ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ

1-2/2018

Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:

Новинки оборудования и современные технологии

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

О мешающем влиянии высокоскоростных помех, формируемых в верхней части разреза при поверхностном возбуждении колебаний

СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ



XZone

353477 Россия, Краснодарский край, г.Геленджик, ул.Ручейная,8
т.:(86141)26615, ф.:(86141)26601
office@intromarin.ru, www.intromarin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Трудные времена! 7
Турлов П.А.

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Вертикальные группы морских пневматических источников 8
Гуленко В.И., Захарченко Е.И. –Кубанский госуниверситет, г. Краснодар.
Рудаков А.В. –АО «Южморгеология», г. Геленджик

Особенности ослабления вторичных пульсаций источника при обработке морских сейсмических данных разных лет 13
Филимонов А.В., Горбачев С.В., ООО «РН-Шельф-Акртика»
Ланцев В.В., Хохряков В.Н., Степанов Н.А., ОАО «МАГЭ»

Фокусированная воздушная сейсморазведка (ФВС) 22
Табаков А.А., ООО «Геоверс», г. Москва

К вопросу о группировании вибраторов в горных условиях 26
Кострыгин Ю.П., Фокин С.А., ООО «Новоросморгео», г. Краснодар

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методика динамического возбуждения импульсными источниками «ЕНИСЕЙ» СЭМ-200 и СЭМ-100 8
Детков В.А., Баландин П.В., Корболеев И.А., ООО «Эвенкиягеофизика», г. Красноярск
Мосягин Е.В., АО «СНИИГГиМС», г.Новосибирск 31

Результаты комплексирования методов ЭМС и МСК для изучения ВЧР в условиях распространения ММП с целью прогноза глубины погружения заряда 36

Дмитриев Ю.Ю., ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», г.Новосибирск
Гоц И.А., ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», г.Москва
Батманов И.А., ОАО «Севергеофизика», г.Ухта
Тригубович Г.М., АО СНИИГГИМС, г.Новосибирск
Лыгин. С. К., ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», г.Усинск

О мешающем влиянии высокоскоростных помех, формируемых в верхней части разреза при поверхностном возбуждении колебаний 52

Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск
Смитий Е.В., ООО «ГЕОСЕВ», г. Краснодар

Подход к восстановлению скоростных характеристик верхней части разреза на основе данных нестационарных электромагнитных зондирований 58

И.А. Шелохов, Институт земной коры СО РАН;
И.В. Буддо, ООО "Газпром геологоразведка";
А.С. Смирнов, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Интерпретационное сопровождение обработки данных сейсморазведки 68

Кириллов С.А.,. Чаплыгин А.В, АО «Центральная геофизическая экспедиция», г. Москва 68

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОФЗИКА

Результаты комплексных исследований курганов Лесной курганной группы методами инженерной геофизики на территории Гнёздовского археологического комплекса 81

Новиков В. В., ИАЦ «Гардарика»;
Каинов С. Ю., Государственный исторический музей;
Сергеев К. С.З, Белоусов А. В., РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

НАШИ ПАРТНЕРЫ





ОАО “СКБ СП”









ООО Фирма «ПРИМОД»

Сиб Геофиз Прибор



ПромГеоФизСервис

Приборы и системы разведочной геофизики.
Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал. Издается с 2002 г.

Главный редактор:
к.т.н. П.А. Турлов
paturlov@mail.ru

Редакционная коллегия:
Н.П. Алелюхин,
к.т.н. А.В. Белоусов,
к.т.н С.В. Горбачев,
д.г.-м.н. В.Я.Воробьёв
д.т.н. Г.Н. Гогоненков,
С.В. Гурьев,
к.т.н. В.А. Детков,
д.т.н. А.П. Жуков,
Б.В. Запорожец,
д.г.-м.н. С.И.Михеев,
к.т.н. О.М. Сагайдачная,
к.т.н. Н.В. Тарасов,
д.т.н. Г.Я. Шайдуров,
д.т.н. Г.А. Шехтман,
д.т.н. М.Б. Шнеерсон.

Выпускающий редактор:
И.М. Кузнецов

Координатор проекта:
С.А. Матвеев

Обложка и оформление:
Д.В. Мокроусов

Вёрстка:
Д.В. Мокроусов

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редколлегия может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов. Контакты с авторами статей ведутся через редакцию.

Учредитель:
СРО МОО ЕАГО

Издатель:
ООО «Информ-ГеофизСервис»

Директор:
Матвеев С.А.

Адрес издательства:
410019, Саратов,
ул.Крайняя, д.129
Тел. +7 (8452) 64 14 32

В оформлении обложки использовано изображение с сайта http://mynsoluciones.com.uy

Тираж отпечатан в типографии ООО «Формат»
Тел. +7 (8452) 39-33-77
Тираж: 300 экз.

Подписано в печать:
15.07.2018

Дата выпуска:
03.08.2018

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ № 77-7906 от 27.04.2001 г.
ISSN: 2074-8906
Web-сайт: psrgeo.ru

© Турлов П.А., составление, 2016
© ООО «Информ-геофизсервис», 2016

Тяжелые времена!

Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

Здравствуйте, дорогие мои читатели! Рад, что вы по-прежнему с нами, а мы по-прежнему с Вами. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» в данный момент переживает не лучшие времена. И из-за тяжелого финансового состояния, и из-за судебных тяжб Саратовского регионального отделения Межрегиональной общественной организации «Евро-Азиатское геофизического общество», к этому всему еще и добавилась моя болезнь. Ввиду этого и была такая задержка с рассылкой журнала и принятием решения об объединении нескольких выпусков в один. Но редакция журнала смотрит на все это оптимистично и планирует и дальше успешно выпускать журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» по графику. Многие геофизики писали мне на почту и интересовались состоянием журнала т. к. это практически единственная трибуна для геофизиков, где они могут освещать свои разработки и поднимать вопросы для обсуждения и что его потеря имела бы негативные последствия для отрасли. Редакция журнала полностью заново укомплектована и готова работать в поте лица.

По нашему глубокому убеждению теория представляет особую ценность, т.к. она является руководством к выполнению конкретных действий, которые должны предприниматься в конкретной ситуации для достижения конкретной цели. Именно поэтому в нашем журнале наряду с публикациями, посвященными сугубо практическим вопросам геофизического приборостроения, широко представлены публикации, в которых рассматриваются теоретические исследования и экспериментальные работы по обоснованию и применению тех или иных новаций в решении задач, стоящих перед геофизической отраслью, теоретические и практические вопросы полевых технологий, обработки и интерпретации сейсмических данных. Прошло много конференций и семинаров и я уверен, что материала будет достаточно для освещения на страницах нашего с Вами журнала.

Итак возвращаясь к данному номеру журнала, отмечу, что это далеко не первый выпуск с данной тематикой. Но тема эта, неисчерпаемая, поскольку оборудование и технологии постоянно совершенствуются, отвечая усложняющимися требованиями при проведении сейсморазведочных работ. Все материалы так же принимаются по тому же адресу почты — paturlov@mail.ru

Кризис будет бушевать не один месяц, а может и год, прежде чем все вернется на круги своя, как это обычно и происходит, а пока журнал получился интересным, в чем, на мой взгляд убедятся наши читатели. В следующем номере я дам анонс скорректированных выпусков журнала на 2017 год и планируемые названия выпусков на 2018 год.

До встречи на страницах журнала!



П.А.Турлов

Главный редактор

Вертикальные группы морских пневматических источников

- Гуленко В.И., Захарченко Е.И., Кубанский госуниверситет, г. Краснодар
- Рудаков А.В., АО «Южморгеология», г. Геленджик

Повышение геологической эффективности морской сейсморазведк предполагает постоянное совершенствование всего технологического комплекса, применяемого на акваториях. При этом наряду с использованием современных геофизических судов, спутниковых систем позиционирования и цифровых сейсморегистрирующих телеметрических систем, необходимо применение и достаточно мощных источников, возбуждающих высокоамплитудные и широкополосные сигналы, не осложненные пульсациями, обеспечивающие решение сложных геологических задач в различных сейсмогеологических условиях.

Достижение этой цели обычно осуществляется применением сложных линейных или площадных неоднородных пневматических групп, содержащих в своем составе иногда десятки пневматических излучателей, объединенных в ряд тесных подгрупп – кластеров [1, 2]. При создании таких источников, помимо решения целого ряда чисто технических проблем, связанных с размещением их на борту судна и безопасной эксплуатацией, одной из наиболее сложных задач является определение исходных требований к выбору основных параметров группы, таких, как объемы рабочих камер излучателей и геометрия их группирования, а также других факторов, определяющих амплитудные, временные и частотные характеристики излучаемых акустических сигналов [1, 2].

В настоящей работе рассмотрены результаты моделирования некоторых характеристик вертикальных групп пневматических источников для морской сейсморазведки.

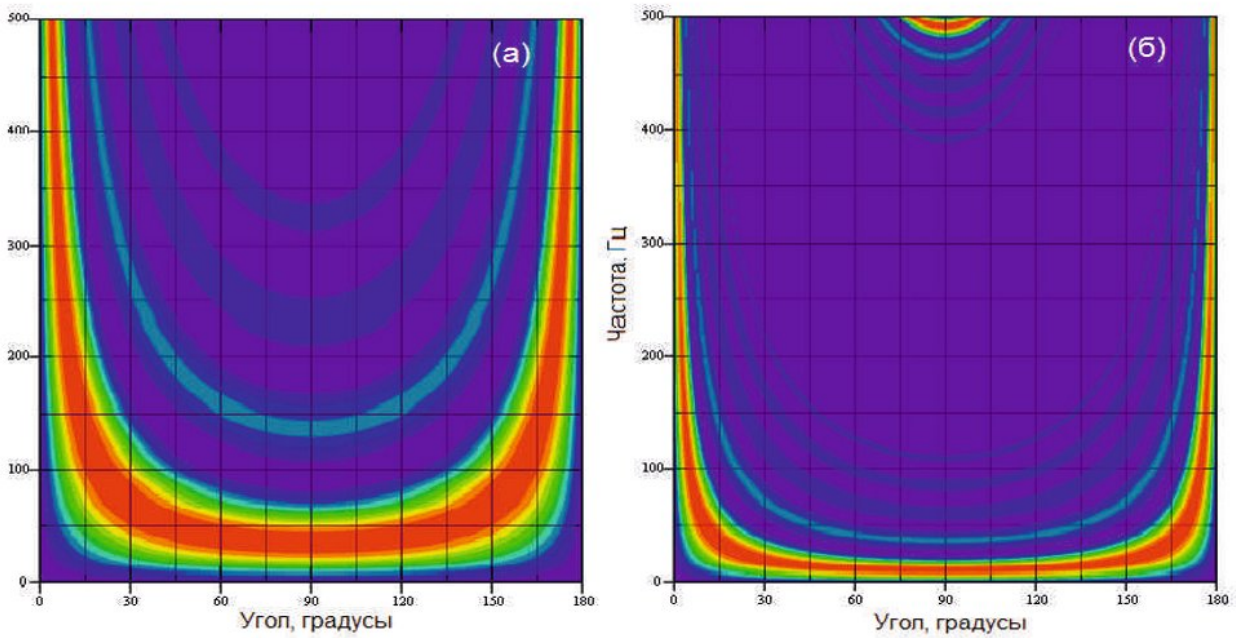
В качестве простейшей модели такой группы можно взять вертикальную однородную группу из N пневматических излучателей одинакового объема V_0 с одним и тем же рабочим давлением сжатого воздуха P_1, подвешенных на вертикальном тросе с постоянным шагом Δh по глубине от $h_1 = h_0$ до $hN = h_0.+(N-1)\cdot\Delta h$.Запуск излучателей производится с помощью системы контроля и управления, в которой предусмотрена возможность управления временем срабатывания каждого излучателя группы. Такая группа может найти применение при сейсмических зондированиях по методу КМПВ, или при других работах, когда координаты пункта возбуждения должны оставаться постоянными.

В качестве теоретической основы для расчета частотных характеристик и диаграмм направленности вертикальных групп был использован алгоритм расчета обобщенных комплексных интерференционных характеристик дискретных групп, описанный в работах [1–3] и реализованный в программной среде СКМ MathCAD 15.

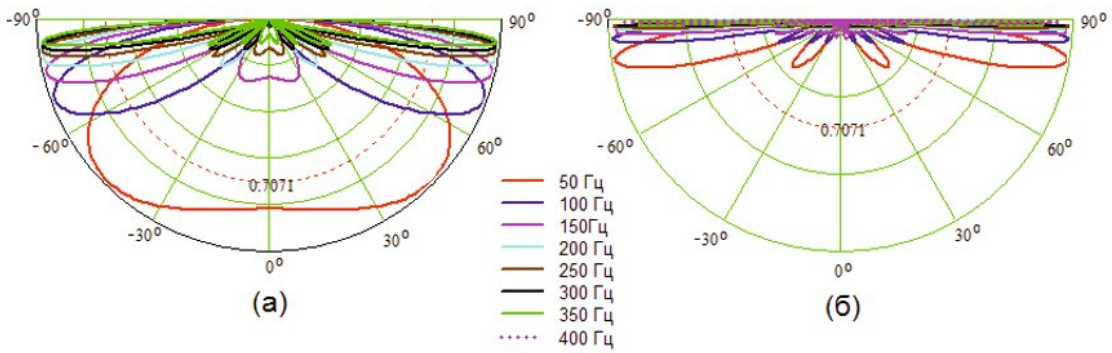
На рис. 1 приведены модули обобщенных комплексных интерференционных характеристик двух вариантов вертикальных групп синхронно срабатывающих пневматических излучателей.

На рис. 2 приведены диаграммы направленности тех же вариантов вертикальных групп синхронно срабатывающих пневматических излучателей.

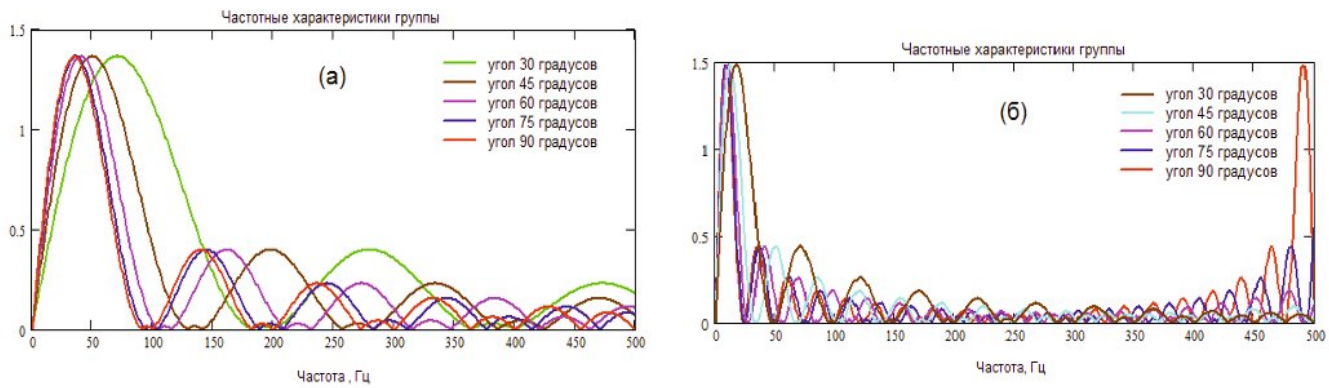
На рис. 3 приведены частотные характеристики тех же вариантов вертикальных групп синхронно срабатывающих пневматических излучателей.



▲ *Рис.1. Модули обобщенных комплексных интерференционных характеристик двух вариантов вертикальных групп синхронно срабатывающих пневматических излучателей: а) h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, N = 10; б) h_0 = 3.0 м, Δh = 3.0 м, N = 20*



▲ *Рис.2. Диаграммы направленности тех же вариантов вертикальных групп синхронно срабатывающих пневматических излучателей: а) h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, N = 10; б) h_0 = 3.0 м, Δh = 3.0 м, N = 20*



▲ *Рис.3. Частотные характеристики тех же вертикальных групп синхронно срабатывающих пневматических излучателей: а) h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, N = 10; б) h_0 = 3.0 м, Δh = 3.0 м, N = 20*

Как и следовало ожидать, при синхронном запуске излучателей вертикальной однородной группы основные максимумы лепестков диаграмм направленности формируются в горизонтальном направлении, что обычно не представляет интереса для сейсморазведки.

Однако, управляя временами срабатывания каждого излучателя вертикальной группы с помощью системы контроля и управления, можно реализовать совершенно особый режим срабатывания группы, который можно назвать режимом «акустической накачки».

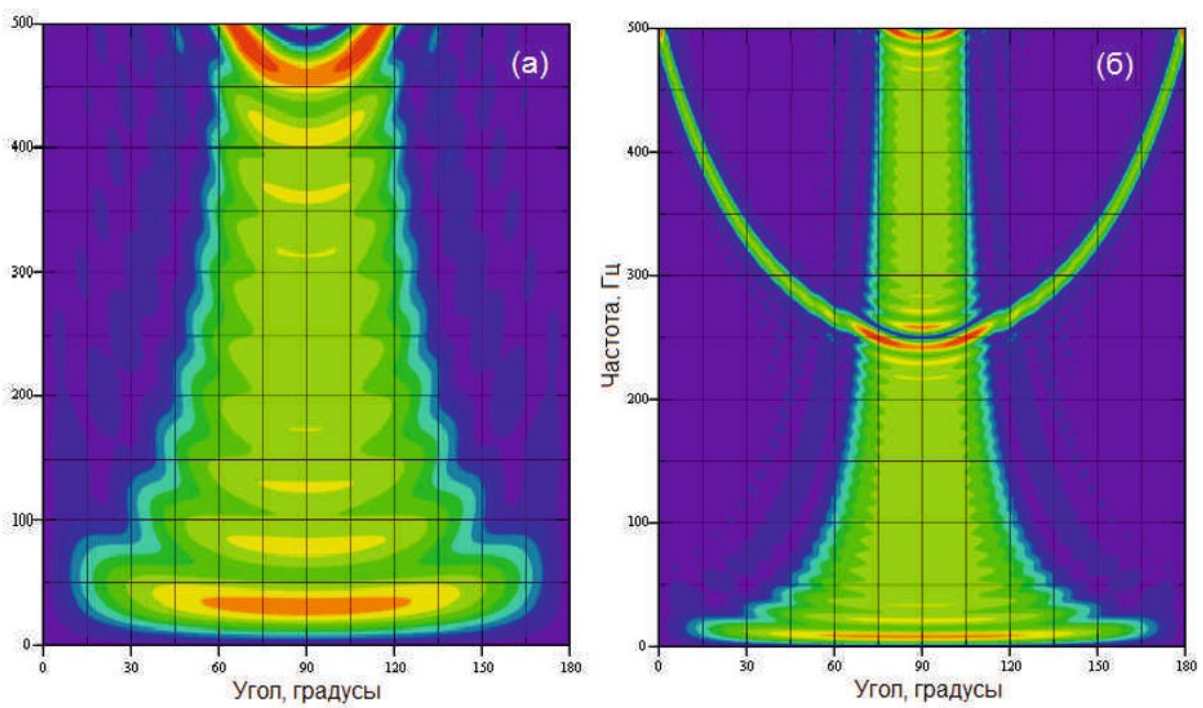
Идея этого метода состоит в следующем. Вначале производится запуск 1-го, самого верхнего излучателя группы. При скорости звука в воде С около 1500 м/с, запуск следующего излучателя производится с задержкой на время $\tau = \Delta h/C$, т.е. на время пробега волны от предыдущего излучателя. И так далее, при этом запуск последнего излучателя группы (самого нижнего) происходит лишь тогда, когда к нему подойдет суммарная акустическая волна сверху.

На рис. 4 приведены модули обобщенных комплексных интерференционных характеристик тех же вариантов вертикальных групп пневматических излучателей, несинхронно срабатывающих в режиме «акустической накачки».

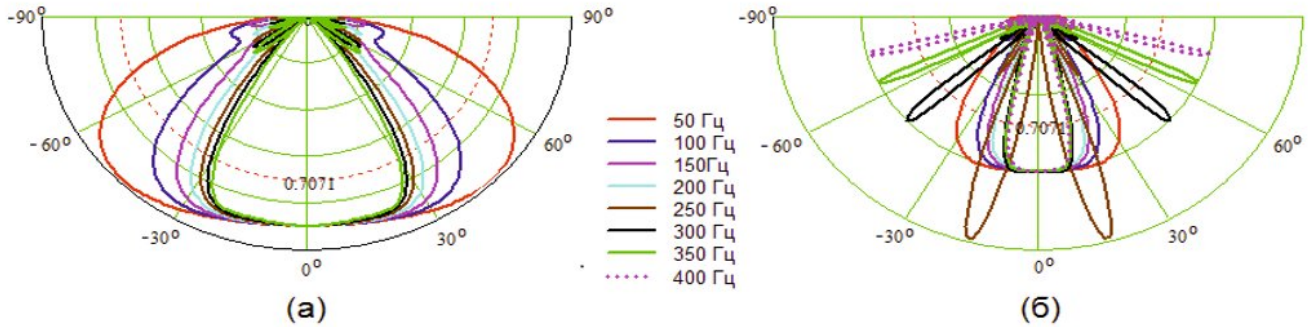
Диаграммы направленности тех же вариантов вертикальных групп, срабатывающих в режиме «акустической накачки», приведены на рис. 5.

На рис. 6 приведены частотные характеристики тех же вариантов вертикальных групп, срабатывающих в режиме «акустической накачки».

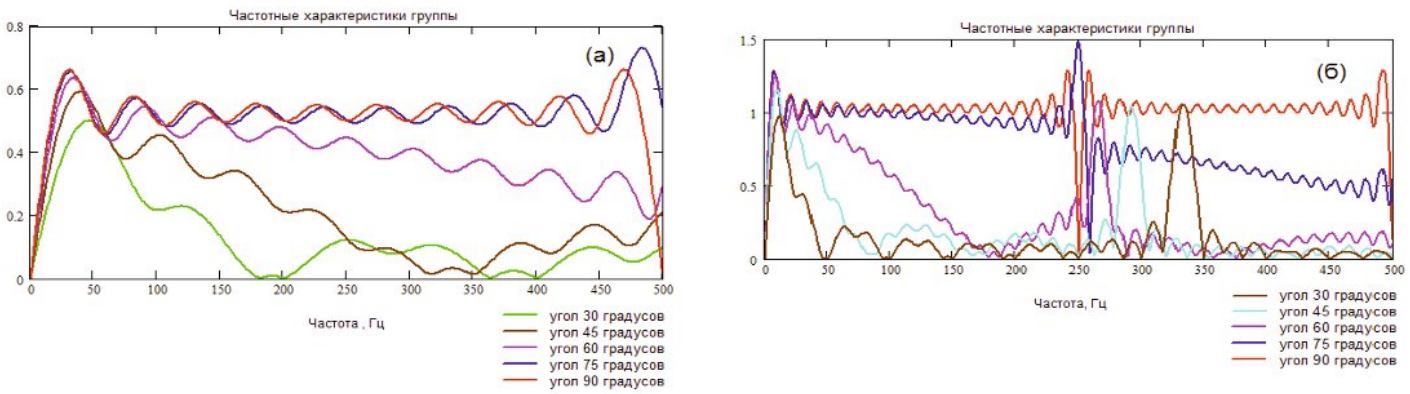
Как видно из представленных рисунков, в отличие от синхронных групп, вертикальные группы с «акустической накачкой»характеризуются не только хорошо выраженной направленностью излучения в вертикальном направлении,



▲ *Рис.4. Модули обобщенных комплексных интерференционных характеристик двух вариантов вертикальных групп пневматических излучателей, срабатывающих в режиме «акустической накачки»: а) h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, τ = 1.0 мс,N = 10; б) h_0 =3.0 м, Δh = 3.0 м, τ = 2.0 мс,N = 20*



▲ *Рис.5. Диаграммы направленности вертикальных групп пневматических излучателей, срабатывающих в режиме «акустической накачки»: а) h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, τ = 1.0 мс,N = 10; б) h_0 = 3.0 м, Δh = 3.0 м, τ = 2.0 мс,N = 20*

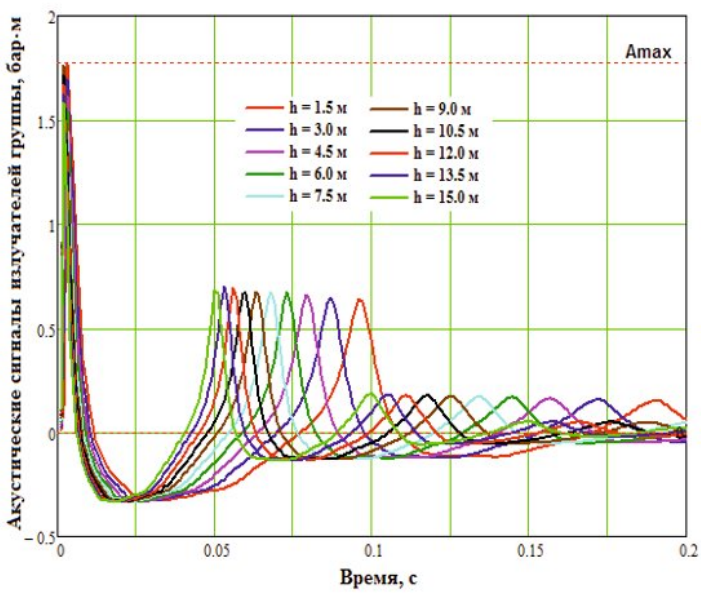


▲ *Рис.6. Частотные характеристики вертикальных групп пневматических излучателей, срабатывающих в режиме «акустической накачки»: а) h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, τ = 1.0 мс, N = 10; б) h_0 = 3.0 м, Δh = 3.0 м, τ = 2.0 мс,N = 20*

но и особой равномерностью основного лепестка частотной характеристики, что отличает такого рода группы от любых других излучающих систем морской сейсморазведки.

Моделирование акустических характеристик вертикальной однородной группы позволило выявить и другие важные достоинства такого источника. На рис.7 представлены акустические сигналы всех отдельных излучателей вертикальной группы при разных глубинах погружения от 1.5 м до 15.0 м и, соответственно, при разных гидростатических давленияхP₀.

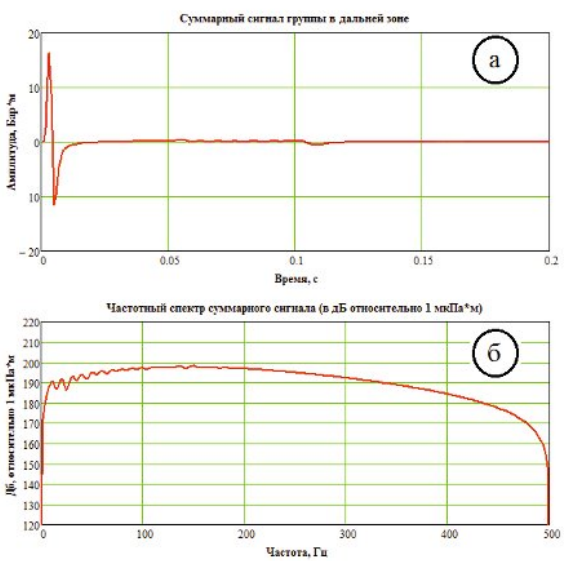
Как следует из рис.7, периоды пульсации всех этих сигналов, даже при одинаковых объемах излучателей, с глубиной уменьшаются в соответствии с известной



▲ *Рис.7. Акустические сигналы отдельных излучателей однородной вертикальной группы при разных глубинах погружения (h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, Vi = 1 дм³, N = 10)*

формулой Релея-Виллиса $T \sim (P_0)^{-5/6}$[1 и др.]. В результате суммарные сигналы такой группы, как при синхронном срабатывании излучателей, так и при работе группы в режиме «акустической накачки» характеризуются достаточно высокой степенью гашения пульсаций.

В качестве примера на рис.8 приведены и другие результаты моделирования акустических характеристик вертикальной группы – суммарный акустический сигнал, излучаемый в вертикальном направлении (а) и его амплитудный спектр (б), полученные при срабатывании в режиме «акустической накачки».Расчеты, выполненные с учетом взаимного акустического влияния излучателей, показывают, что аналогичный вид суммарный сигнал и спектр вертикальной группы имеют и при синхронном срабатывании при излучении в горизонтальном направлении.



▲ *Рис. 8. Суммарный акустический сигнал, излучаемый в вертикальном направлении вертикальной группой пневматических излучателей, срабатывающих в режиме «акустической накачки»(а) и его амплитудный спектр (б) (h_0 = 3.0 м, Δh = 1.5 м, τ = 1.0 мс, Vi = 1 дм³, N = 10)*

Литература

1. Гуленко В.И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки: Монография. – Краснодар: КубГУ. 2003, – 313 с.

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

3. Гуленко В.И., Рудаков А.В., Самсонов Е.А. Принципы построения групповых пневматических источников для морской сейсморазведки // Приборы и системы разведочной геофизики №3(45) 2013 г. с.62-71.

Особенности ослабления вторичных пульсаций источника при обработке морских сейсмических данных разных лет

■ Филимонов А.В., Горбачев С.В., ООО «РН-Шельф-Акртика»
■ Ланцев В.В., Хохряков В.Н., Степанов Н.А., ОАО «МАГЭ»

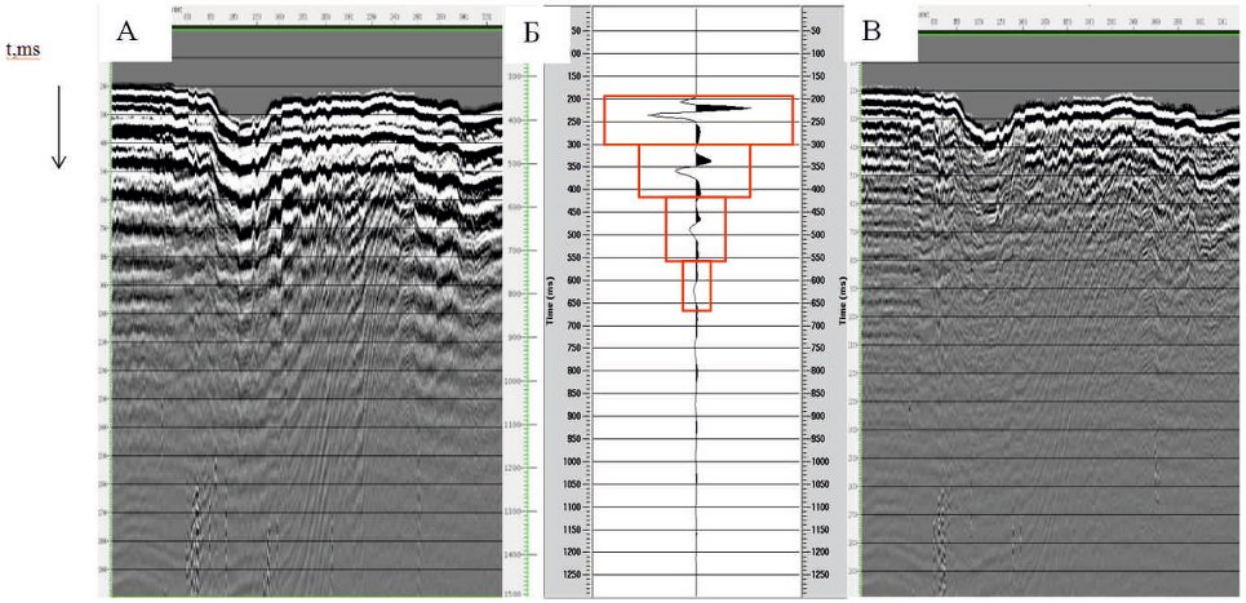
Проблемы ослабления вторичных пульсаций источника на морских сейсморазведочных исследованиях достаточно хорошо изучены и описаны в различной литературе. На практике, при работе с данными разных лет, полученными с использованием разного оборудования и чаще всего без записи характеристик источника, возникают существенные сложности в компенсации таких эффектов. В работе представлены примеры совместной обработки данных разных лет, полученных в Баренцевом море. В результате детального анализа сейсмического материала и применения многоитерационного подхода удалось разработать и применить методику, позволяющую качественно решить задачу ослабления вторичных пульсаций для данных, полученных с различными методиками полевых работ.

