

На правах рукописи

ШУМСКИЙ БОРИС ВИТАЛЬЕВИЧ



ТЕХНОЛОГИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ МОВ ОГТ 2D
НА ПРЕДЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ И В ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ

Специальность 25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Краснодар – 2008

Работа выполнена в ГНЦ ФГУГП «Южморгеология» и
в Кубанском государственном университете на кафедре
геофизических методов поиска и разведки

Научный руководитель: профессор кафедры геофизики,
доктор технических наук, доцент
Гуленко Владимир Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коноплев Юрий Васильевич

кандидат технических наук
Мосякин Александр Юрьевич

Ведущая организация: ОАО «Саратовнефтегеофизика»,
г. Саратов

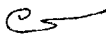
Защита диссертации состоится 16 января 2009 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.101.09 по геофизике, геофизическим методам поисков полезных ископаемых Кубанского государственного университета по адресу: 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, ауд. 105.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Кубанского государственного университета

Факс (861) 219-96-34
E-mail: geophysic@fpm.kubsu.ru

Автореферат разослан «10» декабря 2008 г.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета
д.г.-м.н., профессор



В.В. Стогний

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Мелководье как особый тип сейсмогеологических условий акваторий характеризуется наличием «сверхтонкого» водного слоя с характерным параметром $H/\lambda \leq 0,2$, влиянием которого и обусловлены особые сложности, как в приеме, так и в возбуждении упругих волн при проведении сейсморазведочных работ. Известно, что многие нефтегазоносные районы находятся в мелководных частях шельфа, в дельтах рек, в мелководных озерах. В различных районах земного шара выявлены многочисленные месторождения углеводородов, продолжающиеся с суши через мелководную зону в глубоководные части морей.

Именно эти мелководные и переходные зоны – ни море, ни суша – во всем мире являются и даром, и тяжелым бременем для нефтяной промышленности. Месторождения мелководных участков, прилегающих к суше, наиболее доступны для поисково-разведочного бурения и эксплуатации месторождений нефти и газа, не требуют протяженных морских трубопроводов. Эти факторы делают рентабельной разработку даже сравнительно мелких месторождений. Вместе с тем, рассматриваемые зоны наименее всего изучены методами сейсморазведки и, несмотря на уже открытые запасы углеводородов, еще большие запасы, согласно прогнозам геологов, предстоит открыть и разведать в переходных зонах.

В 1980 – 1990 годы бурное развитие морской сейсморазведки во всем мире сопровождалось не только постоянным увеличением объемов работ, но и непрерывным повышением сложности решаемых задач, что достигалось совершенствованием всего аппаратурно-методического комплекса, в том числе и применительно к мелководью. Если в начале этого периода сейсморазведочные работы на предельном мелководье носили исключительный характер, или не проводились вообще, то в последнее десятилетие с появлением необходимых технических средств для возбуждения, приема и регистрации упругих волн, спутниковой навигации и привязки, а также транспортных средств амфибийного класса начинает активно осваиваться не только *предельное мелководье*, но и наиболее сложная область перехода «суша-море» – *транзитная зона*. Необходимость разработки и внедрения новой современной технологии сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне определяет **актуальность** настоящей диссертационной работы.

Цель работы: разработка и внедрение современной эффективной технологии сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне.

Основные задачи исследований:

1. Анализ особенностей, определения и характеристики мелководных и транзитных зон, отличительные особенности транзитных зон морских акваторий, рек и водохранилищ.
2. Обзор существующих в мировой практике технологий, а также аппаратурно-методического обеспечения сейсморазведочных работ на мелководье и в транзитных зонах.
3. Оценка эффективности возбуждения и регистрации упругих волн в мелком море. Теоретическое и экспериментальное обоснование методики работ на мелководье и в транзитной зоне.
4. Разработка современной эффективной технологии сейсморазведочных работ в мелководных и транзитных зонах. Обоснование требований к основным элементам аппаратурно-методического комплекса.
5. Оценка эффективности разработанной технологии на мелководных акваториях в различных сейсмогеологических условиях.

Методы и объекты исследований. При разработке технологии применялись как теоретические методы расчета интерференционных приемных и излучающих систем, так и методы экспериментального исследования динамических характеристик механических систем, методы гидроакустических измерений при подводных «физических» взрывах, расчетно-конструктивный метод, лабораторные, полигонные и морские функциональные испытания цифровой регистрирующей аппаратуры и других технических средств, объединяемых в единый аппаратурно-методический комплекс.

Фактической основой работы явились результаты опытно-методических и производственных работ НПП «Южморгеосейс», а также результаты полевых и морских испытаний макетов, опытных и серийных образцов за период с 2000 г. по 2007 г., созданных в ГНЦ ФГУП «Южморгеология», ООО «ПУЛЬС», «СИ Технолоджи» и др. организациях.

Объектами исследований являлись пневматические излучатели «ПУЛЬС-6», «BOLT LL» и др., составляемые из них линейные и площадные группы, радиотелеметрические системы «BOX» фирмы «Fairfield Industries Inc.», цифровые телеметрические системы XZone® Bottom Fish и Marsh Line фирмы «СИ Технолоджи», средства связи и спутниковой привязки, специализированные транспортные средства, а также другие элементы технологического комплекса и особенности их взаимодействия.

Лабораторные испытания экспериментальных макетов и опытных образцов проводились на экспериментальных установках и стендах ГНЦ ФГУП «Южморгеология». Полигонные и морские испытания, как отдельных элементов, так и всего технологического комплекса в целом проводились на научно-исследовательских судах и амфибийных транспортных средствах ГНЦ ФГУП «Южморгеология» на мелководных акваториях Черного, Азовского, Каспийского и Баренцева морей в ходе опытно-методических работ и в порядке опытно-производственного опробования.

Научная новизна выполненной работы заключается в следующем:

1. Теоретически и экспериментально изучены влияния интерференционных процессов в водном слое, границ «воздух-вода», «вода-дно» и других факторов на качество сейсмических материалов, получаемых при выполнении сейсморазведочных работ на мелководье и в транзитных зонах.

2. Сформулированы требования ко всем элементам технологического комплекса для проведения сейсморазведочных работ на предельном мелководье и в транзитной зоне.

3. Разработана современная эффективная технология сейсморазведочных работ для разных климатических и орографических типов мелководных и транзитных зон.

4. Разработаны основные принципы рациональной организации сейсморазведочных работ в мелководных и транзитных зонах, определены основные требования к качеству полевого материала.

Практическая значимость и реализация результатов. Выводы и рекомендации, изложенные в настоящее время, позволяют обосновать рациональный выбор оборудования и технических средств полевых партий, выбор наиболее эффективной методики работ в зависимости от орографических особенностей исследуемой мелководной акватории, а также обеспечить необходимый контроль и определить основные требования к качеству полевых материалов при проведении сейсморазведочных работ.

Предложенная автором технология сейсморазведочных работ в условиях мелководья и транзитных зон показала высокую эффективность при сейсморазведочных работах МОВ ОГТ 2D, проводимых ГНЦ ФГУП «Южморгеология» в период с 2001 по 2008 годы в различных сейсмогеологических условиях в акваториях Азовского, Каспийского морей, Волгоградского водохранилища, Печорской губы Баренцева моря, Обской губы Карского моря и в Камбейском заливе Индийского океана.

Основные защищаемые положения.

1. Теоретическая и экспериментальная изученность влияния интерференционных процессов в водном слое, границ «воздух-вода», «вода-дно» и других факторов на качество сейсмических материалов, получаемых при выполнении сейсморазведочных работ на мелководье и в транзитных зонах.

2. Эффективная технология сейсморазведочных работ на предельном мелководье и в транзитных зонах.

3. Принципы рациональной организации проведения сейсморазведочных работ в мелководных и транзитных зонах в разных климатических и орографических условиях, включая навигационно-гидрографическое сопровождение работ, контроль качества сейсмических данных на всех этапах полевых работ.

Личный вклад автора. Все основные результаты, представленные в работе, представляющие практическую значимость, были получены лично автором, под его руководством или при его непосредственном участии.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-практической конференции «Геогех» (г. Саратов) в 2005 и 2007 годах, на международной конференции «Нефть и газ юга России» (г. Геленджик) в 2004, 2005, 2006 и 2007 годах, на международной конференции «Нефть и газ Арктического шельфа» (г. Мурманск) в 2005 году, на седьмых геофизических чтениях им. В.В. Федьковского (Москва, ГЕОН) в 2005 г., на заседаниях научно-технических советов ГНЦ ФГУПИ «Южморгеология», НИИОкеангеофизики и кафедры геофизики КубГУ в 2005 – 2007гг.

Публикации. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований изложены в 8 печатных работах и в производственных отчетах по целому ряду объектов, отработанных с использованием предложенной технологии.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, общим объемом 157 страниц текста, в том числе 5 таблиц, 63 рисунка и библиографического списка из 72 наименований.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность за научное руководство и помощь на всех этапах от постановки задачи до выполнения работы научному руководителю профессору кафедры геофизики КубГУ, д.т.н. В.И. Гуленко, а также заведующему кафедрой геофизики КубГУ, д.т.н., профессору С.И. Дембицкому.

Автор благодарен своим коллегам – специалистам ГНЦ ФГУПИ «Южморгеология»: к.т.н. А.П. Пронкину, д.г.-м.н. В.И. Савченко за методическое и организационное содействие и помощь при написании данной работы. Особая благодарность главному геофизику ГНЦ ФГУПИ «Южморгеология» Н.В. Захарову за консультации, техническую и моральную поддержку, постоянно оказываемую на всех этапах полевых производственных работ и в ходе подготовки диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы актуальность, цель и основные задачи диссертационной работы, ее научная новизна, практическая значимость, основные защищаемые положения.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕЛКОВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ

В первом разделе главы даны определения и приведены характеристики мелководных и транзитных зон, рассмотрены отличительные особенности транзитных зон морских акваторий, рек и водохранилищ.

На практике к мелководным акваториям принято относить районы с глубиной менее 10 м (при которой невозможно применение традиционной технологии морской сейсморазведки с плавающей пьезокосой), при этом переходные участки «суша-море» с наиболее сложными условиями относят к «предельному мелководью» (с глубиной воды от 0.5–0.7 м до 2–3 м) и к «транзитным зонам» (меньше 0.5–0.7 м), которые являются одним из самых сложных мест для проведения поисковых работ.

К мелководным и транзитным зонам относятся береговые топи, плавни, лиманы, заливные части суши, отмели, дельты рек, открытые мелководные рифы, широкие приливные зоны, литоральные зоны и близкие к побережью мелководные участки, характеризующиеся особой сложностью в проведении сейсморазведочных работ, так как в этой зоне неприменимы ни чисто морская технология, ни наземная. В этой зоне запрещено в качестве источника использовать взрывчатые вещества, пневматические источники на предельном мелководье, как правило, теряют свою эффективность, вибрационные же источники здесь неприменимы из-за слабости грунтов. Использование буксируемых пьезокос в этой зоне невозможно из-за малых глубин, применению наземных сейсмоприемников препятствует наличие водного слоя. При этом использование любых технических средств ограничено недостаточной грузо-

подъемностью, энергооборуженностью и проходимостью применяемых транспортных средств. В этой зоне также существенно возрастает сложность организации работ, резко ужесточается экологический и пограничный контроль и т.д.

С геологической точки зрения верхняя часть разреза в зонах мелководья обычно характеризуется переслаивающимися континентальными и морскими осадками. Быстро изменяющейся морфологией, наличием погребенных речных долин, палеорусел рек, песчаных баров и др., что в сочетании с изменчивостью упругих свойств осадков и толщины водного слоя представляет собой один из самых сложных типов сейсмогеологических условий.

Площади мелководных зон акваторий достаточно велики. Так, например, согласно известным данным (Гегельганц и др., 1983), общая площадь Российского шельфа с глубинами моря до 20 м составляет более 700 тыс. км², при этом свыше 130 тыс. км² занимает предельное мелководье. Значительная часть этих площадей имеет высокие перспективы нефтегазоносности, где проведение разведочных работ представляет практический интерес.

