

Методы повышения эффективности морских сейсморазведочных работ 3D

■ Горбачев С.В., член-корреспондент Российской инженерной Академии, г. Москва.

Аннотация. Проведение сейсморазведочных работ 3D с буксируемым оборудованием на шельфе является достаточно затратной и сложной задачей, требующей привлечения современного сейсмического судна с большим количеством сейсмического, навигационного и другого вспомогательного оборудования, а также судов сопровождения и снабжения. За последнее десятилетие с ростом технологических возможностей и их широкого применения стала возможной реализация различных конфигураций методик выполнения работ для решения широкого спектра задач поиска, разведки и мониторинга разработки месторождений нефти и газа. В работе представлены возможные варианты, как повышения качества полевых данных, так и оптимизации методик сейсмических наблюдений 3D, направленных на повышение экономической эффективности работ без существенной потери качества данных. Доказано на практике, что при правильном подходе к планированию полевых сейсморазведочных работ и выборе доступных технологических решений, возможно существенно оптимизировать технологическую схему выполнения работ, а благодаря ей сократить время и стоимость проектов с учетом решения поставленных задач, а также получить дополнительную геолого-геофизическую информацию.

Ключевые слова: сейсморазведочные работы 3D, морское буксируемое оборудование, кратность, разрешающая способность, оптимизация методик и технологий, повышение эффективности, решение геолого-геофизических задач.

Введение

Сейсморазведочные работы являются наиболее эффективным методом поиска и разведки месторождений нефти и газа, как на суше, так и на акватории. Существует множество разновидностей методик и технологий работ, имеющих как различные возможности, так и ограничения при их реализации (глубины моря, природно-климатические условия) в зависимости от стоящих геолого-геофизических задач. Ключевым моментом является общий график реализации геологоразведочных проектов, где сейсмические исследования являются одним из первых и дорогих этапов и служат основанием для последующего планирования поисково-оценочного и разведочного бурения. Также надо учитывать, что при успехе поисково-разведочного этапа и принятии решения о введении месторождения в разработ-

ку, потенциально, могут потребоваться повторные сейсмические исследования (так называемый 4D мониторинг), которые эффективно себя зарекомендовали на континентальном шельфе в различных регионах мира, в том числе и в акваториях Российской Федерации (более чем на 6 месторождениях). Поэтому уже на этапе планирования первичных 3D работ необходимо учитывать, можно ли будет этими работам воспользоваться на этапе разработки при мониторинге или надо будет закладывать новые 3D/4D работы, как базовые. То есть первые 3D будут рассматриваться только для уточнения структуры, прогноза свойств разреза, планирования поисково-оценочных и разведочных скважин, а также создания модели для принятия решений о разработке.

Существует две принципиально отличных технологии морских сейсморазве-

дочных работ. Работы с донным оборудованием, в которых раскладка регистрирующего оборудования осуществляется с помощью судов-раскладчиков на поверхность дна, а возбуждение сейсмического сигнала осуществляется с судна источника в водном слое. Работы выполняются в переходных и транзитных зонах, куда не может зайти большое сейсмическое судно в связи с малыми глубинами или для решения специальных задач, таких как регистрация широкоазимутальных данных и использование многокомпонентной регистрации с целью получения данных на продольных и обменных (поперечных) волнах. Такие работы технологически достаточно сложные, имеют невысокую производительность (около 100-200 кв.км. в месяц) и, более высокую стоимость. Вторая технология - это сейсморазведочные работы с буксируемым оборудованием, которые заключаются в буксировке регистрирующего оборудования и источников сейсмического сигнала в водном слое за сейсмическим судном. Эти работы считаются стандартными для исследований шельфовых/морских территорий по всему миру и имеют различные конфигурации съёмки и оборудования. Производительность выполнения таких работ более высокая, примерно в 5-10 раз выше, чем у донного оборудования в зависимости от формы контура работ, судна и выбранной конфигурации сейсмического оборудования.

В данной работе рассмотрены возможные варианты повышения эффективности и оптимизация сейсмических работ 3D с буксируемым оборудованием с учетом особенностей решения различных геолого-геофизических задач.