Введение

Особенности образования и ослабления вторичных пульсаций морского пневмоисточника хорошо изучены теоретически и практически. Процесс образования и затухания описаны в различной литературе, посвященной морской сейсморазведке [2, 5]. На практике же мы зачастую сталкиваемся с несовершенством системы наблюдения, в частности со значительными девиациями в глубине буксировки сейсмической аппаратуры. Особенно часто эта проблема возникает при одновременной обработке данных разных лет, ввиду использования, как технических средств разных поколений, так и различных методико-технологических подходов [4]. В связи с этим, одним из важных этапов обработки морских сейсмических данных является устранение влияния побочных пульсаций источника колебаний (сигнатурная деконволюция [6]).

Вторичные пульсации источника возникают следующим образом. При срабатывании пневмопушки под водой образуется пузырь газов с высоким давлением. Пока давление газа превышает гидростатическое давление окружающей водной толщи, под его воздействием масса воды будет двигаться с ускорением от точки взрыва. Сила давления уменьшается по мере расширения пузыря и становится равной нулю, когда расширение пузыря снижает давление газа до величины гидростатического. Но поскольку в этот момент водная масса достигает своей максимальной скорости движения от источника, она по инерции продолжает двигаться в том же направлении, но уже с замедлением, так как результирующая сила теперь направлена внутрь. Через некоторое время движение водной массы прекращается, затем сила, направленная внутрь, вызывает схлопывание полости с последующим резким увеличением давления газа, и процесс повторяется. В результате этого газовый пузырь пульсирует, и при каждой пульсации возбуждаются сейсмические волны [3].

На сейсмических данных сигнал от вторичного источника выглядит как повторные события (обычно низкочастотные), амплитуда и период которых зависят от характеристик источника и среды возбуждения, в первую очередь от объема камеры пневмопушки. Энергия вторичных пульсаций может быть весьма высокой. Данный эффект весьма вреден, так как вторичные пульсации интерферируют с полезными отражениями, скрывая их (Рис. 1.).



▲ *Рис. 1. Пример данных с вторичными пульсациями: Разрез первого канала(А), извлеченная сигнатура (Б), разрез первого канала после ослабления эффекта вторичных пульсаций (В).*

Существует несколько методов ослабления вторичных пульсаций. Первый способ – расчётно-теоретический. Имея отдельные характеристики пушек, можно рассчитать такие параметры группы пневмоисточников, которые позволят ослабить эффект вторичных пульсаций сложением сигнала отдельных источников. Данный способ активно применяется при современных сейсморазведочных работах, при этом, он не позволяет полностью избавиться от нежелательных эффектов.

Второй способ – ослабление методами обработки сейсмических данных. Для минимизации эффекта вторичных пульсаций уже на стадии обработки необходимо оценить характеристики сигнала, построить соответствующий оператор и свернуть с ним данные. Существуют несколько способов построения такого оператора, наиболее распространенными из них являются:

• Применение к данным предсказывающей деконволюции с потрассным расчетом оператора;

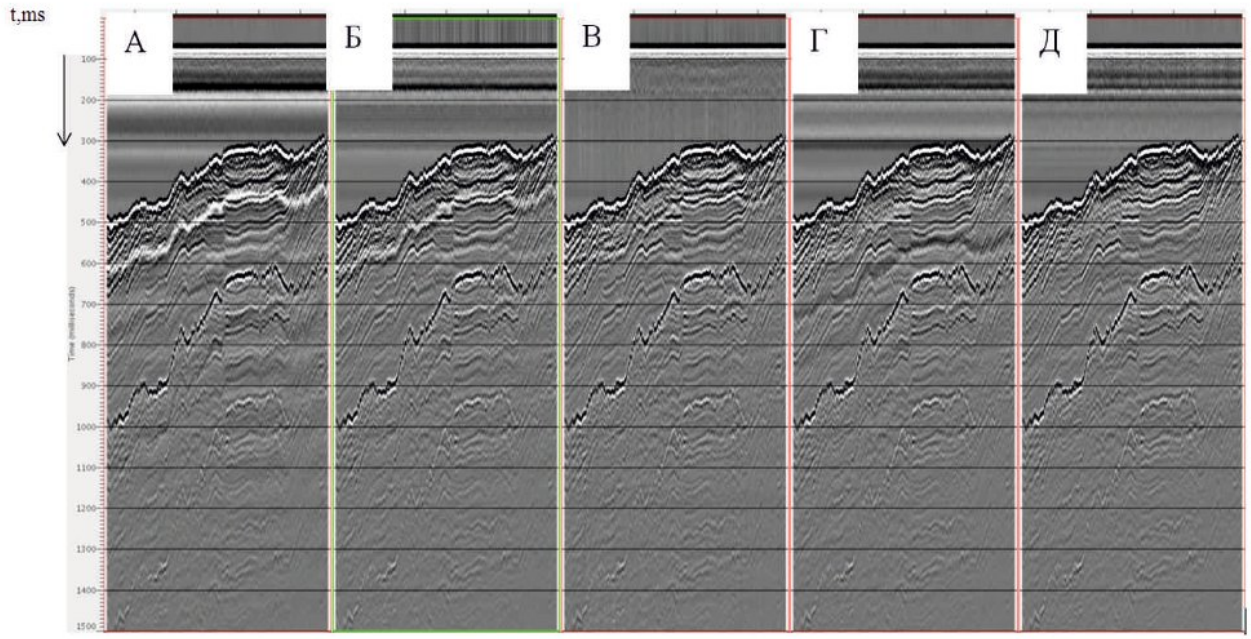
• Расчет единого оператора ослабления вторичной пульсации для всех данных на основе сигнатуры (модельной, извлеченной из прямой волны или донного отражения) полученной:

- Расчетно-теоретическим путем (модельной);
- Извлечением из прямой волны;
- Извлечением из донного отражения.

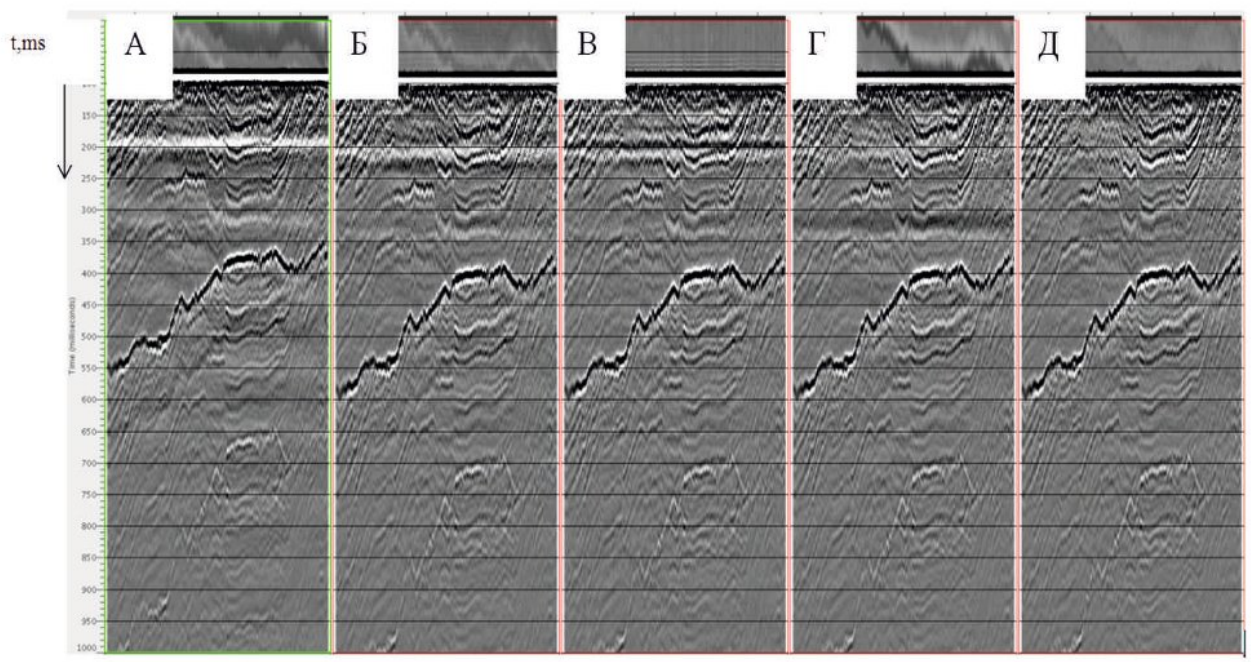
На Рис. 2 и 3 представлены примеры применения оператора, рассчитанного по модельным данным, извлеченным из прямой волны и донного отражения, к реальным материалам, полученным на акватории Баренцева моря. Видно, что в зависимости от данных и типа расчета оператора получаются различные результаты.

Почему же не всегда можно ослабить эффект вторичных пульсаций стандартными подходами?

Особенностью технологий работ 80-х и 90-х годов являлась конфигурация пневмоисточника, направленная на максимальную мощность, без предварительного моделирования и учета минимизаций подобных пульсаций. При проведении современных работ уделяется большое внимание анализу характеристик и



▲ *Рис. 2. Пример применения разных способов ослабления эффекта вторичных пульсаций на разрезе ближнего удаления: до ослабления (А), после фильтра соответствия, построенного на основе теоретической сигнатуры (Б), после фильтра соответствия построенного на основе прямой волны (В), после предсказывающей деконволюции (Г), после фильтра соответствия, построенного на основе донного отражения (Д).*



▲ *Рис. 3. Пример применения разных способов ослабления эффекта вторичных пульсаций на разрезе ближнего удаления, спрямленного по донному отражению: до ослабления (А), после фильтра соответствия построенного на основе теоретической сигнатуры (Б), после фильтра соответствия построенного на основе прямой волны (В), после предсказывающей деконволюции (Г), после фильтра соответствия построенного на основе донного отражения (Д).*

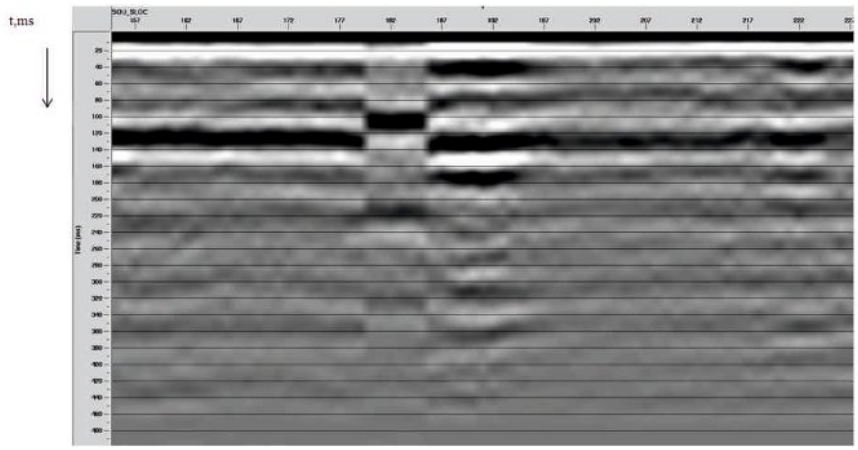


Рис. 4. Пример изменения вторичных пульсаций источника вдоль одного профиля на старых данных (запись гидрофон ближней зоны).

подбору оптимальных параметров для ослабления вторичных пульсаций. Также имеют место серьезные проблемы с точностью синхронизации отдельных пушек и нестабильностью глубины их погружения, что предполагает изменчивость сигнатуры источника и, как следствие, необходимость подбора оператора ослабления эффекта вторичных пульсаций в зависимости от изменений характеристик пневмоисточника. На старых данных можно увидеть изменение импульса источника вдоль профиля, связанного с нестабильной работой массива источника, а также с изменением его заглубления (Рис. 4). Еще одним моментом, приводящим к изменению характеристик сигнала, может стать изменение параметров группы в результате отключения или переключения между отдельными пушками для поддержания заданного объема всего кластера.

Ослабление эффекта вторичной пульсации источника на старых и новых данных.

Методика ослабления

Для решения описанных выше проблем при современном производстве полевых работ выполняется предварительный расчет теоретической сигнатуры массива пушек. Выбирается такая конфигурация группового пневмоисточника, где, кроме того, что увеличивается мощность сигнала, еще и увеличивается соотношение амплитуды сигнала к амплитуде пузыря (Рис. 5а). Это достигается за счет группирования пушек различного объема (обычно от 40 до 300 куб. дюймов). На практике, извлеченная сигнатура (Рис. 5б) может существенно отличаться от теоретической сигнатуры из-за причин описанных выше.

Кроме этого, существуют современ-

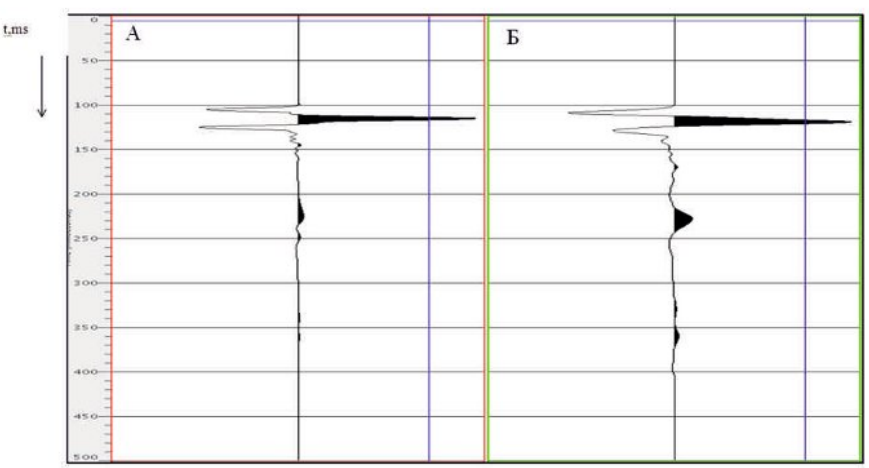
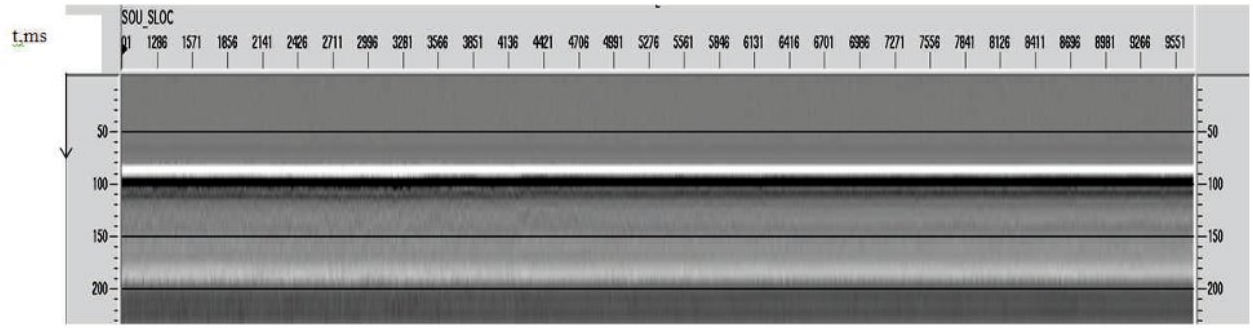


Рис. 5. Пример различия сигнатур источника: теоретическая рассчитанная (А); извлеченная из донного отражения сигнатура (Б).



▲ *Рис. 6. Пример стабильной работы пневмоисточника по профилю на современных данных (служебный канал).*

ные достаточно жесткие требования по контролю стабильности работы пневмопушек в процессе работ по различным параметрам [1] (Рис. 6).

Для анализа и выработки совместной методики обработки были выбраны данные, полученные в акватории Баренцева моря.

Старые данные – съемки 1980-х годов, новые – съемка 2010-х годов. В данных 1980-х годов имеются следующие недостатки:

• Отсутствие теоретической сигнатуры источника и сведений о массивах пушек;

• Изменяющаяся вдоль профиля характеристика источника и, как следствие, характеристика вторичных пульсаций;

• Низкое отношение амплитуд сигнала и вторичных пульсаций.

Первой итерацией процесса ослабления вторичной пульсации является анализ теоретической сигнатуры. В данном случае этот этап возможен только на новых съемках, но он не дал положительного результата. После применения оператора, построенного на основе теоретической сигнатуры (Рис. 7) видно, что в данные привносится энергия, не связанная с геологическим строением разреза.

Далее применялся следующий многоитерационный подход:

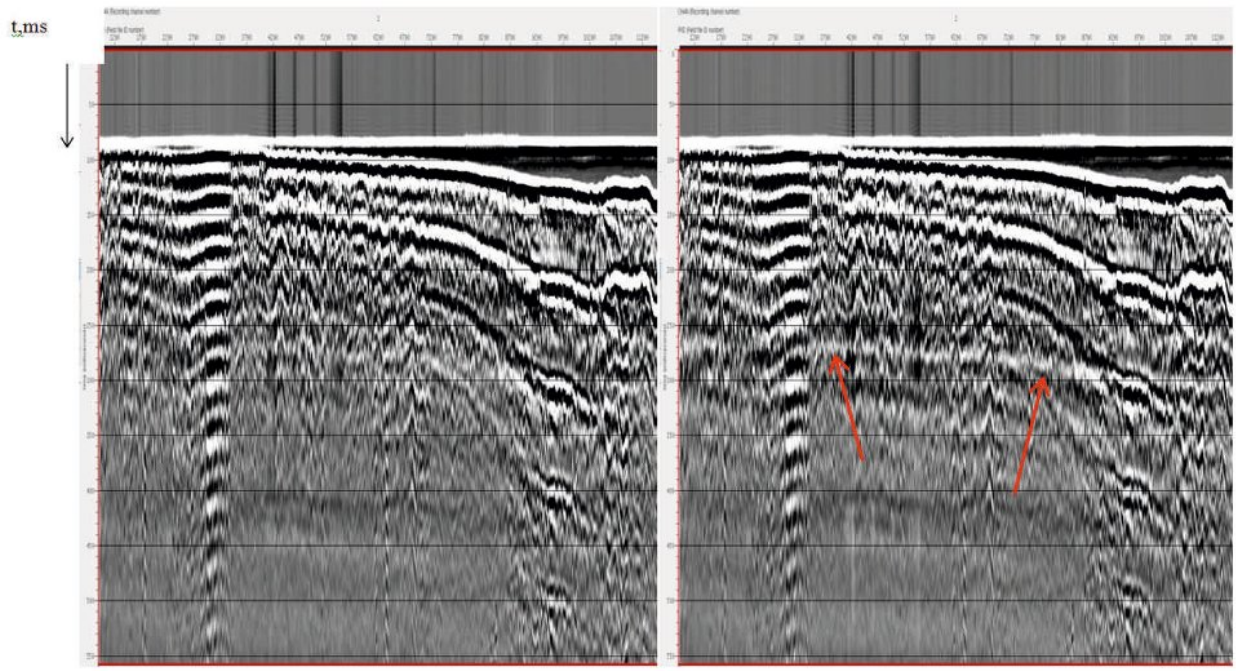
1. Разделение профиля на участки со стабильным эффектом вторичных пульсаций.
2. Оценка ослабления вторичных пульсаций с использованием предсказывающей деконволюции.
3. Выбор участков профилей для извлечения сигнатуры.
4. Оценка ослабления вторичных пульсаций с использованием оператора, рассчитанного на основе сигнатуры, извлеченной из донного отражения и прямой волны.
5. Изменение/коррекция сигнатуры (при необходимости – переход к п. 3).
6. Адаптивное вычитание (при необходимости).

Под пунктами 3-5 понимается следующий процесс: анализируются данные по профилю, выбираются зоны, где отчетливо виден эффект вторичной пульсации, из этих данных извлекается сигнатура и строится оператор. Если построенный оператор работает не оптимально, то изменяется выбранная зона и производится новый расчет и анализ.

В некоторых случаях рассчитанный оператор недостаточно уменьшает энергию вторичной пульсации. В этом случае применение адаптивного вычитания позволяет добиться лучших результатов за счет наиболее оптимального согласования модельных и реальных данных.

Примеры по новым и старым съемкам

Применяя оператор ослабления вторичных пульсаций по новым съемкам



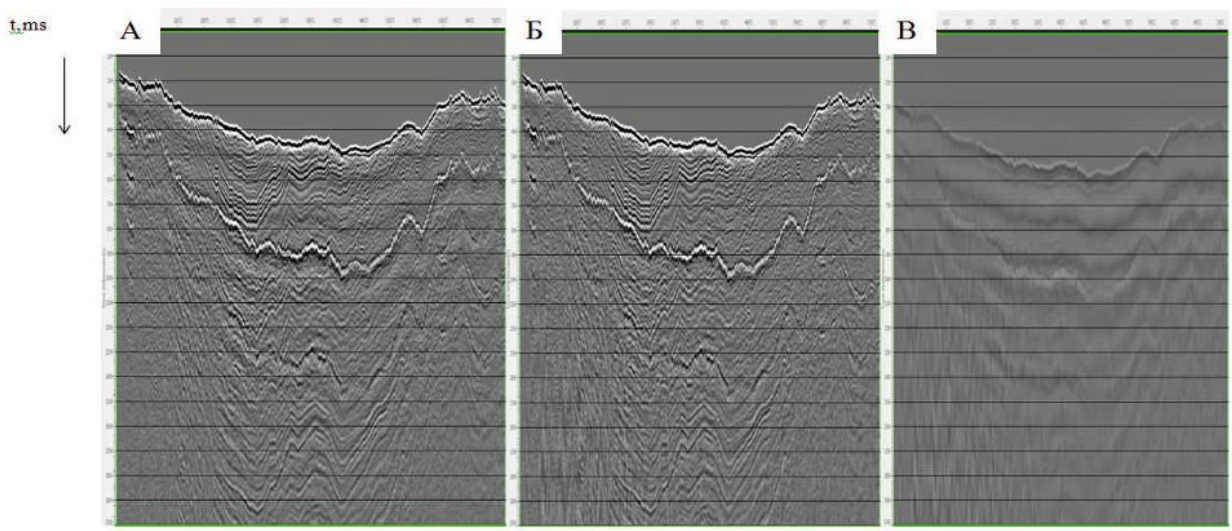
▲ *Рис. 7. Применение теоретической сигнатуры к данным - исходный разрез слева, после применения справа. Стрелками показаны появившиеся артефакты (пример данных 2012 года).*

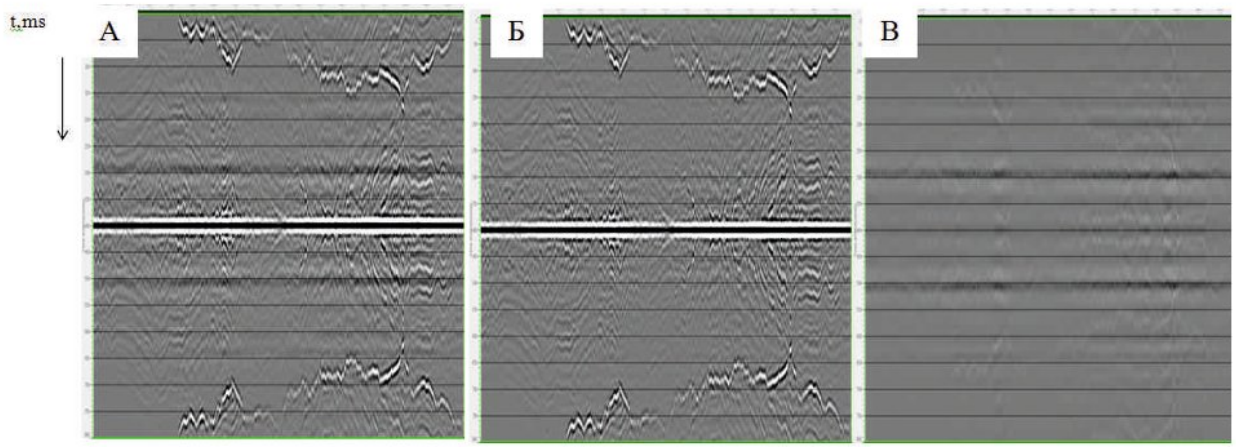
(Рис. 8.), получим данные без вторичной пульсации и модель вторичных пульсаций. Приведенный выше многоитерационный подход позволил, кроме ослабления первого пузыря, ослабить еще и второй, что отчетливо видно на Рис. 8.

Неотъемлемой частью применения процедуры является контроль качества полученных результатов. В него входит, кроме получения разностных разрезов (сейсмограмм), получение амплитудно-частотных спектров и построение функции автокорреляции (ФАК) до и после применения процедуры (Рис. 9).

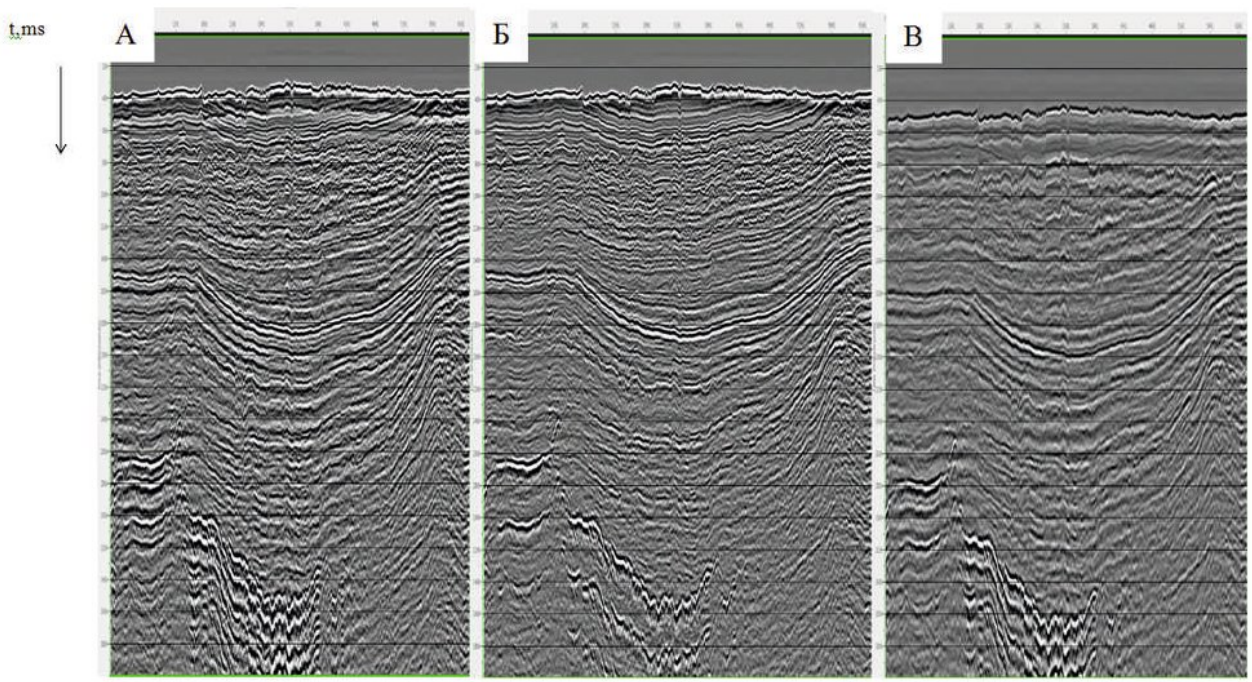
Далее приведены подобные иллюстрации по старым съемкам (Рис. 10, Рис. 11). Аналогично новым данным ослаблена не только первая пульсация пузыря, но и вторая. Кроме того, благодаря индивидуальному и детальному анализу данных по профилю на предмет изменения сигнатуры источника, удалось приблизить качес-

▼ *Рис. 8. Временные разрезы по современным данным до (А) и после (Б) ослабления вторичной пульсации, разница (В).*

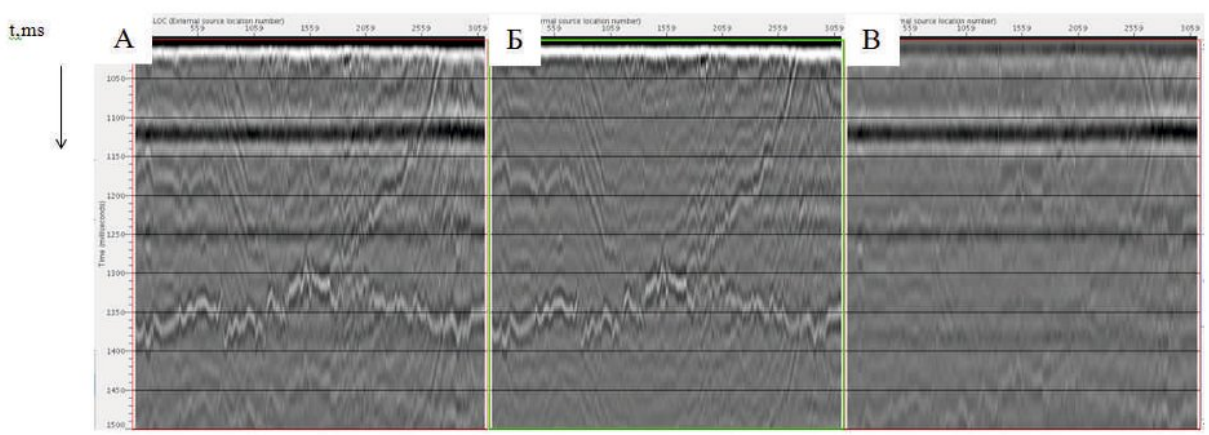




▲ *Рис. 9. Функция автокорреляции: до ослабления вторичной пульсации (А), после (Б) и разница (В).*



▲ *Рис. 10. Временной разрез по старым данным до (А), после (Б) и разница (В).*



▲ *Рис. 11. Функции автокорреляции: до (А) и после (Б) ослабления вторичной пульсации, разница (В).*

тво данных к качеству сигнальной обработки современных съемок. При этом все полезные отражения остались без изменений.

Выводы

Анализируя современные данные и данные прошлых лет можно утверждать, что методическая и технологическая часть морской сейсморазведки непрерывно развивается, позволяя получать более стабильные и точные данные.

Работа с данными разных лет, особенно 80-х и 90-х годов, является сложной задачей, ввиду таких факторов как низкая кратность, отсутствие информации о характеристиках источника, нестабильная работа источников и т.д.

Тем не менее, выполненный анализ данных позволил разработать многоитерационный подход к обработке архивных данных, значительно улучшив результат по ослаблению вторичных пульсаций источника, с получением результатов сопоставимых с обработкой современных данных.

Применение разработанного подхода к различным данным, с детальным подбором параметров процедур обработки и контролем их применения, позволяет получить качественные сейсмические изображения для дальнейшей структурной и динамической интерпретации, и предоставляет возможность актуализировать геологическое строение различных регионов.

Литература

1. Горбачев С.В., Титов А.Б. Элементы контроля качества морских сейсморазведочных работ / Приборы и системы разведочной геофизики. №1. 2016.

2. Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л. Сейсмоакустические исследования на акваториях // «Недра», 1983 год

3. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка // «Мир», том 1, 1987.

4. Colin Sargent, Richard W. Hobbs, Darren R. Grocke. Improving the interpretability of air-gun seismic reflection data usingdeterministic filters: A case history from offshore Cape Leeuwin, southwest Australia // Geophysics, Vol. 76, No. 3 2011.

5. Dragoset W.H. Air-gun array specs: A tutorial // Geophysics: The leading edge of exploration. January. 1990.

6. Gordon Poole and Chris Davison, CGG; Jake Deeds, Kevin Davies and Gary Hampson, Chevron. Shot-to-shot directional designature using near-field hydrophone data // SEG Annual Meeting. Houston 2013.

Подробнее об авторах



Филимонов
Антон Витальевич

старший геофизик
Управления реализации
ГРР ООО
«РН-Шельф-Акртика».



Горбачев
Сергей Викторович

к.т.н., начальник Управления
реализации ГРР ООО
«РН-Шельф-Акртика».



