью разрезов RMS-скоростей, переданных после этапа обработки полевых материалов. Построение глубинных карт выполнялось посредством операции гридирования результатов корреляции аномальных зон. Интерполяция 2D-данных осуществлялась по методу наименьших квадратов в ячейке 200x200 м. Для сглаживания высокочастотной компоненты применялась итерация сглаживания.

Результаты картирования областей аномально высоких амплитуд



волнового поля по данным 2D- и 3D-съемки приведены на **рис. 5**.

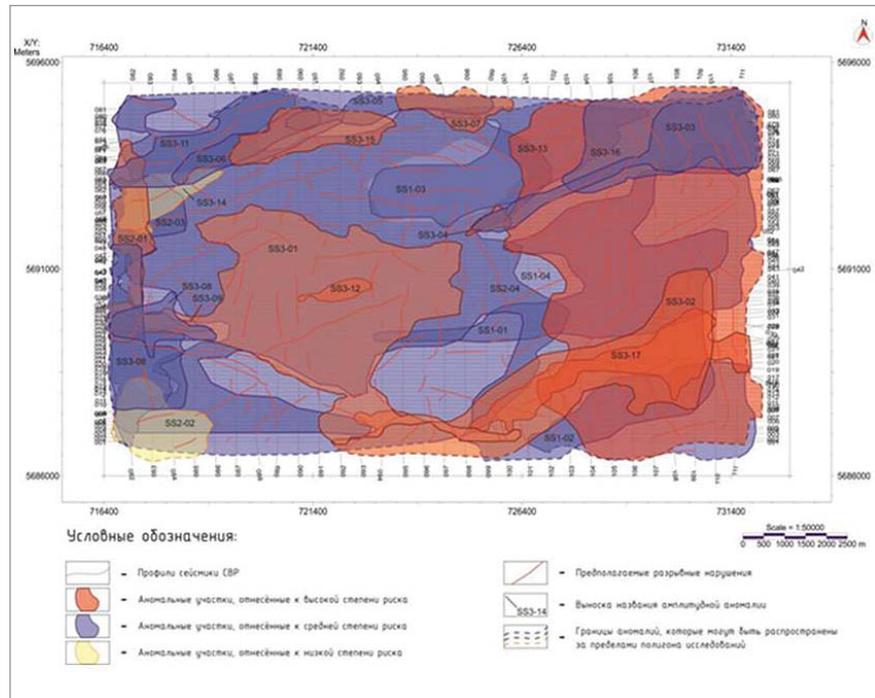
По результатам оконтуривания всех высокоамплитудных участков была построена сводная карта рисков (**рис. 6**), на которой цветовая гамма соответствует степени риска при проведении буровых работ. Анализ приведенных выше сейсмических данных позволяет выявить основные геолого-геофизические факторы, определяющие условия проходки верхнего интервала и строительства проектной скважины.

Выделенные зоны амплитудных аномалий имеют разную форму, мощность и распространение. Выделяются следующие основные разновидности амплитудных аномалий: 1) зоны с сейсмической записью линзовидной формы; 2) зоны амплитудных аномалий субгоризонтальной формы вдоль напластования в разрезе, приуроченные к разрывным нарушениям, что можно связать с миграцией газа вдоль поверхности разлома и насыщением им проницаемых приразломных отложений.

Таким образом, к наиболее благоприятной зоне для постановки скважинного сооружения рекомендуется отнести участки с отсутствием разрывных нарушений, а также с минимальным количеством аномальных зон повышенных амплитуд.

### Заключение

Результаты проведенных за последнее время работ с использованием технологии сейсмоки высокого разрешения показывают ее высокую эффективность и информативность для детального расчленения верхней



**Рис. 6.** Сводная карта выделенных полигонов амплитудных аномалий. Красными линиями отмечены положения разрывных нарушений в пределах площади исследования

части разреза с целью обнаружения газовых линз и залежей газогидратов. Были обследованы участки обустройства Южно-Киринского ГКМ на лицензионных участках «Лисянский» (площадка «Ульбериканская-1») и «Магадан-1» (площадки «Дукчинская-2» и «Хмитевская-2») в Охотском море и площадки Ленинградского ГКМ и Нярмейского лицензионного участка в Карском море. Работы выполнялись для ООО «Газпром геологоразведка», ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск», ООО «Лисянскморнефтегаз», ООО «Магаданморнефтегаз».

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 количество контактов с аномальными зонами повышенных амплитуд по вертикали в точке бурения.

### Литература

1. Иванов Г.И. Морская геофизика на самом современном уровне // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 1. – С. 28-30.
2. 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. – СПб: СПГУ (ТУ), 2013. – Т. 201. – С. 253-261.
3. Казанин Г.С., Иванов Г.И. Инновационные технологии – основа стабильного развития ОАО «МАГЭ» // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 4. – С. 3-7.

### 4. Курносова О.М., Яковлев И.В., Зиновкин С.В.

Прогнозирование скоплений мелкозалегающего газа в верхней части разреза на месторождениях Киринского ЛУ // Тезисы V Международной конференции «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток (ROOGD-2014)», Газпром ВНИИГАЗ, Москва, 2014. – С. 34-36.

5. Сейсмика высокого разрешения на шельфе морей российской Арктики / С.П. Павлов, Г.С. Казанин, И.В. Заяц, Е.С. Макаров, Г.И. Иванов // Offshore Marintec Russia: Труды Междунар. конф. и выставки по судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа, Санкт-Петербург, 2014. – СПб.: Химиздат, 2014. – С. 162.