Разведка месторождений в столь специфических природных условиях требует применения более эффективных технологий сейморазведочных работ, а также создания необходимых технических средств, в том числе и транспортных средств амфибийного класса.

В таблице 1 приведены сведения о площадях мелководных зон (в тыс. км²) Каспийского, Азовского и Черного морей (Гегельганц и др., 1983).

Таблица 1.

Площади мелководных зон южных морей (тыс. км²)

Название моря	Глубины, м			Итого
	от 0 до 5	от 5 до 10	от 10 до 20	
Каспийское море	82,7	33,2	29,0	144,9
Северный Каспий	83,4	22,2	8,4	94,0
Азовское	7,8	15,1	17,0	39,9
Черное	4,1	3,0	8,4	15,5
Всего	94,6	51,3	54,4	200,3

Второй раздел главы содержит обзор существующих в мировой практике технологий сейсмических исследований мелководных и транзитных зон.

В первой части этого раздела рассмотрены применявшиеся ведущими зарубежными фирмами технологии сейморазведки на мелководье с плавающими и донными косами, а также технические средства, используемые для приема и возбуждения упругих волн.

Так, германская фирма «Prakla-Seismos AG» при глубинах моря свыше 5–7 м применяет традиционную технологию работ с использованием одного геофизического судна, на котором располагается весь аппаратурный комплекс. Работы выполняются путем отстрела фланговой системы наблюдений в режиме буксировки 48-канальной аналоговой пьезокосы «Syntrak» с автоматическими регуляторами глубины буксировки «DigiCOURSE». Регистрация информации осуществляется цифровой сеймостанцией, установленной на борту судна.

В зоне предельного мелководья, при глубине моря от 2–3 м до 0,7–1,0 м, фирма «Prakla-Seismos AG» применяет *двухсудовую* технологию сейморазведочных работ с использованием донной косы (Bay Cable) и пневматического источника, установленного на специально оборудованном самоходном понтоне с осадкой 0,3–0,4 м.

При глубине моря менее 0,7–1,0 м, а также в переходной зоне «суша-море» фирма «Prakla-Seismos AG» использует суда амфибийного класса (на воздушной подушке) или специально оборудованные вертолеты, при этом в качестве источников возбуждения до недавнего времени нередко применялись взрывы детонирующего шнура «Cortex», «AquaPex», взрывы конденсированных ВВ в скважинах или вибраторы, устанавливаемые на суше.

В начале 80-х годов прошлого века французской фирмой CGG на базе мелкосидящих судов-катамаранов типа «Verseau», «Gemeaux» и др. с водоизмещением около 160 т и осадкой до 1.2 м был реализован сейсморазведочный аппаратно-технологический комплекс для мелководья с глубиной моря до 1.5 м. При этом на глубинах свыше 5–7 м работы проводились с фланговой расстановкой в режиме непрерывной буксировки 24- или 48-канальных плавающих аналоговых кос AMG длиной, соответственно, 1200 м и 2400 м.

В интервале глубин моря от 1.5 до 5 м работы выполнялись по технологии «Drag Bottom» с остановками в точках приема, при этом на переходах донная аналоговая коса AMG, снабженная антиабразивным защитным покрытием, движется по дну, а в момент остановки ложится на дно. Для регистрации данных использовалась 24/48-канальная цифровая сейсмостанция SN-338, привязка осуществлялась радионавигационной системой «Силедис».

Для возбуждения упругих волн CGG использует в эти годы мощный, хотя и громоздкий источник «Vapochoc». Установленный на судне парогенератор источника «Vapochoc» включает паровой котел, пароперегреватель, опреснительную установку и имеет производительность до 2 т пара в час. Применялся такой источник при глубине моря свыше 3 м.

В переходных зонах и на предельном мелководье с глубиной моря менее 1.5 м, так же, как и другие фирмы, CGG применяла элементы технологии наземной сейсморазведки с использованием аналоговых донных кос «Bay Cable» с геофонами, а в качестве источника – взрывы конденсированных ВВ в мелких скважинах, детонирующих шнуров, или вибраторы.

В конце 80-х годов за рубежом появляются новые модели пневмоисточников, которые применяются и на мелководье. По сравнению с наиболее распространенными за рубежом излучателями PAR, «Sleeve Gun» отличаются простотой конструкции, повышенной надежностью, имеют более широкополосный спектр возбуждаемых сигналов и лучший акустический к.п.д. На основе излучателей «Sleeve Gun» была разработана базовая группа (модуль) из 17 излучателей с суммарным объемом 6.23 дм³, размещенных в линию на базе 9 м. Буксируется такая группа с помощью плота «Ragacat» (торговая марка фирмы GSI, оснащенного лебедками с пневмоприводом для изменения глубины погружения излучателей в процессе работы. Плот «Ragacat» выполняет и функции отводителя (паравана), управление которым также осуществляется пневмоприводом, и может буксироваться со смещением до 50 м в любую сторону от линии профиля, что позволяет создавать площадные излучающие системы.

Достаточно эффективная технология мелководных сейсморазведочных работ во второй половине 70-х годов была разработана трестом «Днепрогеофизика» (Мухин А.А. и др.) применительно к условиям предельного мелководья залива Сиваш с глубиной моря от 1 до 3 м.

Источник устанавливался на понтоне-взрывпункте, оборудованном дизель-компрессором и буровым станком. На другом понтоне устанавливалась сейсмостанция ССЦ-2. Работы проводились с фланговой системой наблюдений, при этом в качестве приемного устройства использовалась 24-канальная донная коса с индукционными приемниками в кардановых подвесах и с базой приема 1840 м. При переходе от точки к точке понтоны и коса перемещались с помощью катеров КС-100 с осадкой около 0.7 м.

На начальном этапе в качестве источника возбуждения использовалась *погружной* пневмоисточник ПИ-4, однако основные объемы профильных работ Азовской партии на мелководье залива Сиваш, выполнены с источниками «Импульс-1», серийно выпускаемыми с 1977 г. При этих работах группа из 4-х излучателей «Импульс-1» объемом по 3 дм³ располагалась на отдельно буксируемом понтоне на базе около 3×3 м (или 5×5 м), глубина погружения излучателей составляла от 1 до 2 м, рабочее давление сжатого воздуха 10–12 МПа.

Аналогичный понтон-взрывпункт применялся в конце 80-х – начале 90-х годов при совместных работах «Geophysic» GmbH (г. Лейпциг, ГДР) и НПО «Южморгеология» на предельном мелководье Балтийского моря.

Весьма эффективный аппаратный комплекс был предложен и опробован в 1994–1996 г.г. на предельном мелководье в Приазовских лиманах Кубани акционерным обществом «Морсейс» (директор Г.К. Кислов). Для возбуждения сигналов здесь также использовался мелкосидящий понтон-взрывпункт, на котором были установлены дизель-компрессор с ре-

сивером, контроллер КПИ-1 и группа из 6–8 излучателей «Сигнал-5» ($V = 0.5 \text{ дм}^3$, $P = 12 \div 15$ МПа). Излучатели подвешивались на специальных поплавах-отражателях и в рабочем положении располагались вокруг понтона, образуя рассредоточенную площадную группу.

В транзитной зоне «суша-море» для возбуждения сигналов чаще всего используются *погружные* источники, работающие в мелких взрывных скважинах глубиной от 2–3 до 30 м. К этому классу относятся пневмоисточники ПИ-4 (Раменское отделение ВНИИ Геофизики, 1976 г.), ПИИ (1980-е годы, ВНИИВзрывгеофизика), ПИК-3 (ООО «Ипгеосейс», 2002 г.).

Вторая часть этого раздела посвящена так называемой «*старт-стопной*» технологии, применяющейся при сейсморазведке на мелководье.

Впервые эта система была реализована на судне «Профайлер II с максимальной осадкой 0.9 м, и рассчитана на проведение работ до глубины моря 1.8 м (6 футов) при непрерывном движении судна – технология «yo-yo» (Хофф, Шмелик, 1982).

В соответствии с этой технологией перед каждым очередным пунктом взрыва реверсивный привод лебедки переключается на размотку косы со скоростью, равной скорости движения судна, при этом коса опускается на дно, а уровень шумов буксировки резко падает. В момент возбуждения сигнала и в течение всего времени регистрации отраженных волн коса остается неподвижной относительно дна, после этого лебедка переключается на смотку косы и за несколько секунд до очередной точки возвращает ее в исходное положение. Так как судно в процессе работы продолжает двигаться с постоянной скоростью, такая технология, по данным фирмы «Рекол-Декка Сервей», позволяет существенно повысить производительность сейсморазведочных работ в условиях мелководья и снизить их стоимость.

В качестве источника возбуждения на судне «Профайлер II» установлена пневматическая группа из 12 излучателей PAR модель DHS-1900, выпускаемых фирмой Bolt Technology Corporation, (США), и применяемых, обычно, при скважинных исследованиях. С помощью стрел и гидравлических лебедок излучатели опускаются за борт (по 6 с каждого борта) и буксируются за кормой судна на разных глубинах и удалениях. При объеме излучателей DHS-1900 от 0.66 до 2.0 дм^3 обший объем группы около 16 дм^3 . Запуск излучателей осуществляется системой управления «Litton LRS-100», питание сжатым воздухом при давлении 13–14 МПа обеспечивается тремя дизель-компрессорами AGMW-2 фирмы «Прайс».

Применяемые в этом источнике скважинные излучатели типа DHS-1900, в отличие от других моделей излучателей PAR, а также аналогичных им излучателей VLA и VLF фирмы «Prakla-Seismos AG», имеют несомненные преимущества при работе на мелководье, так как конструктивно защищены от попадания внутрь грязи, ила, песка или других твердых частиц, приводящих к быстрому износу уплотнений и выходу излучателя из строя.

С середины 80-х годов «старт-стопная» технология получила широкое применение при сейсморазведке на мелководных акваториях и в нашей стране. Так, начиная с 1985 года основные объемы работ на мелководье Северного Каспия до глубин 2 м выполнены трестом Южморнефтегеофизика и ГП «Шельф» с использованием специально оборудованных для этой технологии геофизических судов «Геофизик-2», «Геофизик-3», (Долгов В.В., Исмагилов Д.Ф., Козлов В.Н., и др.). Значительные объемы работ на мелководном шельфе о. Куба, в Печорском и Карском морях, а также в Тазовской губе были выполнены на НИС «Искатель-5» трестом Севморнефтегеофизика, (Гагельганц и др., 1983).

С 2004 г. фирма ЗАО «Гео-Хазар», созданная в 1998 г. на базе Каспийской группы партий треста Южморнефтегеофизика, при работах по технологии «старт-стоп» на НИС «Геофизик-4» и «Морской Геотехник» применяет разработанную фирмой ООО «СИ Технологджи» цифровую телеметрическую систему XZone™ Bottom Fish (Жгенти, 2005).

ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПРИЕМА УПРУГИХ ВОЛН В МЕЛКОМ МОРЕ

В первом разделе главы рассматривается влияние интерференционных процессов в водном слое на возбуждение и прием упругих волн при сейсморазведке.

При сейсморазведке на мелководье источник упругих волн и приемное устройство – гидрофон – обычно располагаются в водном слое глубиной H на расстоянии h от поверхности моря ($h \leq H$). Вследствие многократных отражений в водном слое от границы «вода-воздух» с коэффициентом отражения -1 и от границы дна с коэффициентом отражения равным k_{omp} волна, излучаемая в нижнее полупространство, так же, как и волна приходящая к приемнику снизу, является интерференционной. При этом выражение, описывающее профиль интерференционной волны, излучаемой в любом направлении α_2 нижнего полупространства (угол α_2 отсчитывается от вертикальной оси: $-\pi/2 \leq \alpha_2 \leq \pi/2$), полученное в приближении плоских волн, в дальней зоне (без учета расхождения) может быть записано в виде суммы волн, излучаемых в направлении α_2 действительным излучателем и бесконечной цепочкой "мнимых" излучателей, расположенных в верхнем полупространстве:

$$F(t) = k_{np} \cdot \sum_{l=0}^{\infty} (-k_{omp})^l \cdot [f(t - l\tau_1) - f(t - l\tau_1 - \tau_2)], \quad (1)$$

где $\tau_1 = 2H/(C \cdot \cos \alpha_1)$; $\tau_2 = 2h/(C \cdot \cos \alpha_1)$; $l = 0; 1; 2; C = 1500 \text{ м/с}$ – скорость звука в воде; $f(t)$ – профиль волны, излучаемой источником в безграничном пространстве (функция источника); α_1 – угол выхода луча из источника (отсчитывается от вертикали); k_{np} – коэффициент преломления луча при переходе в нижнее полупространство.