Ланцев
Владимир Владимирович

начальник центра обработки
геофизических данных
ОАО «МАГЭ»



Хохряков
Василий Николаевич

начальник отдела обработки
геофизических данных
Московского филиала
ОАО «МАГЭ»



Степанов Николай Андреевич

геофизик первой
категории ОАО «МАГЭ»

Генератор тока “SKAT II”

и измеритель “MEDUSA-B2”

для геофизических исследований методами постоянных и переменных токов: ВЭЗ, ЕП, ЧЗ, ВП во временной и в частотной областях, блуждающие токи и электротомография

Основные характеристики генератора	Значение
Максимальная выходная мощность, Вт	200
Диапазон величины выходного тока, мА	1 ... 1000
Максимальное выходное напряжение, В	± 750
Диапазон рабочих частот (первый набор), Гц	0.019 ... 625
Диапазон рабочих частот (второй набор), сек	0,5 ... 32
Относительная нестабильность установки частот	$\pm 0.5 \cdot 10^{-6}$
Напряжение питания, В	20 ... 30
Диапазон рабочих температур, °С	минус 40...+60
Габаритные размеры, мм	212•77•235
Масса, кг	2,8



Основные характеристики измерителя	Значение
Количество измерительных каналов	два
Уровень собственных шумов, мкВ	< 1
Максимальное напряжение входного сигнала, В	± 10
Входное сопротивление по постоянному току, МОм	> 60
Диапазон рабочих частот, Гц	0.019 ... 625
Потребляемая мощность, Вт	< 3,5
Время непрерывной работы от внутреннего акк., ч	> 14
Диапазон рабочих температур,°С	минус 40 ... +70
Габаритные размеры, мм	210•110•70
Масса измерителя, кг	1 4

Научно-производственная компания **Сиб Геофиз Прибор**

630058, г. Новосибирск, ул. Сиреневая, 29/1, тел.: +7 383 306 30 70, sgd@sibgeodevice.ru, www.sibgeodevice.ru

Фокусированная воздушная сейсморазведка (ФВС)

Табаков А.А., ООО «Геоверс», г. Москва

Введение

Возбуждение упругих колебаний при сейсморазведке требует значительных затрат, особенно при необходимости строительства дорог и просек, что наносит экологический урон окружающей среде. В горных условиях, культурной зоне и в заповедниках отработка регулярных систем вообще невозможна. При возбуждении колебаний в воздухе на значительной высоте не возникает транспортных и экологических проблем, но из-за сильного преломления лишь незначительная часть энергии идёт на формирование глубинных отражений. Предложено формировать на поверхности твёрдой среды локализованный импульс давления путем накапливания импульсов от многих воздействий с опережениями, равными времени прихода акустической волны в точку локализации [1].

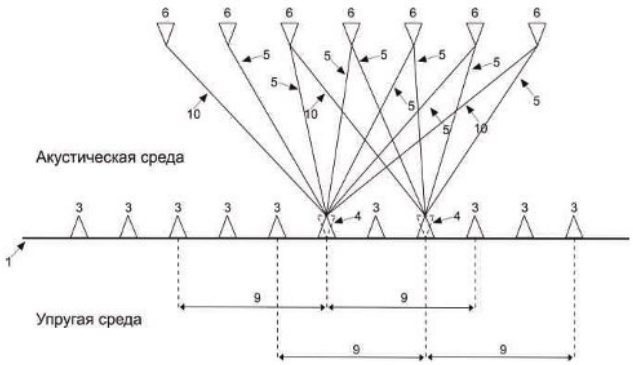
На модельном примере показано, что при возбуждении на высоте 800 м. возможна концентрация энергии на площадке диаметром менее 4 м.

Инновационность технологии определяется тем, что предложенный способ возбуждения колебаний звуковыми волнами нигде в мире не применяется.

Геометрия наблюдений

Для проведения сейсморазведки сейсмоприёмники располагаются на всей или части исследуемой площади (Рис.1).

В каждой точке приема ведется либо непрерывная регистрация с фиксацией астрономического времени, либо регистрация, синхронизированная с возбуждением. На значительной высоте в точках 6 (Рис.1) производится возбуждение звуковых колебаний звуковой пушкой во



▲ *Рис. 1. Геометрия наблюдений.*

множестве точек так, чтобы каждый из сейсмоприёмников был облучен со всех азимутов и зенитных углов. Индексом 5 обозначены пути звуковой волны из источника к приемникам, индексом 10 – лучи для предельных удалений от фиктивных источников 4. Индексом 9 обозначены диапазоны удалений от фиктивных источников 4.

Формирование фиктивных сейсмограмм

Фиктивные сейсмограммы могут быть сформированы в каждой точке поверхности твердого полупространства, над которым произведены возбуждения. Предпочтительно совмещать эти точки с местами расположения сейсмоприёмников, где к обычным датчикам полезно добавить датчики давления с целью уточнения времени прихода звуковой волны. Для полного использования возбуждаемой энергии, а также для ослабления волн-помех, целесообразно формировать фиктивные сейсмограммы с малым шагом также и в точках, где отсутствуют сейсмоприёмники. Это позволит сформировать площадные группы источников, примыкающих друг к другу и полностью покрывающие поверхность площади наблюдений без сгущения системы наблюдений.

Получение фиктивных сейсмограмм

Сформированные для каждого фиктивного пункта возбуждения пакеты первичных сейсмограмм накапливаются по формуле:

$$S_n^I(\omega) = \sum_{m=M_1}^{M_2} S_n^m(\omega) e^{i\omega(\delta t_{m,I})}$$

где ω - круговая частота; $S_n^I(\omega)$ - преобразование Фурье для суммарной трассы, представляющей собой приближение к трассе в точке «n» (Рис.1, приемник (3) в пределах выбранного максимального расстояния (9) от выбранного фиктивного источника (4)) от фиктивного источника в точке n = 1 (Рис.1, элемент 4);

$S_n^m(\omega)$ - преобразование Фурье от реальной сейсмической записи, зарегистрированной сейсмоприёмником в точке приёма «n»;

n – индекс точки приема (Рис.1, приёмник (3) в пределах выбранного максимального расстояния (9) от выбранного фиктивного источника (4) от одного из реальных сейсмических источников (Рис.1, реальный источник (6) на расстоянии (5), меньшем или равном выбранному максимальному расстоянию (10) от выбранного фиктивного источника (4)), расположенного в точке «m»;

$\delta t_{m,I}$ - время пробега волны от реального источника, расположенного в точке «m» (Рис.1, реальный источник (6) на расстоянии (5), меньшем или равном выбранному максимальному расстоянию (10) от выбранного фиктивного источника (4)) до фиктивного источника, расположенного в точке I (Рис.1, элемент 4).

Суммарные сейсмограммы, полученные таким образом, могут быть использованы в дальнейшей обработке как обычные. Сейсмограммы с малым шагом могут суммироваться для ослабления помех после ввода кинематических поправок, образуя пространственные группы.

Расчет давления на поверхность земли, оказываемое звуковыми волнами.

Теоретические исследования и опытные работы по оценке величины давления звуковых волн на поверхность твердых тел в зависимости от громкости звука уже давно проведены. Полученные данные сведены в таблицы, которые приведены в соответствующих справочниках.

Из этих таблиц легко рассчитать давление на 1 кв.м. поверхности земли для громкости звука, терпимого для человека (120 дб по отношению к порогу слышимости). Давление составляет 2 кг на 1 кв.м.

Поскольку звуковые волны воздействуют на большие по площади поверхности, то в качестве источника колебаний для формирования сейсмических волн можно использовать достаточно большие участки поверхности (т.е. сфокусировать энергию воздействия звуковой волны, распределенную на некоторой площади) в отличие от взрывов и вибровозбуждений, которые, фактически, являются точечными источниками. В данном случае расчеты проводились при условии, что источником колебаний является участок поверхности диаметром 50 м и количество воздействий (срабатывание звуковой пушки), используемых при накапливании, принималось равным 10000. При этом считалось, что

сигнал при накапливании усиливался только в 100 раз (с учетом накапливания и шумов).

При таких условиях, а также учитывая эффект направленности из-за группирования воздействий на площади, совокупное давление оказываемое звуковой волной на поверхность земли после фокусирования можно сопоставить с воздействием вибратора, соответствующее 500 тонн (современные вибраторы обеспечивают давление до 50 тонн).

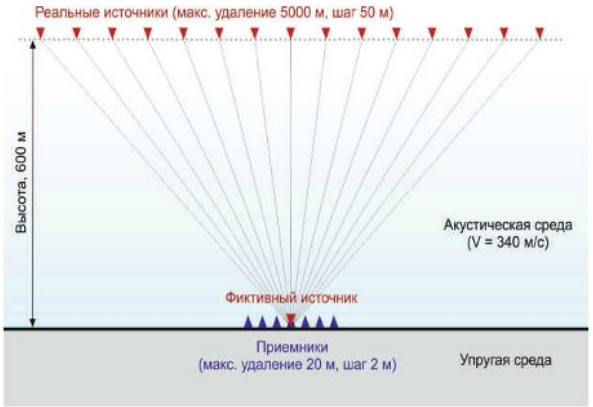
Такая мощность источника, обеспечиваемая давлением звуковых волн, может показаться нереальной, несмотря на строгое теоретическое обоснование. Однако можно привести пример, который может устранить ощущение нереальности.

Давление на землю осуществляется за счет разницы давления воздуха в зонах максимума и минимума амплитуды звуковой волны. То, что это может быть большой силой, доказывает тот факт, что огромные самолеты поднимаются в воздух именно за счет разницы давлений под и над крыльями.

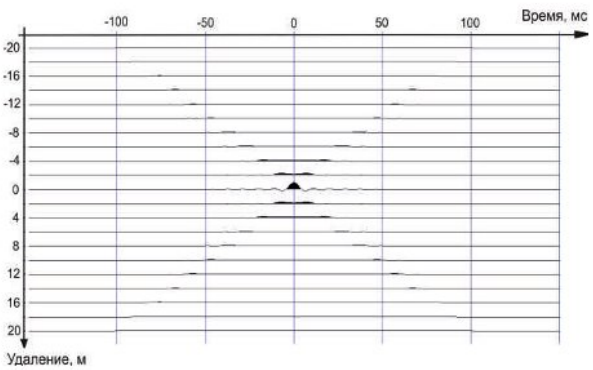
Отметим, что известная формула об амплитудах проходящей и отраженной волн на границе двух упругих сред в случае границы воздух-земля неприменима, поскольку основное условие при ее выводе – это условие равенства смещений по обе стороны границы (разрушение сред не допускается). В случае границы воздух-земля воздух сжимается, т.е. это условие не выполняется.

Модельный эксперимент

Модельный эксперимент выполнен на схеме, изображенной на Рис.2.



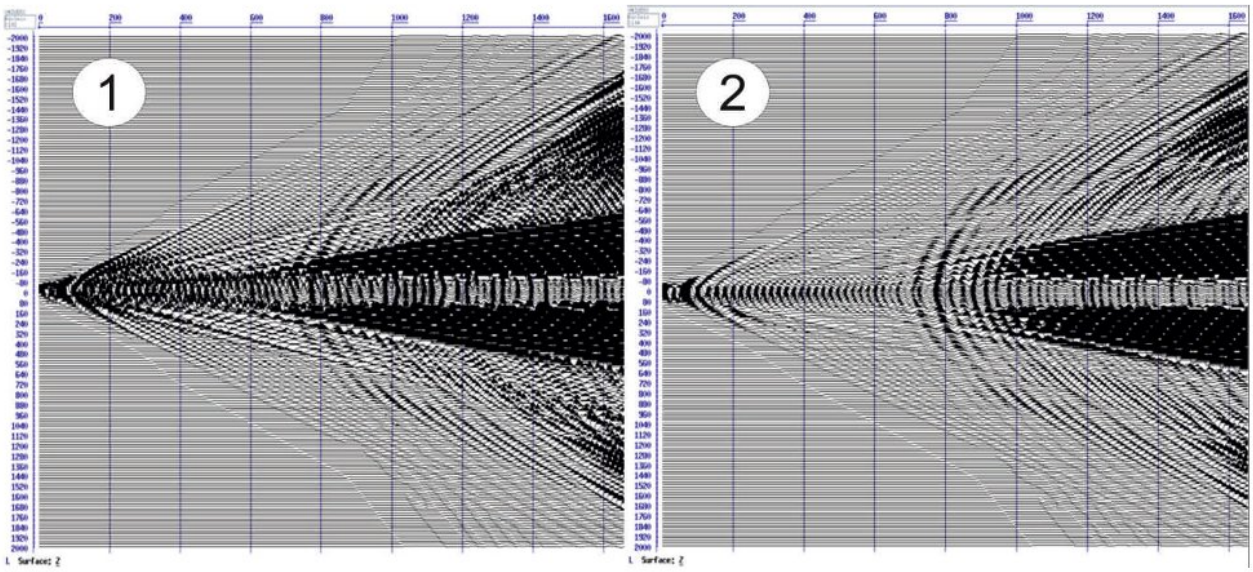
▲ *Рис. 2. Схема модельного эксперимента.*



▲ *Рис. 3. Результат накапливания акустических сигналов на поверхности.*

Точки возбуждения располагались на удалениях до 5 км от точки расположения фиктивного источника на прямолинейном профиле на высоте 600м с шагом 50 м. Для оценки распределения давления на поверхности после фокусировки сейсмоприёмники расположены на удалении до 20 м от фиктивного источника с шагом 2м.

Эффект группирования пунктов возбуждения на площади 50*50 кв.м продемонстрирован на рис.4. В левой части рис.4 (помечено «1») представлено волновое поле, возбуждаемое одиночным источником (взрыв или вибросейс), а в правой части (помечено «2») волновое поле после группирования. Видно, что после группирования уровень помех резко снижается.



▲ *Рис. 4. Волновое поле до группирования (1) и после группирования (2).*

Выводы

Представлен новый способ воздушной сейсморазведки, обеспечивающий фокусировку энергии акустических волн - ФВС, новизна и техническая осуществимость которого подтверждены патентом РФ. На модельном эксперименте показано, что степень фокусировки достаточна для целей сейсморазведки. Использование предложенной технологии может обеспечить кратное сокращение затрат на сейсморазведку при резком снижении экологического ущерба. Использование технологии ФВС повышает эффективность сейсморазведочных работ в сравнении со стандартной технологией (использующей взрывы и вибросейсы) с точки зрения информативности результатов за счет:

1. Возможности площадного группирования, которое является экономически затратным при использовании стандартной технологии.
2. Возможности регистрации истинной формы сигнала, используя датчики давления.
3. Возможности формирования сейсмических профилей по любому азимутальному направлению без проведения дополнительных полевых работ.

Литература

1. Табаков А.А. Патент РФ: Способ сейсморазведки, RU 2517010 C1 с приоритетом от 13.01.2013

2. Табаков А.А. Международный патент PCT. Publication No: WO/2014/112900,

Publication date: Jul 24, 2014, International Filing Date: Jan 17, 2014.

К вопросу о группировании вибраторов в горных условиях

Кострыгин Ю.П., Фокин С.А., ООО «Новоросморгео», г. Краснодар.

На современной стадии развития сейсмической разведки вопрос выбора оптимальных параметров группирования вибраторов сводится к определению максимально возможной базы группирования, при которой полоса пропускания амплитудно-частотной характеристики группы вибраторов для целевых отражений с минимальной кажущейся скоростью была бы согласована с шириной спектра регистрируемых целевых отражений.

Комплексная частотная характеристика группирования, как известно [1], определяется следующим выражением:

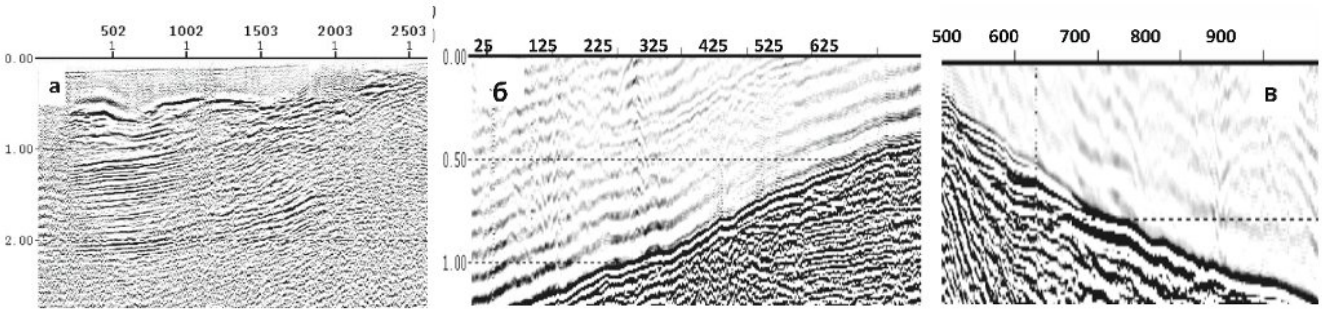
$$H(jw) = \sum_{n=0}^{N-1} e - [jwБn / v(N-1)] \qquad (1)$$

где Б – база группирования вибраторов; N – количество вибраторов в группе; n – номер вибратора в группе; v – кажущая скорость волны, значения которой зависят, в частности, и от наклона дневной поверхности; w – циклическая частота.

Т.е. комплексная частотная характеристика группы вибраторов вычисляется путём прямого Фурье преобразования последовательности N импульсов Кронекера, расставленных в соответствии с временными задержками, определяемыми соотношением Б · n / v(N-1). Модуль комплексной характеристики соответствует амплитудно–частотной характеристике группирования. И, как уже отмечалось выше, оптимальная база группы вибраторов должна быть максимально протяжённой, однако при этом высокочастотные гармоники наиболее низкоскоростных целевых отражений не должны заметно ослабляться в результате группирования. В относительно простых условиях целесообразность такой технологии выбора базы группирования очевидна и не вызывает сомнений.

В горных же условиях, как показывает практика, классическая технология по выбору параметров группирования с использованием выражения (1) требует некоторой коррекции. Физически это связано не только с наклоном дневной поверхности, но, как правило, в большей степени со сложной геоморфологией верхней части разреза (ВЧР). Так, на рис. 1 приведён фрагмент временного разреза, полученного с использованием вибросейсмического метода в горной части Ингушетии. В данном случае шаг между пунктами приёма составлял 3 м. Из рисунка можно видеть, что верхняя часть коренных пород представлена в конкретных условиях чрезвычайно сложными структурными формами, под влиянием которых и происходило формирование приповерхностной части разреза, включая и ЗМС. Именно по этой причине скоростная модель ВЧР в пределах горных участков во многих случаях достаточно резко меняет свои характеристики даже при незначительном перемещении по профилю, не превышающим 20 – 30 м. Указанное обстоятельство обуславливает дополнительные искажения возбуждаемых колебаний при группировании вибраторов в связи с увеличением значений расфазировки сигналов, возбуждаемых различными вибраторами, входящими в группу.

Так, на рис. 1, б приведены записи первых вступлений, зарегистрированных на различных участках горной части Ингушетии. Из рисунка можно видеть, что волны, преломлённые от подошвы ЗМС, характеризуются в конкретных



▲ *Рис. 1. Типичные сейсмические записи, получаемые вибросейсмическим методом в условиях горной части Ингушетии. а – фрагмент временного разреза; б, в – примеры записей первых вступлений.*

условиях многочисленными весьма резкими изломами годографов, что физически связано либо с усложнением геометрии подошвы ЗМС, либо с достаточно резкими изменениями вдоль профиля скоростной модели ВЧР.

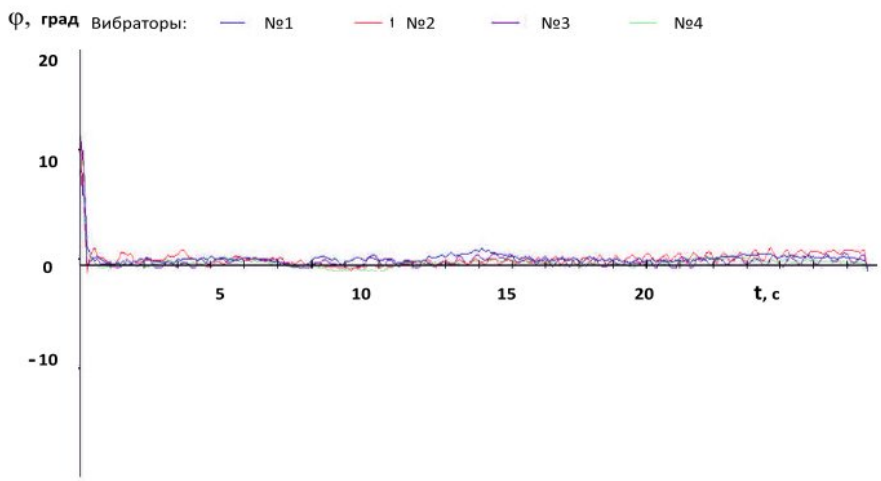
С целью оценки реальных искажений сигнала группами вибраторов в сопоставлении с искажениями, определяемыми классическим путём посредством расчёта амплитудно-частотных характеристик группирования (1), в условиях горной части Ингушетии были выполнены специальные эксперименты. Колебания возбуждались 2-х элементной группой вибраторов NOMAD-65 на базе 10 м, 3-х элементной группой на базе 20 м и 4-х элементной группой на базе 30 м. Вибраторы располагались на горизонтальной площадке, регистрация колебаний осуществлялась одиночными сейсмо-



▲ *Рис. 2. Рельеф местности в горной части Ингушетии, на участке проведения эксперимента.*

приёмниками. Рельеф местности на участке проведения эксперимента показан на Рис. 2.

Для строгой оценки частотных искажений сигнала вследствие группирования, перед экспериментом была проведена профилактика вибраторов, позволившая уменьшить максимальные фазовые искажения в системе вибратор – грунт до 2-х градусов (рис. 3). Частотный диапазон



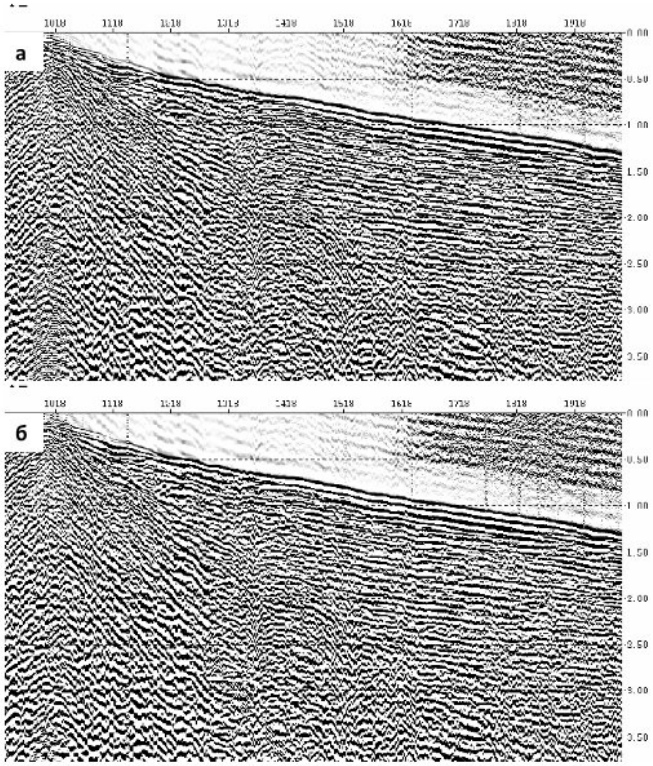
▶ *Рис. 3. Результаты тестирования фазовых характеристик вибраторов NOMAD-65 №1, №2, №3 и №4, участвовавших в эксперименте.*

ЛЧМ-развёртки при тестировании равнялся 6 – 60 Гц, длительность сигнала 24 с.

На рисунке 4 сопоставлены корреллограммы, зарегистрированные с использованием 2-х элементного группирования вибраторов на базе 10 м и 3-х элементного группирования на базе 20 м. Результаты спектрального анализа данных сейсмограмм приведены на рис. 5. Окно анализа соответствовало временному интервалу 1,5 – 2,5 с и располагалось вне конуса доминирующих поверхностных помех. Кажущиеся скорости отражений в пределах окна анализа равнялись 3400 м/с.

Результаты классического анализа частотных искажений при группировании, к настоящему времени хорошо апробированному и заключающемуся в расчёте амплитудно – частотных характеристик группирования с использованием выражения (1), приведены на рис. 6. Из рисунка 6 можно видеть, что при кажущейся скорости отражений, равной 3400 м/с, переход от 2-х элементного группирования на базе 10 м к 3-х элементному группированию на базе 20 м гармоника на частоте 25 Гц должна ослабляться на ≈ 5%, гармоника на частоте 30 Гц на ≈ 6,25%, гармоника на частоте 35 Гц на ≈ 9,5% и гармоника на частоте 40 Гц на ≈ 12%. Такие изменения динамики колебаний в практической работе имеют весьма несущественное значение.

Реальные же изменения спектра отражений, которые на основании проведённого эксперимента мы наблюдали в горной части Ингушетии, были многократно более значительны. Так, при переходе от 2-х элементного группирования вибраторов на базе 10 м к 3-х элементному группированию на базе 20 м относительная спектральная плотность отражений на частотах 25 – 30 Гц уменьшилась на 40%, на частоте 35 Гц на 47% и на

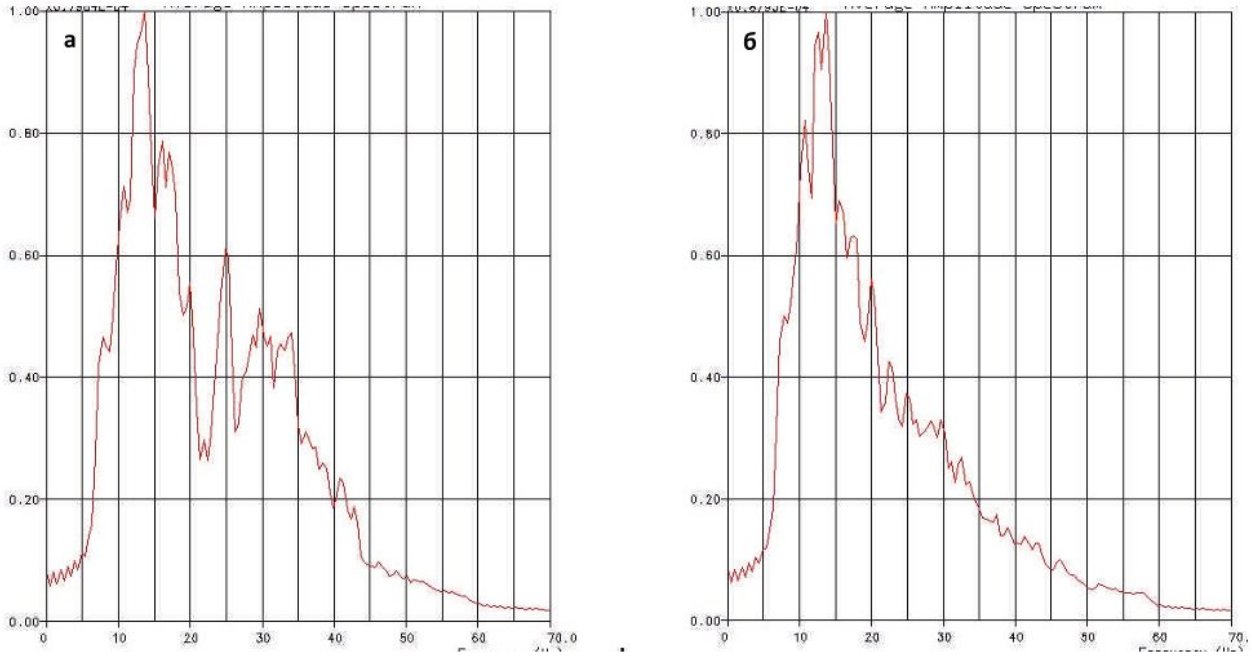


▲ *Рис. 4. Коррелограммы, полученные при группировании 2-х вибраторов на базе 10 м (а) и 3-х вибраторов на базе 20 м (б).*

частоте 40 Гц на 41%.

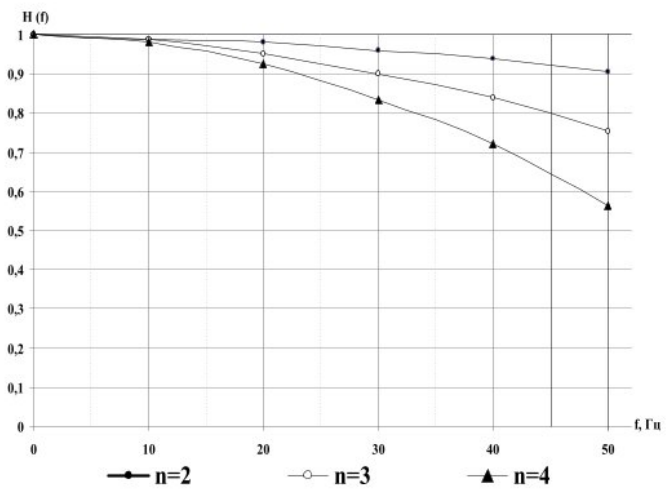
Аналогичная тенденция по результатам проведённого эксперимента наблюдалась и при переходе с 3-х элементного группирования вибраторов на базе 20 м к 4-х элементному группированию на базе 30 м. Так, в соответствие с теоретическими графиками, приведёнными на рис. 6, в результате такого перехода относительная спектральная плотность отражений на частоте 30 Гц должна уменьшаться на ≈8%, на частоте 35 Гц на 10% и на частоте 40 Гц на 14%. Т.е. изменения динамики колебаний, которые следовало бы ожидать на основании расчётов амплитудно-частотных характеристик группирования, весьма незначительные. Реально же по результатам проведённого эксперимента переход с 3-х элементного группирования вибраторов на 4-х элементное группирование привёл к заметному сужению спектра регистрируемых колебаний (см. рис. 7).

Таким образом, в горных условиях,

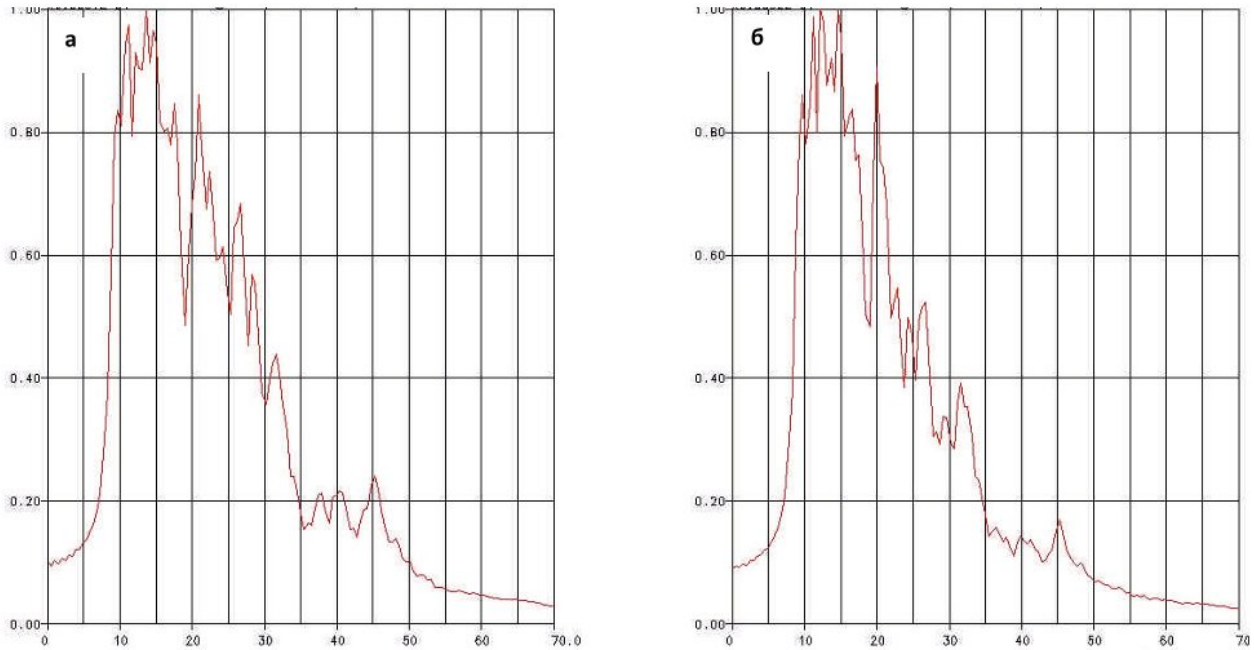


▲ *Рис. 5. Сопоставление спектров отражённых волн, зарегистрированных с использованием группы 2-х вибраторов на базе 10 м и 3-х вибраторов на базе 20 м (ПР1, ПВ1051, ΔF=6-60 Гц, T=24 с, nнак=6, начальный скос 200 мс., конечный скос 500 мс., окно анализа 1,5-2,5 с, вне конуса доминирующих поверхностных помех); а – два вибратора на базе 10 м; б – три вибратора на базе 20 м*

вследствие более сложной геоморфологии и в связи с этим весьма изменчивой вдоль профиля скоростной модели верхней части разреза, увеличение базы группирования вибраторов приводит к более значительному ослаблению высокочастотных составляющих сигнала, по сравнению с тем, что можно было бы ожидать в условиях равнины. Поэтому, если в равнинных условиях в качестве оптимальной базы группирования целесообразно рассматривать базу, при которой полоса пропускания частотной характеристики группирования для целевых отражений с наименьшими кажущимися скоростями согласована с шириной спектра регистрируемых колебаний, то в горных условиях существует необходимость минимизации базы группирования вибраторов. Так, если группа излучателей состоит из 2-х вибраторов, то расстояние между излучающими плитами целесообразно ограничи-



▲ *Рис. 6. Графики амплитудно – частотных характеристик группирования при использовании 2-х вибраторов на базе 10 м; 3-х вибраторов на базе 20 м и 4-х вибраторов на базе 30 м, рассчитанные с использованием выражения (1) (кажущаяся скорость отражений 3400 м/с)*



▲ *Рис. 7. Сопоставление спектров отражённых волн, зарегистрированных с использованием группы 3-х вибраторов на базе 20 м и 4-х вибраторов на базе 30 м (ПР1, ПВ5194, ΔF=8-70 Гц, Т=24 с, пнак=6, начальный скос 200 мс., конечный скос 500 мс., окно анализа 1,5-2,5 с, вне конуса доминирующих поверхностных помех); а – три вибратора на базе 20 м; б – четыре вибратора на базе 30 м*

вать размерами транспортной базы установки, т.е. ≈10 м. При использовании же, например, 4-х элементного группирования, вибраторы целесообразно расставлять вдоль двух линий, параллельных профилю, сохраняя при этом базу группирования по профилю, равной около 10 м.