Для начала рассмотрим варианты применения сейсморазведочных работ, на каких этапах ГРП они нужны, какие результаты позволяют получить, какие

требования предъявляются к ним и какие существуют допущения. Сейсморазведка - геофизический метод поиска и разведки месторождений нефти и газа, основанный на возбуждении упругих волн и регистрации их отражений от глубинных горизонтов. С учетом стадийности геологоразведочных работ (ГРП) можно предъявлять различные требования к методикам и технологиям полевых работ. На региональном этапе, для первоначального поиска, выявления потенциальных структур выполняются профильные 2D сейсморазведочные работы. На этапе разведки могут выполняться как 2D, так и 3D работы, в зависимости от степени изученности объекта, его геологического строения и факторов риска бурения без наличия 3D данных. В любом случае, чтобы адекватно оценить геологический объект / месторождение и планировать его разработку необходимо иметь качественную объёмную сейсмогеологическую модель, а она может быть получена только на основании 3D сейсмических данных. От качества этих данных во многом зависят результаты прогноза углеводородов, риски бурения и разработки. Поэтому к планированию и проектированию полевых работ необходимо подходить очень тщательно, детально оценивая, как сами методики и технологии работ, давая «запас прочности» данным, так и этапы развития всего проекта в целом.

Требования, предъявляемые к сейсморазведочным работам концептуально схожи как для сухопутных, так и для шельфовых работ. Они основываются на основных понятиях: разрешающая способность, освещённость и качество данных. Разрешающая способность по вертикали и горизонтали зависит от характеристик системы наблюдения: расстояния между источниками, прием-

никами и линиями приемников и источников, что приводит к понятиям размера и кратности наблюдений. Также разрешающая способность зависит от характеристик источников генерирующего сигнала, оборудования которое его регистрирует и, конечно же, характеристик среды, через которую проходит сейсмический сигнал. В работе [Горбачев, 2012] показан пример, как изменение шага пунктов приема существенно сказывается на изображении среды. От выбора конфигурации и характеристик морского пневмоисточника очень много зависит, но в данной работе этот вопрос анализироваться не будет, примем ее за постоянную для всех вариантов.

Очень важным параметром является освещенность объекта исследований. Чаще всего 3D работы планируются по редкой сети 2D профилей, не всегда корректно отображающей сложное геологическое/тектоническое строение или учитывающие «аномалии» разреза (например, газовые шапки, мерзлота, термоклины и т.д.), что приводит к неоптимальной освещенности в приоритетных геологических зонах. Поэтому, на этапе планирования работ необходимо учитывать все факторы и корректно закладывать как систему наблюдения, так и полигоны номинальной и «половинчатой» кратности с учетом апертур миграции. Тут эффективным инструментом является качественное проектирование систем наблюдения с использованием сейсмогеологическое моделирования [Горбачев, 2011].

Что касается вопроса качества данных, то его лучше рассматривать комплексно, не только как соответствие требованиям Геолого-Технического задания (работа, расположение оборудования и соблюдение допусков), а как совокупность трех факторов: планирование, качество

полевых работы (по ГТЗ) и качество решения поставленной геолого-геофизической задачи (с учетом последующей обработки и интерпретации данных). При таком разделении понятия «качество» сейсмических данных можно обосновано рассматривать как отдельное понятие по факторам и подфакторам, так и совокупно, и выявить возможные ошибки и устранить их в будущем.

В современных реалиях выполнения программы ГРР как основы бизнеса, очень важно уже на этапе планирования определять параметры эффективности работ и проектов. С учетом того, что ГРР и, особенно первоначальные сейсмические исследования, не могут быть экономически эффективными, так как доход от их проведения можно получить только после первой добытой нефти, а это только через 5-10-15 лет (или же перепродажа данных или участка с новыми данным по увеличенной цене), то надо вводить дополнительные критерии оценки качественного уровня. Видится корректным разделить эффективность на несколько блоков. Во-первых, это решение поставленной геолого-геофизической задачи, которую можно выразить в уже описанных выше получении данных заданного качества, покрытия, освещенности и т.д. Во-вторых, это затраты на сами работы, где чем ниже затраты при тех же или схожих результатах, тем проект более эффективный.

В-третьих, можно рассмотреть риски реализации проекта с точки зрения времени или не реализации его вообще в связи с техническими и природно-климатическими и другим видами рисков. То есть наличие рисков поломки судов и оборудования, не открытия акватории или прихода льда, штормов и т.д. надо также учитывать при выборе

систем наблюдения, судов и оборудования [Горбачев, 2021].