Комплексный спектр этой функции имеет следующий вид:

$$S_f(j\omega) = k_{np} \cdot S_f(j\omega) \cdot \sum_{l=0}^{\infty} (-k_{omp})^l \cdot e^{-j\omega l \tau_1} \cdot (1 - e^{-j\omega \tau_2}), \quad (2)$$

где $S_f(j\omega)$ – комплексный спектр функции $f(t)$.

Отсюда комплексная интерференционная характеристика водного слоя имеет вид:

$$K(j\omega, \alpha, h, H) = S_f(j\omega) / S_i(j\omega) = k_{np} \cdot (1 - e^{-j\omega \tau_2}) \cdot \sum_{l=0}^{\infty} (-k_{omp})^l \cdot e^{-j\omega l \tau_1}. \quad (3)$$

Модуль этого выражения после преобразований может быть представлен в виде произведения двух функций:

$$K(\omega, \alpha, h, H) = K_1(\omega, \alpha, h) \cdot K_2(\omega, \alpha, H), \quad (4)$$

одна – $K_1(\omega, \alpha, h) = 2 \cdot |\sin(\omega \tau_2 / 2)|$ – модуль частотной характеристики, учитывающей влияние границы «вода-воздух», другая – $K_2(\omega, \alpha, H) = k_{np} \cdot [1 + 2k_{omp} \cdot \cos(\omega \tau_1) + k_{omp}^2 J^{1/2}]$ – модуль частотной характеристики, учитывающей влияние границы дна. При фиксированных параметрах α , h и H , т.е. в функции частоты все выражение (4) представляет собой модуль частотной характеристики точечного излучателя в водном слое; в функции угла α это выражение описывает диаграмму направленности точечного гармонического излучателя с частотой ω , расположенного в водном слое глубиной H на удалении h от поверхности воды – рис. 1.

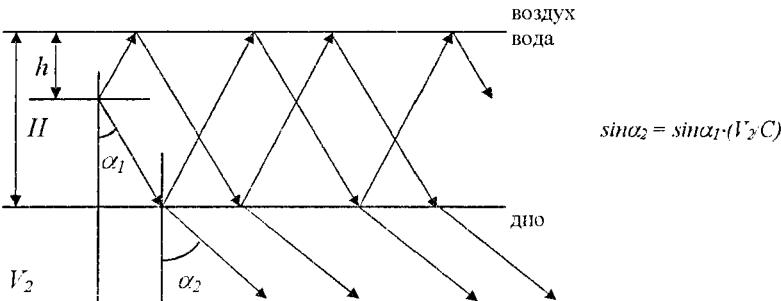


Рис. 1. К выводу интерференционной частотной характеристики точечного излучателя (гидрофона) в водном слое

Изменив направление подхода лучей на рис.1 на противоположное и выполнив аналогичные выкладки, применительно к приемному устройству в водном слое получим точно такие же выражения для интерференционной частотной характеристики гидрофона. В этом случае выражение (4) при фиксированных параметрах α , h и H представляет собой модуль частотной характеристики точечного гидрофона в водном слое; в функции угла α это выражение описывает диаграмму направленности гидрофона на частоте ω .

Иначе обстоит дело для геофона, установленного на дне водного слоя. В этом случае, по сравнению с гидрофоном, регистрирующим волны давления, волны сжатия и разрежения, отраженные от поверхности «вода-воздух», геофоном регистрируются с обратными знаками. Поэтому выражение, описывающее профиль интерференционной волны смещения, регистрируемой геофоном, имеет следующий вид:

$$F(t) = f(t) + (1 - k_{omp}^2) \cdot \sum_{l=1}^{\infty} (-k_{omp})^{l-1} \cdot f(t - l\tau_1) \quad (1a)$$

Соответствующая обобщенная комплексная интерференционная характеристика геофона, установленного на дне водного слоя, имеет вид:

$$K(j\omega, \alpha, H) = S_F(j\omega) / S_f(j\omega) = 1 + (1 - k_{omp}^2) \cdot \sum_{l=1}^{\infty} (-k_{omp})^{l-1} \cdot e^{-j\omega l\tau_1} \quad (3a)$$

В качестве примера на рис.2 приведены модули частотных характеристик, рассчитанные по формуле (4) при $\alpha_l = 0$ (нормальное падение) и разных значениях коэффициента отражения для двух значений глубины моря: а) $H = 2.5$ м, глубина источника $h = 2.0$ м и б) $H = 5.0$ м, глубина источника $h = 3.0$ м. Кривые, полученные при $k_{omp} = 0$, соответствуют случаю, когда граница дна отсутствует – источник находится в жидком полупространстве на глубине h от поверхности «вода-воздух» – и иллюстрируют лишь влияние глубины его погружения, (т.е. влияние поверхности «вода-воздух»). Приведенные на рис.3 частотные характеристики, также полученные при $\alpha_l = 0$, показывают влияние расположения источника относительно границ водного слоя при тех же значениях его глубины ($H = 2.5$ м – (а) и $H = 5.0$ м – (б)), но при фиксированном значении коэффициента отражения от дна равном 0.3. При этом кривые, полученные при $h=H$, соответствуют случаю, когда источник находится на дне моря. Влияние удаления источника от дна при фиксированных удалениях его от поверхности «вода-воздух» $h=2.5$ м – (а) и $h=5$ м – (б) показано на рис.4, где приведены частотные характеристики при тех же значениях $\alpha_l = 0$ и $k_{omp} = 0.3$, но при разных глубинах моря.

Как видно из рис.2–4, частотные характеристики излучателя в водном слое представляют собой осциллирующие периодические функции, в колебаниях которых явно проявляются два периода. Первый – основной период частотных характеристик – обусловлен влиянием поверхности «вода-воздух» и равен периоду модуля синуса в функции $K_1(\omega, \alpha_l, h)$. При этом максимумы огибающих лепестков характеристик пропорциональны k_{ip} и соответствуют частотам: $f_{n \max} = (n-0.5)C/(2h\cos\alpha_l)$; минимумы характеристик, равные нулю, достигаются в точках: $f_{n \min} = (n-1)C/(2h\cos\alpha_l)$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. В табл.2 приведены граничные частоты (определяемые по уровню 0.707 от максимума) первого лепестка интерференционной характеристики заглубления источника $K_1(\omega, \alpha_l, h)$ при $\alpha_l = 0$ и разных глубинах погружения.

Таблица 2.

Граничные частоты интерференционной характеристики заглубления источника $K_1(\omega, \alpha_l, h)$ при $\alpha_l = 0$

Глубина источника, h	0,5 м	1 м	2 м	3 м	4 м	5 м	6 м
Нижняя граничная частота, Гц	375	187.5	93.8	62.5	46.9	37.5	31.3
Верхняя граничная частота, Гц	1125	562.5	281	187.5	140.6	112.5	93.8

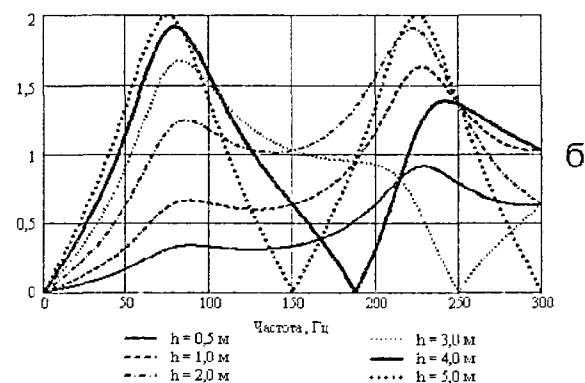
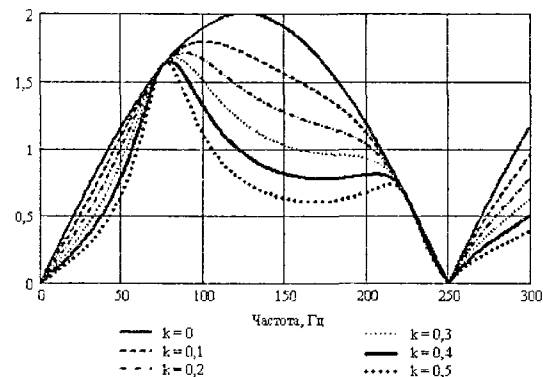
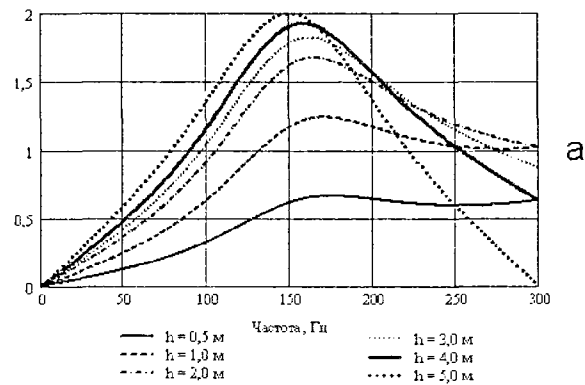
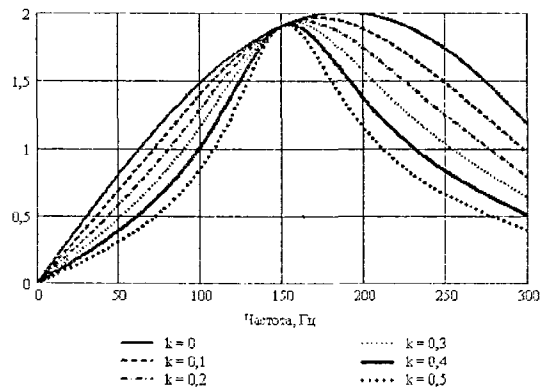


Рис. 2. Модули частотных характеристик водного слоя при $\alpha = 0$ (нормальное падение) и разных коэффициентах отражения от дна: а) глубина моря $H = 2,5$ м, глубина источника $h = 2,0$ м, б) глубина моря $H = 5,0$ м, глубина источника $h = 3,0$ м

Рис. 3. Модули частотных характеристик водного слоя при $\alpha = 0$ (нормальное падение), $k_{\text{отр}} = 0,5$ и разных глубинах погружения источника: а) глубина моря $H = 2,5$ м, б) $H = 5,0$ м.

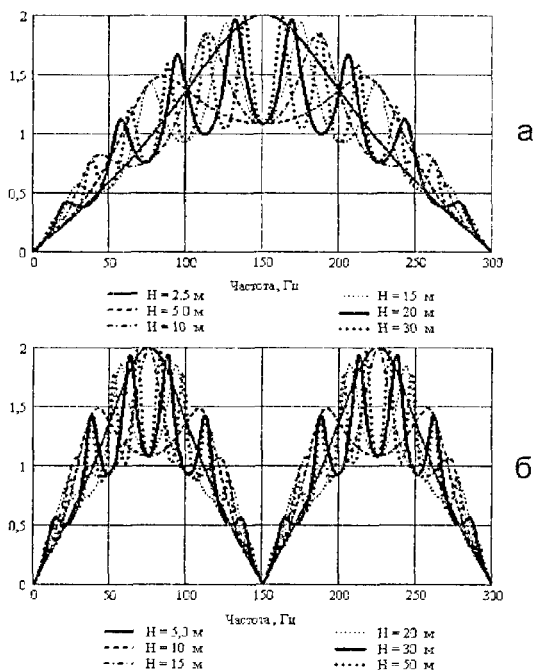


Рис.4. Модули частотных характеристик водного слоя при $\alpha = 0$ (нормальное падение), $k_{\text{отр}} = 0.3$ и разных глубинах моря: а) глубина погружения источника $h = 2.5 \text{ м}$, б) $h = 5.0 \text{ м}$

Более высокочастотные осцилляции кривых $K(\omega, \alpha, h, H)$ обусловлены влиянием дна моря, при этом они связаны с периодичностью косинуса в функции $K_2(\omega, \alpha, H)$ и имеют период равный $C/(2H \cos \alpha)$, тем меньший, чем больше глубина моря – рис.4. Величина коэффициента отражения от дна моря, так же, как и на глубокой воде определяет характер перераспределения упругой энергии на границе: с увеличением жесткости дна (т.е. $k_{\text{отр}}$) амплитуда проходящих волн в дальней зоне падает, в той же степени возрастает интенсивность реверберации, т.е. уровень дошно-кратных волн-помех в водном слое.