Литература

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И., 2006, Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 744 с.

Методика динамического возбуждения импульсными источниками «ЕНИСЕЙ» СЭМ-200 и СЭМ-100

■ Детков В.А., Баландин П.В., Корболеев И.А., ООО «Эвенкиягеофизика», г. Красноярск
■ Мосягин Е.В., АО «СНИИГГиМС», г.Новосибирск

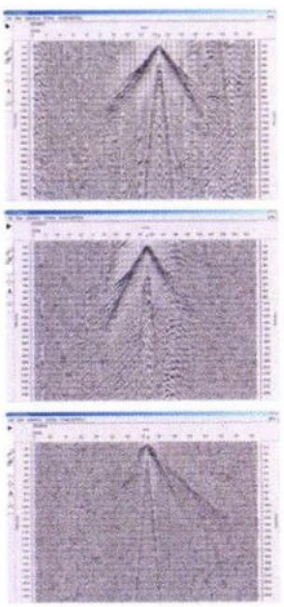
Опыт работы на акваториях Восточной Сибири, в частности, на реках Бирюса, Чуна, Ангара с применением электромагнитных источников «Енисей-ВЭМ-50» и «Енисей-ВЭМ-100» показал, что при сильно зашумлённых исходных данных в результате обработки получаются кондиционные временные разрезы (рис. 1.), пригодные для решения геологических задач. Такой результат обусловлен высокой плотностью пунктов возбуждения (шаг ПВ от 3 до 7метров) и огромной кратностью наблюдения, достигающей 800-900 единиц. При суммировании по ОСТ случайный шум подавляется более чем в 28 раз.

Высокоплотные системы наблюдения при проведении наземной съёмки являются технологически сложным процессом, требующим больших ресурсов. Возбуждение на реках и озёрах не требует детальной подготовки ПГН. Единственное требование – высокоточное позиционирование местоположения источника в момент возбуждения упругих волн.

Перенос методики непрерывного (динамического) возбуждения с акваторий на сушу мог бы в значительной степени упростить методику высокоплотной съёмки. Санные источники «Енисей» («СЭМ-100», «СЭМ-200») могут буксироваться бульдозером по профилю и нерперывно совершать вожбудения.

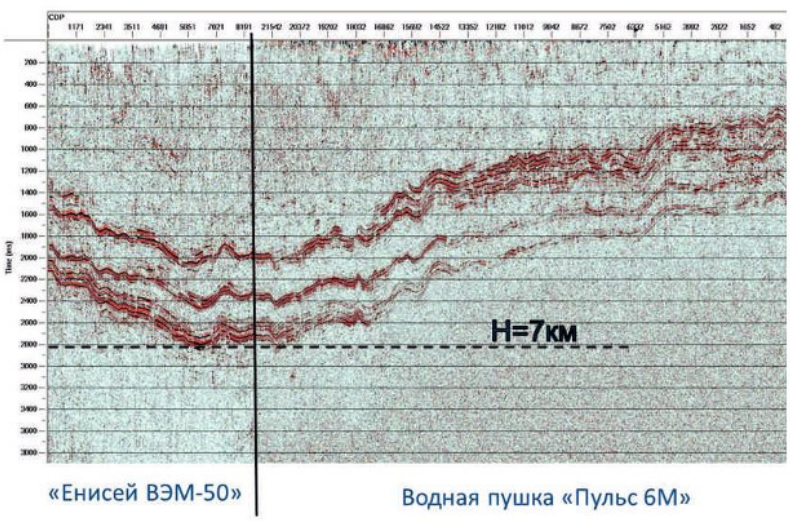
Эксперимент по опробованию динамического режима на суше был проведён силами ООО «Эвенкиягеофизика» в марте 2017 года на Быстрянском газовом месторождении.

Работы проводились по методике МОГТ 2D с использованием акселерометров DSU3-408, которые погружались в скважину, и сейсмостанции Sercel 408 XL. На первом этапе опытный профиль был отработан по стандартной методике (шаг ПВ/ПП – 25 м.) двумя источниками «Енисей-КЭМ-4V». На втором этапе профиль



Полевые записи

▼ *Рис. 1. Результаты работ на р. Бирюса.*



«Енисей ВЭМ-50» Водная пушка «Пульс 6М»

Временной разрез



Рис. 2. Сцепка - «Енисей-СЭМ-200» и «ShantuiSD22F».

отрабатывался одним источником «Енисей-СЭМ-200», буксируемым бульдозером «ShantuiSD22F» (рис. 2) и производившим возбуждения в процессе движения. В зависимости от участков профиля и скорости движения шаг ПВ варьировался от 5 до 7 м, шаг ПП оставался неизменным – 25 м.

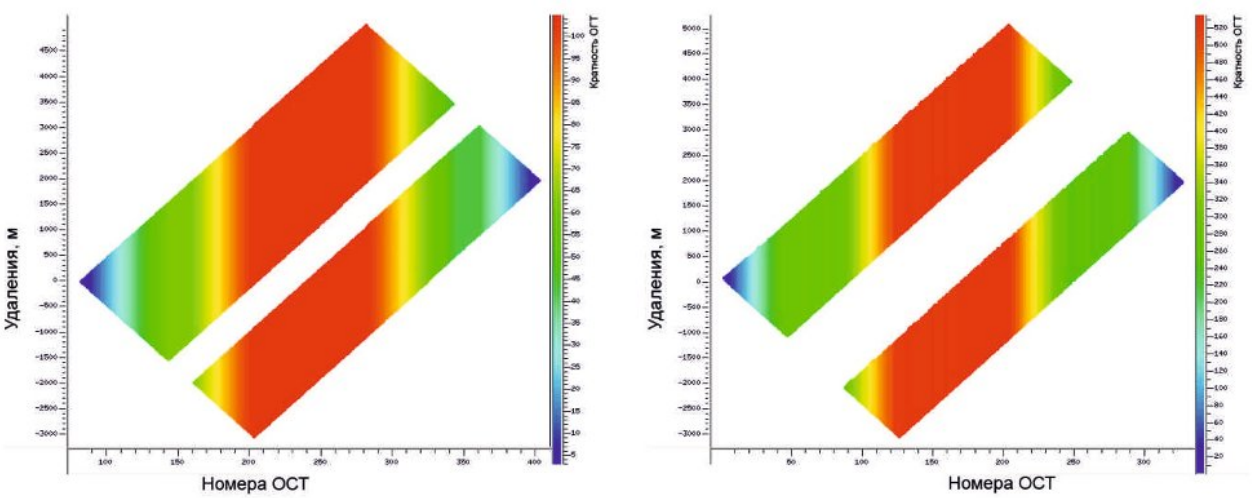
Для определения местоположения источника применялось геодезическое оборудование LeicaJX 1220, работающее в режиме RTK.

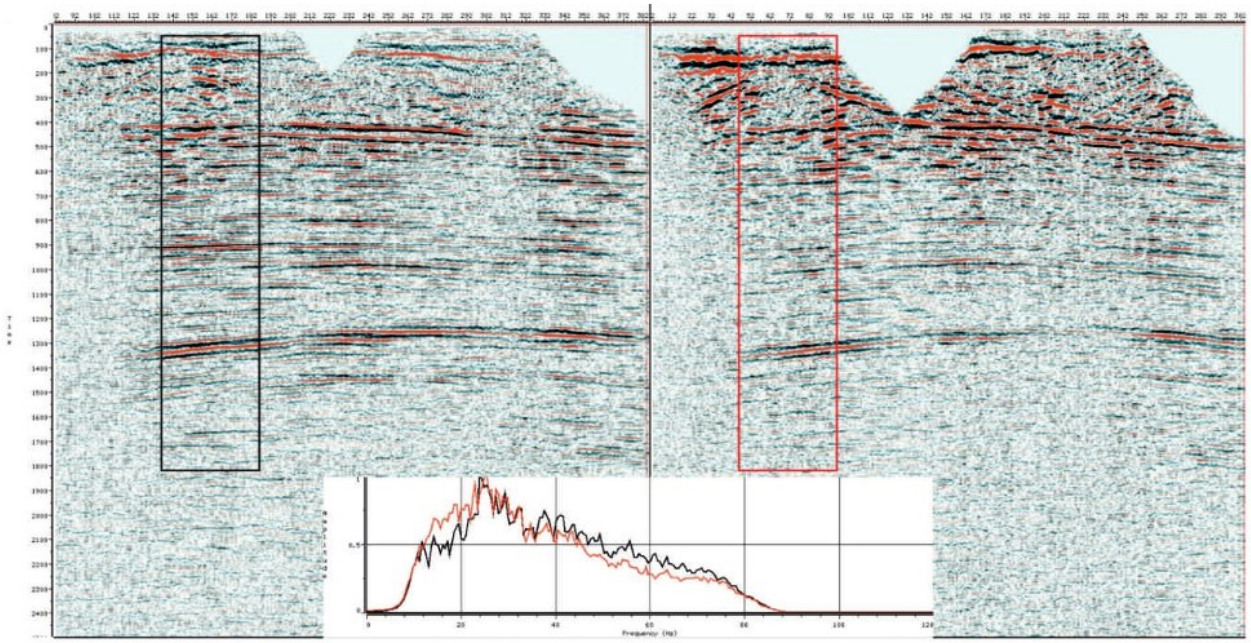
После завершения полевых работ данные были переданы в АО «СНИИГ ГиМС» для дальнейшей обработки.

При отработке источником «Енисей-СЭМ-200» был пропущен интервал профиля длиной 1020 м. Пропуск был обусловлен оврагом с крутыми склонами, при преодолении которого бульдозер, не имевший продольных грунтозацепов, стаскивало перпендикулярно линии профиля. «Енисей-КЭМ-4V» справился с этой задачей успешней и пропуск составлял 450 м (рис. 3.). Работы проводились в весенний период и верхний почвенный слой представлял собой смесь песка и льда.

Из данных диаграмм видны отличия в системах наблюдения, вызванные пропущенным интервалом профиля. При этом наблюдаемые отличия явно не в пользу «Енисей-СЭМ-200». Таким образом, сейсмограммы ОСТ на «Енисей-КЭМ-4V»

Рис. 3. Диаграмма суммирования по ОСТ.





▲ *Рис. 4. Временные разрезы после деконволюции и автоматической коррекции статических и кинематических поправок, амплитудно-частотные спектры (черный – – «Енисей-КЭМ-4V», красный - «Енисей-СЭМ-200»).*

и «Енисей-СЭМ-200» имеют различный набор удалений. Из рисунка хорошо видно, что на значительной части профиля «Енисей-СЭМ-200» отсутствуют ближние удаления, что крайне затрудняет как скоростной анализ, так и коррекцию статических поправок (алгоритмы не отрабатывают оптимально). Участки с высокой кратностью на «Енисей-СЭМ-200» (до 530 при бине 12.5 м), попадают на дальние удаления, где присутствует значительный фон помех (в том числе из-за одного накопления).

После проведения обработки с восстановлением истинных амплитуд, деконволюции, расчёта статики по преломленным волнам был получен временной разрез (рис. 4.).

Алгоритмы коррекции статпоправок «вытягивают» сигнал по глубоким горизонтам на «Енисей-СЭМ-200», но не так хорошо, как на «Енисей-КЭМ-4V».

Сказывается как более шумный материал единичных накоплений, так и проблемы в системе наблюдения. В целом, получен положительный результат, сопоставимый с результатом стандартных работ.

Для сравнения производительности ГРР в стандартном и динамическом режиме выбран интервал профиля от 41 до 83 ПВ длиной 1000 м (рис. 5., таблица 1.). Как показывают расчёты, производительность ГРР в динамическом режиме выше на 72%.

Результаты эксперимента показали:

1. При возбуждении упругих колебаний в динамическом режиме на суше производительность ГРР резко возрастает. При этом качество и информативность получаемых разрезов сопоставимы с стандартной технологией.

2. Проведенные опытные работы не позволяют в полной мере раскрыть потенциал данной технологии. Следует увеличить объемы опытных работ, использовать стандартные сейсмоприемники, идеально одиночные с погружением на 0.5 метра.

3. Необходимо продолжить работу по сопоставлению источников при одинако-



▲ *Рис. 5. Интервал профиля для расчёта хронометража*

▼ *Табл. 1. Расчёт времени отработки интервала профиля при различных режимах*

Источник	Методика	Интервал ПВ	Длина интервала, м	Время отработки интервала	Среднее количество накоплений
КЕМ-4V	Стандарт	41-83	1000	1:37:06	6
СЭМ-200Z	Движение	41-83	1000	0:27:32	1

вых системах наблюдения в реальных условиях Восточной Сибири. Особое внимание следует уделить точности привязки источника и приемников. Регулярная система наблюдения с увеличением шага ПВ до 5 метров, а также использование 2-х источников позволят существенно повысить качество сейсмического материала

ООО Фирма «ПРИМОД»

предлагает следующие услуги:

- **Поставка запасных частей к вибрационным источникам сейсмических сигналов отечественного и зарубежного производства:**



- **Поставка и ремонт сервоклапанов MOOG, STAR и ATLAS;**



- **Поставка и ремонт гидравлических насосов фирм SAUER и DENISON;**
- **Сервисные работы по диагностике технического состояния и ремонту вибрационных источников сейсмических сигналов;**
- **Конструкторские работы по разработке перспективных и модернизации находящихся в эксплуатации вибрационных источников сейсмических сигналов.**

ООО Фирма «ПРИМОД» предлагает новую разработку

импульсный электродинамический источник ИДД-20М / ИДД-27М.



Усилие на грунт	2×10^5 Н / $2{,}7\times10^5$ Н
Длительность импульса	2-3 мс
Интервал между воздействиями	8 сек
Напряжение питания	380В
Напряжение на накопительных конденсаторах	950В
Габарит излучателя, мм	790х680х420
Масса источника (излучателя), кг	
общая	314 /395
плита опорная	88
пригруз	226 / 307
Габарит шкафа, мм	780х540х460
Масса шкафа, кг	83

ООО Фирма «ПРИМОД»
141551, Московская область, Солнечногорский район, р. п. Андреевка, д. 47, эт. 2, пом. 168, ком. 7

Результаты комплексирования методов ЭМС и МСК для изучения ВЧР в условиях распространения ММП с целью прогноза глубины погружения заряда

- Дмитриев Ю.Ю., ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», г.Новосибирск
- Гоц И.А., ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», г.Москва
- Батманов И.А., ОАО «Севергеофизика», г.Ухта
- Тригубович Г.М., АО СНИИГГИМС, г.Новосибирск
- Лыгин. С. К., ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», г.Усинск

Введение

С целью опробования возможностей комплекса геофизических методов, включающего обращённый микросейсмокаротаж (МСК), электромагнитную съёмку (ЭМС), электрокаротаж (КС) и геологическое сопровождение бурения, для прогнозирования оптимальных глубин заложения зарядов при выполнении полевых сейсморазведочных работ 3D на границе Ненецкого АО и Республики Коми, в марте-апреле 2017 г. были проведены опытно-методические работы на площади 60 кв.км. Объем работ составил - 200 пог.км ЭМС, МСК в 60 скважинах, электрокротаж в 19 скважинах, геологическое сопровождение бурения в 60 скважинах.

Главной задачей исследований являлось опережающее изучение геологического строения верхней части разреза (ВЧР) с целью оптимизации глубины возбуждения упругих колебаний для улучшения частотно-динамических характеристик регистрируемых сейсмических данных при сейсморазведочных работах.

История вопроса

Изучение ВЧР северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП) началось одновременно с первыми попытками проведения сейсморазведочных работ на этой территории в 1953 году. Однако, в силу технологических причин и организационно-технических особенностей проведения полевых работ (работы в подавляющем большинстве проводились в модификации так называемой «речной сейсморазведки») широкого распространения эти работы не получили.

Систематический характер работы по изучению геологического строения и сейсмогеологических характеристик ВЧР приобрели в 60-х – 70-х годах прошлого столетия в ходе работ МОВ.

Основными методиками изучения ВЧР в тот период были классический прямой микросейсмокаротаж и МПВ.

С повсеместным переходом на современную методику сейсморазведки МОГТ в модификации 2D в конце 70-х – начале 80-х годов прямой МСК был вытеснен более технологичным обращенным МСК, а работы МПВ стали выполняться в модификации центрально-симметричного МОВ-МПВ.

Изучение ВЧР проводилось с целью уточнения скоростной модели среды, использовавшейся при обработке результатов полевых работ. Работы выполнялись в составе основного комплекса полевых СРР в Большеземельской тундре, в Малоземельской тундре и на о.Колгуев.

Задача оптимизации условий возбуждения в тот период не ставилась, т.к. по аналогии с более южными регионами за основу строения ВЧР была принята простая слоистая модель и повсеместно применяемыми параметрами БВР

априори была глубина 20 м при зарядах 15-25 кг, а качество каждой сейсмограммы оценивалось визуально, на основании общепринятых субъективных предпосылках.

Регистрация как МСК, так и МОВ-МПВ осуществлялась типовыми аналоговыми 24-х канальными сейсмостанциями типа «Поиск», позднее - «СМОВ-0-24» с использованием самодельных сейсмокос из одиночных сейсмоприёмников СВ-20П с шагом 1-5 м. Возбуждение при МСК производилось с помощью гирлянды ЭДС с шагом по стволу скважины 1-2 м, при МОВ-МПВ – зарядами 2,5 кг в одиночных скважинах глубиной 5-10 м. Шаг наблюдений составлял 3-5 км по профилям МОГТ.

В начале 80-х годов 7-ой Полевой экспедицией в летнее время предпринимались единичные попытки опережающего изучения ВЧР электроразведкой по методике ВЭЗ, которые распространения не получили ввиду технической сложности реализации полевого цикла.

Из-за сильной латеральной изменчивости ВЧР и не соответствующей ей плотности наблюдений все указанные методики поставленной цели не достигали. Построить достоверную карту скоростей ВЧР на площадь работ не удавалось, поэтому обработка достаточно успешно проводилась с использованием априорной участковой скоростной модели ВЧР с постоянной скоростью в верхнем слое, определяемой по первым вступлениям производственных сейсмограмм, и коррекцией статических поправок с учётом данных регистрации То.

Работы по изучению ВЧР в северной части ТПП, зоне повсеместного развития многолетнемерзлых пород (ММП), в современной модификации обращённого МСК с основной целью оптимизации глубины заложения заряда были возобновлены в 2011 году по настоянию некоторых заказчиков сейсморазведочных работ.

Но, как и прежде, из-за сильной латеральной (и глубинной) изменчивости строения ВЧР, проблема априорного получения объективных критериев для глубины заложения заряда на каждом ПВ оставалась нерешенной.

Обоснование комплекса методов исследования ВЧР

При выборе комплекса методов исследования ВЧР в ММП мы опирались на имеющийся опыт по решению аналогичных задач в Западной Сибири [1], в Эвенкии и в северной части ТПП [9].

Опыт свидетельствует, что в изучении ВЧР необходим жесткий системный подход. Системность подхода должна учитывать наиболее информативные методы, устоявшиеся в структуре сейсморазведочных работ, и в проверке новых технологий, которые способны претендовать на использование в составе стандартного комплекса полевой сейсморазведки.

Разумеется, что в основе комплекса изучения ВЧР должен быть МСК (или другой информативный метод малоглубинной сейсморазведки) и методы стандартного каротажа, позволяющие более детально расчленить разрез (гамма-каротаж, электрокаротаж). Реализация гамма-каротажа связана с серьезными сложностями в практическом использовании (большой диаметр скважинного прибора – 28-36 мм). Электрокаротаж (диаметр прибора 8мм) можно проводить и при сложных условиях ВЧР при зарядке зонда в полую шнековую колонну.

Чтобы проследить локальные изменения разреза между скважинами МСК, нужен метод непрерывного изучения

строения ВЧР в интервалах между скважинами объективного контроля.

Для методов наземной геофизики при исследовании ВЧР существует ряд объективных ограничений, связанных с условиями их реализации и информативности:

1. Большая площадь участков работ (сотни квадратных километров) при протяженности профилей возбуждения более1000 пог.км. При таких объемах технология наземных геофизических исследований должна обеспечивать очень высокую производительность (не менее 20 пог.км в смену), мобильность, низкую себестоимость и возможность существенного опережения БВР для оперативного планирования буровых работ;

2. Проведение исследований в мерзлых и талых породах различного состава;

3. Выполнение работ в зимний период в условиях Крайнего Севера и при наличии снежного покрова мощностью более 1м, не только в тундре, но и в местности с плотным кустарниковым покровом;

4. Глубинность исследований до 30-45м;

5. Детальность расчленения разреза в интервале глубин 3-45м не хуже -0.5-1м;

6. Оперативность обработки геофизических данных, позволяющая своевременно (за 3-4 дня до буровых работ) выдавать материалы по прогнозу условий БВР. Процедуры обработки должны обеспечивать глубокий анализ полученных данных, исходя из условия обработки материалов в объеме 20-30пог.км в течение одной ночи.

При таких исходных условиях круг методов наземной геофизики, применимых для детального изучения ВЧР на больших площадях, резко сокращается.

Фактически до разработки технологии импульсных электромагнитных зондирований становлением поля во временной области, которая в последние 10-12 лет была усовершенствована до уровня непрерывного электромагнитного сканирования разреза (выполняемого в движении), задача исследования ВЧР для целей сейсморазведки МОГТ методами наземной электроразведки не решалась в принципе.

Особенностью электромагнитных зондирований ЭМС является низкая информативность в интервале глубин 0-3м.

Обобщая вышесказанное, предложенный комплекс методов исследования ВЧР включает:

1. МСК и электрокаротаж в одних и тех же скважинах (расположенных друг от друга на удалении не более 2м). Сопоставление данных МСК и электрокаротажа позволяет определить характер и уровень связи сейсмических и электрических параметров ВЧР;

2. ЭМС, предназначенный для непрерывного прослеживания между опорными скважинами зон ВЧР, благоприятных (по данным МСК) для заложения заряда на каждом ПВ;

3. Геологическое сопровождение бурения в скважинах МСК и электрокаротажа, позволяющее в ряде случаев по шламу определить основные характеристики геологического строения ВЧР и в совокупности с данными электрокаротажа и МСК построить сводную геологическую колонку.

Методика МСК

Сейсмокаротажные работы проводились с помощью сейсмической станции SGD-SEL (НПК «СибГеофизПрибор»)(Рис. 1).

При выполнении МСК прием колебаний осуществлялся с помощью 10-метровой 4-канальной расстановки с



▲ *Рис. 1. Станция SGD-SEL на точке МСК.*

установкой каналов на расстояниях 1, 3, 5, 10 м от устья скважины. В качестве приемников использовались геофоны GS-20DX.

Возбуждение упругих колебаний выполнялось в скважине с использованием взрывной косы с электродетонаторами, опущенной в ствол скважины до забоя, по 1-3 ЭДС на каждое наблюдение. Шаг исследования по стволу скважины – 1 м.

Отработка ЭДС велась снизу-вверх (во избежание нарушения проводимости проводов от взрывов) с использованием системы SGD-S.

При выполнении работ МСК обеспечивалась предельно качественная установка всех сейсмоприемников в вертикальном положении с обязательным заглублением в снег.

Обработка данных МСК производилась с использованием комплекса FQC-MSK (О.А.Цуканов, ОАО «Севергеофизика») непосредственно на базе партии. Единичное наблюдение МСК состояло из записи всеми геофонами одного взрыва ЭДС. Отработка МСК по одной скважине состоит из 30-ти единичных записей с глубин в интервале 29.5м – 0.5 м. Результат отработки МСК оценивался по монтажу выборки записей точек возбуждения из единичных записей по каждой точке приема в отдельности.

Для кинематической интерпретации использовался стандартный метод определения слоёв по прямолинейным участкам графика, т.е. постоянная скорость в слое.

Методика электрокаротажа

Электрокаротаж скважин производился специально изготовленным зондом, обеспечивающим его зарядку в скважину как в открытый ствол, так и через полую шнековую колонну. Диаметр зонда 8 мм. Схема зонда симметричная A 0.5 M 0.5 N 0.5 B. Режим измерений точечный через 0.2 м. Сухие скважины во время каротажа заполнялись водой. Измерения выполнялись аппаратурой «Syscal-Pro-72» (Франция). Обработка данных производилась в программе Excel.

Методика ЭМС

Технология ЭМС, реализованная на основе измерений в движении, позволяет получить непрерывный геоэлектрический разрез любой протяжённости с дискретностью замеров 0.1-0.2 м по латерали [2, 3].

При проведении ЭМС одновременно использовались выносная и соосная

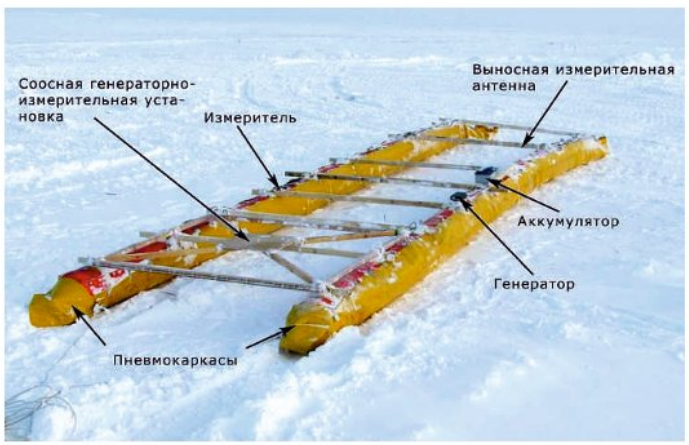
системы измерений. Эти генераторно-измерительные конструкции позволяют исследовать геоэлектрический разрез в интервале глубин 3-35 м за счёт подавления собственных процессов в генераторном контуре. В выносной системе подавление собственных процессов происходит за счёт разнесения генераторной и измерительных антенн, в соосной – за счёт использования обратных токов. Соосная установка имеет линейные размеры в 5 раз меньшие, чем выносная.

Обе генераторно-измерительные системы размещались на надувном каркасе, буксируемом по сейсмическим профилям с помощью гусеничного вездехода типа ГАЗ со скоростью 7-10 км/ч. Размер пневмокаркаса составлял 2×9 м (Рис.2), расстояние до вездехода 10-12 м. Технология ЭМС, выполняемая в движении, в отличие от других методов наземной электроразведки обеспечивает чрезвычайно высокую плотность точек измерений (более 30 000 на 1 км съёмки), благодаря чему обеспечивается высокая точность регистрации процесса становления поля и практически непрерывное исследование геологического разреза, позволяющее выявить локальные изменения геологической среды. Технология ЭМС успешно применялась для исследования ВЧР на нескольких объектах работ МОГТ и защищена патентами РФ № 2194294, 47533, 52199, 52200.

Измерения методом ЭМС выполнялись комплектом аппаратуры: измеритель «Импульс-Д13», генератор тока «КТ-5». Аппаратура разработана и изготовлена в ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», г. Новосибирск.

Топографическая привязка точек измерений в процессе съемки осуществлялась спутниковой системой GPS, встроенной в измеритель. Погрешность плановой привязки ЭМС не превышает 1,5м.

Обработка результатов измерений ЭМС проведена с помощью пакета лицензионных программ «EmData Processor» [8] с использованием процедуры «dS/H –дифференциальная проводимость по H» с последующим пересчётом в удельные сопротивления. В качестве вспомогательных применялись программные продукты «Convert» и «Gorizont». Все программы разработаны ЗАО «Аэрогеофизическая разведка».



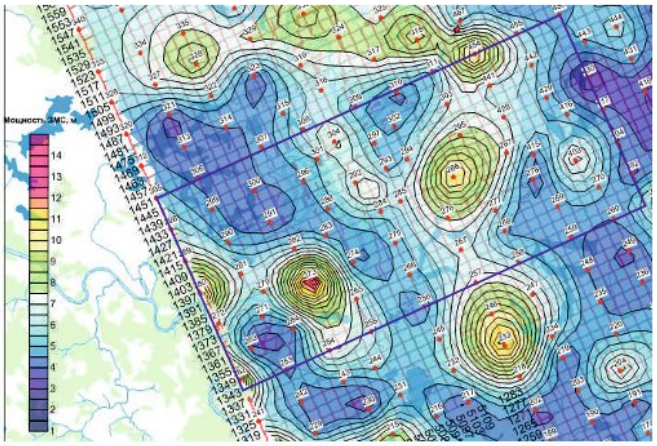
▲ *Рис. 2. Пневматическая конструкция ЭМС.*

Результаты МСК

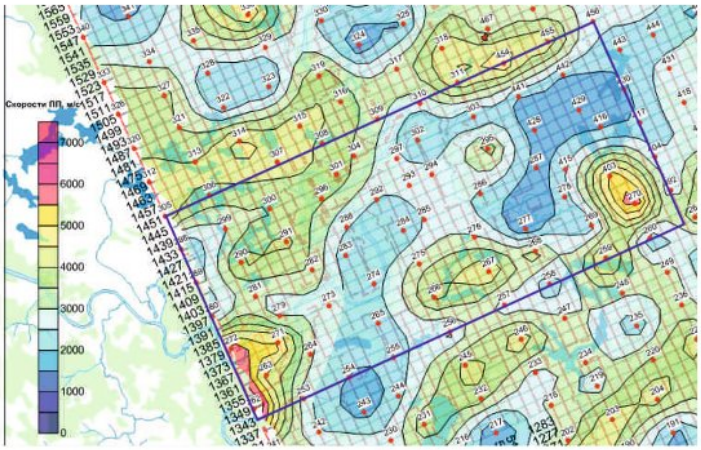
Выполненные работы методом МСК в очередной раз показали, что строение ВЧР в данном регионе чрезвычайно изменчиво (рис.3). ЗМС изменяется от практически полного отсутствия до 10 и более метров. При этом зависимость мощности ЗМС от поверхностных условий не наблюдается. Кинематическая интерпретация, традиционная для данного региона, не дает достаточной информации для выбора оптимальных глубин заложения заряда.

Визуально на волновой картине записей МСК можно выделить различные слои с хорошими и плохими динамическими показателями, однако большинство из этих слоев не выделяются по кинематической интерпретации (рис.4).