В-четвертых, надо рассматривать какая дополнительная информация может быть получена для проекта напрямую, не затрагивая решение сейсмических задач в рамках базового геологоразведочного процесса. Например, размещение на судне/судах гравиметрического и магнитометрического (ГМ) оборудования и получение детальных моделей полей с решением специфических задач [Черников, 2020]. Возможно, размещение на судах дополнительного комплекса для инженерного-геофизических исследований (ИГФИ), для предварительной оценки зон с аномалиями и опасностями. В качестве примера, если бы ГМ или ИГФИ делались бы отдельными работами, то пришлось бы дополнительно нанимать суда, приходить в район, работать, то есть выполнять полноценный проект, а так это сопутствующие работы за минимальные затраты в несколько десятков раз меньшие, чем полноценные работы.

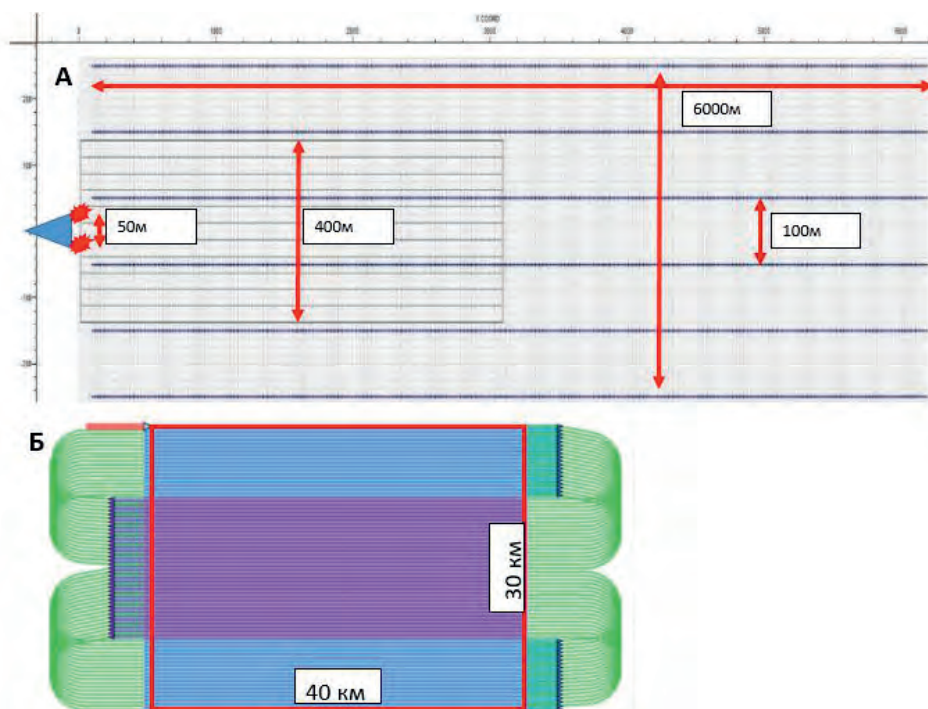
При работах в южных морях с большим безледовым периодом, ограничиваясь только погодными условиями (базовое ограничение по волне 2 м), можно варьировать параметры системы наблюдения оптимизируя и объемы работ под геологические задачи и финансово-экономическую составляющую проектов. В Арктических (Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское и Карское) и Северных (Баренцево, Печорское и Охотское) морях, кроме погодных условий существенным ограничением является также и безледовый период на самом участке работ и по маршруту следования судов. Например, море Лаптевых и В-Сибирское может очищаться намного раньше ото льда чем пути прохода в эти моря через проливы Вель-

кицкого, Санникова и др. С учетом этого фактически период выполнения возможных работ становится ограниченным 20-60 днями, что накладывает существенные ограничения на покрытие больших площадей 3D сейсмическими исследованиями. При планировании работ необходимо учитывать дни непогоды, что статистически может варьироваться от 10 до 30% в месяц. И, конечно же, нельзя забывать о туманах, которые в Арктических регионах и на шельфе Охотского моря очень частые явления. Они оказывают достаточно серьезные ограничения, как на безопасность проведения работ и риски встречи с ледяными полями и айсбергами, так и технические операции по ремонту забортного оборудования и бункеровок. Еще одним ограничивающим фактором для проведения полевых работ является возможное присутствие морских и краснокнижных животных (киты и др), которые могут находиться в районе, что ограничивает возможности проведения работ и может приводить к сходу с профилей и дополнительным простоям. В таких условиях повышение производительности позволит выполнить запланированные объемы в сжатые сроки с минимизацией рисков для дальнейшей реализации геологоразведочной стратегии.