Как видно из приведенных в табл.2 и на рис.2–4 данных, общим недостатком частотных характеристик $K(\omega, \alpha, h, H)$ на мелководье является то, что полоса их пропускания смещена в область высоких частот и при малых глубинах погружения источника или гидрофона выходит за пределы сейсмического диапазона частот. При этом низкочастотные компоненты спектра излучаемых и принимаемых волн – от первых герц до 40–60 Гц, где обычно содержится основная энергия целевых волн – оказывается в полосе гашения.

Иной характер имеют частотные характеристики геофона, установленного на дне водного слоя. Так, на рис.5 приведены модули частотных характеристик геофона на дне водного слоя при $\alpha = 0$ (нормальное падение) и разных коэффициентах отражения от дна для двух значений глубины моря: а) $H = 2.5 \text{ м}$ и б) $H = 5.0 \text{ м}$. Модули частотных характеристик геофона на дне водного слоя при $\alpha = 0$ и разных глубинах моря для двух значений коэффициента отражения от дна а) $k_{\text{отр}} = 0.3$ и б) $k_{\text{отр}} = 0.7$ представлены, соответственно, на рис.6.

Как следует из этих рисунков, в отличие от частотных характеристик источника и гидрофона, расположенных в водном слое, характеристики геофона, установленного на дне водного слоя, имеют полосу пропускания в области низких частот. При этом максимумы огибающих лепестков характеристик обратно пропорциональны коэффициенту отражения от

дна и соответствуют частотам: $f_{n \max} = (n-1)C/(2H \cdot \cos \alpha_1)$; минимумы характеристик достигаются в точках: $f_{n \min} = (n-0.5)C/(2H \cdot \cos \alpha_1)$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. Таким образом, сравнение характеристик геофона и гидрофона, расположенных на одной и той же глубине на дне моря, показывает, что их экстремумы сдвинуты на половину периода: т.е. максимумы характеристики геофона соответствует минимумам характеристики гидрофона и наоборот.

Во втором разделе главы рассмотрено влияние границ на динамику пульсации воздушной полости, образующейся при выхоле сжатого воздуха из камеры пневмоисточника.

Для всех источников типа «пульсирующая полость» – пневматических, газовых, электромеханических и др. – характерна зависимость периода пульсации полости T (и, соответственно, преобладающей частоты возбуждаемых колебаний) от гидростатического давления P_0 вида $T \sim P_0^{-5/6}$ (Балашканд, Гуленко и др.). При пульсации полости вблизи жестких границ водного слоя эта зависимость нарушается, так как давление в окрестности полости, кроме постоянной составляющей, равной весу столба жидкости на данной глубине, будет иметь и переменную составляющую, в любой момент времени равную мгновенному значению собственного реверберационного фона, т.е. сумме волн давления, излучаемых бесконечной цепочкой «мнимых» источников, координаты которых могут быть получены последовательными зеркальными отображениями реального излучателя в границах водного слоя.

Численное решение этой задачи применительно к пневматическому излучателю было рассмотрено в работах (Гуленко и др., 1989, 2003), где получена система дифференциальных уравнений, позволяющая рассчитать акустические характеристики источника типа «пульсирующая полость» с учетом влияния границ водного слоя. Полученные в этих работах расчетные зависимости $T(h)$, а также результаты эксперимента, выполненного в опытном бассейне глубиной $H = 4.3$ м с пневмоизлучателями объемом 0.25 дм^3 – (а) и объемом 2.0 дм^3 – (б) при рабочем давлении 15 МПа, представлены на рис. 7.

Как видно из этих данных, вблизи границ водного слоя зависимость $T(h)$ заметно отличается от вида $P_0^{-5/6}$; приближение источника к границе «вода-воздух» сопровождается резким уменьшением периода пульсации, в то время как вблизи дна наблюдается увеличение периода, и тем большее, чем выше коэффициент отражения от дна моря.

В третьем разделе главы рассмотрено влияние близости дна, с чем могут быть связаны некоторые эффекты, роль которых на мелководье возрастает:

1. Верхняя часть разреза на мелководье, особенно придонные отложения, часто характеризуются значительной неоднородностью физических свойств по горизонтали. В этой связи, при возбуждении упругих волн в непосредственной близости от дна, отмеченные неоднородности, даже при сравнительно небольших размерах, из-за близости к источнику, становятся сопоставимыми с размерами первой зоны Френеля и оказывают существенное влияние на характеристики проходящей волны в дальней зоне, ухудшая стабильность ее параметров.

2. Другим источником нестабильности параметров возбуждаемых сигналов вдоль мелководного профиля является изменчивость рельефа дна моря, что вследствие изложенных выше причин может приводить к вариациям характеристик, зависящих от глубины H .

3. Распространение волн большой амплитуды в слабо консолидированных рыхлых грунтах в ближней зоне излучателя является нелинейным, поэтому потери энергии на неупругие деформации среды вблизи излучателя на мелководье значительно возрастают.

4. При размещении излучателя вблизи дна практически всегда наблюдается появление интенсивных низкочастотных и низкоскоростных волн-помех поверхностного типа. Для средноточенных низкочастотных источников это приводит к тому, что волны-помехи на ближних каналах приемного устройства нередко доминируют почти во всем интервале записи и подавление их известными средствами часто оказывается недостаточно эффективным.

Влияние других факторов рассмотрено **в четвертом разделе** главы. К факторам, осложняющим сейсморазведочные работы на мелководье, можно отнести следующие:

1. Небольшая глубина моря в районах предельного мелководья налагает ограничение на осадку и водоизмещение геофизического судна, что ограничивает численность персонала, габариты и вес оборудования, а также максимальную мощность судовой энергоустановки и,

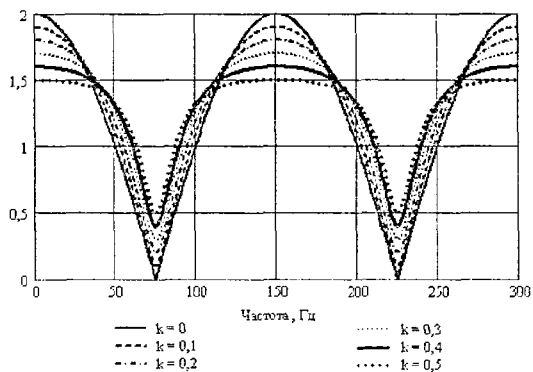
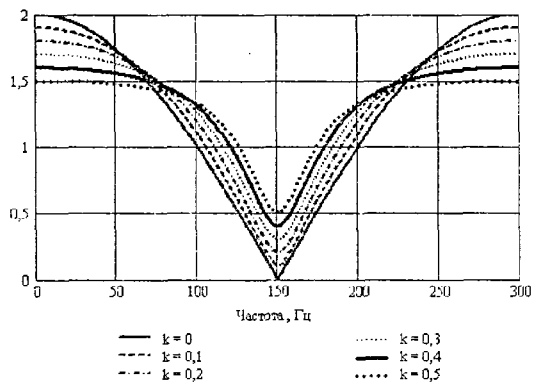


Рис.5. Модули частотных характеристик геофона на дне моря при $\alpha = 0$ (нормальное падение) и разных коэффициентах отражения от дна: а) глубина моря $H = 2.5$ м, б) глубина моря $H = 5.0$ м

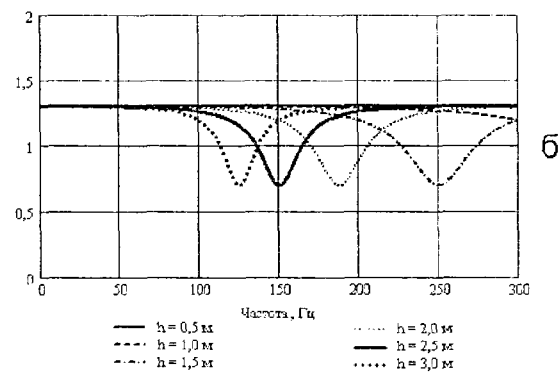
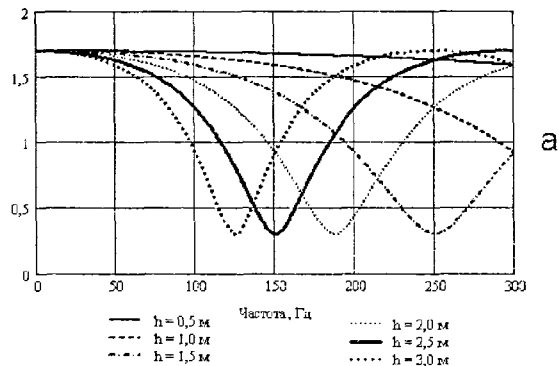


Рис.6. Модули частотных характеристик геофона на дне водного слоя при $\alpha = 0$ (нормальное падение) и разных глубинах моря: а) коэффициент отражения от дна $k_{\text{отр}} = 0.3$, б) $k_{\text{отр}} = 0.7$

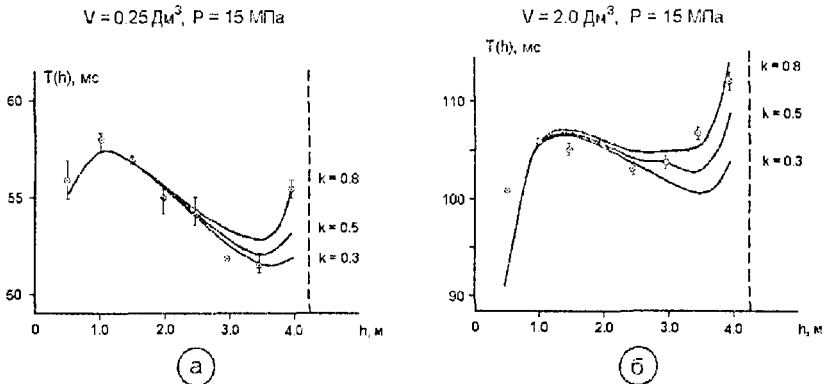


Рис. 7. Влияние глубины погружения пневматических излучателей на период пульсации полости при разных глубинах погружения (теория и эксперимент)

соответственно, мощность, потребляемую источником. В этой связи на предельном мелководье использование громоздких и мощных источников проблематично.

2. Другое ограничение на мощность источника связано с риском вредного воздействия упругих колебаний на флору и фауну акваторий, особенно в зоне предельного мелководья. Так, для пневмоисточников с рабочим давлением 10-15 МПа по суммарному объему камер "Межведомственной комиссией по вопросам проведения сейсморазведочных работ на рыбохозяйственных водоемах" установлен предел до 30 дм³, что соответствует энергии возбуждения не более 1.13 МДж на одно воздействие. При этом в каждом конкретном случае сроки проведения геофизических работ на мелководных акваториях требуют согласования в бассейновых управлениях Главрыбвода и могут быть изменены или ограничены в связи с пересотом или сезонной миграцией рыб и др. гидробионтов.

3. Проведение работ с буксируемыми заборными устройствами сопряжено с особыми сложностями для судовождения, так как на всем мелководье имеют место значительные колебания уровня моря вследствие приливно-отливных и стонно-нагонных течений, скорость которых достигает 3-4 узлов, при этом на большей части мелководных акваторий отсутствует детальный промер глубин. Еще более сложным по условиям мореплавания является обширное мелководье арктического бассейна, где сроки навигации не превышают 3-4 месяцев (Гагеляганц, Серебренников и др., 1983).