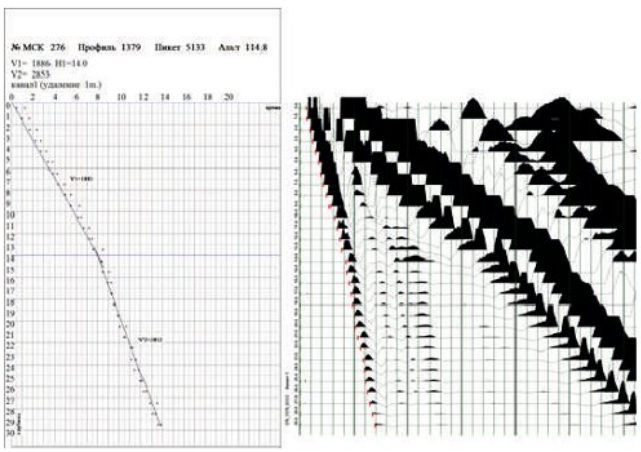
В основном ВЧР как на участке опытных работ, так и в целом на всей площади



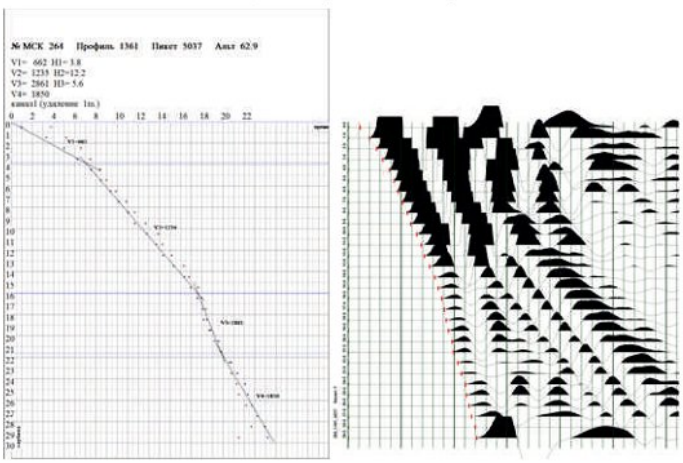
▲ *Рис. 3. Схема распределения мощности ЗМС на участке ОМР.*



▲ *Рис. 4. Схема распределения скоростей в подстилающих породах на участке ОМР.*



▲ *Рис. 5. Типичная волновая картина МСК в мерзлоте.*

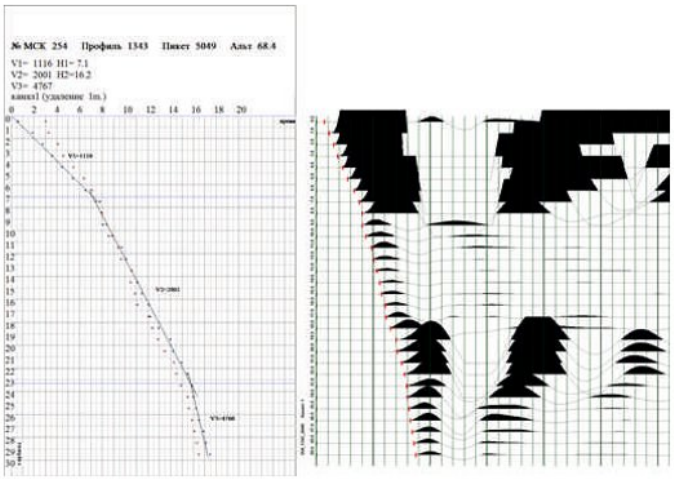


▲ *Рис. 6. Пример четырехслойной МСК.*

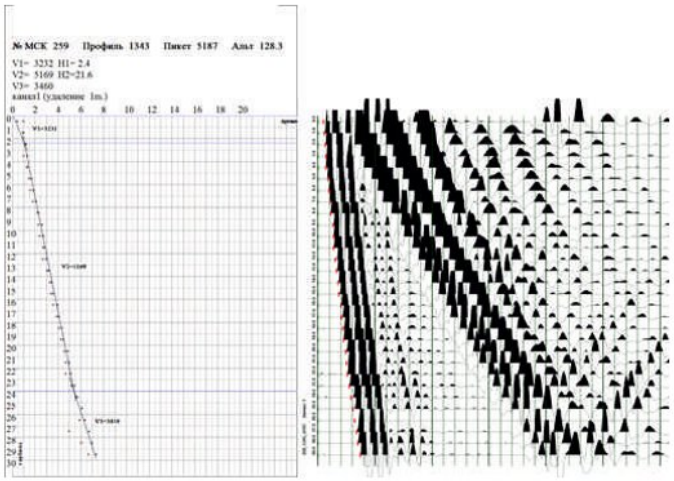
двухслойная (рис. 5), на отдельных точках можно выделить 3-4 слоя (рис. 6) с различными скоростями, связанными с наличием в разрезе мерзлых пород – торфа, песков, глин, а также «плывунов».

Если, принимая решение об оптимальных глубинах заложения заряда, ориентироваться исключительно на скоростные характеристики слоев можно прийти к ошибочному выводу. Например, на рис. 6 ЗМС представлена двумя слоями со скоростями от 662м/с до 1234м/с.. Суммарная мощность слоев - 16м. Ниже выделяются подстилающие породы со скоростями 2861м/с. Соответственно, можно сделать вывод о том, что глубина заложения заряда должна быть 22-26 метров. Однако, визуально на записи можно отметить, что ниже глубины 13.5 м. амплитуда сигнала значительно затухает, а в районе, казалось бы, оптимального интервала 22-24 метров амплитуда сигнала вообще минимальна. При этом так же отчетливо видно, что увеличение глубины не приводит к улучшению ни формы сигнала, ни частоты. То есть в данном случае глубина заложения заряда не должна превышать 13.5 м.

В другом примере на рис. 7 обратная ситуация. Чтобы зарядить ниже ЗМС достаточно глубины 13-17 метров. Однако это худший по динамическим показателям интервал, а оптимальными являются глубины от 19.5 до 22.5м, где динамически выделяется «плывун».



▲ *Рис.7. Пример трехслойной МСК.*



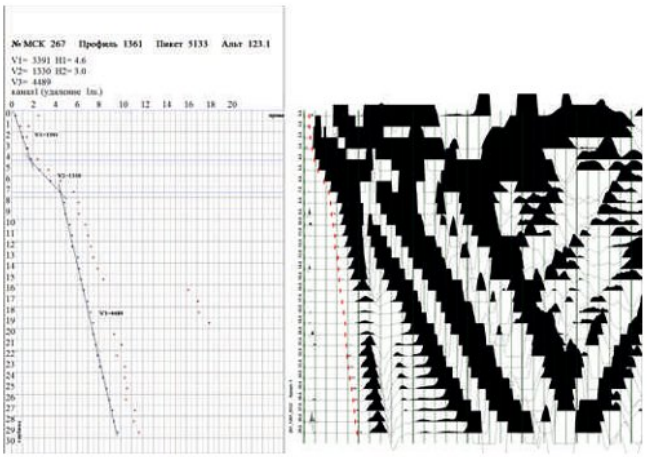
▲ *Рис. 8. Пример неинтерпретируемой МСК в мерзлоте.*

Из всего выше сказанного, на наш взгляд, следует, что МСК, даже с достаточно высокой для районов его традиционного применения плотностью 1МСК/1кв.км, в северной части ТПП (зоне сплошного распространения ММП) задачи построения скоростной модели ВЧР, соответствующей масштабу и параметрам съёмки МОГТ, не решает.

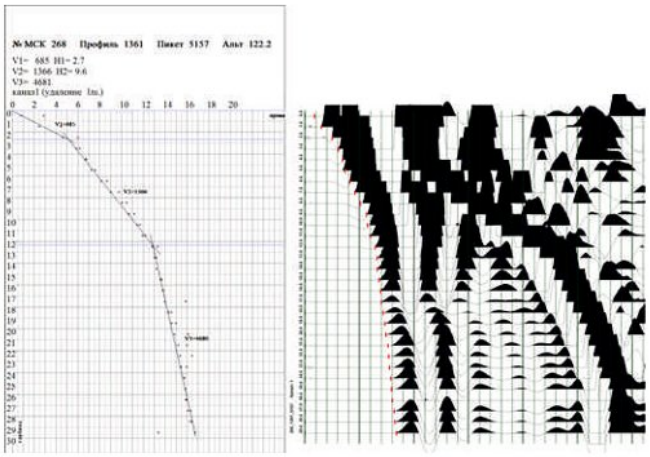
Как показывает всесторонний анализ, данные МСК, конечно, позволяют определять оптимальные глубины заложения зарядов, но из-за сильной латеральной изменчивости строения ВЧР справедливы только в тех точках, где получены. Даже в этом случае остаются «белые пятна», так как не редки случаи, когда волновая картина МСК вообще не поддаётся интерпретации (рис. 8). Причём, для участка работ это характерно не только в зоне распространения ММП, но и в зонах ожидаемого растепления (возле реки).

Очевидно, что оптимальная глубина заложения в гораздо большей степени определяется характером волновой картины МСК, чем скоростной и пластовой моделью, полученной по данным МСК. На рис.9 представлен еще одни вариант волновой картины в мерзлотном разрезе: сама МСК трехслойная, ЗМС отсутствует, скорость в первом слое 3391м/с, во втором слое наблюдается скоростная инверсия (1330м/с), далее от глубины 7.5м скорость не изменяется и при этом аномально высока - 4489м/с. При визуальном анализе динамики записи от 16.5 до 20.5м выделяется слой с высоким затуханием амплитуды сигнала. В данном случае выбранная на опытных работах глубина заложения заряда оптимальна (15м), поскольку низкоамплитудный слой находится ниже, но для выбора глубин на некотором удалении от скважины МСК было бы полезно иметь представление о поведении данного слоя. На соседней скважине МСК (см. рис 10) мощность ЗМС+ЗПС составляет 12 метров, по требованиям ГТЗ интервал зарядки скважины -18-20 метров. На этих глубинах амплитуда затухает, хотя и не так явно как на рис. 9.

В данном случае нельзя достоверно прогнозировать оптимальные глубины заложения заряда на удалении от точек МСК ни по кинематическим характеристикам (так как ЗМС увеличилась вдвое и непонятно, произошло это плавно или скачкообразно в какой-то точке), ни по динамическим (так как, даже если на основе визуального анализа можно предполагать, что схожая картина на соседних точках связана с одними лито-

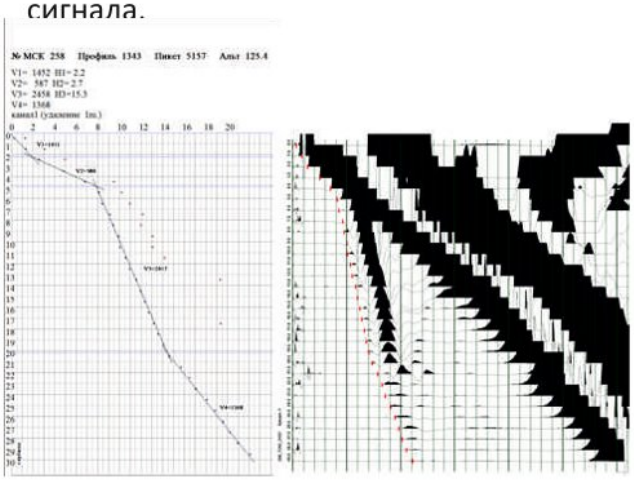


▲ *Рис. 9. Пример сложной волновой МСК в мерзлоте (МСК 267).*



▲ *Рис. 10. Пример сложной волновой МСК в мерзлоте (МСК 268).*

логическими особенностями, остается непонятным поведение слоя между точками МСК в различных направлениях). Например, в точке расположенной севернее (рис. 11), мощность ЗМС уменьшилась, а в четвертом слое с глубины 20 метров наблюдается скоростная инверсия и сильное затухание амплитуды сигнала.



▲ *Рис. 11. Пример сложной волновой МСК в мерзлоте (МСК 258).*

Вышеприведённые примеры картопостроений носят достаточно сглаженный характер и зачастую не соответствуют реальному строению ВЧР на промежуточных между точками МСК ПВ рядовой сети наблюдений МОГТ, что исключает возможность их использования для целей оптимизации глубины заложения зарядов.

Дальнейшее сгущение сети наблюдений МСК до плотности, обеспечивающей действительно достоверное отражение строения ВЧР в масштабе съёмки МОГТ, приведёт к затратам, сопоставимым с собственно сейсморазведочными работами.

Таким образом, проведение работ МСК в сегодняшней модификации для целей оптимизации глубины заложения заряда в зонах распространения ММП лишено всякого практического смысла. Совершенно очевидно, что назрела необходимость разработки методики и технологии работ по изучению строения ВЧР, позволяющих распространить данные точечных опорных зондирований МСК на всю площадь исследований с сопоставимой, как минимум, достоверностью и сопоставимо меньшими затратами.

Результаты электрокаротажа, оценка корреляционной связи сейсмических и электрически характеристик ВЧР

Выбранная конструкция зонда КС позволяет выделять в разрезе слои мощностью 1 м и определять непосре-

дственно в них удельные сопротивления при мощности слоев более 1,5 м [7].

Диапазон изменения удельных сопротивлений по данным КС в пределах участка ОМР составляет от 15-20 Ом*м до 300-700 Ом*м. Такой диапазон сопротивлений указывает на достаточно разнообразный литологический состав отложений ВЧР и на изменение их мерзлотного состояния. Исходя из этого, строение ВЧР можно охарактеризовать как весьма сложное и сильноизменчивое.

С учётом данных геологической документации шлама можно дать геоэлектрическую характеристику отложений ВЧР в пределах участка ОМР:

1. Удельные сопротивления 15-20 Ом*м соответствуют талым суглинкам-глинам;

2. Удельные сопротивления 30-50 Ом*м соответствуют пластично-мёрзлым суглинкам-глинам;

3. Удельные сопротивления 60-100 Ом*м указывают на увеличение доли песчаной составляющей в глинисто-суглинистых отложениях и соответствуют талым супесям, пластично-мёрзлым суглинкам-глинам с тонкими прослоями супесей-песков или талыми пескам с тонкими прослоями суглинков-глин;

4. Удельные сопротивления 200-250 Ом*м соответствуют либо мёрзлым супесям, либо талым пескам;

5. Сопротивления более 400-700 Ом*м соответствуют пескам (супесям) мёрзлым.

Необходимо особенно отметить, что в пластично-мерзлом разрезе (при отрицательных температурах пород до - 0,5-2 градусов Цельсия, характерных для большей части территории ММП РФ) физические свойства суглинистых пород слабо подвержены изменению. В них только появляются кристаллики льда (от 5% до 15%), обусловленные замораживанием свободной воды. Чтобы такие породы перевести в другое фазовое состояние, необходимо их заморозить до температур не менее -50-70 градусов Цельсия (такое возможно только в слое сезонного промерзания, но и то не всегда и не везде). Слабые изменения температурно-фазовых переходов нельзя зафиксировать по данным документации шлама – необходимы термометрические измерения. Разрез суглинистых отложений по своим физическим свойствам (сейсмическим и электрическим) в целом слабо зависим от мерзлотного состояния.

Аллювиальные породы песчаного состава (супеси и пески), наоборот, в мерзлой фазе (при отрицательных температурах всего -0,1-0,3 градусов Цельсия) кардинально меняют свои физико-механические свойства.

Эти особенности мерзлой ВЧР мы и наблюдаем на сейсмограммах МСК. Чтобы прояснить этот вопрос, следует обратиться к фундаментальным исследованиям Лещикова [5] и Цытовича [4].

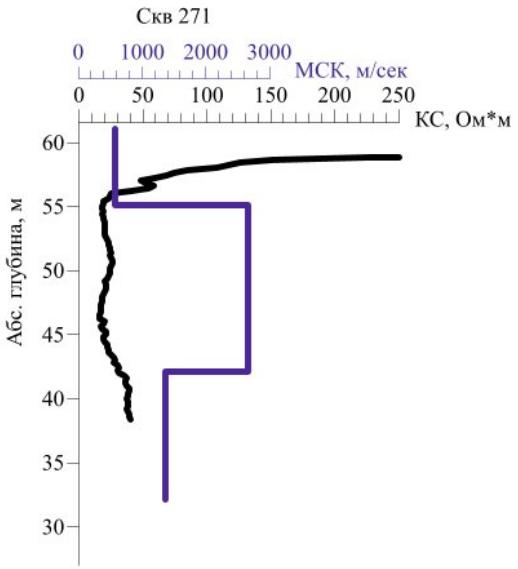
Анализ сопоставлений КС и МСК подтвердил наличие корреляционных связей между электрическими и сейсмическими характеристиками ВЧР (рис.12).

Между тем, следует отметить ряд особенностей выполненных сопоставлений:

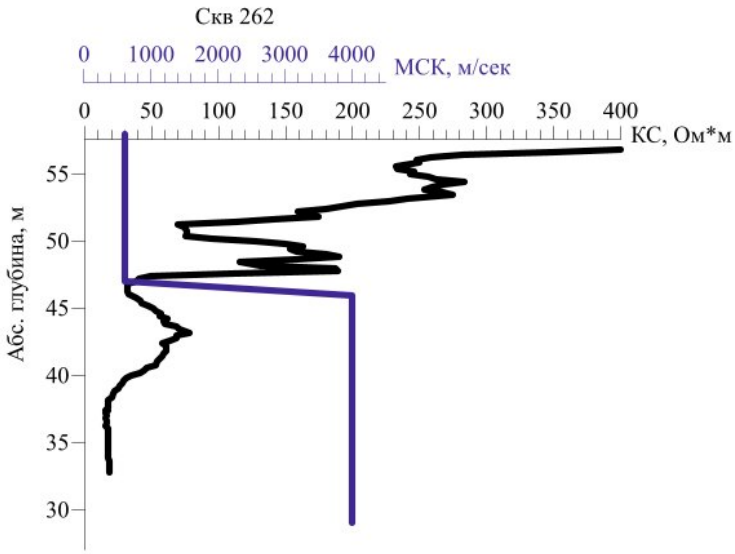
1. МСК менее детально расчленяет разрез, чем КС, что может быть связано как с различной детальностью исследований по оси скважины (МСК через 1 м, КС через 20 см), так и с особенностями обработки материалов МСК (Рис. 13);

2. На некоторых годографах МСК практически отсутствует дифференциация слоёв по скоростям, хотя данные электрокаротажа показывают довольно изменчивый разрез (Рис. 14);

3. Отмечен случай резкого отличия



▲ *Рис. 12. Типичный пример хорошей корреляционной связи данных МСК и КС.*



▲ *Рис. 13. Пример слабой дифференциации ВЧР методом МСК по сравнению с КС.*

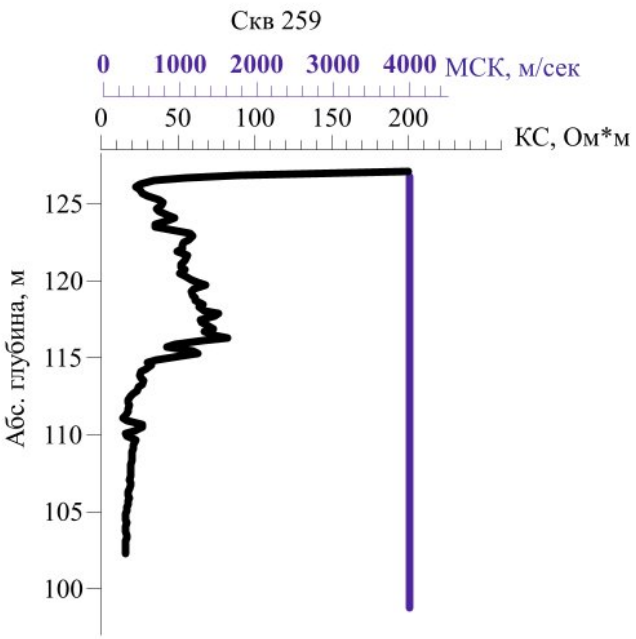
состава шлама в скважинах КС и МСК, расположенных друг от друга на расстоянии не более 2-2,5 м, что связано с сильной латеральной изменчивостью ВЧР.

Более детальный анализ сопоставлений КС и МСК позволил количественно оценить тесноту корреляционной связи электрических и сейсмических характеристик ВЧР (Рис.15).

Полученное поле корреляции полностью подтверждает зависимость, установленную ранее для районов Западной Сибири в условиях аллювиального разреза [1], и соответствует накопленным данным по связи амплитуды сейсмического сигнала и геоэлектрического строения ВЧР в районах Западной Сибири, Эвенкии и Севера Европейской части РФ.

Главные практические выводы из полученной зависимости:

1. Наиболее сильные (до 4-х раз и возможно более) изменения в амплитудах, регистрируемых МОГТ, наблюдаются в области значений удельных сопротивлений, характерных для глинистых пород. Эти изменения в большей степени связаны не с мерзлотным состоянием ВЧР, а с ростом доли песчаных отложений



▲ *Рис. 14. Пример отсутствия скоростной дифференциации слоёв по данным МСК, хотя по данным электрокаротажа разрез слоистый.*

в разрезе ВЧР, что при бурении контролировать практически невозможно;

2. В области значений удельных сопротивлений ВЧР, характерной для сухомёрзлых и сухих песчаных отложений, нельзя рассчитывать на получение высоких амплитуд сейсмического сигнала. При ограниченной мощности таких

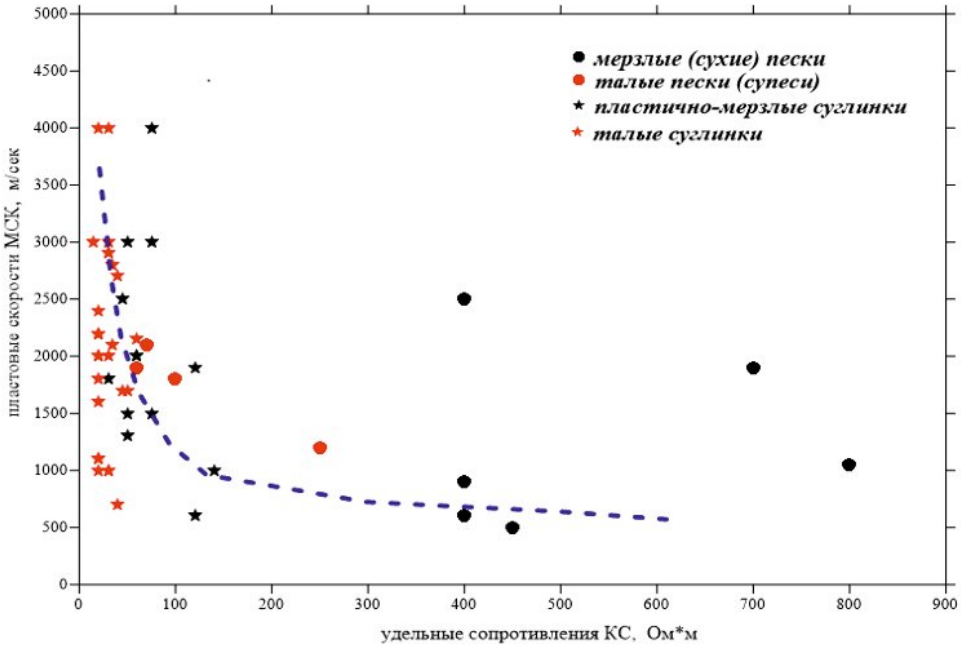


Рис. 15. Корреляционная связь электрических и сейсмических характеристик ВЧР по данным КС и МСК в 18 скважинах на участке ОМР (N=43).

слоёв в пределах рабочего диапазона глубин бурения заряд лучше размещать под их подошвой;

3. При наиболее благоприятном глинистом составе ВЧР для получения максимальных амплитуд сейсмического сигнала следует ориентироваться на наиболее глинистые разности, которые отражаются в геоэлектрическом разрезе наиболее низкими удельными сопротивлениями. Можно даже уменьшать глубину бурения скважин до 10-12м, если наиболее глинистые разности залегают в этом интервале глубин;

4. В твердомерзлом песчаном разрезе ВЧР следует ожидать увеличения амплитуды сигнала МОГТ в зависимости от льдистости песков и количества суглинистого заполнителя.

Результаты ЭМС

Съёмка ЭМС выполнялась методом непрерывного сканирования по профилям ПВ и на участках их сноса.

Приёмно-измерительная система буксировалась с помощью гусеничного вездехода типа ГАЗ. Скорость съёмки составляла от 2 км/ч до 15 км/ч в зависимости от условий местности и качества подготовки профилей. Производительность работ составляла от 10 км до 45 км в смену.

Качество съёмки ЭМС оценивалось на основании сопоставлений с КС и анализом расхождений основного и контрольного измерений отдельных участков профилей. Результаты сопоставлений с КС показали, что погрешность определения мощности основных пластов в среднем не превышает 5-10%. При контрольных измерениях отдельных участков профилей (5% от общего объёма работ) погрешность измерений не превысила 3%. Фактическая глубинность исследований составила не менее 40 м.

На рис. 16 представлены данные сопоставления ЭМС и МСК в 60 скважинах МСК.

Результаты ЭМС представлены в виде геоэлектрических разрезов по профилям ПВ.

На геоэлектрические разрезы дополнительно вынесены данные МСК и КС. Для удобства чтения разрезов на геоэлектрических разрезах показаны изолинии рельефа на глубинах 10 м, 15 м, 17,5 м и 20 м от дневной поверхности (интервалы проектного размещения зарядов согласно ТЗ).

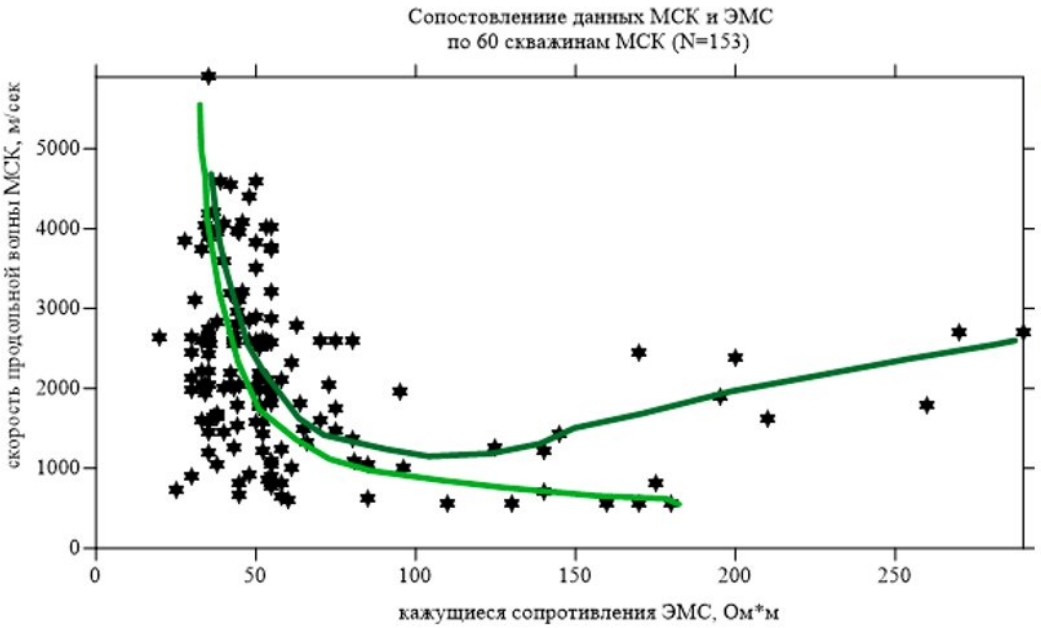


Рис. 16. Сопоставления ЭМС и МСК по 60 скважинам МСК.

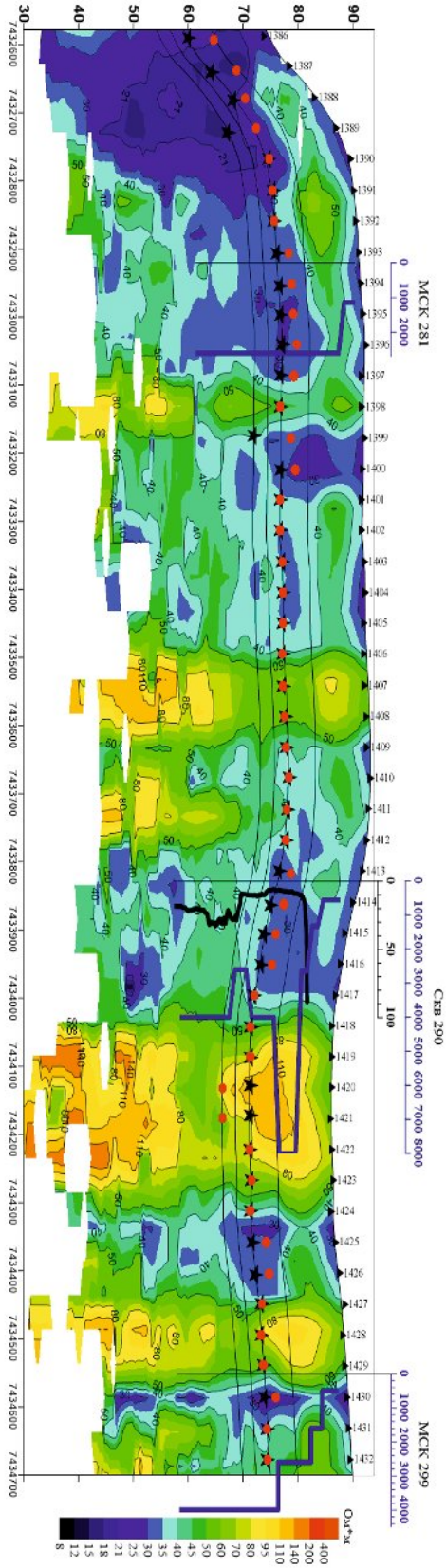
По результатам комплексной интерпретации материалов МСК, КС и ЭМС на геоэлектрические разрезы также вынесены проектные и рекомендуемые по результатам ЭМС глубины скважин на каждом ПВ.

На рис. 17 представлен талый разрез (в начале профиля) постепенно переходящий в пластично-мерзлый с локальными таликами. Границы талых зон контрастные и субвертикальные. Подтверждением такого характера строения ВЧР (кроме известных фактов, заверенных термометрическими измерениями [3, 8]) является одна из точек КС+МСК, которая показала, что на расстоянии 2,5м разрез кардинально меняется: в скважине МСК встречены водонасыщенные пески, а в скважине КС-мерзлые супеси. Такая структура строения ВЧР характерна для переходной зоны от мерзлых к талым и для участков пластично-мерзлых пород. На интервалах влияния постоянно действующих водотоков граница «талые-мерзлые» размазывается в сторону водотоков.

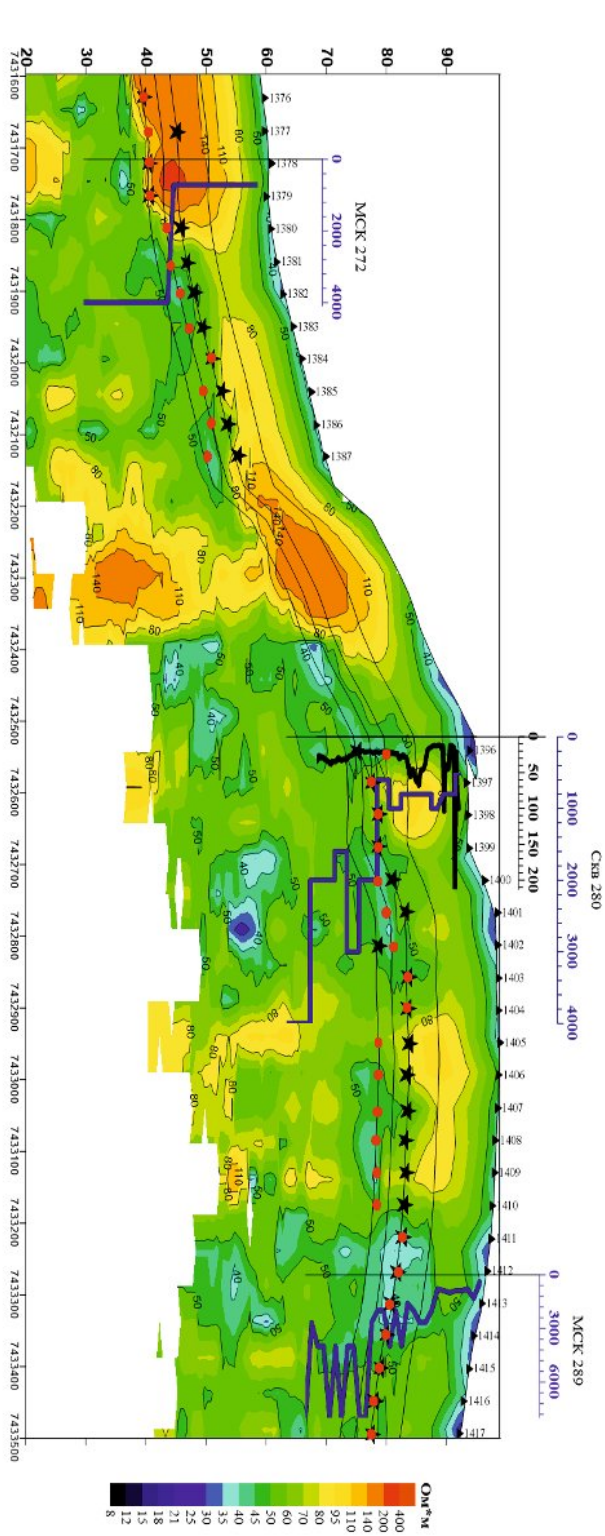
Рис.18 иллюстрирует типичный разрез пластично-мёрзлых суглинков-глин с линзами мерзлых супесей и песков.