Основная часть

Чаще всего при работах на шельфе используется стандартная система с буксируемым оборудованием от 4х до 12 сейсмических приемных кос (количество кос может достигать 32, но такие варианты очень редкие). Для примера, возьмем 8-и косовое судно с длинной сейсмической кос в 6 км, сепарация между косами 100 м, шагом групп гидрофонов 12.5 м, двумя источниками с сепарацией 50 м, системой пошаговой работы flip-flop

► Рис. 1.
Схема системы
наблюдения (А);
полигон и схема
его отработки (Б).



каждые 25 м (50 метров для источника каждого борта). Получается бин 6.25x25 м и кратность – 60, с плотностью трасс 384 000 на квадратный километр. За один проход судно покрывает зоной номинальной кратности полосу шириной в 400 м. Чтобы покрыть полигон 1200 кв.км. (40x30 км) необходимо совершить минимум 75 проходов, а с учетом внешних факторов (инфилов – 10-20%) примерно 80-90. На рисунке 1 представлена схема судна с косами и схема отработки условного полигона.

С учетом специфики полевых работ и использования стандартных судов 3D есть различные варианты повышения «качества» данных за счет повышения кратности, плотности данных и изменения размера бина.

Рассмотрим первый способ получения более плотных данных. Сейсмическое судно постоянно движется со скоростью примерно 4.5 узла по профилю, возбуждение сейсмического сигнала происходит с интервалом ~11 секунд каждым источником попеременно. При уменьшении шага между пунктами возбуждения с 25 м до 18.75 м, происходит изменение

интервала возбуждения до ~8 с и увеличение кратности наблюдений с 60 до 80 (при том же бине 6.25x25м, рисунок 2). При простом увеличении частоты возбуждения без изменения других параметров, мы получаем более плотные сейсмические данные с кратностью на 1/3 большей и плотностью трасс 512 000 на кв.км. Время записи остается достаточно большим как для решения детальных (до 3-6 км) и региональных (до 8-12 км) задач. Увеличение кратности позволяет повысить соотношение отношения сигнал-помеха на суммированных данных. Это особенно важно для верхней части разреза в особенности для мелководной съёмки и/или есть аномалии среды, искажающие целевые горизонты. Данный способ не сильно влияет на стоимость работ и может быть эффективно использован на всех проектах. Можно уменьшить шаг возбуждения до 12.5 м, через каждые ~5.5 секунд (кратность будет 120 и плотность трасс 768 000), но тут могут быть технические сложности, связанные с работой компрессоров и линий высокого давления, а также наложения энергии предыдущего выстрела.

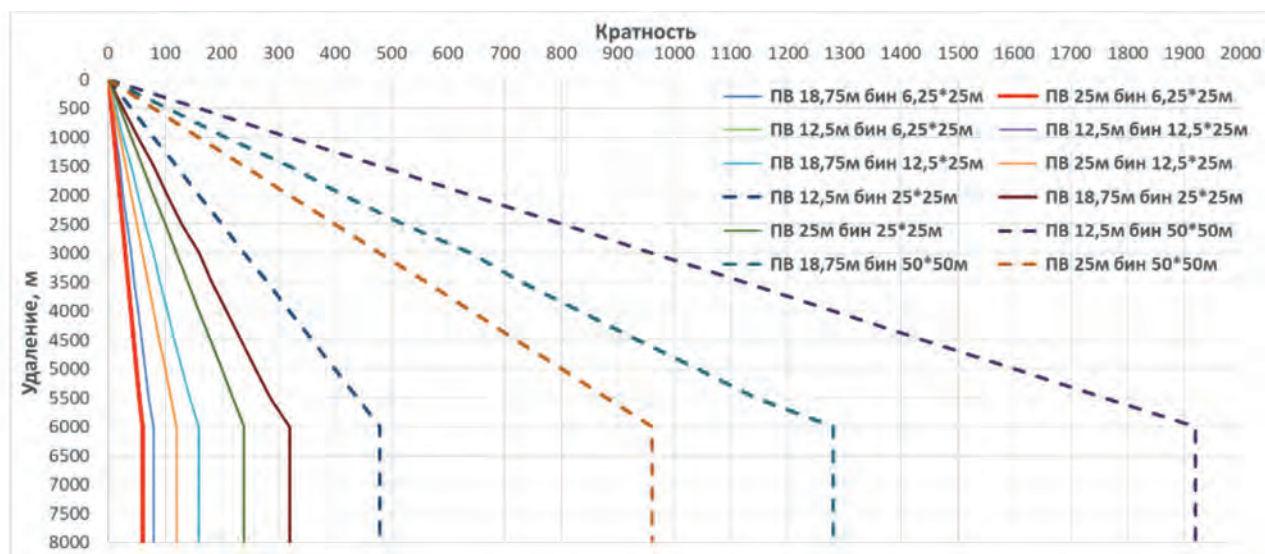
Существуют технологии обработки, позволяющие эффективно разделять волновые поля. Поэтому такой вариант возможен, но его надо детально прорабатывать, оценивать плюсы и минусы.