4. Важным фактором, нередко предъявляющим особые требования как к конструкции буксиремых устройств, так и к технологии работ, особенно на предельном мелководье, является характер дна: наличие на дне скальных обломков, коралловых рифов, остатков металлоконструкций, обломков кораблей, тросов и т.п., при отсутствии специальных средств защиты может привести к серьезному повреждению или даже потере буксиремых устройств.

5. Еще большими сложностями характеризуются условия работ в плавнях, где нередко в пределах одного объекта, или даже профиля, имеет место чередование открытых мелководных водоемов и участков, покрытых труднопроходимой болотной растительностью. Такое разнообразие условий требует применения и различных технических средств для возбуждения и приема упругих колебаний, при этом для проведения работ в таких условиях необходимы транспортные средства амфибийного класса, имеющих повышенную проходимость. Анализ рассмотренных факторов, определяющих особенности возбуждения и приема упругих волн в условиях мелкого моря, позволяет сформулировать и основные требования к аппаратурному комплексу. При этом наряду с общими требованиями, предъявляемыми ко всей аппаратуре для морской сейсморазведки, есть и ряд дополнительных, определяемых как сейсмогеологическими условиями, так и применяемой на мелководье технологией работ.

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ ПРИ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ В МЕЛКОВОДНЫХ И ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ

В первом разделе главы сформулированы требования к источнику упругих волн.

1). Источник должен быть безвредным для окружающей среды и безопасным для обслуживающего персонала и судна. При этом для газовых и пневматических источников с рабочим давлением до 15 МПа суммарный объем рабочих камер должен быть ограничен пределом до 30 дм³ (Балашканд, Векилов, 1980). Установленные на судне арматура высокого давления, электрические кабельные линии и установки, спускоподъемные устройства и другое оборудование, предназначенное для эксплуатации источника, должно удовлетворять требованиям Ростехнадзора и Морского Регистра РФ.

2). Источник должен иметь достаточно широкополосный сигнал, спектр которого должен быть оптимально согласован как с характеристикой среды, так и с частотной характеристикой водного слоя. Так как при этом основная энергия зондирующего сигнала в дальней зоне должна оставаться в сейсмическом диапазоне частот, энергия собственного акустического излучения источника в полосе частот 20÷80 Гц для достижения той же эффективности на мелководье должна быть выше, чем для источников, работающих на глубокой воде.

3). Для снижения влияния латеральной неоднородности свойств придонного грунта на стабильность сигнала в дальней зоне, а также для снижения потерь энергии на неупругие деформации при работах на мелководье лучше применять площадные группы излучателей, имеющих сравнительно небольшие амплитуды возбуждаемых сигналов [до $(1\pm 3)\cdot 10^5$ Па·м].

При использовании на мелководье линейных источников, расположенных вдоль линии наблюдения, при шаге группирования излучателей не более 2–4 м, общую базу линейной группы желательно выбирать равной целому числу длин наиболее интенсивных волн-поверхностного типа, что позволит обеспечить некоторое их ослабление. Ослаблению этих волн способствует также и применение на мелководье более высокочастотных источников с максимумами спектральной плотности на частотах свыше 50 Гц (Гуленко и др., 1982).

В любом случае выбор конкретной геометрии излучающей группы должен производиться по результатам опытно-методических работ в конкретных сейсмогеологических условиях изучаемого района. В этой связи желательно, чтобы конструкция источника для мелководья обеспечивала изменение геометрии подгрупп, расстояний между ними, шага группирования излучателей и их объемов, временных диаграмм запуска излучателей и т.п.

4). Глубину погружения источника при работах на мелководье следует выбирать в зависимости от глубины моря: при глубине менее 2 м предпочтительнее буксировать источник по дну; в диапазоне глубин моря H от 2–3 м до 5–7 м глубина погружения источника должна составлять приблизительно $(2/3)H$; при больших глубинах моря глубина погружения источника выбирается в соответствии с известными критериями (Балашканд, 1977, Гуленко, 1982, 2003 и др.). На предельном мелководье при глубине моря менее 0.5 м и в транзитных зонах «суша-море» более эффективно применение «погружных» источников, работающих в мелких взрывных скважинах глубиной от 2 до 4–6 м в режиме накопления.

В любом случае выбор конкретной глубины погружения для той или иной излучающей системы в условиях мелководья осуществляется по результатам опытно-методических работ в конкретных сейсмогеологических условиях изучаемого района.

5). Источник для мелководья по своим весогабаритным характеристикам, энергопотреблению, трудоемкости обслуживания и ремонта, спускоподъемному и др. вспомогательному оборудованию должен «вписываться» в возможности применяемых на мелководье малотоннажных плавсредств, имеющих слабую энерговооруженность, небольшую автономность плавания и рассчитанных на размещение сравнительно небольшого обслуживающего персонала. В этой связи работы на предельном мелководье и в транзитных зонах, чаще проводятся в двухсудовом варианте, когда источник устанавливается на отдельном судне-взрывпункте, все свободные ресурсы которого могут быть использованы только для его обеспечения. При этом регистрирующее оборудование размещается на другом судне.

б). Источник для мелководья должен соответствовать применяемой технологии сейсморазведочных работ, не ограничивая их производительность. В первую очередь это касается «скорострельности» – интервала времени между двумя срабатываниями – $\tau_{срб}$, который определяется, в основном, мощностью энергетической установки источника и ее производительностью по рабочему телу. Наиболее жесткие требования по этому параметру ($\tau_{срб} \sim 6 \div 10$ с) предъявляются к источнику при работе в режиме свободной буксировки с плавающей косой (глубина моря более 5–7 м), а также при работе на предельном мелководье с автономным взрывником и донной косой в стационарном режиме.

При этом независимо от технологии работ экономическая целесообразность применения источника на мелководье, так же, как и при работе на глубоком море, в значительной мере определяется его надежностью и общим ресурсом работы. По предварительным оценкам, наработка на отказ источника должна составлять не менее 10 тысяч срабатываний при общем ресурсе до 150 тысяч срабатываний.

Во втором разделе рассмотрены требования к приемно-регистрирующей аппаратуре.

1. При работах в условиях мелководья с глубиной моря более 5 м по традиционной технологии морской сейсморазведки в режиме непрерывной буксировки возможно использование пьезокос с нейтральной плавучестью и соответствующими активными регуляторами и стабилизаторами глубины буксировки.

При работах в условиях мелководья с глубиной моря до 2–3 м с использованием «старт-стойной» технологии обычно применяются пьезокосы с утяжеленными секциями, имеющие отрицательную плавучесть и более устойчивые к динамическим нагрузкам и трению о дно, характерным для этой технологии. Еще более высокие требования к прочностным характеристикам предъявляются к донным косам, буксируемым волоком по дну.

При работе на глубинах менее 1,5 м, когда маломерное мелководящее судно не обеспечивает необходимое буксирующее усилие донной косы волоком по дну, конструкция косы и соответствующего оборудования должна предусматривать возможность применения «конвейерной» технологии путем быстрой смотки и разматки перемещаемых секций.

2. Как следует из сопоставления приведенных выше частотных характеристик гидрофонов и геофонов, при работах на предельном мелководье и в транзитных зонах «суша-море», при глубинах акваторий меньше 2–3 м, наиболее эффективными могут быть донные косы на основе геофонов, а еще лучше – комбинированные донные косы, конструкция которых предполагает одновременное использование гидрофонов и геофонов.

3. Как следует из теоретических оценок и экспериментальных данных (Архипов, 2002), для эффективного применения в кабельно-модульных донных косах геофонов гравитационный контакт «геофон-грунт» и время его экспозиции должны быть оптимизированы. При этом средняя плотность приборных модулей должна быть в пределах 1,9 – 2,1 г/см³, а удельное давление отдельного модуля на донный грунт от 9 до 11 г/см².

4. Наряду с использованием в донных косах геофонов-велосиметров, регистрирующих скорость смещения упругих колебаний, еще больший интерес представляет возможность применения геофонов-акселерометров, регистрирующих ускорение смещения (Жгенти, Mougenot, 2005), и имеющих такую же фазовую характеристику, как и у гидрофонов, что обеспечивает лучшее согласование данных и более точную стыковку временных разрезов в переходных зонах «суша-море».

5. Существенное увеличение канальности современных телеметрических регистрирующих систем обеспечивает не только создание сверхплотных систем наблюдения, позволяющих без потери информативности данных отказаться от традиционного группирования сейсмоприемников, но и создает реальную возможность использования в донных косах многокомпонентных приемников (X, Y, Z, P), позволяющих перейти к многокомпонентному точечному приему и более широкому применению многоволновых модификаций сейсморазведки (Архипов, 2002, Галиксев, Mougenot, 2005). Подавление низкоскоростных волн-помех, распространяющихся в придонной толще, при этом более эффективно осуществляется на

этапе обработки данных, как за счет различий в кажущихся скоростях и частотном составе, так и за счет различий в поляризации колебаний (Галикеев, 2005).

6. По сравнению с аналогичными морскими или сухопутными системами регистрации современные телеметрические системы для предельного мелководья и транзитных зон должны поддерживать как минимум вдвое большее число каналов (наблюдения 2С – компоненты Z и Р), а при многокомпонентном приеме – вчетверо большее (наблюдения 4С – регистрируемые компоненты X, Y, Z и Р).

В третьем разделе главы приведены требования к транспортным средствам для работы на мелком море, предельном мелководье и в транзитной зоне.

1. При работе в режиме непрерывной буксировки, а также при «старт-стопной» технологии практически весь аппаратный комплекс – и источник, и приемно-регистрирующая аппаратура, и система спутниковой навигации – должны располагаться *на одном судне*, оснащенном и компрессорной станцией и соответствующим спускоподъемным оборудованием, обеспечивающим как работу источника, так и косы, буксируемой за судном. На этом же судне, осадка которого должна составлять не более 1.5–2.0 м, кроме обычного судового оборудования и жилых кают для обслуживающего персонала, должны находиться и геофизическая лаборатория с сейсморегистрирующей аппаратурой, спутниковым приемником GPS, компьютерным оборудованием для экспресс-обработки полученных данных и т.п.

2. На предельном мелководье с глубиной воды меньше 2-3 м по технологии «Drag Bottom» чаще всего работа осуществляется в *двухсудовом* варианте, когда источник с компрессорным и спускоподъемным оборудованием устанавливается на отдельном судне-взрывпункте, а регистрирующее оборудование с соответствующими лебедками для косы размещается на другом судне. Учитывая сложность (или невозможность) обеспечить маломерным мелкосидящим судном необходимое буксирующее усилие, такой подход позволяет отказаться от постоянного перетаскивания косы волоком по дну с отстрелом фланговой системы наблюдений. При переходе к отстрелу обращенной системы наблюдений донная коса остается в фиксированном положении, а источник перемещается вдоль линии профиля, возбуждая упругие волны в заданных точках. Для перемещения донной косы на следующую стойнку конструкция судна должна предусматривать возможность применения «конвейерной» технологии путем быстрой смотки и размотки перемещаемых секций.

На предельном мелководье и в транзитных зонах возможно использование специально оборудованных понтонов, приводимых в движение с помощью подвесных моторов, или катеров, а также плавающих гусеничных вездеходов, или других машин амфибийного класса. При этом в транзитной зоне при использовании погружных пневматических источников носитель-взрывпункт кроме компрессора, пневмораспределительного пульта и контроллера пневмоисточников должен быть оборудован шнековой буровой установкой для бурения взрывных скважин глубиной до 6 м. Для синхронизации моментов возбуждения и передачи их на регистрирующее судно на взрывпункте должны быть установлены система спутниковой навигации, радиостанция и система синхронизации возбуждения (ССВ).