Анализ геоэлектрических разрезов по всей площади ОМР показывает, что выбранная по результатам опытных работ глубина погружения заряда 15 м является вполне оптимальной. В интервале глубин 12-16 м для данной территории уверенно прослеживается зона, которая характеризуется снижением удельного сопротивления и соответствующая повышенной пластичности пород (зона вариации отрицательных температур по Цитовичу [4]). Верхняя граница этой зоны, особенно в таликах, нередко поднимается почти к дневной поверхности, что позволяет на некоторых участках ожидать получение хороших характеристик сейсмического сигнала при меньших, чем проектные, глубинах бурения (12 м и даже 10 м).

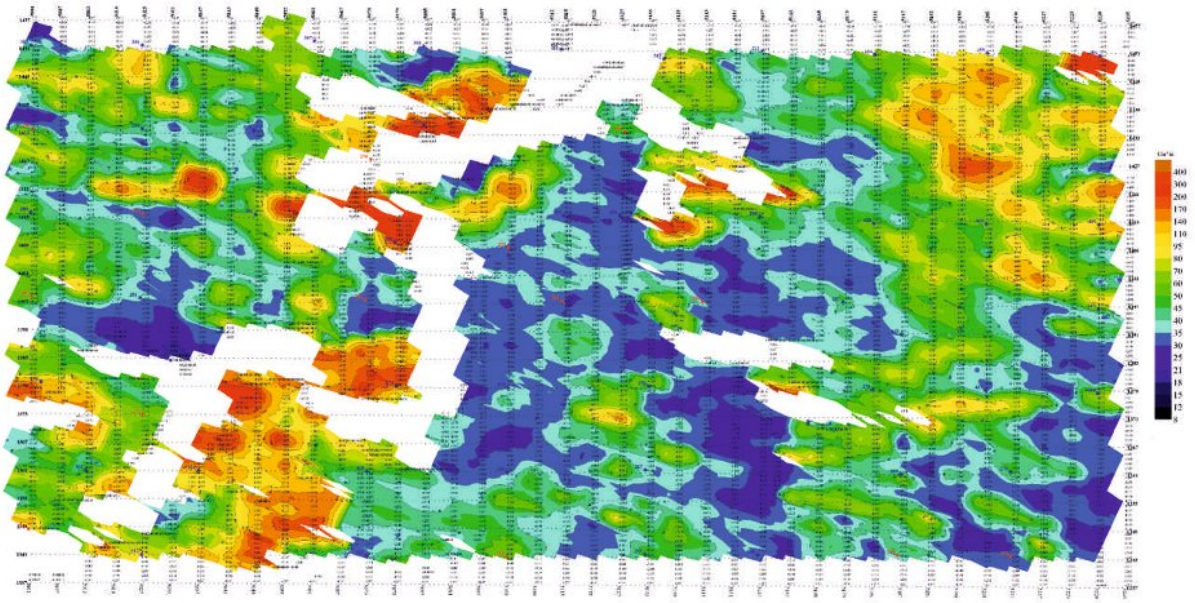
Наименее благоприятными для заложения заряда являются зоны с повышенными сопротивлениями, соответствующие сухим и сухо-мёрзлым пескам и супесям. Распространение таких зон локальное, спорадическое и не может контролироваться единичными МСК. Кроме того, интервалы опесчаненных горизонтов нередко перекрыты суглинками и глинами, что создаёт при бурении иллюзию благоприятного разреза.



▲ *Рис. 17. Пример геоэлектрического разреза ЭМС с постепенным переходом от талого разреза (слева) к пластично-мёрзлому с локальными таликами.*



▲ *Рис. 18. Пример геоэлектрического разреза ЭМС в пластично-мёрзлом разрезе ВЧР.*



▲ *Рис. 19. Карта распределения удельных сопротивлений на глубине 15 м от дневной поверхности.*

На рис. 19 приведен план распределения удельных сопротивлений на глубине 15 м от дневной поверхности по площади ОМР. Такие данные, полученные до начала БВР, позволяют заранее районировать всю площадь работ по условиям глубин заложения заряда.

Обобщение результатов работ

Подтверждена принципиальная возможность решения поставленной задачи предложенным комплексом геофизических методов, позволяющим последовательно решать следующие задачи:

- определение по данным КС электрических параметров слоёв (пластов) ВЧР, в пределах которых по данным МСК отмечаются наилучшие характеристики сейсмического сигнала;

- обоснование по опорным данным КС процедур обработки материалов наземной электроразведки ЭМС и контроль её качества;

- прогноз по данным ЭМС распространения по площади исследований (и по глубине) зон, возбуждение упругих колебаний в которых по данным МСК даёт оптимальное соотношение частотно-динамических характеристик регистрируемых сейсмических данных.

Сопоставление результатов МСК, КС и геологического описания шлама подтверждает наличие зависимости электрических параметров от литологии ВЧР, что позволяет провести устойчивую корреляцию сейсмических и электрических параметров. При этом детальность результатов КС превосходит детальность результатов МСК.

Использование результатов КС в качестве опорных данных для интерпретации результатов ЭМС, в свою очередь, позволяет распространить на всю площадь сейсмической съёмки данные об оптимальной (с точки зрения амплитудно–частотных характеристик сейсмической записи) глубине заложения заряда, полученные по результатам МСК с выдачей рекомендаций по каждому ПВ. При

этом горизонтальный масштаб результативных материалов ЭМС совпадает с масштабом сейсмической съёмки, а вертикальный масштаб полностью соответствует применяемой технологии БВР, что обеспечивает высокую кондицию данных ЭМС.

Впервые реально и масштабно продемонстрирована высокая степень сложности геологического строения ВЧР северной части ТПП, обусловленная повсеместным распространением ММП и происходящими в них процессами. Полученные данные позволяют говорить о несостоятельности традиционных гипотетических представлений и, зачастую, субъективных принципов определения оптимальной глубины заложения заряда, основанных на данных изучения ВЧР более простого строения в районах полного отсутствия или островного распространения ММП. В частности, крайне высокая латеральная неоднородность строения ВЧР не позволяет объективно прогнозировать глубины заложения зарядов по данным МСК при общепринятых плотностях исследований.

Продемонстрирована высокая степень подтверждения прогнозных данных ЭМС, причём на основании количественных, а не качественных показателей. Так, по результатам отстрела 60 скважин-дублёров, глубина заложения заряда в которых была рекомендована по результатам ЭМС, лишь в 6 случаях было зафиксировано ухудшение As/Am сейсмического сигнала по сравнению со взрывами из скважин с проектной глубиной заложения, что соответствует подтверждению прогноза по этому параметру - 90%. Подтверждение прогноза по доминантной частоте ещё выше – 91-92%.

Очевидно, что по метрологическим и производственным параметрам ЭМС полностью соответствует задачам оперативного планирования оптимальной глубины заложения заряда непосредственно в ходе полевых исследований без ущерба для сроков и помехи производства основных видов сейсморазведочных работ.

Показана возможность опережающего получения прогноза строения ВЧР с помощью ЭМС на всю площадь съёмки, что позволило бы оптимизировать БВР уже на стадии планирования работ.

Учитывая несопоставимо более высокую информативность и однозначность результатов исследований по сравнению с традиционно использующимися методиками, комплекс ЭМС+МСК можно рекомендовать к включению в стандартный комплекс полевых сейсморазведочных работ с использованием буровзрывного источника упругих колебаний для изучения строения ВЧР с целью оптимизации глубин заложения зарядов в районах повсеместного распространения ММП.

Литература

1. Дмитриев Ю.Ю., Тригубович Г.М., Тарасова Ю. П., Закариев Ю.Ш., Рябошапко С.М., Цыпышев Н.Н. «Прогнозирование оптимальных условий размещения заряда при сейсморазведочных работах в Западной Сибири с использованием электромагнитного сканирования во временной области»./Приборы и системы разведочной геофизики. №4, 2014г/

2. Тригубович Г.М., Каменецкий

Ф.М., Стеттлер Е.Х. «Геофизические исследования неустановившегося электромагнитного поля», / Мюнхен, 2010/.

3. Дмитриев Ю.Ю., Тригубович Г.М «Современные методы электрометрии для исследования верхней части разреза при решении инженерно-геологических задач в топливно-энергетическом комплексе», /Инженерные изыскания, №7, Москва, 2010/.

4. Н.А. Цытович. Механика мерзлых грунтов, /Высшая школа, Москва. 1973г./

5. . Ф.Н. Лещиков. Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. /Сибирское отделение издательства «Наука», Новосибирск, 1978г./

6. ГОСТ 9.602-2005. СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫЕ. Приложение А. Определение удельного сопротивления грунта.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2011611248 EM-DataProcessor. Правообладатель: ЗАО "Аэрогеофизическая разведка". Авторы: Тригубович Г.М., Чернышев А.В., Гнусин Я.А., Сверкунов А.С. (RU). Зарегистрировано 7 февраля 2011 года.

8. Дмитриев Ю.Ю. «Новая технология геофизических исследований криолито-зоны в инженерных изысканиях». /ГеоИнжиниринг, №1(3),2007/

9. Дмитриев Ю.Ю., ГлазуновВ.В., Гоц И.А., Логовской В.И., Цыбин В.Ф., Ефимова Н.Н. «Комплексное применение методов импульсной электроразведки в составе сейсморазведочных работ МОГТ-3D для прогнозирования глубины скважин ПВ в условиях сложного строения ВЧР»./Приборы и системы разведочной геофизики. №4, 2016г/

О мешающем влиянии высокоскоростных помех, формируемых в верхней части разреза при поверхностном возбуждении колебаний

- Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск
- Смитий Е.В., ООО «ГЕОСЕВ», г. Краснодар

В пределах многих площадей, отрабатываемых с использованием поверхностных излучателей, значительное мешающее влияние на полезную запись оказывают высокоскоростные помехи, формируемые в верхней части разреза (ВЧР). К таким помехам в первую очередь относятся волны, преломлённые от подошвы ЗМС, а также волноводные (каналовые) помехи, регистрируемые в течение зимнего периода в условиях Крайнего Севера. Возрастание относительной интенсивности волн, преломлённых от подошвы ЗМС или иных границ ВЧР, при переходе на поверхностное возбуждение колебаний связано с тем, что в отличие от взрывного скважинного источника, для которого преломлённые от подошвы ЗМС колебания формируются волнами-спутниками, при поверхностном возбуждении существование таких помех связано непосредственно с прямыми падающими волнами.

К одному из основных типов помех, преломлённых от подошвы ЗМС, относятся кратные отражённо-преломлённые волны, возбуждаемые при условии, когда в верхней части ЗМС существует относительно резкая акустическая граница [1]. Такие помехи являются, например, доминирующими для ряда площадей, расположенных в пределах Терско - Каспийского краевого прогиба. Так, на рис. 1 приведены типичные производственные сейсмограммы, зарегистрированные на Карабудахкентской площади республики Дагестан. Для возбуждения колебаний использовалось 4 вибратора СВ-27/150К, частотный диапазон ЛЧМ-развёртки соответствовал диапазону 7 – 70 Гц.

Из рисунка 1 можно видеть, что на коррелограммах, зарегистрированных в условиях конкретной площади, визуально прослеживаются исключительно колебания с кажущимися скоростями, совпадающими со скоростями волн, преломлённых от подошвы ЗМС. При этом указанные колебания отличаются чрезвычайно высокой амплитудой, позволяющей полностью вуалировать не только полезные, но и доминирующие низкоскоростные поверхностные волны. Такой результат был крайне неожиданным для исполнителей работ, тем более, что в горной части Дагестана низкоскоростные помехи характеризуются повышенной интенсивностью. Более того, было очевидно, что эффективность сейсмических исследований в данном случае может не обеспечить решение поставленных геологических задач. Поэтому вопрос о природе указанных помех в этой ситуации стоял достаточно остро. В принципе подобные сейсмограммы могли быть получены либо вследствие регистрации очень интенсивных кратных отражённо – преломлённых волн, либо в условиях повышенного корреляционного фона, формируемого волнами, преломлёнными от подошвы ЗМС вследствие технической неисправности вибросейсмического комплекса. Других причин, которые обуславливали бы такой необычный характер сейсмограмм, в природе фактически не существует.

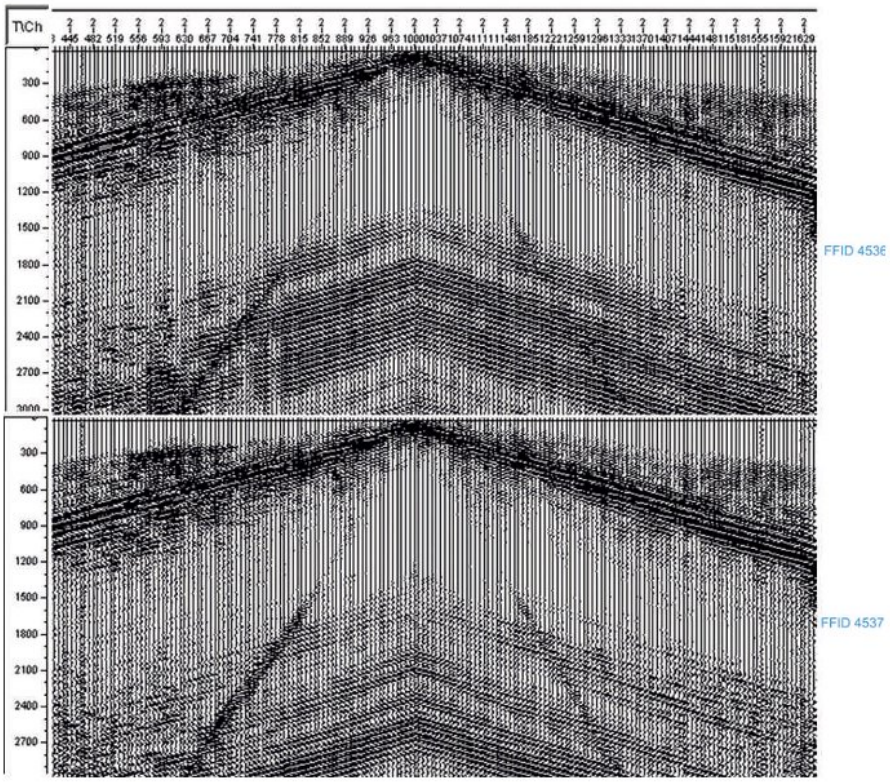


Рис. 1. Типичные производственные коррелограммы, полученные на Карабудахкентской площади республики Дагестан ($\Delta F = 7 – 70$ Гц, $T = 20$ с, $n_{нак} = 10$, $n_{вибр} = 4$)

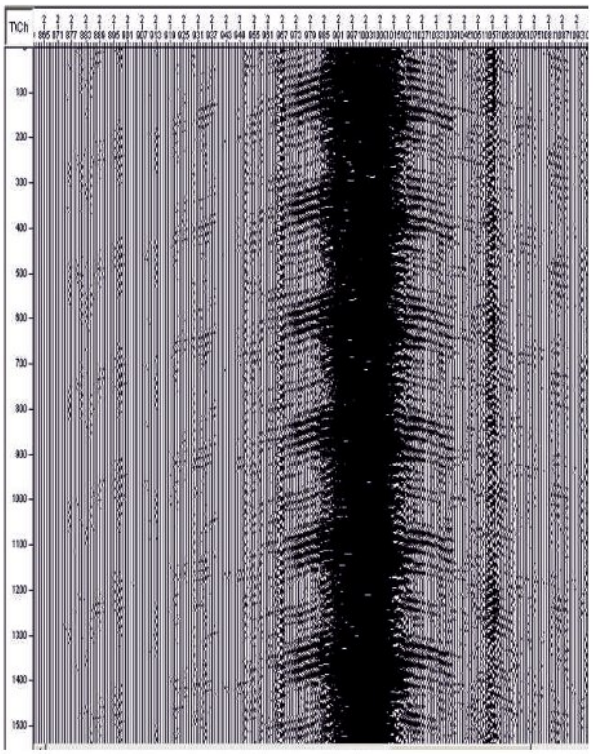
С целью оценки возможного влияния технических причин получения столь необычных записей было проведено тестирование вибраторов, которое показало, что на временах более 0,5 с., динамический диапазон корреляционного преобразования форс – сигнала превышал 60 дБ, что в принципе исключало возможность заметного мешающего влияния корреляционного фона. Однако результаты тестирования не убедили заказчика работ АО «Дагнефтегаз» в том, что природа визуально наблюдаемых на коррелограммах осей синфазности обязана исключительно кратным отражённо – преломлённым волнам и не связана с техническим состоянием вибраторов. В этой связи для решения вопроса о природе помех несколько сейсмограмм было продублировано с использованием в качестве источника колебаний кувалды. Одна из полученных таким образом записей приведена на рис. 2. Из рисунка видно, что при импульсном возбуждении колебаний, так же, как и при вибросейсмической технологии, на записи присутствуют исключительно оси с кажущими скоростями, равными скоростям волн, преломлённых от подошвы ЗМС. А поскольку импульсное возбуждение не предполагает наличие корреляционного фона, то очевидно, что указанные помехи по своей природе соответствуют кратным отражённо-преломлённым волнам, т.е. не связаны с техническим состоянием вибраторов.

Для подавления кратных отражённо-преломлённых волн в настоящее время фактически нет эффективных полевых методических приёмов. Вместе с тем, например, для Терско – Каспийского краевого прогиба амплитудные значения таких помех могли существенно изменяться даже при относительно небольших перемещениях по площади. Поэтому уменьшить их влияние удавалось лишь путём выбора оптимальных конфигураций линий приёма, обеспечивающих минимальный уровень рассматриваемых помех.

Следует отметить, что кратные отражённо–преломлённые волны, формируемые в интервале ВЧР, регистрируются при поверхностном возбуждении колебаний и на некоторых площадях Западной Сибири, что приводит к заметному снижению эффективности сейсмических исследований. В качестве примера, на рис. 3 приведены сейсмограммы, зарегистрированные по технологии 3D на Кошильской площади Западной Сибири. Из рисунка видно, что в данном случае кратные отражённо-преломлённые волны доминируют на записи и практически полностью вуалируют полезные отражения.

В отличие от кратных отражённо-преломлённых волн колебания, преломлённые от подошвы ЗМС или от границ в ЗМС и регистрируемые в области первых вступлений, занимают относительно небольшой диапазон времени, в силу чего мешающее действие их на полезную запись можно, как правило, не учитывать. Однако в условиях сложной геоморфологии верхней части разреза, встречая на своём пути резкие акустические границы, связанные с оврагами, плоскостями дизъюнктивных нарушений, долинами рек и т.д., указанные волны претерпевают отражения и возвращаются под разными углами к профилю, формируя, таким образом, чрезвычайно интенсивные вторичные помехи.

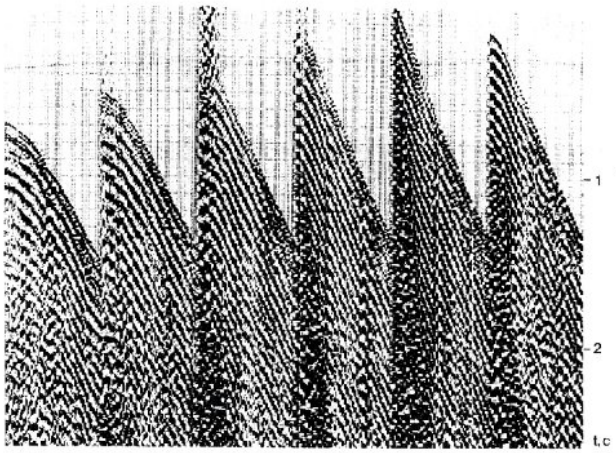
Такие помехи широко распространены, например, в предгорьях Северного Кавказа, в адырных зонах Таджикистана и Узбекистана и в ряде случаев являются доминирующими [2, 3, 4]. Впервые на физическую природу указанных помех обратили внимание в шестидесятые годы прошлого столетия при проведении работ на полуострове Тамань (Козлов Е.А, Косов В.М., Земцов Е.Е.). Изначально эти волны была названы скользяще – дифра-



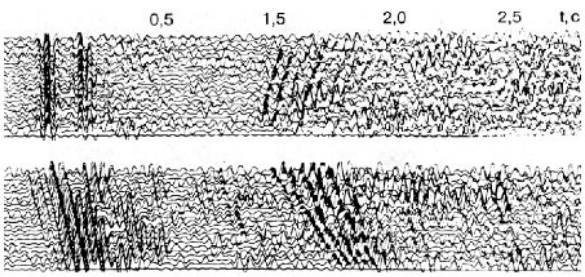
▲ *Рис. 2. Сейсмограмма, зарегистрированная на Карабудахкентской площади с использованием в качестве источника колебаний кувалды.*

гированно - преломлёнными волнами [3]. На рис. 4, в качестве примера, приведены вибросейсмические записи, зарегистрированные в адырных зонах Узбекистана с использованием взаимно ортогональных расстановок сейсмоприёмников. На представленных коррелограммах выделены интенсивные вторичные волны, преломлённые на границе в ЗМС. Рассматриваемые помехи, как правило, многократно превышают по интенсивности отражённые волны, а при боковом подходе к линии профиля эффективность их подавления линейными интерференционными системами резко снижается.

Вторичные волны, преломлённые от подошвы ЗМС достаточно широко распространены и в условиях Крайнего Севера. Так, при возбуждении вибросейсмических колебаний в непосредственной близости от водоёмов преломлён-



▲ *Рис. 3. Высокоскоростные поверхностные помехи, зарегистрированные в условиях Кошильской площади.*

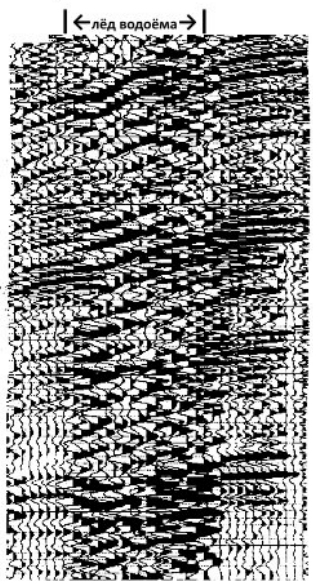


▲ *Рис. 4. Коррелограммы, зарегистрированные с использованием взаимно ортогональных расстановок сейсмоприёмников в адырной зоне Узбекистана (площадь Шуртан).*

ные от подошвы ЗМС волны, достигнув акватории водоёма, многократно отражаются от береговых линий, существенно осложняя запись, регистрируемую сейсмоприёмниками, установленными на льду. А в связи с тем, что указанные помехи распространяются в водонасыщенной среде с пониженными значениями коэффициентов поглощения, отношение сигнал/помеха существенно снижается по мере увеличения времени регистрации отражений, о чём достаточно наглядно можно судить из рис. 5.

К высокоскоростным поверхностным волнам можно также отнести волноводные (каналовые) помехи, формируемые в пределах ЗМС и являющиеся результатом интерференции за критических многократно-отражённых волн. Такие помехи оказывают значительное мешающее влияние в условиях Крайнего Севера. Действительно в отдельные годы на многих площадях, например, Западной Сибири до 30% виброграмм были осложнены волноводными помехами, принимающими вид высокочастотного нерегулярного фона [5].

Исследования, выполненные с применением технологии МСК, показали, что в зимний период приповерхностный слой на площадях, расположенных на Крайнем Севере, промерзает на глубину до 1 и более метров и по этой причине характеризуется повышенными скоростями распространения упругих колебаний. В этой связи скоростная модель ВЧР во многих случаях соответствует классическому волноводу, т.к. приповерхностный мёрзлый слой характеризуется повышенными значениями скоростей, достигающими 2700 – 4000 м/с [6], основной интервал ЗМС, являющийся фактически волноводом, характеризуется, как правило, скоростями 400 – 1500 м/с, а верхняя часть коренных пород скоростями около 1800 – 2000 м/с.



▲ *Рис. 5. Вторичные волны, преломлённые от подошвы ЗМС, регистрируемые в пределах акватории водоёма.*

Следует при этом отметить, что первичные волноводные помехи характеризуются фазовыми скоростями, изменяющимися от скорости в волноводе до скорости в подстилающих породах [3]. Поэтому они регистрируются в области первых вступлений и занимают относительно небольшой диапазон времени, в силу чего мешающее действие их на полезную запись можно, как правило, не учитывать даже при отработке удлинённых систем наблюдения. Однако, встречая на своём пути акустические неоднородности, связанные с песчаными гривами, термокарстовой геоморфологией, с корневой системой деревьев, с оврагами, береговыми линиями рек и озёр, с другими неровностями рельефа местности, волноводные помехи претерпевают отражения и возвращаются под разными углами к линиям наблюдения, формируя, таким образом вторичные колебания, регистрируемые в виде нерегулярного фона.

В качестве примера на рис. 6 приведены коррелограммы, зарегистрированные по технологии 3D на различных участках Сугмутской площади. Из приведённого рисунка видно, что если коррелограммы, полученные для западной части площади (рис. 6, а), отличаются весьма высоким качеством, то на коррелограммах, зарегистрированных на востоке площади (рис. 6, б), полезные отражения полностью завуалированы нерегулярными волноводными помехами. Сейсмические записи, приведённые на рис. 6, б, зарегистрированы на участке распространения геоморфологических форм типа песчаных грив аккумулятивного происхождения. Такие участки характеризуются повышенной акустической неоднородностью, что и обуславливает возможность формирования вторичных волноводных помех.

Из представленного рисунка также следует, что по сравнению с отражёнными волнами волноводные помехи в данном случае отличаются более высокочастотным составом колебаний, что неизбежно приводит к значительному снижению отношения сигнал/помеха именно в высокочастотной области сигналов. Физически это связано с тем, что волновод, как известно, преобразует каналовые волны аналогично фильтру верхних частот [3] с полосой пропускания, ориентировочно определяемой выражением (1)

$$f > V_p / 2 H_в (1 + ctgL), \qquad (1)$$

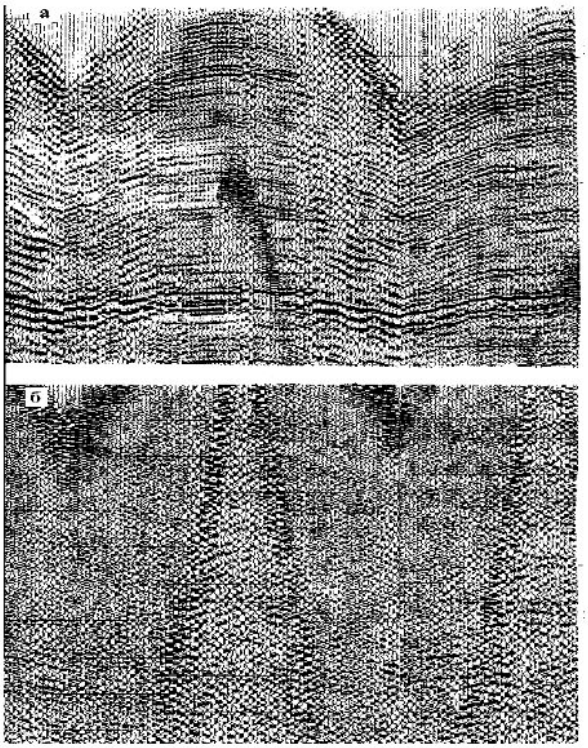
где V_p – скорость продольных колебаний в волноводе;

$H_в$ – мощность волновода;

L – угол падения волны на подошву волновода.

Заключение. Весьма значительное мешающее влияние на полезную запись при поверхностном возбуждении колебаний могут оказывать высокоскоростные поверхностные волны. К таким помехам относятся, прежде всего, кратные отражённо-преломлённые волны, формируемые в пределах ЗМС, вторичные волны, преломлённые от подошвы ЗМС, а также вторичные волноводные (каналовые) волны, регистрируемые в зимний период в условиях Крайнего Севера. Для подавления кратных отражённо-преломлённых волн в настоящее время фактически нет эффективных полевых методических приёмов. Вместе с тем, на многих площадях амплитудные значения таких помех могут существенно изменяться даже при относительно небольшом перемещении. Поэтому уменьшить их влияние можно путём

выбора оптимальных конфигураций линий приёма, обеспечивающих минимальный уровень рассматриваемых помех.



▲ *Рис. 6. Пример мешающего влияния на полезную запись волноводных помех.*

Вторичные волны, преломлённые на подошве ЗМС, также как и кратные отражённо-преломлённые волны, в основном, существенно превышают по интенсивности полезные колебания. Более того, при боковом подходе к линии профиля эффективность их подавления линейными интерференционными системами резко снижается. Поэтому для ослабления указанных помех целесообразно оценивать доминирующее направление их распространения, а линии наблюдения по возможности располагать параллельно этому направлению, повышая, таким образом, эффективность используемых интерференционных систем.

В течение зимнего периода в условиях Крайнего Севера высокоамплитудные вторичные волны, преломлённые от подошвы ЗМС, в основном, регистрируются сейсмоприёмниками, устанавливаемыми на льду водоёмов. Вторичные же волноводные (каналовые) помехи, интенсивность которых также, как правило, значительно превышает амплитуду полезных колебаний, в основном, формируются на участках распространения геоморфологических форм типа песчаных грив аккумулятивного происхождения. Указанные обстоятельства, безусловно, следует учитывать при проектировании системы профилей.

Литература

1. Гурвич И.И., Боганик Г.Н., Сейсмическая разведка. – М.: Недра, 1980, 551 с.

2. Завалко Е.В., Земцов Е.Е., Рамазанова С.М., Кострыгин Ю.П. Об одном виде помех, регистрируемых при сейсморазведочных работах в Юго-Западном Таджикистане. – Изв. АН Тадж. ССР, Отд. физ. – матем. и геолог.- хим. наук. 1974. - №1. – С. 58-65.

3. Кейлис-Борок В.И., Интерференционные поверхностные волны. – М.: АН СССР, 1960, 195 с.

4. Козлов Е.А. Об одном виде помех при сейсморазведке МОВ на юге Кубани. Сб. Разведочная и промысловая геофизика, 1961. - №41. М., Гостоптехиздат. – М. – С. 21 - 25.

5. Кострыгин Ю.П., Вибросейсмический и кодоимпульсный методы сейсмической разведки. – Краснодар: Просвещение – Юг, 2014, 494 с.

6. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И. И. Гурвича, В. П. Номоконова. – М. : Недра, 1981. – 464 с.

Подход к восстановлению скоростных характеристик верхней части разреза на основе данных нестационарных электромагнитных зондирований

- И.А. Шелохов, АО ИЭРП, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;
- И.В. Буддо, АО ИЭРП, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;
- А.С. Смирнов, ООО «Газпром геологоразведка», ФГБОУ ВО «ТИУ», г. Тюмень.

Аннотация

Подавляющее большинство месторождений нефти и газа Западной Сибири находятся в области распространения многолетнемерзлых пород (ММП). При интерпретации материалов сейсморазведочных работ на территориях, где развиты ММП, необходимо учитывать их влияние на материалы сейсморазведки. Недоучёт влияния ММП на форму отражающих горизонтов может привести к значительным ошибкам в структурных построениях.

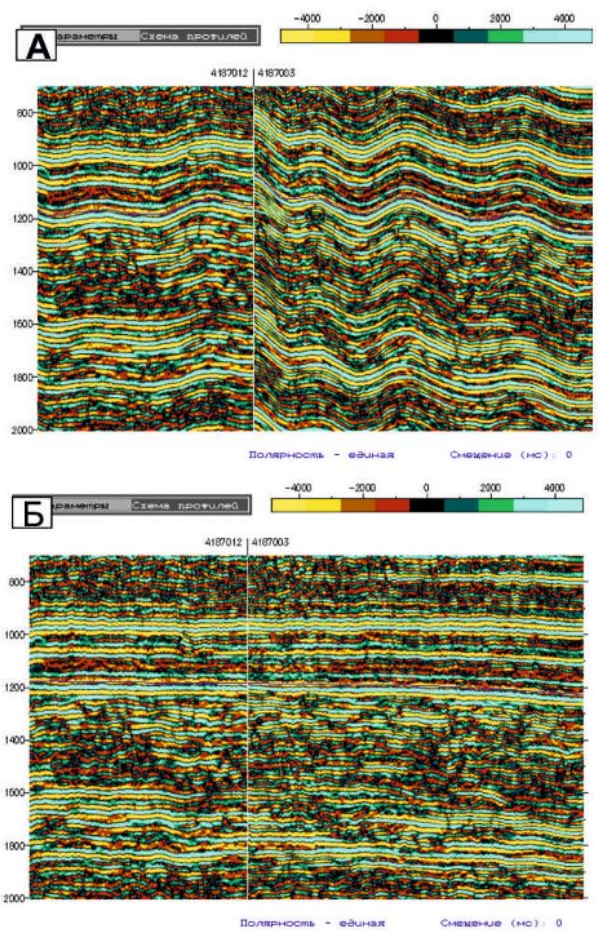
По результатам математического моделирования и на основе экспериментальных данных показано, что практическое применение разработанной методики приводит к повышению качества обработки данных сейсморазведки, т.е. позволяет повысить точность геологических моделей месторождений нефти и газа.