При планировании полевых сейсмических работ, обработки и интерпретации необходимо понимать требования к разрешающей способности, возможностям системы наблюдения, а также к процессу и технологиям обработки и интерпретации. Как уже было указано ранее, морские работы имеют стандартный бин 6.25x25м, но для нефтяных задач это избыточный размер и не очень удобный для интерпретации, которая чаще всего выполняется по квадратному бину. Поэтому, уже на этапе планирования работ можно учитывать, что при преобразовании базового бина в более прямоугольный 12.5x25м или квадратный 25x25м (стандартный бин для сухопутных работ, а иногда и 50x50м) кратность увеличивается пропорционально в 2 или 4 раза, то есть вместо 80 получается 160 или 320. В случае необходимости получения более пространственно-разрешенных данных возможно перейти на бин 12,5x12,5 м путем объединения бинов в продольном направлении и

регуляризации данных в поперечном направлении. Такой вариант также можно продумывать при планировании работ, он не требует дополнительных затрат на полевом этапе и на этапе обработки, так как в большинстве базовых графов обработки входит регуляризация [Никульников, 2023]. На рисунке 2 представлены графики набора кратности для разных вариантов шага возбуждения и размера бина.

Рассмотрим варианты изменения сепарации (расстояния) сейсмических кос и источников от базовых, к чему это приводит и что дает. Уменьшение сепарации между косами с 100 до 50 метров и источниками с 50 до 25 м приводит уменьшению размера бина с 6.25x25м до 6.25x12.5м, при сохранении той же номинальной кратности (допустим 80, при шаге ПВ 18.75м). При объединении бинов до 25x25 м получаем кратность 640. При той же конфигурации судна с 8 косами это приводит к увеличению времени работ на участке исследуемого участка в 2 раза, за счет более частых проходов судна (ширина линии прохода 200 м). Соответственно такое изменение приводит к удорожанию проекта примерно в 1.5 раза, так как стоимость

▼ Рис. 2. Графики набора кратности для разных шагов возбуждения и размерах размеров бина.



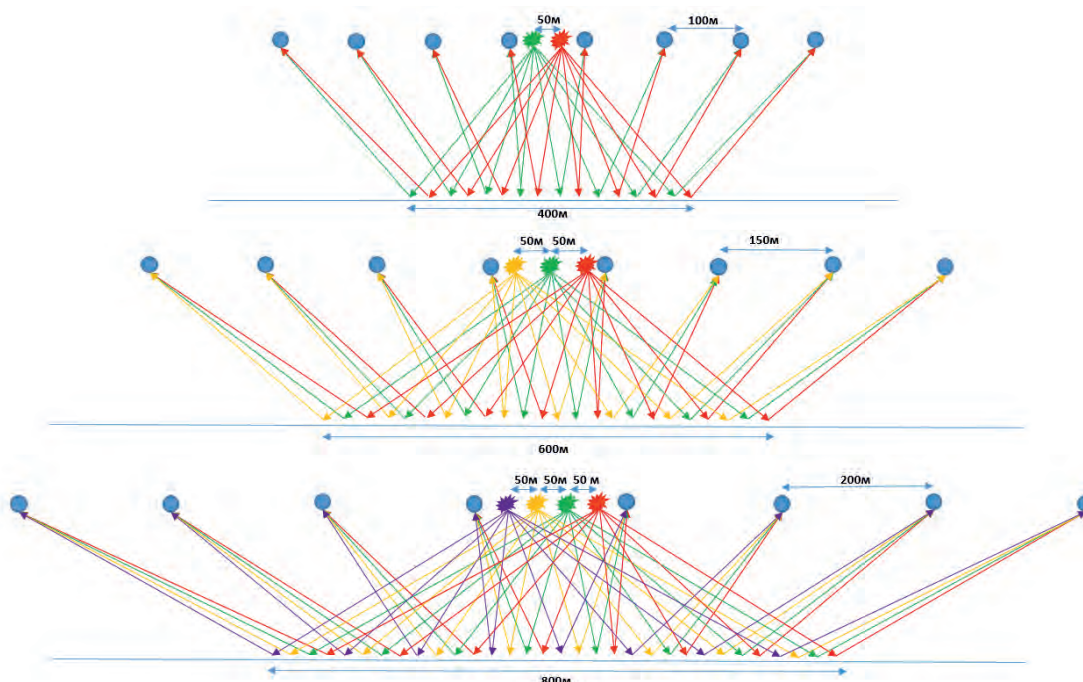
проекта включает в себя этапы подготовки, мобилизации, работ и демобилизации, то есть увеличивается только время и стоимость полевого этапа. Такой подход используют в тех случаях, когда надо повысить пространственное разрешение для «борьбы» с помехами разной природы (например, жесткое дно) или решения каких-либо специфических задач.