3. При работе с радиотелеметрическими системами требуется большее количество судов (или других носителей) одновременно участвующих в процессе работ. Так, центральная регистрирующая станция (ЦРС) устанавливается на базовом судне, на котором осуществляется и экспресс-обработка данных и обычно размещается большая часть персонала партии. Для раскладки полевых модулей и приемных линий на профиле обычно используются два мелководных малотоннажных судна-раскладчика с осадкой до 1–1.5 м. Отстрел обращенной системы наблюдений при глубине моря до 1 м производится подвижным взрывпунктом, перемещаемым вдоль линии профиля буксирным катером, или лодочными моторами. Раскладка полевых модулей при глубинах менее 1.5 м производится с использованием маломерных судов, катеров или резиновых лодок типа «Зодиак», а в переходной зоне «суша-море» с помощью вездеходов на гусеничном шасси, или других машин амфибийного класса. Такие же машины, оборудованные компрессором, пневмораспределительным пультом, контроллером и шнековой буровой установкой, используются здесь и в качестве взрывпункта.

В четвертом разделе рассмотрены особенности применяемых при сейсморазведке на мелководье систем наблюдений, а также особенности обработки полученных данных.

При работе в режиме непрерывной буксировки, а также в режиме «старт-стоп» сейсморазведка 2D проводится в основном *с одного судна* с использованием *фланговых систем наблюдения* с небольшим выносом в первые сотни метров. Наблюдения 2D выполняются по профилям, ориентированным, как правило, перпендикулярно береговой линии. Протяженность профилей и расстояние между ними определяются размерами изучаемого объекта и требуемой точностью построений. Шаг между пунктами возбуждения и приема и крайность наблюдений зависят от качества целевых отраженных волн и уровня помех различной природы, включая многократные отражения в воде и верхних слоях разреза.

Пространственные наблюдения 3D проводятся обычно с использованием *систем наблюдения* типа «широкий профиль», что достигается применением или системы одновременно буксируемых кос, разнесенных на удаление в несколько сотен метров, или одновременно буксируемых линейных подгрупп пневматических источников, отведенные в стороны от диаметральной плоскости судна и линии профиля на десятки и сотни метров осуществляется с помощью гидродинамических отводителей – «параванов».

При работе на предельном мелководье и в транзитных зонах сейсморазведка 2D проводится чаще всего в *двухсудовом* варианте с использованием *обращенных систем наблюдения* и донных приемных устройств. В этом случае после раскладки косы судно взрывпункт осуществляет отстрел вдоль линии профиля с заданным шагом пунктов возбуждения (ПВ), возбуждая сигналы в точках, координаты которых определяются с помощью GPS-приемника. Максимальный вынос ПВ при этом выбирают равным расстоянию до самого глубокого целевого горизонта, а минимальный равен нулю или нескольким десяткам метров. При проведении специальных съемок или работ (AVO и др.) вынос увеличивают до 6-8 км.

Специфика обработки данных, полученных в переходных зонах, обусловлена необходимостью позиционирования приемных установок, определения ориентации содержащихся в установке сейсмоприемников, а также согласования сейсмических разрезов, полученных на стыках с транзитной зоной с использованием различных источников и/или приемников колебаний. Значительное место в обработке занимает также улучшение качества материалов путем подавления волн-помех, характерных для мелководья.

Определение координат приемника и/или источника с достаточно высокой точностью осуществляется с использованием первых вступлений прямых и, главным образом, преломленных волн методом наименьших квадратов путем формирования поля скоростей в верхней части разреза. Для определения ориентации в пространстве трехкомпонентных неориентированных установок чаще используют поляризацию первой волны, распространяющейся между парами источник-приемник с уже известными координатами. Для приемников в карданных подвесах задача сводится к определению ориентации лишь горизонтальных компонент.

Согласование (стыковка между собой) данных, полученных в транзитной зоне и по обе стороны от нее, предполагает ввод соответствующей априорной и остаточной статистики, а также фазовую коррекцию. До фазовой коррекции каждый из объемов данных, полученных с соответствующим типом приемника и источника, обрабатывают путем ввода статических поправок за ВЧР, применения деконволюции и ввода остаточной статистики.

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОГО ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАБОТ В МЕЛКОВОДНЫХ И ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ

В первом разделе главы рассмотрены цифровые телеметрические системы, применяемые при сейсморазведке на мелководье и в транзитных зонах.

Из отечественных разработок в первую очередь необходимо отметить морские цифровые телеметрические приемно-регистрационные системы семейства XZone®, выпускаемые фирмой «СИ Технологии» (г. Геленджик). Первой в этом ряду является цифровая телеметрическая система для морской сейсморазведки *Bottom Fish*, разработка которой была завершена в 2004 году (Запорожский и др., 2005).

В состав системы *Bottom Fish* входят бортовое оборудование, основным элементом которого является центральная станция регистрации (ЦСР), и забортное оборудование, включающее от одной до 12 линий цифровых телеметрических кос по 960 каналов, каждая из которых содержит набор активных (приборных) секций длиной по 75 м и несколько дополнительных (бесприборных) секций – грузовых, амортизационных и др.

Активные (приборные) секции содержат каждая по 6 сейсмических каналов с базой по 12.5 м. По команде с ЦСР предусмотрена возможность изменения количества гидрофонов в группе и базы их группирования с 12.5 м до 6.25 м. По желанию заказчика секции выпускаются в разных исполнениях: с плавучестью близкой к нейтральной для использования в режиме буксировки в водном слое и с дополнительными утяжелителями для «старт-стопного» режима или в виде донной косы. Сигналы с каждой группы гидрофонов поступают в установленный в муфте секции 6-канальный регистрирующий электронный модуль, в котором осуществляется их предварительное усиление, 24-разрядное аналого-цифровое δ - σ преобразование с дискретностью от 0.25 мс до 4 мс, предварительная обработка и передача данных в коде Манчестера по телеметрической линии на ЦСР со скоростью 16 Мбит/с.

Следующей в семействе XZone® стала разработка цифровой телеметрической системы *Marsh Line*, предназначенной для сейсмозащелки в условиях предельного мелководья, транзитных зон и прилегающей суши (Запорожец Б.В. и др., 2005). В состав системы *Marsh Line* входит такая же центральная станция регистрации (ЦСР) и забортное оборудование, включающее цифровую телеметрическую косу, состоящую из однотипных приборных модулей, соединенных между собой прочным кабель-тросом ($\Delta X_{пп} = 5 \div 150$ м), выдерживающим нагрузку до 5 тонн, и дополнительных специальных секций в начале и конце линий

Приборный модуль системы *Marsh Line* представляет собой герметичный цилиндрический контейнер, внутри которого размещены чувствительные датчики и электронный блок, имеющий практически такую же функциональную схему, как и модуль системы *Bottom Fish*. В зависимости от целей и задач сейсмозащелочных работ, а также планируемых условий эксплуатации системы XZone® *Marsh Line* предусмотрены следующие варианты исполнения приборного модуля:

- 1С: *один геофон (Z)* – изучение ВЧР, 2D/3D исследования на льду, снегу, песке и т.д.
- 2С: *геофон и гидрофон (Z+P)* – 2D/3D исследования на предельном мелководье морей, прилегающей суше, в транзитных зонах, на реках и озерах;
- 3С: *три ортогональных геофона (X+Y+Z)* – трехкомпонентные исследования ВЧР на суше, трехкомпонентная сейсмозащелка 2D/3D по льду, снегу, песку и т.д.;
- 4С: *три ортогональных геофона и гидрофон (X+Y+Z+P)* – 2D/3D исследования на предельном мелководье морей, в транзитных зонах и на прилегающей суше, на реках и озерах, а также мониторинг морских скважин 4D/4C (ВСП в процессе бурения).

В работе приведены функциональные схемы ЦСР и электронных модулей систем XZone® *Bottom Fish* и *Marsh Line*, а также рассмотрены особенности технологии полевых работ 2D и 3D с системами XZone® на предельном мелководье и в транзитных зонах.

В последние годы телеметрические системы XZone® *Bottom Fish* и *Marsh Line* получили широкое применение при морских сейсмозащелочных работах 2D и 3D на акваториях Обской и Печорской губы, Азовского, Каспийского, Баренцева, Белого, Южно-Китайского и др. морей, где с этими системами было отработано свыше 35000 км профилей. В работе приведены также временные разрезы, иллюстрирующие эффективность применения систем XZone® *Bottom Fish* и *Marsh Line* в различных сейсмогеологических условиях.

Наряду с рассмотренными *кабельными телеметрическими системами* при работах на мелководье и в транзитных зонах особенно эффективны *радиотелеметрические системы*, применение которых рассмотрим на примере системы «*BOX*» фирмы *Fairfield Industries Inc.*

Система «*BOX*» состоит из центральной регистрирующей станции (ЦРС), установленной в мобильный модуль-контейнер, и комплекта автономных полевых телеметрических модулей, раскладка которых на профиле при глубине моря до 2 м осуществляется с двух специально оборудованных судов типа БМП-74, на предельном мелководье – с резиновых надувных лодок типа «Зодиак» с подвесными моторами или специализированными понтонами.

ЦРС имеет возможность регистрации до 1200 рабочих каналов и реализована на базе рабочей станции SUN с операционной системой UNIX SOLARIS.

Вся полоса частот радиотелеметрической системы «ВОХ» реализована в интервале 214–234 МГц (до 1000 отдельных радиочастот), при этом ширина радиоканала для каждого модуля «ВОХ» составляет 20 кГц. При шаге дискретизации 2 мс для восьми сейсмических каналов система обеспечивает передачу 24-разрядных данных в течение удвоенного времени регистрации (для четырех каналов – вдвое быстрее).

Каждый полевой модуль системы «ВОХ» состоит из радиобуя и подключаемых к нему одной или двух 4-х канальных сейсмических мини-кос – рис. 8.

В пределах акватории в качестве приемных устройств используются гидрофоны MP-24L3 (чувствительность 7.5 В/бар, диапазон частот 10–1000 Гц), а при выходе профилей на сушу – геофоны GS-20DX (чувствительность 20–28 В/м/с, диапазон частот 10–250 Гц).

В процессе регистрации данных аналоговая информация с сейсмических каналов поступает на радиобуй, оцифровывается 24-разрядным АЦП, мультиплексируется и передается на ЦРС, где производится ее демультимплексация и запись на магнитный носитель в требуемом формате (SEG D или SEG Y). Динамический диапазон записи 120 дБ, длительность записи в разных районах составляла от 6 до 12 с.

Наиболее важным достоинством радиотелеметрической системы является отсутствие кабелей, соединяющих между собой и с ЦРС полевые модули, что позволяет создавать с помощью системы «ВОХ» любые системы наблюдений при 2D и 3D съемках.

В этом разделе рассмотрены также телеметрические системы 408UL и 428XL французской фирмы Serceel, телеметрическая система ARAM ARIEZ канадской фирмы Geo-X, а также телеметрическая система I/O SYSTEM FOR американской фирмы INPUT/OUTPUT.

Во втором разделе главы рассмотрены источники упругих волн, применяемые при сейсморазведке на мелководье, на предельном мелководье и в транзитных зонах.

На мелководье (при глубине моря свыше 2–2.5 м) при работе в «старт-стопном» режиме, или в непрерывной буксировке (при глубине более 5–7 м) возбуждение упругих волн производится одной или несколькими буксируемыми линиями пневмоисточников BOLT LL 2800 и LL1900, или другого типа («Пульс-6», Sleeve Gun, VLA-VLF) объемом до 30 дм³.

При работе с донными приемными устройствами чаще всего работа проводится в *двухсудовом* варианте, при этом судно подвижный взрывпункт кроме нескольких буксиремых линий с пневмоисточниками должно нести на борту компрессорную станцию с ресивером и пневмораспределительным пультом, а также контроллер пневмоисточников (LONG SHOT, Masha, «АСТРА» или др.), систему синхронизации возбуждений (ССВ с радиостанцией) и навигационное оборудование (DGPS, эхолот).

При работе в «старт-стопном» режиме весь аппаратурный комплекс – и регистрирующая аппаратура, и источник – размещается на одном геофизическом судне.

На предельном мелководье в интервале глубин моря от 0,5 – 0,6 м до 2,0–2,5 м возбуждение упругих волн осуществляется линейными группами из 5–12 пневматических излучателей («Пульс-6», BOLT или др.) с общим объемом рабочих камер от 12 до 20 дм³, при рабочем давлении до 15 МПа. При этом взрывпункт располагается на самоходном понтоне с осадкой 0,3–0,4 м, на котором установлены компрессор («Юнкерс FK-15» или ДК2-3Р), ресивер емкостью 400 дм³, пневмораспределительный пульт. В рулевой рубке размещаются контроллер пневмоисточников («Астра» или др.) система запуска и синхронизации возбуждений (ССВ с радиостанцией), навигационное оборудование (DGPS, эхолот). Понтон приводится в движение мощными подвесными моторами – рис.9.

Пневмоисточники буксируются за самоходным понтоном на удалении 7–10 м на специальном плоту-катамаране длиной до 10 м. Конструкция плота-катамарана обеспечивает линейное группирование излучателей и с использованнем установленных на нем ручных лебедок позволяет менять глубину их буксировки в зависимости от глубины моря и рельефа дна. При необходимости число линий излучения может быть увеличено до двух или четырех.

В транзитных зонах с глубиной моря от 0,5–0,6 м и до уреза воды возбуждение упругих волн осуществляется группой из двух пневмоизлучателей «ПУЛЬС-6» (или др. типа) с общим объемом 3–4 дм³, подвешенных на раме и опускаемых на дно с помощью кран-балки, установленной на борту плавающего гусеничного транспортера – рис.10. В кокпите вездехода установлены: портативный компрессор «Посейдон», ресиверные баллоны со сжатым воздухом (100 дм³), пневмораспределительный пульт, а также радиостанция и контроллер.

В транзитной зоне, а также при выходе на сушу, возбуждение упругих волн осуществляется с помощью погружных скважинных пневматических источников «ПУЛЬС-6С» или ПИК-3, срабатывающих в мелких (от 2 до 5 м) заполненных водой скважинах – рис.11 (а, б). В таких условиях обычно практикуется накопление 6–12 излучений на пикете.

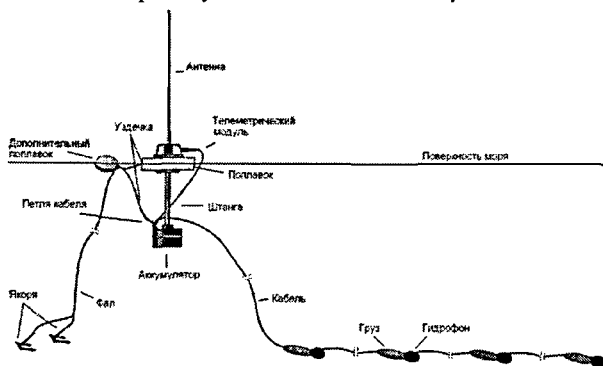


Рис. 8. Автономный полевой модуль радиотелетрической системы «ВОХ» фирмы Fairfield Industries (США)

В *третьем разделе* главы рассмотрены транспортные средства, применяемые при работах на мелком море и в транзитной зоне.

Прежде всего, следует отметить, что универсальных транспортных средств для мелководных и транзитных зон, удовлетворяющих всем требованиям, перечисленным в разделе 3.3, в настоящее время не существует. Поэтому весь транспорт, используемый для выполнения сейсморазведочных работ в этой зоне, – это некоторый компромисс между технологическими потребностями, соображениями безопасности и требованиями морского Регистра РФ.

Для работ в условиях *мелководья* используются суда с малой осадкой, несколькими двигательными установками, плоским усиленным днищем. Этим требованиям соответствуют буксирные теплоходы, снабженные двумя 300–600-сильными двигателями, поворотными насадками на винт, защищающими его и обеспечивающими требуемую маневренность, а также некоторые типы рыбацких судов, водоизмещением 300–500 т. Из числа имеющих специализированных геофизических судов для мелководья можно назвать серию НИС типа «Искатель» – катамаран проекта 3870 постройки конца 80-х годов с осадкой около 1,5 м, а также специально оборудованные НИС «Геофизик-2», «Геофизик-3», «Геофизик-4» и «Морской Геотехник», с которыми фирмами ГП «Шельф» и «Гео-Хазар» отработано более 25000 км сейсмических профилей на мелководье Каспийского и Азовского морей (Долгов, 2005).

При работе в *двухсудовом* варианте судно-взрывпункт, помимо требований мореходности, выбирается с таким расчетом, чтобы разместить компрессорную станцию, установить спускоподъемное оборудование для линий пневмоисточников, разместить навигационное оборудование, а также систему синхронизации возбуждения и контроля пневмоисточников.

Удачным примером такого судна, успешно применяемого в качестве взрывпункта, являются буксирные теплоходы проекта ОТА.

Раскладка-сборка донных приемных систем осуществляется с помощью малых судов проекта БИМ. При осадке не более 130 см, данные суда имеют неплохие мореходные характеристики и способны держать крутую и частую волну на мелководье.

При проведении работ на предельном мелководье с глубинами до 0,5 м, хорошо зарекомендовали себя самоходные металлические поптопы, разработанные и изготовленные в ГИЦ ФГУП «Южморгеология» – рис.12. Приводимые в движение подвесными лодочными моторами 2 · 100 л.с., данные поптопы очень легко управляются, имеют грузоподъемность до 6 т при осадке 0,4 м и способны устойчиво держаться на курсе даже при боковом ветре.

В заболоченных и заросших камышом районах, а также в транзитной зоне, где невозможно применение плавующих транспортных средств, оборудование и персонал размещаются на плавачиных гусеничных вездеходах типа ПТС или ТМ – рис.13.

В четвертом разделе главы рассматривается навигационно-гидрографическое обеспечение полевых работ на мелководье и в транзитных зонах.

Для высокоточной привязки координат пунктов взрыва и пунктов приема используются спутниковые приемники AgGPS-132 фирмы Trimble Navigation Ltd., (США), которые оснащаются все транспортные суда, предназначенные для раскладки радиотелеметрических модулей, и взрывпункты. Для работы приемников в дифференциальном режиме в районе работ устанавливается наземная радиомаячная дифференциальная станция RTCM-32 или RTCM-104. Вожение судов-раскладчиков по пунктам постановки модулей и гидрофонов осуществляется по командам навигатора, ведущего прокладку по намеченному маршруту и показаниям DGPS. Регистрация координат в реальном времени и запись всех навигационных данных производится на жесткий диск компьютера с использованием программы HYDRO-6.06 фирмы «Trimble». Камеральная обработка спутниковой информации предусматривает редактирование навигационных файлов с последующим пересчетом географических координат в прямоугольные координаты. Точность плановой привязки при таком наборе средств составляет ± 2 м, точность определения высот $\pm 1,5$ м.

В пятом разделе главы рассмотрена методика полевых работ на предельном мелководье и в транзитной зоне. Возможность произвольного размещения полевых модулей системы «ВОХ» на местности в пределах 20 км зоны уверенного приема радиотелеметрических сигналов, а также отсутствие кабелей межпрофильных соединений позволяет реализовать любые системы наблюдения сейсморазведки MOV OGT 2D или 3D. В качестве примера в работе приведены параметры обращенной системы наблюдений, реализованной при работах MOV OGT 2D на предельном мелководье в Таганрогском заливе Азовского моря.

В этом же разделе детально рассмотрена технологическая схема отработки профилей с использованием радиотелеметрической системы «ВОХ».

Шестой раздел главы посвящен контролю качества и предварительной обработке сейсмических данных, получаемых при сейсморазведке на мелководье и в транзитных зонах.

Для обработки полевого сейсмического материала используется программно-технический комплекс «Geocuster 4.1» компании CGG (Франция). Рабочие станции на базе процессоров Intel Pentium-4 оснащены необходимыми объемами оперативной и дисковой памяти.

Граф предварительной обработки включает такие процедуры, как преобразование файлов SEGД, SEG Y в формат обрабатываемой системы; присвоение геометрии; динамическая регуляция амплитуд; полосовая фильтрация; предсказывающая деконволюция; корректирующая фильтрация; мьютинг по сейсмограммам ОПВ; ФК фильтрация; сортировка по OGT; скоростной анализ; суммирование по OGT и вывод предварительного временного разреза.

Предварительная обработка сейсмических данных в полевых условиях предназначена в основном для оценки качества материала (QC), однако в ряде случаев наличие обрабатываемого комплекса в полевой партии позволяет сэкономить значительные средства, за счет оперативного планирования сейсмических профилей по результатам интерпретации только что отработанных объемов профилей.

В седьмом разделе главы рассмотрена организация сейсморазведочных работ в мелководных и транзитных зонах. При сейсморазведочных работах с радиотелеметрической сис-

темой «ВОХ» (или аналогичной) полевая сейсмическая партия организационно состоит из следующих подразделений: *отряд возбуждения сейсмических колебаний; отряд регистрации сейсмической информации; косарской отряд; навигационный отряд; отряд обработки и контроля качества сейсмической информации; отряд механиков-судоводителей.*

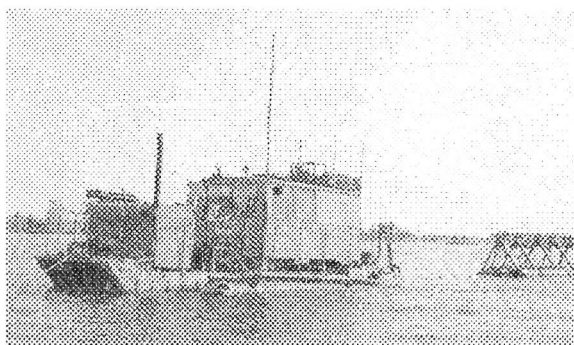


Рис.9. Понтон-взрывпункт и плот-катамаран с пневматическими излучателями «Пульс-6». Разработка ГНЦ «Южморгеология» и ООО «Пульс»

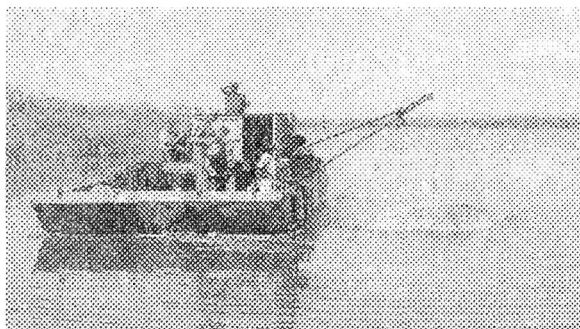
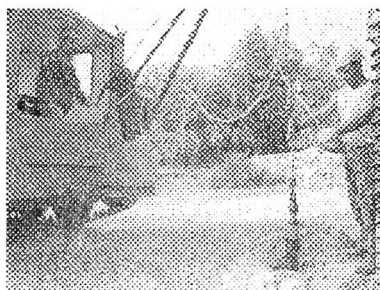
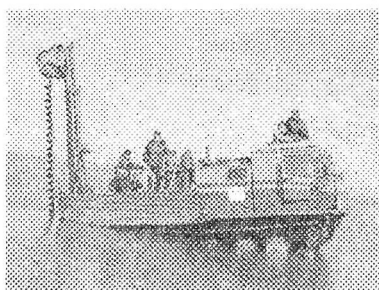


Рис.10. Взрывпункт на базе плавающего гусеничного транспортера для возбуждения упругих волн в транзитной зоне



(а)



(б)

Рис.11. Возбуждение упругих колебаний погружными пневматическими источниками «ПУЛЬС-6С» (а) и ПИК-3 (б)

В работе достаточно подробно рассмотрены состав отдельных подразделений партии и выполняемые ими функции.