При увеличении сепарации кос до 150 или 200 м (соответственно и изменении расстояния между источниками) происходит увеличение размера бина в поперечном направлении с 6.25x25 до 6.25x37.5 или 6.25x50 м при сохранении прежней кратности. Это приводит к увеличению зоны покрытия при проходе и, тем самым, позволяет быстрее отработать объект. Например, полигон 1200 кв.км., представленный выше, можно отработать с 8и косовым судном с сепарацией 100 м за 26 дней (чистого времени), а сепарацией 150 или 200 м за 17 и 13 дней соответственно. С применением описанных выше подходов объединения бинов и регуляризации возможно полу-

чения качественных данных при существенной экономии средств.

Для сохранения прежнего размера бина возможно применение технологий использования большего количества источников (triple – три источника, quad – четыре, penta – пять источников [Langhammer J., 2015]. Это позволяет при большей сепарации кос, например, 150 м используя 3 источника иметь бин не 6,25x 37,5 м, а стандартный 6,25x25 м, при этом со снижением кратности на одну треть с 60 до 40 м, но изменив шаг возбуждения с 25м, на 18.75м кратность остается прежней. На рисунке 3 представлены схемы 8и косового судна с сепарацией 100 м между косами, двумя источниками и сепарацией 150 метров и тремя источниками и 200 м с 4я источниками. В таблице 1 представлены некоторые из возможных вариантов конфигураций сейсмического оборудования (кос и источников), получаемые размеры бина, кратность, а также чистое время для отработки полигона 1200 кв.км. В таблице наглядно видно, что при изменении

▼ Рис. 3. Схема расположения средних точек для 8и косового судна с сепарацией кос 100, 150, 200 м и разным количеством источников.



Параметры	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10
Количество кос	4	8	8	8	10	8	8	8	10	10
Сепарация, м	100	50	100	100	100	150	200	200	150	200
Количество ПИ	2	2	2	2	2	3	2	4	3	4
Шаг возбуждения, м	25	18.75	25	18.75	18,75	18.75	18.75	18,75	18,75	18,75
Бин, м	6.25x25	6.25x12.5	6.25x25	6.25x25	6.25x25	6.25x25	6.25x50	6.25x25	6.25x25	6.25x25
Номинальная кратность	60	80	60	80	80	60	80	60	80	80
Кратность приведенная для бина 25x25м	240	640	240	320	240	160	320	240	240	240
Ширина зоны покрытия, м	200	200	400	400	500	600	800	800	750	1000
Чистое время отработки	52 дня	52 дня	26 дней	26 дней	20 дней	17 дней	13 дней	13 дней	13 дней	10 дней
С учетом инфлюов (10%)	56 дней	56 дней	29 дней	29 дней	22 дня	19 дней	14 дней	14 дней	14 дней	11 дней
С учетом погодных простоев (20%)	67 дней	67 дней	34 дня	34 дня	27 дней	22 дня	17 дней	17 дней	17 дней	13 дней
С учетом времени прихода и ухода в район работ, размотки и смотки	81 день	81 день	48 дней	48 дней	41 день	36 дней	31 день	31 день	31 день	27 дней

▲ Табл. 1. Некоторые варианты систем наблюдения с разной конфигурацией сейсмического оборудования для отработки площади 1200 км².

конфигурации сейсмического оборудования возможно существенно повысить производительность полевых работ, тем самым сократить риски невыполнения и затраты на сами работы.

В результате таких изменений конфигурации, возможно, повысить производительность примерно на 20-30 %, что в условиях арктического шельфа, с учетом описанных выше рисков, может быть критически важным, или же выполнить больший объем работ в один полевой сезон.

Необходимо также учитывать возможности рынка судов, который сейчас крайне ограничен. Фактически на рынке РФ, учитывая санкционные ограничения, есть всего 3 сейсмических судна 3D: одно 4х косовое, одно 8и косовое и одно 12 косовое, с неподтверждённым, на данный момент, наличием достаточного количества оборудования. Важным фактором при планировании работ является загруженность этих судов и их локация до начала проекта. С учетом работ последних лет большинство судов находятся на Дальнем Востоке, поэтому,

например, переход их в Баренцево или Карское море существенно ограничен переходом через «юг» примерно 25 т.км. или через Северный морской путь - 10 т.км., при открытии проливов Северного морского пути, то есть не раньше середины-конца августа. Поэтому, проработка альтернативных конфигураций с возможностью повышения производительности работ, является важной задачей не только для получения более высокоплотных данных, но и снижения рисков реализации проектов.

Конечно, изменение конфигурации заборного оборудования у сейсмического судна не тривиальная задача. К ней надо готовится, у подрядчика должен быть опыт и возможности по дооснащению судна. Также это требует дополнительных затрат, но они существенно меньше стоимости «оптимизированных» полевых работ. Поэтому к вопросу подготовки такого проекта надо подходить заранее с учетом реальных возможностей подрядчиков. На практике переговоров с потенциальными подрядчиками необходимо не менее 6-9-и месяцев

на дозакупку и поставку вспомогательно-го оборудования.

Другими методами пространственно-го изучения геологического строения континентального шельфа, кроме сейсмического, является электроразведка, гравиразведка и магниторазведка. Существуют примеры комплексирования электрометрических измерений совместно с 2D и 3D CPP за рубежом [Engelmark F, 2014], но в РФ такие технологии имеющие промышленное применение отсутствуют, поэтому этот метод напрямую не рассматривается. В виде опытно-промышленного опробования возможно на судне сопровождения расположить специализированное оборудование и персонал, но на данный момент даже полностью рабочего комплекса для морских электроразведочных работ с буксируемым оборудованием в России нет и ввоз его представляется крайне трудозатратным мероприятием.

На многих проектах активно используются сопутствующие гравиметрические и магнитометрические наблюдения которые существенно не влияют на технологию проведения сейсмических работы. Для реализации гравиметрических наблюдений необходимо расположить гравиметры на борту сейсмического или вспомогательного судов (лучше сейсмического, оно больше, меньше подвержено качке и, как правило, имеет специальные места для установки такого оборудования, позволяющие минимизировать помехи) и осуществлять непрерывную регистрацию данных в течении всего проекта. Дополнительно нужен один-два человека для контроля за работой оборудования и экспресс обработки. Добавление магнитометрических работ сложнее, так как требует спуск и буксировку в водном слое магнитометров совместно с сейсмическим оборудованием, за послед-

нее десятилетие, российские компании неоднократно отработали данный технологический процесс и могут делать такое комплексирование без влияния на основной процесс съёмки сейсмических данных. Для выполнения таких работ также требуется дополнительный персонал 2-4 человека. Далее в камеральных условиях необходимо выполнить обработку и, комплексирование методов в процессе интерпретации сейсмических данных [Черников, 2020]. В процессе выполнения 3D работы, например, 8и косовым судном с проходами через 400 м получается гравиметрическая съёмка масштаба 1:50000, что является достаточно детальными наблюдениями, позволяющими оценить дополнительные физические свойства геологического разреза с минимальными затратами.

Еще одним типом важной, для геологоразведочных и добычных проектов, информацией является строение верхней части разреза (ВЧР) с точки зрения размещения буровых, инфраструктуры и бурения верхних секций. Тут есть несколько вариантов получения необходимых данных. Самый простой, это размещение на судах многолучевого эхолота (МЛЭ) с построением детальной карты морского дна, выявлением опасных геологических процессов и явлений на дне, в том числе выходов газа. Данный вариант является самым простым и не влияет на технологические процессы сейсморазведочных работ. Вторым вариантом, это размещение на судах комплекса инженерно-геофизических исследований (ИГФИ) включающего в себя кроме МЛЭ, непрерывное акустическое профилирование в разных частотных диапазонах [Токарев, 2021]. При таком варианте необходимо размещение большого комплекса ИГФИ на судах. Возникают сложности со спуском и

работой заборного сейсмического оборудования 3D и ИГФИ одновременно, как с точки зрения разведки оборудования в водном слое (запутывания, особенно при поворотах и штормах), так и с точки зрения перекрестных помех от разных типов источников. Поэтому есть два варианта или заблаговременно проработать с подрядчиками схемы расстановки оборудования или планировать его установку на судно сопровождения с размещением команды 5-10 человек. В результате работ будет получена информация, не только о конфигурации дна, но придонных отложений вплоть до глубин 100-150 м. Далее данные можно будет взять из специализированной обработки и интерпретации стандартных данных 3D [Терехина, 2024]. Эти данные можно использовать для выявления опасных геологических процессов и явлений на исследуемой территории и их заблаговременного учета при планировании последующего бурения и обустройства.