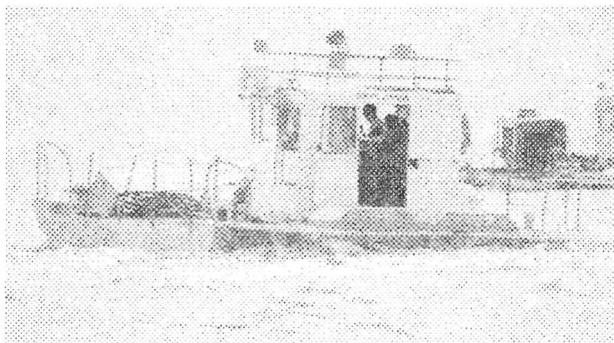


Рис. 12. Самоходный металлический понтон-носитель геофизического оборудования

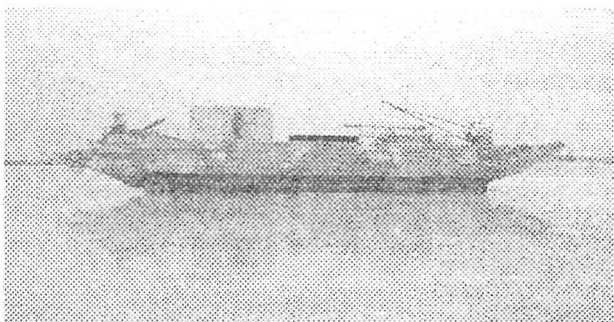


Рис. 13. Плавающий гусеничный вездеход ПТС-М

ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ МОГТ 2D

Начиная с 2001 г. подразделениями ГНЦ ФГУП «Южморгеология» с использованием системы «ВОХ» и описанной технологии обработаны десятки тысяч километров профилей сейсморазведки 2D на предельном мелководье и в транзитных зонах Азовского и Каспийского морей, акваторий рек Волга, Обь, Печора и др.

В первом разделе главы рассмотрены некоторые результаты применения рассмотренной технологии на предельном мелководье и в транзитных зонах Азовского моря.

Так, в 2001-2002 годах по заказу МПР РФ проведены исследования на предельном мелководье Таганрогского залива, ранее совершенно не изученном сейсморазведкой. Отработано **1117 км** профилей МОВ ОГТ 2D, выявлено **20 локальных поднятий**, закартированных по поверхности докембрийского фундамента и по отражающим горизонтам в низах осадочной толщи. Суммарный прирост локализованных углеводородных ресурсов составил **62,3 млн. т** условного топлива. Перспективные ресурсы Должанского поднятия в размере **2 млрд. м³** газа по категории С₂ поставлены на государственный баланс по состоянию на 1.01.2002 г.

В 2003 и 2004 годах выполнялись сейсморазведочные работы МОВ ОГТ 2D в Темрюкском заливе: в 2003 году отработано 400 км, в 2004 году – 390 км. Полученный материал послужил основой для планов разведочного бурения НК «Приазовнефть».

В 2003 году по заказу МПР РФ начаты комплексные геолого-геофизические исследования по региональным профилям в российской части Азовского моря с выходом на прилегающую сушу. Целевое назначение работ: региональное изучение осадочных толщ мезозоя-палеозоя, выделение перспективных на поиски залежей нефти и газа зон и объектов в осадочных толщах мезозоя и палеозоя, оценка ресурсной базы нераспределенного фонда акватории и транзитных зон Азовского моря, подготовка геолого-геофизических материалов для принятия решений по делимитации дна и дальнейшему лицензированию акватории.

Наиболее существенный результат сейсморазведочных работ по данному объекту – это информация о нижнемезозойском и предположительно палеозойском сейсмостратиграфических комплексах Азовского моря. В осевой зоне *Индоло-Кубанского прогиба* в интервале времен от 6 до 9 с получены отражения от домайкопских пород. В первом приближении опознаются палеоцен-эоценовый, верхнемеловой и нижнемеловой сейсмо-стратиграфические комплексы. Последний комплекс, возможно, включает и юрские отложения.

В разделе дано детальное описание технологии работ, приведены временные разрезы, иллюстрирующие ее эффективность в рассматриваемых сейсмогеологических условиях.

Во втором разделе главы рассмотрены некоторые результаты применения рассмотренной технологии на предельном мелководье и в транзитных зонах Северного Каспия. Эта акватория представляет собой обширное мелководье, простирающееся с северо-востока на юго-запад более чем на 500 км и имеющее чрезвычайно сложные гидрографические и гидрометеорологические условия, которые характеризуются частыми штормами, при которых ветер может достигать 25 м/с, а изредка – до 40 м/с, а также интенсивными сгонно-нагонными явлениями, серьезно осложняющими проведение работ в мелководной зоне.

В Северном Каспии ГНЦ ФГУП «Южморгеология» работает с 1999 г. В мелководной зоне моря, прилегающей к Республике Калмыкия, и в дельте Волги отработано свыше **2600 км** сейсморазведочных профилей. В результате этих работ геологический разрез северо-западного Каспия изучен до глубин 10–12 км, а на отдельных участках до глубин 16–18 км.

В юрско-меловых и триасовых отложениях изученной площади выявлено 19 локальных поднятий, такие как Западно-Петровское, Лаганское и другие.

В разделе дано детальное описание технологии работ, приведены временные разрезы, иллюстрирующие ее эффективность в рассматриваемых сейсмогеологических условиях.

В третьем разделе главы рассмотрены некоторые результаты применения рассмотренной технологии на мелководных акваториях Северных морей.

Так, в 2004 году ГНЦ ФГУП «Южморгеология» отработала **255,6 км** профилей с радиотелеметрической системой «**ВОХ**» на Обской губе. В 2005–2007 г.г. отработано **810 км** сейсмических профилей на мелководье в западной части Печорского моря. Из них **125,5 км** отработано с кабельной телеметрической системой **XZone® Marsh Line** и **684,5 км** – с радиотелеметрической системой «**ВОХ**». При этом в Паханческой губе Печорского моря были проведены работы по увязке морских сейсмических профилей с сухопутными данными.

В работе показано, что предложенная технология сейсморазведки, основанная на применении современных телеметрических систем сбора данных и др. специализированных технических средств, в переходных зонах «суша-море» позволяет проводить бесшовную сейсмическую съёмку. Кроме того, применение такой технологии обеспечивает снижение или исключение экологического ущерба.

В разделе дано детальное описание технологии работ, приведены временные разрезы, иллюстрирующие ее эффективность в рассматриваемых сейсмогеологических условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом настоящей работы является создание и внедрение современной эффективной технологии сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне.

Исходя из теоретических расчетов и на основании производственного опыта установлено, что основным фактором, определяющим выбор технологии сейсморазведки на мелководье является глубина моря, в зависимости от которой можно отметить следующие варианты:

1. Глубина моря больше 5-7 м. Применяется стандартный аппаратурно-методический комплекс: флаговые системы наблюдений – 2D- или 3D- профилирование МОВ ОГТ с буксируемыми пьезокосами (в том числе цифровыми) и линейными пневмоисточниками.

2. Глубина моря от 2-3 до 5-7 м – мелководье. Применяется 2D-профилирование МОВ ОГТ с использованием флаговой системы наблюдений и «старти-стопной» технологии (в зарубежной терминологии «yo-yo»). В качестве источников обычно применяются те же линейные группы пневмоисточников с глубиной подвески излучателей от 1.5 до 3 м.

3. Глубина моря от 0.5 до 2-3 м – предельное мелководье. Наряду с обычным линейным 2D-профилированием с перемежаемой расстановкой широко применяются обращенные системы наблюдения с неподвижным приемным устройством и подержным взрывпунктом, перемежающимся по заданной сети точек возбуждения. В качестве источников применяются обычно небольшие группы пневматических излучателей, устанавливаемые на маломерном плавсредстве и буксируемые на поплавах с подвеской на глубине от 1.0 до 1.5-2 м, или волочком по дну. В последнем случае часто применяется накопление информации.

4. Глубина моря менее 0.5-0.7 м – транзитная зона. В этих условиях, применение как морских источников, так и любых наземных источников поверхностного типа неэффективно. В этой зоне более эффективным *было бы* применение небольших зарядов ВВ в скважинах или ЛДШ, однако использование зарядов конденсированных ВВ в любом виде запрещено. Компромиссным решением является использование пневмоисточников погружного типа, возбуждающих сигналы в мелких скважинах и обычно работающих в режиме накопления.

При этом в качестве приемных устройств все чаще применяют телеметрические донные косы с геофонами и гидрофонами или многокомпонентными приборами, а весь аппаратный комплекс, включая сейсмостанцию или центральную регистрирующую систему, компрессор и шнековую буровую установку или гидромонитор, размещают на транспортных средствах амфибийного класса, имеющих повышенную проходимость.

В последние годы в практике сейсморазведочных работ на предельном мелководье и в транзитной зоне с применением телеметрических систем сбора сейсмической информации как кабельных, так и с передачей данных по радиоканалу проводятся работы и по методике 3D с использованием пространственных систем наблюдения. По стоимости такие работы почти на порядок дороже работ, выполняемых по стандартной методике на глубоком море.

Перспективы дальнейшего развития технологий сейсморазведочных работ на предельном мелководье и в транзитных зонах связаны с общим прогрессом теории и практики сейсморазведки. Тем не менее, можно наметить следующие его направления в рамках рассматриваемых нами вопросов (Шнейерсон, Шехтман, 2005).

В области возбуждения колебаний: совершенствование существующих и создание новых эффективных невзрывных источников колебаний, позволяющих полностью отказаться от применения ВВ в транзитных зонах, опробовать морские вибраторы и оценить перспективы их применения при работах в транзитных зонах России.

В области приема колебаний: широкое применение многокомпонентных, в том числе погружных, приемников скорости и ускорения смещения; применение сверхмногоканальных регистрирующих систем с переходом на проведение работ со сверхплотными системами наблюдений без группирования приемников.

В области систем наблюдений: использование систем, наиболее соответствующих задачам и условиям работ, а также особенностям строения разведываемых объектов; широкое применение скважинных исследований и их комплексирование с наземными съемками.

В области обработки данных: совершенствование способов и алгоритмов, обеспечивающих оптимальное согласование записей, полученных с импульсными и вибрационными источниками и зарегистрированными приемниками скорости и ускорения.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Шумский Б.В., Захаров Н.В., Торолчин В.А., Гуленко В.И. Особенности технологии сейсморазведки МОВ ОГТ 2D при работах в транзитной зоне Западного Каспия // Экологи-

ческий вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2004. Приложение. С.143 – 147.

2. Захаров Н.В., Шумский Б.В. Технология и технические средства для сейсмических исследований на мелководье и транзитных зонах // Приборы и системы разведочной геофизики – Ежекварт. официальное издание Саратовского отделения ЕАГО. 2005. № 1. С.24 – 26.

3. Шумский Б.В., Захаров Н.В., Горопчин В.А., Гуленко В.И. Технология сейсморазведки МОВ ОГТ 2D на предельном мелководье и в транзитной зоне Азовского моря // Тезисы докладов 7-й международной научно-практич. конференции «Геомодель-2005». С.61 – 62.

4. Шумский Б.В., Захаров Н.В., Горопчин В.А., Гуленко В.И. Технология сейсморазведки МОВ ОГТ 2D на предельном мелководье и в транзитной зоне в Российском секторе Азовского моря // Технологии сейсморазведки. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2005. №3. С.95 –99.

5. Гуленко В.И., Бадиков Н.В., Шумский Б.В. Аппаратура и методика регистрации акустических сигналов морских сейсмических источников // Приборы и системы разведочной геофизики – Ежекварт. официальное издание Саратовского отд. ЕАГО. 2006. № 3 С.40–42.

6. Гуленко В.И., Шумский Б.В. Особенности возбуждения упругих волн в условиях мелководья и переходной зоны суша-море // Геофизика XXI столетия: 2005 год. Сборник трудов 7-х геофизических чтений им. В.В. Федьинского – М.: Научный мир, 2006. С.355– 365.

7. Гуленко В.И., Шумский Б.В., Захаров Н.В., Горопчин В.А. Современная технология сейсморазведки МОВ ОГТ 2D на предельном мелководье Азовского моря // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет». 2006. №10 (23). С.43 – 51.

8. Гуленко В.И., Шумский Б.В. Технологии морской сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне: Монография. – Краснодар: КубГУ, 2007. – 111 с.