Выводы и рекомендации

Сейсморазведочные работы на шельфе сложный и дорогостоящий процесс, от которого зависят дальнейшие еще более дорогостоящие работы на участках, поэтому к ним надо подходить основательно и комплексно, особенно в современных реалиях сейсмического рынка и геополитической обстановки. При планировании работ необходимо детально оценивать геолого-геофизические задачи, возможности их решения с проработкой современных методик и технологий полевых работ, а также обработки и интерпретации данных.

В представленной работе показаны различные варианты возможного изменения и комплексирования методик и технологий исследовательских работ,

направленные на повышение информативности данных и производительности работ. В каждом отдельном случае необходимо детально анализировать геологическое строение как целевых объектов, так и верхней части разреза подбирая приемлемые варианты с точки зрения материально-технологических возможностей рынка, а также бюджета.

При детальном комплексном предварительном планировании исследований, возможно кроме стандартных сейсмических данных получить дополнительную геофизическую информацию для уточнения геологического строения участка.

Планирование ГРП, особенно на Российском шельфе, с учетом текущих задач и необходимости выбора максимально эффективной стратегии работ на участке, является очень сложным решением, требующем комплексного подхода и всестороннего обзора геологических неопределенностей и технических возможностей рынка. Поэтому, одним из возможных инструментов снижения рисков, является повышение качества данных и производительности работ с использованием комбинации различных технических решений, представленных в данной работе.

Литература

1. Горбачев С.В., Титов А.Б., Обметко В.В., Рейдик Ю.В. Особенности планирования и выполнения 3D сейсморазведочного проекта в условиях предельного мелководья шельфа Печорского моря // Нефтяное хозяйство, №06, 2021.
2. Горбачев С.В., Яковлев А.П. Моделирование сейсмосьемок - инструмент повышения эффективности сейсморазведки // Seismic modelling – a tool to enhance seismic surveying // Oil & Gas Journal Russia. №10 (54), октябрь 2011.

3. Горбачев С.В., Губарев М.В., Дердуга А.В., Титов А.Б. Применение сейсмического моделирования при проектировании 3D сейсмической съемки в сложных геологических и орогидрографических условиях // Технологии сейсморазведки №4. 2012, стр. 67-75.

4. Никульников А.Ю., Горбачев С.В., Нурмухамедов Т.В., Самаркин М.А. Оптимизация методик регуляризации сейсмических данных 3D на примере транзитных данных акватории Печорского моря // Геофизика, №4, 2023, с 2 – 7.

5. Терёхина Я.Е., Соловьева М.А., Буланова И.А., Горбачев С.В., Понимаскин А.И. Выявление геологических опасностей на шельфе Печорского моря по данным стандартной сейсморазведки 3D после специализированной обработки. XIII Международная научно-практическая конференция Морские исследования и образование - MARESEDU 2024, Москва, 28.10-01.11. 2024.

6. Токарев М.Ю., Росляков А.Г., Терехина Я.Е., Бирюков Е.А., Колюбакин А.А., Горбачев С.В. Перспективные сейсмические технологии для инженерно-геологических изысканий на мелководном шельфе // Геофизика, №2, 2021, с 3-11.

7. Черников К.С., Горбачев С.В., Голованов Д.Ю., Клещина Л.Н., Мазекина А.В., Ульянов Г.В., Мятчин О.М. Геологическая и экономическая эффективность применения гравиразведки и магниторазведки на разных стадиях геологоразведочных работ // Геология нефти и газа, №2, 2020. 107-120.

8. Engelmark F., Mattsson J., McKay A., Du Z. Towed streamer EM comes of age // First break. Vol 32. April 2014.

9. Langhammer J., Bennion P. Triple-source simultaneous shooting. Future for higher density seismic? EAGE. Madrid 2015. 1-4 June 2015.

Подробнее об авторе



Горбачев
Сергей Викторович

Окончил РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина в 2005 г, кандидат технических наук, член-корреспондент Российской инженерной Академии.

Область научных интересов: методики и технологии геологоразведочных работ. Автор более 80 научно-практических публикаций.