Введение

Области распространения многолетнемерзлых пород (ММП) занимают около 5 млн. км2 территории России [10]. Значительное количество разведанных месторождений России, как рудных так и нерудных, также сосредоточены в области распространения ММП.

Одним из немаловажных является вопрос влияния ММП на ухудшение качества материалов сейсморазведочных работ при поисках на нефть и газ на территории Западной Сибири.

При интерпретации материалов сейсморазведочных работ на территориях, где развиты ММП, необходимо учитывать их влияние на материалы сейсморазведки. Источником такого влияния выступают скоростные аномалии, сосредоточенные в относительно тонком, но неоднородном по толщине приповерхностном интервале залегания слоёв многолетнемерзлых пород. Недоучёт влияния ММП на форму отражающих горизонтов может привести к значительным ошибкам в структурных построениях и ухудшению волновой картины во всем временном диапазоне (Рис1.).



▲ *Рис. 1. Пример сейсмического разреза, осложненного влиянием ВЧР (по данным ОАО «СибНАЦ», 2003): а – до коррекции; б – после коррекции за ВЧР*

При расчете статических поправок традиционными методами (путем сглаживания вариаций времен годографа) на разрезе возникают искусственные синклинали. Комбинация глубоких низкочастотных вариаций статических задержек с интенсивным полем помех, затрудняющих прослеживание отражений, создает трудноразрешимую ситуацию [7].

Поправки за влияние локальных изменений свойств ММП определяются заменой слоя после проведения детального скоростного анализа. Значения скоростей для расчёта поправок за ММП снимаются по траектории прослеживания горизонтов, связанных с мерзлотой, или по условному уровню ниже ММП.

Авторами предлагается подход к восстановлению упругих свойств верхней части разреза по данным малоглубинных зондирований становлением поля в ближней зоне (мЗСБ.)

Повышение информативности модели ВЧР

Проблема учета влияния сложной ВЧР на данные сейсморазведки освещалась в работах многих исследователей [2, 3, 4].

Верхняя часть разреза может характеризоваться как повышением, так и понижением скоростей с глубиной. Первый тип разреза более распространен, второй наблюдается главным образом в районах многолетней мерзлоты, особенно в зимнее время. И тот, и другой тип разреза может осложняться наличием тонких высокоскоростных прослоев. Распределение скоростей по латерали определяется соотношением льда и свободной воды в порах породы. Скорость продольных колебаний изменяется от 2700-4000 м/с в мерзлых терригенных породах до 1500-2500 м/с в зонах «растеплений».

Изменения скорости в мерзлых породах зависят от температуры, пористости и влагонасыщенности. Наибольшее увеличение скорости при промерзании происходит в рыхлой грубозернистой породе (до 5 раз в чистом кварцевом песке). При этом значительную роль играет, видимо, и уплотнение породы за счет возникающих при промерзании давлений. Присутствие глинистого материала сглаживает скачок скорости продольных волн (повышение в глинах на 10-20 %). Дифференцированность отложений ВЧР может возрастать по сравнению с талой породой за счет переменной льдистости. Даже в литологически однородной породе (песок), температура в которой в интервале нескольких десятков метров практически постоянна, при акустическом каротаже наблюдались изменения скорости от 2000 до 4500 м/с.

Учет неоднородностей мерзлоты различными способами с точки зрения характера распределения и величин остаточных ошибок может привести к неоднозначным и неудовлетворительным результатам.

Минимальный (4 - 6 м) уровень среднеквадратических остаточных погрешностей глубин Ногт после ввода поправок за мерзлоту наблюдается только для относительно глубоко залегающих (более 2000 м) горизонтов при поперечных размерах аномалий 1 – 6 км.

Во всем остальном спектре глубин и размеров аномалий учет неоднородностей мерзлоты статическими поправками не обеспечивает соответствующей корректировки Vогт. Остаточные погрешности глубин Ногт при этом меняются в самых широких пределах.

Использование методики учета преломлённого луча во многом зависит от качества и степени сглаживания полученных горизонтальных спектров, парамет-

ров их расчета, последующей увязки рассчитанных значений интервальных скоростей и других особенностей самой методики [3].

«Золотой серединой» является сочетание обоих методов, однако без наличия детальной скоростной модели они будут вносить ошибки друг в друга.

Вместе с тем, в условиях Западной Сибири получить детальную модель ВЧР возможно при помощи методов индуктивной электроразведки. Геоэлектрические условия Западной Сибири благоприятны для использования метода мЗСБ. Отличительной особенностью литологии отложений осадочного чехла Западной Сибири является его относительно «молодой» – мезо-кайнозойский возраст, типично осадочного происхождения. Это обуславливает слабую литификацию отложений, относительно большое распространение слабосцементированных пород, что отражается в геоэлектрических характеристиках разреза.

Так, за счет наличия в разрезе относительно «молодых» мезо-кайнозойских отложений, осадочный чехол территории исследования характеризуется низкими значениями УЭС. На фоне высокопроводящего разреза повышенным электрическим сопротивлением могут обладать многолетнемерзлые горные породы верхней части разреза.

Методика специальной обработки данных мЗСБ позволит восстановить из детальной геоэлектрической модели ВЧР скоростную модель.

Методика работ методом мЗСБ

Метод ЗСБ является одним из ведущих методов электроразведки и применяется для решения широкого круга геологических задач.

Данный метод относится к группе индуктивной электроразведки с искусственными источниками электромагнитных полей. Среди различных вариантов источников и приемников электромагнитного поля наиболее распространены установки типа «петля - петля» либо «петля в петле». Это объясняется высокой технологичностью подобного рода установок, не требующих устройства заземлений, что позволяет проводить исследования в любое время года.

Работы методом мЗСБ проводились с использованием электроразведочной станции «FastSnap» [8].

Площадные сети использовались для решения задач детального картирования верхней части разреза. Такие сети проектируются по заранее имеющейся сети сейсмических профилей. Плотность таких наблюдений составляет 33 ф.т./км^2 Использование площадных высокоплотных сетей наблюдений делает возможным восстановление модели ВЧР с высокой степенью детальности [8, 13].

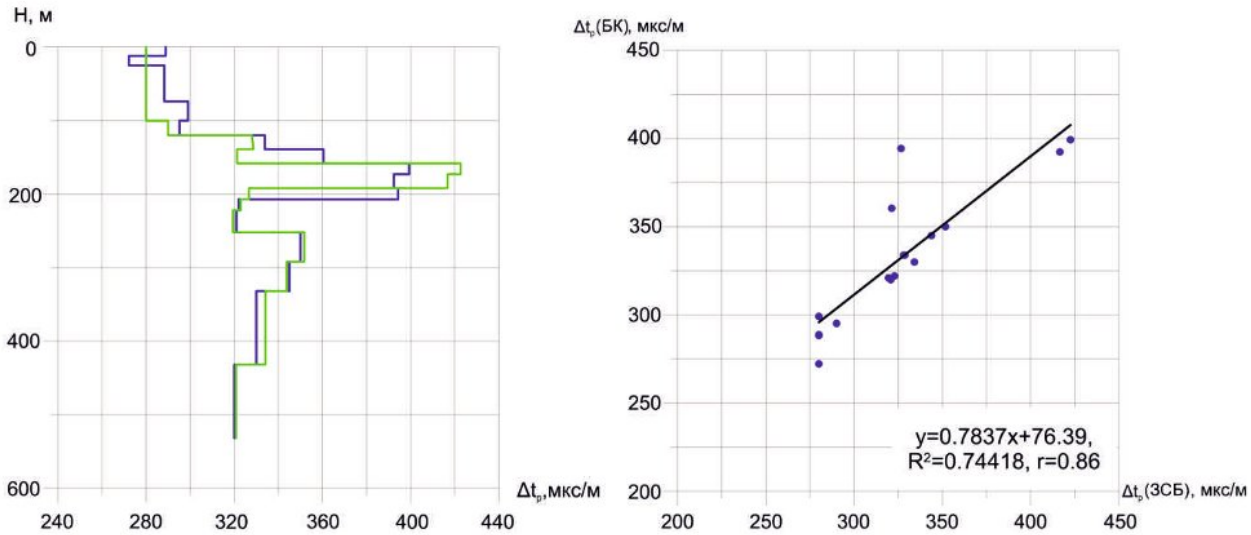
Прогноз акустических свойств разреза на основе эмпирических зависимостей Фауста

Для того, чтобы от геоэлектрических свойств пород перейти на акустические, возможно использование эмпирических зависимостей. Зависимость между удельным электрическим сопротивлением и скоростью продольных волн впервые была представлена Л. Фаустом в 1953 г. [11], (1).

Первоначальная форма эмпирической зависимости Фауста:

$$sonic = const \times (TVD \times Resistivity)^{(-exp)} \quad (1)$$

где sonic – интервальное время пробега продольной волны, TVD – глубина в футах, resistivity – удельное электрическое сопротивление, const и exp – эмпирические коэффициенты уравнения [12].



▲ *Рис. 2. Акустические модели, рассчитанные по БК и по ЗСБ. а – сходимость моделей; б – кроссплот корреляционной зависимости.*

Авторами была проанализирована возможность применения данного эмпирического уравнения для восстановления акустических свойств разреза по данным мЗСБ.

Следующим шагом выполнялся расчет и калибровка эмпирических коэффициентов уравнения Фауста. Для расчета коэффициентов использовалась опорная скважина. Основные требования для такой скважины - это наличие акустического и бокового каротажа в как можно более широком диапазоне глубин, начиная от первых метров. Производится многократная итерация пересчета бокового каротажа в акустический. Первым производится подбор экспоненты ввиду того, что именно она отвечает за уровень итоговой кривой, константа при этом фиксируется. При достижении корректного уровня кривой экспонента фиксируется и производится подбор константы.

Для исследуемой площади были приняты коэффициенты: const =1470, exp =0.155.

С учетом уравнения Фауста геоэлектрическая модель по данным мЗСБ была пересчитана в акустическую модель. Достоверность применения уравнения к данным ЗСБ можно оценить исходя из анализа полученных акустических моделей, рассчитанных из БК и из ЗСБ (Рис. 2).

Скоростные модели, полученные в результате выполненых преобразований, также обладают высокой корреляционной зависимостью. Средняя ошибка восстановления Δtp составляет 4% (Табл. 1).

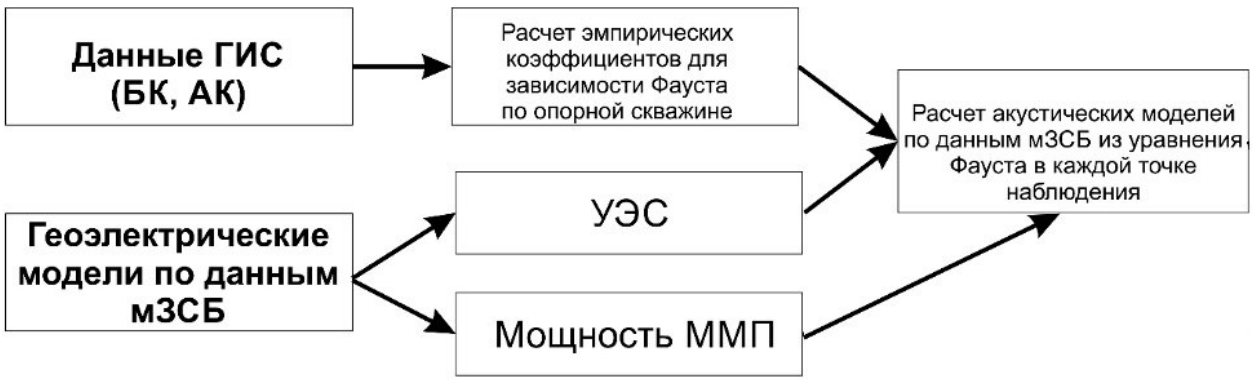
▼ *Табл. 1. Ошибка восстановления Δtp*

Δtp (ГИС), мкс/м	Δtp (ЗСБ), мкс/м	ошибка, %
436	438	0.4
441	442	0.2
397	376	5.2
361	369	2.2
327	345	5.5
364	325	10.7
средняя ошибка, %		4.06

Комплексная методика восстановления скоростных характеристик разреза

Доказав правомерность применения эмпирической зависимости, был составлен граф расчета скоростной модели ВЧР (Рис. 3).

Первым шагом выполняется калибровка коэффициентов уравнения Фауста на эталонной скважине, далее выполняется преобразование геоэлектрических моделей, полученых по данным мЗСБ, в



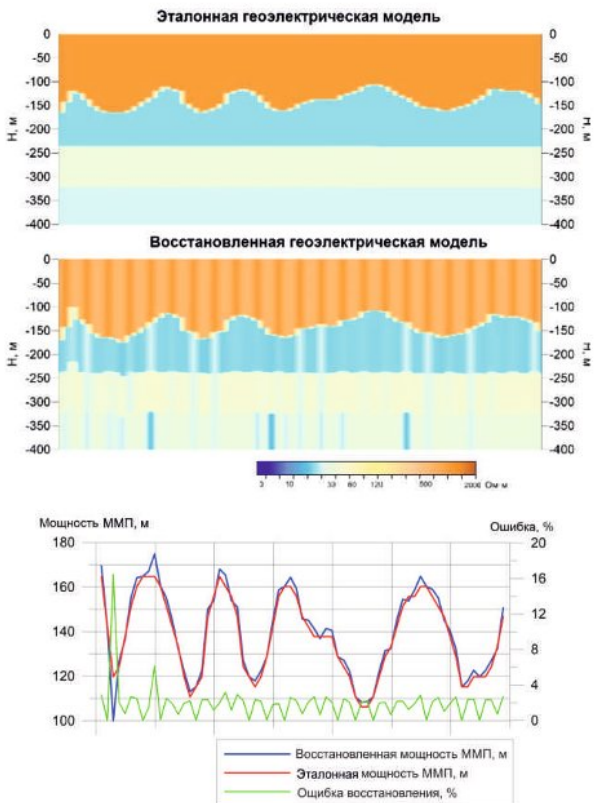
▲ *Рис. 3. Принципиальная схема расчета скоростной модели ВЧР на основе данных мЗСБ через эмпирические зависимости Фауста.*

акустические модели. За счет высокой пространственной плотности данных мЗСБ акустические модели получены с шагом 100×300 м. Помимо геоэлектрических харатеристик, мЗСБ позволяет с высокой степенью детальности восстановить структуру ММП, которая, в свою очередь, является неотъемлемой частью модели ВЧР.

Оценка точности восстановления структуры современных ММП

Для успешного применения методики необходимо восстанавливать модель ВЧР с высокой точностью. Существуют различные методы изучения ММП, такие как: электротомография, сейсморазведка методом лучевой томографии и др. Однако существуют сложности, связанные с трудностями выполнения полевых работ в зимний период, а также сравнительно низкой глубинностью методов. Методы малоглубинной индуктивной электроразведки хорошо зарекомендовали себя в данном вопросе [8, 13].

Чтобы подтвердить эффективность применения метода мЗСБ для картирования структуры ММП, было проведено математическое моделирование. На основе данных бокового каротажа была построена геоэлектрическая модель ВЧР. По данной модели были сгенерированы кривые ЗСБ и проведена инверсия. Инверсия выполнялась в автоматическом режиме на основе алгоритма Нелдера-Мида. Раскреплялись параметры мощности и УЭС слоев. По результатам выполненной инверсии средняя погрешность определения мощности ММП составила 1.7%, что соответствует 2.4 м (Рис. 4).



▲ *Рис. 4. Геоэлектрическая модель ММП: А – Эталонная геоэлектрическая модель; Б – восстановленная геоэлектрическая модель; В – график ошибки восстановления мощности ММП*

Исходя из проведенного исследования можно сделать уверенный вывод, что метод м3СБ картирует области распространения ММП с высокой точностью.

Возможности применения методики для уточнения модели ВЧР

В основе обоснования любого подхода лежит математическое моделирование. Сущность эксперимента заключается в обосновании предлагаемой выше методики на основе математического моделирования сигналов м3СБ и данных сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ).

Эксперимент включает в себя следующие процедуры:

1. Создание акустической модели изучаемого объекта на основе данных акустического каротажа одной из скважин исследуемого участка и осложнение ВЧР слоем многолетнемерзлых пород с неравномерной мощностью.

2. Расчет синтетических сейсмограмм.

3. Создание геоэлектрической модели ВЧР на основе данных бокового каротажа, структура ММП задается равнозначно акустической модели.

4. Создание синтетических кривых ЗСБ и их зашумление.

5. Автоматическая инверсия зашумленных данных ЗСБ.

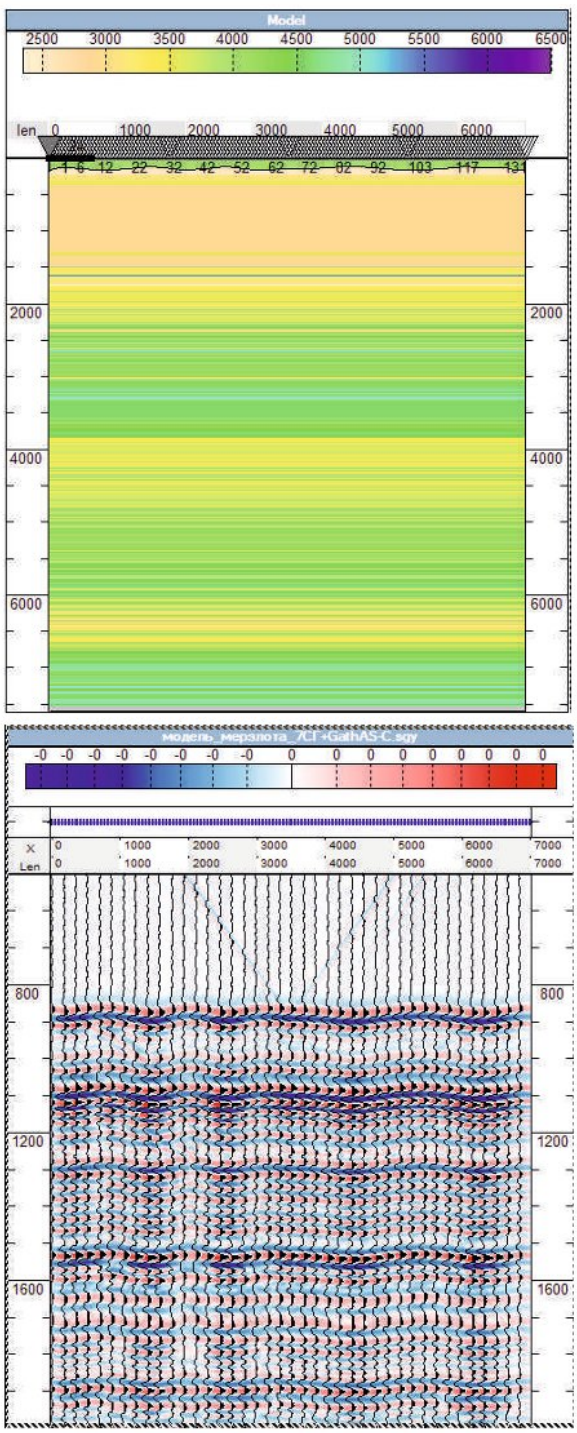
6. Расчет статических поправок на основе первых вступлений.

7. Расчет статических поправок на основе данных м3СБ по предложенной методике.

8. Ввод статических поправок и сравнение итоговых синтетических разрезов.

Моделирование волновой картины производилось в программном комплексе Tesseral Pro. Модель создана на основе данных акустического каротажа. Далее в модель внедрялся слой, ММП мощность которого варьируется от 100 до 170 м. Скорость продольных волн в слое ММП составляет 4000 м/с, что в свою очередь соответствует высокольдистым ММП.

Расчет синтетических сейсмограмм выполнялся при помощи свертки скоростной модели с импульсом Риккера частотой 25 Гц (Рис. 5).

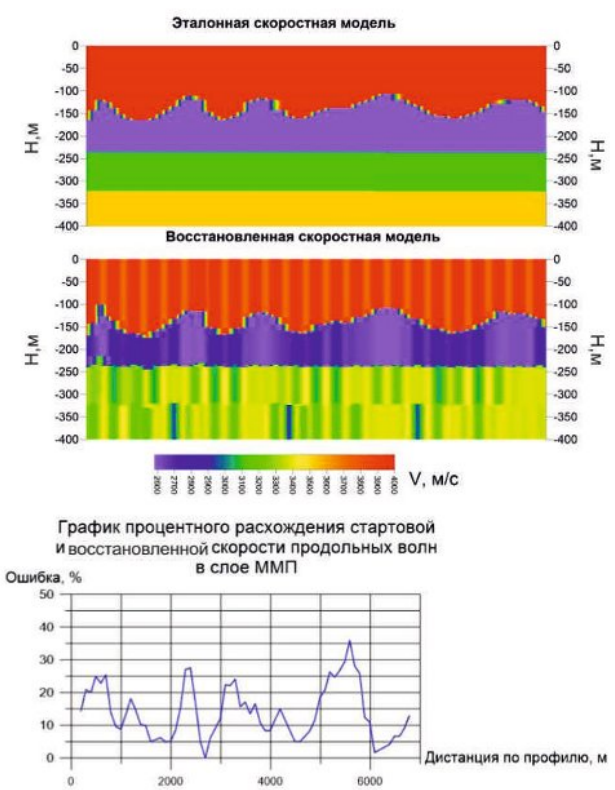


▲ *Рис. 5. Скоростная модель со слоем ММП: А – скоростная модель; Б – сейсмический отклик без дополнительной обработки (Tesseral Pro)*

Следующим шагом была построена геоэлектрическая модель ВЧР на основе данных бокового каротажа. Геометрия слоя ММП неравномерной мощности был взята с построенной ранее акустической модели. Был выполнен расчет синтетических кривых. Автоматическая инверсия производилась на основе алгоритма Нелдера-Мида. По результатам инверсии восстановленная геоэлектрическая модель конвертировалась в акустическую. Далее, зная мощность ММП и восстановив скоростную модель, можно произвести расчет статических поправок.

Скорости продольных волн по данным ЗСБ восстанавливаются с средней погрешностью 14%, что соответствует 550 м/с (Рис. 6).

Известно, что статические поправки рассчитываются различными способами, в нашем случае будет использован один из традиционных методов – расчет



▲ *Рис. 6. Скоростная модель ММП по данным мЗСБ*

статических поправок по первым вступлениям [1].

Первые вступления аппроксимируется гиперболой, после чего подбирается скорость таким образом, чтобы гипербола соответствовала первым вступлениям. В нашем случае скорость была равна 4110 м/с.

Далее производился расчет статических поправок на основе представления, что средняя мощность неоднородного слоя ММП составляла примерно 200 м. Полученные статические поправки были введены в разрез, обработанный по стандартному графу.

Анализируя структурные построения по полученным разрезам был сделан вывод, что средняя погрешность определения целевого горизонта составляет 20 м (15 мс), что в свою очередь является недостаточно точным результатом.

Следующим шагом был выполнен расчет и ввод статических поправок на основе данных мЗСБ. За основу для расчета была взята скоростная модель ВЧР, восстановленная ранее на основе результата автоматической инверсии. Для расчета статических поправок использовалась мощность ММП, восстановленная по результатам инверсии, и скорость в слое ММП, полученная в результате применения уравнения Фауста. Далее полученные статические поправки были введены в сейсмограммы, обработанные теми же процедурами, что и в первом случае, в две итерации: ввод статики и коррекция.

Анализ структурных построений по целевому горизонту позволил сделать вывод, что применение статических поправок по данным ЗСБ позволило достичь средней погрешности в 4 м (5 мс).

Чтобы оценить, какой из методов определения статических поправок дает

наиболее точный результат, было выполнено сопоставление различных вариантов расчета статических поправок (Рис. 7). Исходя из полученных разрезов видно, что расчет статических поправок по первым вступлениям искажает разрез и дает невыдержанность отражений, в свою очередь статические поправки по данным ЗСБ позволяют получить выдержанные отражения и наиболее близкие к стартовой модели структурные построения (Рис. 8).

Верификация структурных построений с использованием эффективных скоростей $V_{огт}$

Под эффективной скоростью понимают скорость в однородной среде с плоской отражающей границей, определяемой по соответствующему ей гиперболическому годографу ОГТ, наилучшим образом совпадающему с наблюдаемым годографом. Правило наилучшего совпадения подразделяет такие скорости на два вида: интегральные и предельные [6].

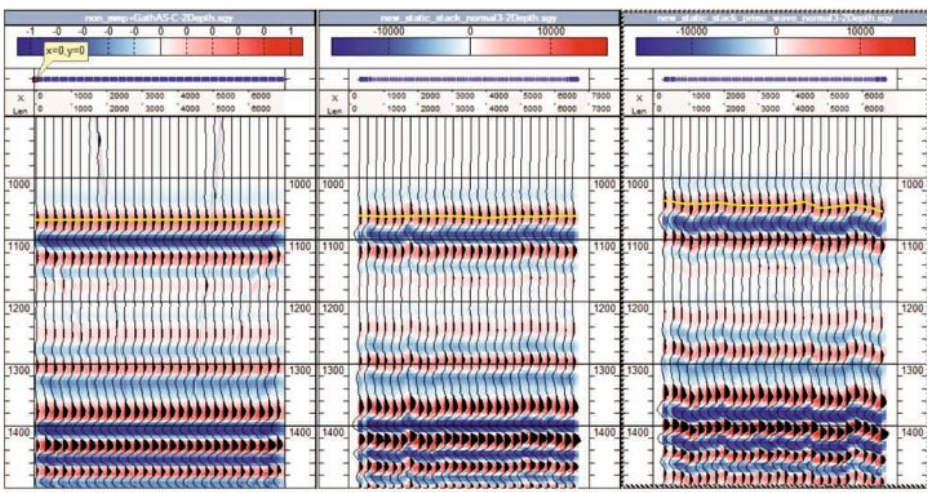


Рис. 7. Сопоставление разных подходов к расчету статических поправок с эталонным разрезом: А – эталонный разрез; Б – разрез со статическими поправками по данным ЗСБ; В – разрез со статическими поправками по первым вступлениям.

1 *Условные обозначения: 1- целевой горизонт*

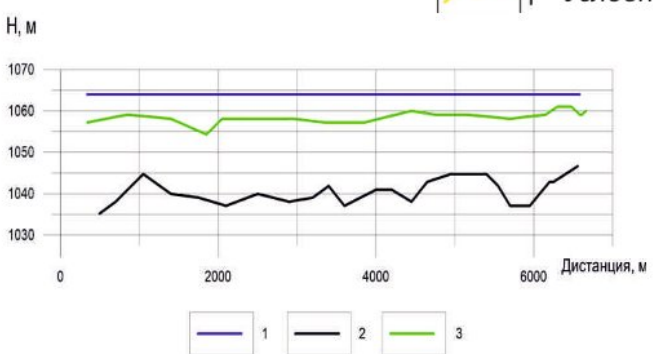


Рис. 8. Анализ структурных построений с применением различных подходов к определению статических поправок. Условные обозначения: 1 – отметка целевого горизонта без осложняющего влияния ММП (эталон); 2 – отметка целевого горизонта со статическими поправками по первым вступлениям; 3 – отметка целевого горизонта со статическими поправками по данным мЗСБ.

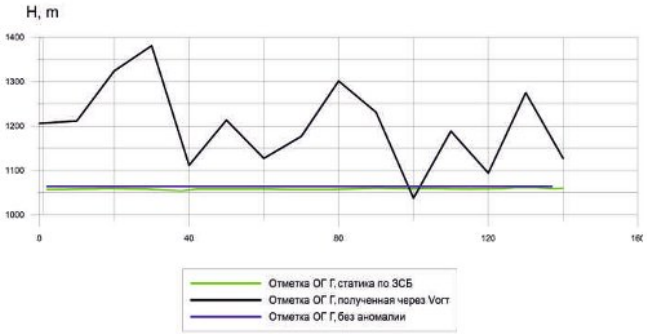
Традиционно $V_{огт}$ используется для восстановления глубин по верхнему отражающему горизноту. Отметка отражающего горизонта расчитывается по формуле:

$$H = t0 * V_{огт} / 2$$

Скорости $V_{огт}$ анализировались по вертикальным спектрам скоростей, затем времена t0 целевого горизонта пересчитывались в глубины.

Исходя из полученных структурных построений, можно сделать вывод, что глубины, полученые таким путем, без дополнительного учета влияния ММП, имеют среднюю ошибку порядка 100 м (Рис. 9).

Таким образом, неучёт влияния ММП влечет за собой катастрофические ошибки в структурных построениях.



▲ *Рис. 9. График структурных построений по целевому горизонту*

О перспективах дальнейших исследований

Как известно, современные подходы к учету неоднородностей ММП заключаются не в определении и вводе среднепериодно-длиннопериодных статических поправок, а в построении эффективной модели мерзлоты и дальнейшем использовании этой модели в качестве априорной информации при решении обратной кинематической задачи сейсморазведки (кинематической инверсии).

Например, детальный анализ специфики проблемы, особенностей применения современных алгоритмов кинематической инверсии, влияния различных факторов ВЧР (и, в частности, ММП) – содержится в монографии Долгих Ю.Н. [3] В той – же работе упоминается о перспективах несейсмических методов (и, в частности, электроразведки) для получения независимой информации о модели ВЧР.

Поэтому следующим логическим шагом может быть поиск путей рационального комплексирования, интеграции сейсмических и электроразведочных данных с целью построения более точной глубинно-скоростной модели геологического разреза, включающей модель ВЧР.

Для этого необходимо будет разработать и обосновать наиболее эффективную методическую схему кинематической обработки и интерпретации сейсмических данных, включающую использование (на определенном этапе) модели мерзлоты, построенной с применением электроразведки, в том числе способы верификации и адаптации данной модели.

Нет сомнений, что подобная комплексная технология будет способствовать дальнейшему повышению точности построения структурного каркаса геологических моделей.

Заключение

Очевидно, что влияние слоя многолетнемерзлых пород необходимо учитывать при обработке данных сейсморазведки в условиях Западной Сибири. Если коротко- и среднепериодные статические поправки можно получать из данных той же сейсморазведки, то прогноз длиннопериодных статических поправок – задача актуальная. По результатам проведенных исследований показано, что для прогноза «статики» можно использовать геоэлектрические модели ВЧР, полученные в ходе инверсии кривых мЗСБ. Применение зависимости Фауста позволяет прогнозировать упругие свойства верхней части разреза на основе данных мЗСБ, таким образом выполнять построение скоростной модели ВЧР. Восстановление акустических моделей производится не только с высокой точностью, но и с высокой пространственной плотностью. Расчет и введение статических поправок на основе данных мЗСБ позволяет получить более информативные временные разрезы и повысить точность структурных построений.

Также необходимо отметить, что разработанная методика позволит снизить уровень неопределенности при решении задачи кинематической инверсии сейсмических данных.

Практическое применение разработанной методики приведет к повышению качества обработки данных МОГТ, т.е. позволит повысить точность геологических моделей месторождений нефти и газа.

Благодарности

За непрерывную поддержку исследований на всех этапах их выполнения авторы выражают искреннюю благодарность генеральному директору АО «ИЭРП» к.т.н. Ю.А. Агафонову, а также ведущему научному сотруднику Института земной коры СО РАН

профессору, д.г.-м.н. А.В. Поспееву. За активное сотрудничество и интерес к данной работе авторы благодарят сотрудников ИТЦ компании ООО «Газпром геологоразведка». За проявленный интерес к работе и ценные советы по развитию методики авторы благодарят ученого секретаря ООО «НОВАТЭК НТЦ» д.г.-м.н. Долгих Ю.Н.

Литература

1. Бондарев В.И., Крылатков С.М. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Издание второе исправленное и дополненное. В двух томах. Т2. Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2011.408 с.

2. Бондарев В.И., Крылатков С.М., Смирнов А.С. Временные разрезы направленного видения в сейсморазведке методом многократных перекрытий //Технологии сейсморазведки. – 2005. – №3. – С.49-55.

3. Долгих Ю.Н. Комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных сейсморазведки в условиях неоднородной верхней части разреза. дисс. док. геол-минерал. наук. Тюмень, 2017. -306 с.

4. Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П., Жуков А.А., Шнеерсон М.Б. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии. ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. - 227 с.

5. Рекомендации по компексированию геофизических методов при мерзлотной съемке/ПНИИИС - м .: Стройиздат,1987.-88 с.

6. Ризниченко Ю.В. О сейсмической квазианизотропии // Изв. АН СССР. Серия географ. и геофиз., 1949, No 6, с. 518—543

7. А.А. Табаков, В.Н. Ференци, Л.В. Калван, Степченков, А.С. Колосов Проблемы сейсморазведки в зонах вечной мерзлоты и их решение в технологии сейсморазведки высокой четкости. Нефть газ новации, 2, 28-35, 2016, Самара.

8. Шарлов М.В., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Агафонов Ю.А. Опыт эффективного изучения верхней части разреза методом зондирования становлением поля в ближней зоне с системой Fastsnap. // Приборы и системы разведочной геофизики № 2. Саратов. 2017.

9. Шелохов И. А., Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Агафонов Ю.А. Опыт применения малоглубинных электромагнитных зондирований для изучения криолитозоны // Сборник: 13th EAGE Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering Geophysics 2017

10. Brown J., Ferrians O.J., Heginbottom J.A., and Melnikov E.S. Circum-Crctic map of permafrost and ground ice conditions, Circum-pacific map series, 1997

11. Faust, L.Y., 1953. A velocity function including lithologic variation. Geophys., 18, 271–288.

12. G. Mavko, T. Mukerji, and J. Dvorkin. The rock physics handbook, second edition. Cambridge university press, 2009. – 511 с.

13. M.V. Sharlov, I.V. Buddo, N.V. Misyurkeeva, I. A. Shelokhov, Yu. A. Agafonov Transient electromagnetic surveys for high-resolution near-surface exploration: basics and case studies. First break volume 35. September 2017

Подробнее об авторах



Шелохов Иван Антонович.

Геофизик АО ИЭРП

Ведущий инженер Институт земной коры СО РАН



Буддо Игорь Владимирович
канд. геол.-мин. наук,
заместитель главного геофизика АО ИЭРП,

Ведущий инженер Институт земной коры СО РАН



Смирнов Александр Сергеевич
канд. геол.-мин. наук, начальник отдела интегрированного анализа геологогеофизических данных Инженерно-технического центра ООО «Газпром геологоразведка» доцент кафедры Прикладной геофизики Тюменский индустриальный университет

Интерпретационное сопровождение обработки данных сейсморазведки

Кириллов С.А.,. Чаплыгин А.В, АО «Центральная геофизическая экспедиция», г. Москва

Сейсмический метод становится все более безальтернативным при детальной разведке залежей углеводородов, позволяющим в комплексе со скважинными данными строить пространственную геологическую модель залежи углеводородов, которая является основой подсчета запасов – заключительной стадии разведки [1].

Главной геологической задачей обработки данных сейсморазведки является получение кинематически и динамически согласованной сейсмической информации высокого разрешения, пригодной для построения структурно-тектонической модели и прогноза фильтрационно-емкостных свойств залежи углеводородов в межскважинном пространстве. Оптимальное решение поставленной задачи достигается за счет сопровождения обработки сейсмических данных с точки зрения результатов геологической интерпретации, которые должны быть увязаны со всеми имеющимися сведениями о геологическом строении региона, включая результаты других геофизических методов, скважинных исследований и соответствовать принятой принципиальной геологической модели площади.

Идеальный интерпретатор сочетает в себе знания двух областей знаний. Он хорошо разбирается в процессах возбуждения, распространения и регистрации сейсмических волн, с влиянием геологической среды, технических и программных средств возбуждения, регистрации и обработки на свойства сейсмических волн. В тоже время, геологические знания помогают ему проанализировать массу информации о регионе и обосновать наиболее правдоподобную геологическую картину, описанную в волновом сейсмическом поле и согласованную со скважинными данными.

Способность делать геологические выводы по совокупности геолого-геофизической информации определяется не только интуицией интерпретатора, а глубоким знанием и пониманием физических процессов формирования геологических объектов. Например, уменьшение временных интервалов между отражениями вниз по падению пласта может быть вызвано как нормальным увеличением скорости с глубиной, так и уменьшением мощности отложений, а появление аномальных скоростных объектов в верхней части разреза может вызвать иллюзию появления структур в более глубоких горизонтах.

Главной целью кинематической интерпретации данных сейсморазведки и ГИС является построение структурно-тектонической модели среды. Какие именно структуры присутствуют в исследуемом районе, какие структурные элементы связаны между собой, определяет тектоническая обстановка района. Поэтому интерпретатору, необходимо предварительно провести анализ разнообразных геологических объектов, оценить возможные типы структур и структурных элементов – складки, рифы, разломы, поверхности несогласия, палеорусла и стратиграфические ловушки.

В настоящее время перед сейсморазведкой ставятся не только структурные задачи, но и задачи прогноза физических свойств горных пород. Решение этих задач составляет содержание динамической интерпретации данных сейсморазведки: распределение изменений

физических свойств горных пород в пространстве при изменении динамических параметров сейсмических сигналов отраженных волн – амплитуд, периодов, частот, коэффициентов затухания волн и их производных. Цель динамической интерпретации – извлечение информации о детальном строении изучаемого объекта путем перехода от динамических характеристик волнового поля к геологическим характеристикам объекта – литологическому составу, коллекторским свойствам, мощности коллектора, содержанию углеводородов. Совокупность скважинных данных и результатов кинематической и динамической интерпретации сейсмических данных дает возможность построить структурно-тектоническую и спрогнозировать ФЕС продуктивного пласта.

Мигрированное волновое поле, полученное после обработки полевых сейсмических данных, является совместно с данными ГИС основой для комплексной геологической интерпретации. Для подчеркивания особенностей сейсмического поля дополнительно получают поля сейсмических атрибутов: мгновенные амплитуда, частота, фаза, ПАК, инверсии и т.п.

Для решения интерпретационных задач разработано и используется соответствующее программное обеспечение, в частности DV-SeisGeo, DV-Discovery (ОАО ЦГЭ)[4], Petrel (Schlumberger), GeoGraphix Discovery (Landmark), Kingdom Suite (Seismic Micro-Technology), SeisEarth (Paradigm Geophysical) и др. В результате использования интерпретационного программного обеспечения в практике сейсморазведки вошел термин –интерпретационная обработка. К ней относят все операции, включая общую кинематическую интерпретацию, выделение целевых интервалов, интервальный сейсмогеологический анализ, интерпретацию сейсмогеологических комплексов в рамках тонкослоистых моделей сред и т.д. Причем в интерпретационный процесс вовлекаются данные ГИС, результаты других геофизических методов и собственно геологические данные[2, 3].

Из этого следует, что основными исходными данными, предназначенными для геологического истолкования комплекса сейсмических данных, является сейсмический разрез или куб, данные ВСП, каротажные кривые по скважинам, стратиграфические отметки опорных и целевых горизонтов, пористость, проницаемость, эффективная толщина коллектора и т.д.

Поэтому обработка сейсмических данных заключается в выделении целевых горизонтов из исходных сейсмограмм и служит для:

- исключения из сейсмической записи влияния факторов не связанных с однократно отраженными волнами (поверхностные условия, система наблюдений, регулярные и случайные волны помехи и др.);
- повышения соотношения сигнал /помеха;
- повышения временной разрешенности сейсмической записи (расширение частотного состава сигнала);
- повышения пространственной разрешенности записи;
- сохранения амплитудной разрешенности (ВСА-Обработка);
- восстановления истинных положений наклонных границ путем выполнения сейсмической миграции.

После обработки в комплексной интерпретации используются мигрированные сейсмические кубы и разрезы с реальным соотношением амплитуд, с высоким соотношением сигнал/помеха,

с максимальной разрешенностью записи с целью уверенного выделения целевых отражающих горизонтов для построения структурного плана по опорным сейсмическим горизонтам, для трассирования разрывных нарушений и прогнозирования зон распространения коллекторов.

Сам процесс обработки разбит на решение следующих основных задач:

1. Расчет априорных и корректирующих статических поправок, свойства которых сказывается на синфазном суммировании сейсмограмм ОСТ, обеспечивающее повышение соотношения сигнал/помеха и разрешенность.

2. Подавление широкого класса волн-помех различного типа: низкоскоростных (поверхностных), среднескоростных (обменного типа) и высокоскоростных (кратных) и случайных, обеспечивающее надёжное выделение и прослеживание целевых отражающих горизонтов.

3. Достижение максимально возможной временной и пространственной разрешенности сейсмической записи, обеспечивающей требуемую детальность изучения и расчленённость продуктивных и перспективных пластов в целевых интервалах разреза.

4. Сохранение соотношения амплитуд отражений и стабильности амплитудного и фазового спектров сейсмической записи с целью динамической интерпретации с данными ГИС и прогноза ФЕС.

5. Выполнение изотропной, анизотропной, и азимутальной временной и глубинной миграции до суммирований для определения пространственного положения отражающих границ, в том числе и вертикальных (тектонических нарушений).

Основные требования к обработке сейсмических данных:

- обработка сейсмических материалов выполняется по полному графу обработки с тестированием параметров и количественным контролем качества получаемых результатов после выполнения каждой значимой процедуры;
- особое внимание должно уделяется учету искажающего влияния неоднородностей верхней части разреза (ВЧР) на кинематические и динамические особенности сейсмической записи. Учёт неоднородностей ВЧР выполняется по двух этапной схеме: учёт зоны малых скоростей (ЗМС) и учёт неоднородностей ВЧР с контролем полученной модели ВЧР со скважинными данными;
- обработка проводится в широком диапазоне частот с сохранением истинного соотношения амплитуд, обеспечивающее высокое соотношение сигнал/помеха и направленна на выявление динамических и кинематических особенностей сейсмической записи;
- параметры основных вычислительных процедур определяются после тщательного тестирования, и результаты согласуются со специалистами-интерпретаторами;
- построение глубинно-скоростной модели (ГСМ) проводиться в два этапа. На первом этапе выполняется построение изотропного варианта скоростной модели. Для минимизации неоднозначности решения обратной кинематической задачи уточнение изотропной скоростной модели проводится томографическим способом, послойно, с контролем корректности получаемого результата по сходимости глубины подошвы корректируемого слоя со скважинными отметками горизонта, контролирующего подошву слоя. Количество слоёв исходной ГСМ определяется по результатам тестирования;
- миграционные преобразования выполняются во временной и глубинной областях до суммирования, с предвари-

тельным уточнением скоростей миграции и эффективных параметров анизотропии, учитывающих негиперболический характер годографа и обеспечивают выполнение прогноза свойств по результатам инверсии и AVO анализа;

- технологию выполнения миграционных преобразований (применение изотропного или анизотропного варианта) определяется путём тестирования указанных алгоритмов на выбранном полигоне. При выборе алгоритма миграционных преобразований в качестве критерия использовать сходимость полученных мигрированных сейсмограмм с синтетическими, полученными на основе двумерного моделирования по скважинным данным;

На сейсмических сечениях, полученных в результате обработки, должны надежно выделяться тектонические нарушения, зоны выклинивания и литологическое замещение пород.

Оптимальный результат обработки сейсмических данных достигается за счет интерпретационного сопровождения обработки (ИСО), т.е. промежуточные результаты обработки и интерпретации должны быть увязаны со всеми имеющимися сведениями о геологическом строении региона.

Поэтому, каждый этап обработки контролируется моделированием, расчетом и анализом седиментационных срезов в целевом диапазоне по ряду атрибутов, включая когерентность сейсмического поля, и сопоставляется со скважинными данными.

Следует отметить, что качественное результативное ИСО выполняется только при наличии необходимой скважинной информации. Комплекс ГИС должен быть выполнен во всем требуемом целевом интервале глубин единой длинной записью, а не отдельными частями по продуктивным пластам. Для качественной привязки необходимы скважинные данные аналогичные, как требуемые в сейсмической инверсии. При использовании криволинейных скважин необходимы точные данные инклинометрии.

Важным моментом интерпретационного сопровождения обработки сейсмических данных с целью получения качественного геологического результата является четкая постановка задач интерпретационного сопровождения, определение основных этапов обработки, которые сильно влияют на конечный результат и определение критериев оценки качества. Конечно, можно выполнять ИСО после каждой процедуры обработки, но это займет много времени. В табл. 1 приведена последовательность интерпретационной поддержки процесса обработки сейсмических данных для получения качественного результата, позволяющего в дальнейшем решать геологические задачи.

Интерпретационная поддержка обработки данных сейсморазведки проводится в настоящее время постоянно. Это связано с тем, что поисковые объекты залегают на больших глубинах, небольшого размера, и не всегда структурного вида. Сейсмические данные получают в сложных поверхностных и глубинных сейсмогеологических условиях. Кроме кинематических задач сейсморазведки ставятся задачи прогноза физических свойств горных пород по результатам инверсии и AVO.

В качестве примера покажем результат применения ИСО в процессе обработки данных МОГТ-3D, полученных на севере Западной Сибири. Комплекс ИСО включал в себя следующие процедуры на ключевых этапах обработки:

- расчет и анализ карт среднеквадратичных амплитуд и доминантных

▼ *Табл. 1. Этапность интерпретационного сопровождения обработки сейсмических данных.*

№ п/п	Этап	Задачи интерпретационного сопровождения	Критерии оценки результатов ан ализа
1	2	3	4
1	Ввод геометрии, расчет априорной статики и кинематики	1. Визуальный анализ сейсмического разреза. 2. Анализ соотношения сигнал-помеха в различных временных интервалах и зонах. 3. Карты амплитуд и доминантных частот в заданных временных интервалах. 4. Карта кратности. 5. Графики энергии в целевом окне по контрольным линиям.	1. Выбор контрольных линий (профилей) и характерных участков на площади для анализа параметров сейсмического поля. 2. Выбор временных интервалов и зон для анализа. 3. Полученные результаты будут использованы для сравнения с результатами обработки на последующих этапах.
2	Расчет статических и кинематических поправок	1. Модель ВЧР. 2. Статические поправки, рассчитанные за ПП и ПВ. 3. Отметки превышения рельефа. 2. Корреляция опорного горизонта. 3. Построение карты изохрон опорного горизонта. 4. Контроль прослеживаемости горизонтов. 5. Построение кроссплота Нскв/$T_{0\ гор}$. 6. Построение кроссплота изохроны-альтитуда. 7. Построение кроссплота t-dt по изохронам.	1. Улучшение прослеживаемости горизонтов послеN итераций коррекции статики и кинематики. 2. Уменьшение корреляции изохрон с рельефом после итераций статики и кинематики. 3. Уменьшение корреляции t_0 до горизонта и dt_0 между горизонтом и вышележащим горизонтом после итераций статики и кинематики. 4. Увеличение коэффициента корреляции для $H_{скв}/T_{0hor}$. 5. Увеличение амплитуд и доминантных частот в районе ВЧР без применения АРУ после итераций коррекции статики и кинематики.
3	Ослабление случайных и регулярных помех по сейсмограммам	1. Соотношение сигнал-помеха в разных временных окнах и в разных зонах и сравнение с предыдущей итерацией шумоподавления. 2. Коэффициент корреляции AVO после каждой итерации по горизонтали и по опорным горизонтам и сравнение с предыдущим. Таблица контроля качества (КК) AVO-зависимости, сравнение с теоретической Aki-Richards. 3. График энергии в окне от удалений по контрольным линиям и сравнение с предыдущим результатом. Анализ стандартного отклонения графиков. 4. Визуальная оценка сохранности характерных геологических особенностей.	1. Сохранение сигнала. 2. Сохранение геологических особенностей на волновой картине 3. Увеличение соотношения сигнал/шум. 4. Увеличение КК AVO-зависимости с теоретической Aki-Richards. 5. Уменьшение стандартного отклонения графиков энергии во временном окне от удалений возбуждение-прием.
4	Поверхностно-согласованная амплитудная коррекция (SCAC)	1. Карты и гистограммы амплитуд между опорными горизонтами и по целевым горизонтам. Оценка стандартного отклонения. Таблица с диапазоном, стандартным отклонением и средним значением. 2. Визуальная проверка сохранения	1. Минимизация амплитудных аномалий связанных с ВЧР на картах амплитуд. 2. Минимизация амплитудных аномалий связанных с условиями возбуждения (карта рельефа и орогидрографии) на картах амплитуд.

▼ *Табл. 1. (Продолжение).*

1	2	3	4
4	Поверхностно-согласованная амплитудная коррекция (SCAC)	известных и подтвержденных амплитудных и частотных аномалий. 3. Сравнение с картой рельефа, орогидрографией, картами статических поправок. 4. Анализ карт амплитуд между собой и с предыдущим вариантом, обрезанных по полигону визуально. 5. Оценка коэффициента корреляции AVO после каждой итерации по горизонтали и по опорным горизонтам, сравнение с предыдущим. Заполнение таблицы КК AVO-зависимости. 6. Графики энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнение с предыдущим результатом.	3. Уменьшение стандартного отклонения распределения среднеквадратичных значений амплитуд в опорных интервалах, между опорными горизонтами и по целевым горизонтам. 4.Сохранение известных и подтвержденных амплитудных аномалий. 5. Увеличение КК AVO зависимости с теоретической кривой поAki-Richards. 6. Уменьшение стандартного отклонения графиков энергии в окне от удалений возбуждение-прием.
5	Поверхностно-согласованная деконволюция	1. Карты и гистограммы амплитуд и доминантных частот в опорных интервалах, между опорными горизонтами и по целевым горизонтам. 2. Визуальный анализ суммарных кубов, выраженности геологических особенностей, разломов, автоматическая корреляция отражающих горизонтов. Проверка сохранения известных и подтвержденных амплитудных и частотных аномалий. 3. Сравнение с картой рельефа, орогидрографией, картами статических поправок. 4. Анализ карт амплитуд между собой, и с предыдущим вариантом, обрезанных по полигону визуально. 5. Оценка коэффициента корреляции AVO после каждой итерации в точках опорных скважин по горизонтали и по опорным горизонтам, сравнить с предыдущим. Заполнение таблицы КК AVO-зависимости. 6. Графики энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнить с предыдущим. 7. Анализ соотношения сигнал-помеха (сохранение сигнал и шум) в разных окнах и по разным зонам. Сравнение с предыдущей итерацией. 8. Визуальный анализ кубов после ФНЧ (фильтр пропускания низких частот) и ФВЧ (фильтр пропускания высоких частот).	1. Улучшение коррелируемости ОГ по суммарному кубу. 2. Сохранение или улучшение выраженности геологических особенностей и разломов. 3. Минимизация амплитудных аномалий связанных с ВЧР на картах амплитуд. 4. Минимизация амплитудных аномалий связанных с условиями возбуждения (карта рельефа и орогидрографии) на картах амплитуд. 5. Уменьшение стандартного отклонения распределения среднеквадратичных значений амплитуд и частот в опорных интервалах, между опорными горизонтами и по целевым горизонтам. 6. Сохранение известных и подтвержденных амплитудных и частотных аномалий. 7. Увеличение КК AVO зависимости с теоретической кривой Aki-Richards. 8. Уменьшение стандартного отклонения графиков энергии в окне от удалений возбуждение -прием.
6	Подавление кратных волн до миграции	1. Оценка зависимости AVO по сейсмограммам до и после вычитания кратных волн. 2. Построение графиков энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнить с предыдущим.	1. Минимизация кратных волн, сохранение сигнала. 2. Отсутствие артефактов Радон-преобразования.

▼ *Табл. 1. (Продолжение).*

1	2	3	4
7	3D регуляризация	1. Согласование распределения панелей удалений с учетом AVO зависимостей. 2. Построение графиков энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнить с предыдущим. 3. Карты кратности по удалениям. 4. Сейсмограммы после применения регуляризации в точках опорных скважин.	1. Сохранение поведения AVO после регуляризации. 2.Подобраны панели удалений.
8	Временная миграция до суммирования	1. Поле скоростей максимально сглажено и отражает только длинноволновые аномалии, связанные с геологическими изменениями в данном районе. 2. Визуальный анализ суммарного куба на предмет наличия артефактов миграции. 3. Оценка коэффициента корреляции AVO после каждой итерации в контрольных точках по горизонтали и по опорным горизонтам, сравнить с предыдущим. Таблица КК AVO-зависимости. 4. Графики энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнить с предыдущим. 5. Карты и гистограммы амплитуд и доминантных частот в опорных интервалах, между опорными горизонтами и по целевым горизонтам. Оценка стандартного отклонения. Таблица диапазона, стандартного отклонения и среднего значения. 6. Анализ карт амплитуд между собой и с предыдущим вариантом, обрезанных по полигону визуально.	1. Скоростная модель достаточно сглажена, при этом отража ет длиннопериодные аномалии, связанные с геологическими изменениями. 2. Незначительный уровень артефактов миграции, которые могут быть минимизированными постмиграционной обработкой. 3.Оценка качества восстановления наклонов и разрывных нарушений по вертикальным сечениям куба 4.Оценка улучшения латеральной разрешенности по горизонтальным временным слайсам
9	VTI-анизотропная глубинная миграция до суммирования.	1. Проверка известных и подтвержденных геологических особенностей, проверка фокусировки отражений и разрывных нарушений. Сравнение с результатом временной миграции до суммирования. 2. Карты и гистограммы амплитуд и доминантных частот в опорных интервалах, между опорными горизонтами и по целевым горизонтам. Оценка стандартного отклонения. Таблица диапазона, стандартного отклонения и среднего значения. 3. Анализ карт амплитуд между собой и с предыдущим вариантом, обрезанных по полигону визуально. Оценка необходимости выполнения дополнительной коррекции амплитуд. 4. Оценка коэффициента корреляции AVO в точках опорных скважин по горизонтали и по опорным горизонтам. Таблица КК AVO-зависимости. 5. Графиков энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнение с предыдущим. 6. Суммарный куб после миграции в глубинном масштабе. 7. Сейсмограммы в контрольных точках с кинематикой и с открытым мьютингом. 8. VTI-анизотропная глубинно-скоростная модель. 9. Энергия в окне от удалений по контрольным линиям в формате ASCII.	1. Улучшение коэффициента корреляции между реальными и синтетическими данными после применения миграции или улучшение коэффициента корреляции AVO аппроксимации. 2. Лучшая фокусировка отражающих горизонтов и разрывных нарушений на суммарном кубе и по сейсмограммам. 3. Минимальное количество артефактов миграции. 4. Ожидаемые значения невязок глубин со скважинами. 5.Оценка улучшения латеральной разрешенности по горизонтальным временным слайсам

▼ *Табл. 1. (Окончание).*

1	2	3	4
10	Контроль постмиграционной обработки по сейсмограммам (коррекция остаточной кинематики, подавление линейных помех и кратных волн). Расчет кубов угловых диапазонов и азимутальных групп.	1. Оценка коэффициента корреляции AVO в контрольных точках по горизонтали и по опорным горизонтам. Таблица КК AVO зависимости. 2. Подавление кратных и линейных волн помех и построение графиков энергии в окне от удалений по контрольным линиям, сравнить с предыдущим. 3. Анализ выровненности кубов угловых диапазонов азимутальных групп. 4. Анализ кубов результатов FEATT на физичность и непротиворечивость.	1. Хорошее восстановление AVO зависимости по реальным данным. 2. Минимизация линейных помех, частично кратных волн. 3. Хорошая выровненность кубов угловых диапазонов / азимутальных групп (в пределах 0,5 от шага дискретизации на целевом горизонте). 4 .Улучшение волновой картины для целей геологической интерпретации, КК AVO-аппроксимации по кубам.
11	Контроль постмиграционной обработки суммарных и частично кратных кубов (отбеливание по кубам, коррекция амплитуд RAAC, подавление помех и футпринтов)	1. После отбеливания суммарного куба (разреза) - визуальный анализ результата. 2. После отбеливания, подавления помех и футпринтов по суммарному кубу – визуальный анализ и подтверждение сохранения геологических особенностей, разрывных нарушений и улучшения прослеживаемости горизонтов. 3. Расчет карт и гистограмм амплитуд и доминантных частот в опорных интервалах, между опорными горизонтами и по целевым горизонтам по суммарному кубу и кубам угловых диапазонов/азимутальных групп. Оценка стандартного отклонения. Таблица диапазона, стандартного отклонения и среднего значения. 4. Анализ карт амплитуд между собой и с предыдущим вариантом, обрезанных по полигону визуально. 5. Оценка АКФ, ФВК и КВК суммо трасс в контрольных точках.	1.Минимизация помехи футпринт на картах амплитуд. 2. Сохранение геологических особенностей в волновом поле (тектонические нарушения, особенности терригенного осадконакопления). 3. Минимизация остаточных амплитудных латеральных аномалий. 4. Минимизация помех.

частот по сейсмограммам (осреднение по ПВ, ПП, ОСТ);

- расчет и анализ карт среднеквадратичных амплитуд и доминантных частот по суммарному кубу в узких окнах вдоль выделенных целевых отражающих горизонта;

- расчет и анализ кубов амплитудных спектров (FXY-кубы);

- оценка AVO-зависимостей в точках скважин по годографам целевых отражающих горизонтов;

- выполнение привязки в точках скважин с извлечением импульса.

С целью контроля минимизации влияния рельефа, орогидрографии региона и прочих негативных условий ВЧР на динамические параметры записи, выполняются поверхностно-согласованные процедуры обработки. Для оценки

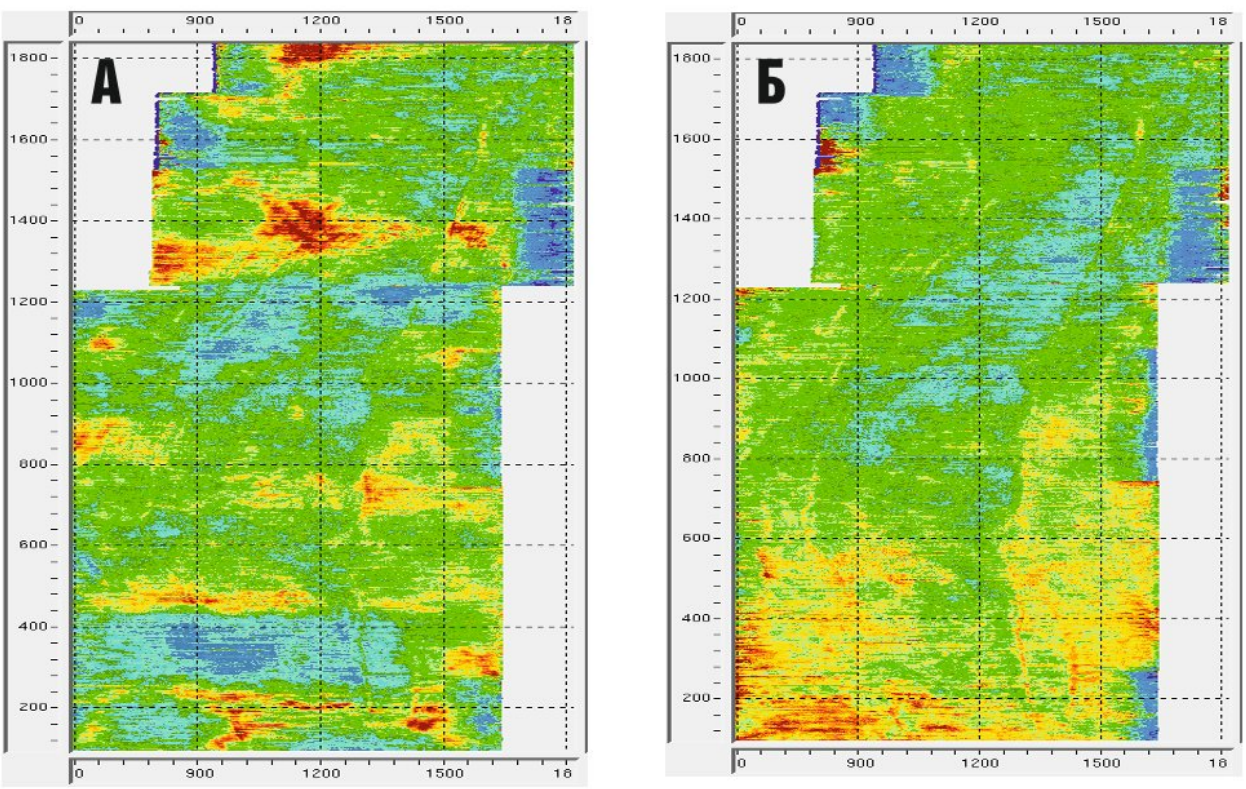
качества рассчитываются карты амплитуд и частот. Аналогичные атрибуты оцениваются и по опорным горизонтам суммарного куба (рис.1).Построение подобных карт позволяет более точно подобрать параметры применяемых процедур.

Показательной количественной оценкой качества прослеживания целевых горизонтов и разрывных нарушений является анализ карт соотношения сигнал/помеха. На рис.2 приведены карты на этапе деконволюции (рис.2а) и после миграции до суммирования (рис.2б).На сечениях и гистограммах заметно значительное увеличение соотношения сигнал/помеха на разных этапах обработки. При этом пониженные значения на завершающем этапе (рис.2б) соответствуют влиянию геологического фактора – серии субмеридиональных разрывных нарушений.

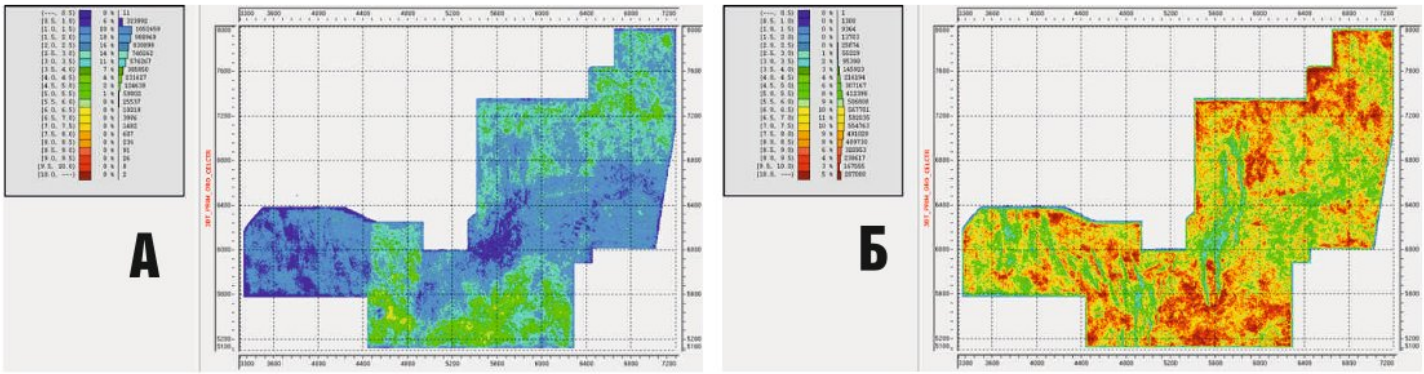
Для оценки качества процедур ВСА-обработки необходимо оценивать AVO-зависимости в точках скважин. Контроль фазовых характеристик сигнала выполняется на основе одномерного моделирования и AVO–распределения. Оценка AVO-распределения на этапах обработки проводится по зависимостям Амплитуда/Удаление.

AVO-распределение используется для анализа сейсмических данных до суммирования и изучения резервуара углеводородов.

Основополагающим принципом изучения AVO-распределения является предположение, что сейсмические данные верно обработаны с высоким соотношением сигнал/помеха, истинным соотношением амплитуд и высокоразрешенной записью. Это означает, что корректно подавлен шум, распределение амплитуд сохранено, положение отражений от целевого горизонта во времени стабильно на заданном угло-



▲ *Рис. 1. Интерпретационный контроль компенсации амплитудных аномалий ВЧР по кубу. Карты амплитуд вдоль верхнего целевого горизонта*
а)- карта до компенсации амплитуд; б)- карта после компенсации;



▲ *Рис. 2. Сопоставление карт отношения сигнал/помеха рассчитанных в узком окне вдоль целевого горизонта на разных этапах обработки (а - после деконволюции $A_{сиг}/A_{пом}$=1,5-3,0; б - после миграции $A_{сиг}/A_{пом}$=5,5-8,5)*

вом интервале.

Для изучения AVO-распределения используется ПО AVO в Hampson Russell, в котором имеются необходимые вычислительные инструменты для подготовки данных к атрибутному анализу, построения кроссплотов и интерпретации данных, т.е.инструменты для интерпретационного сопровождения обработки.

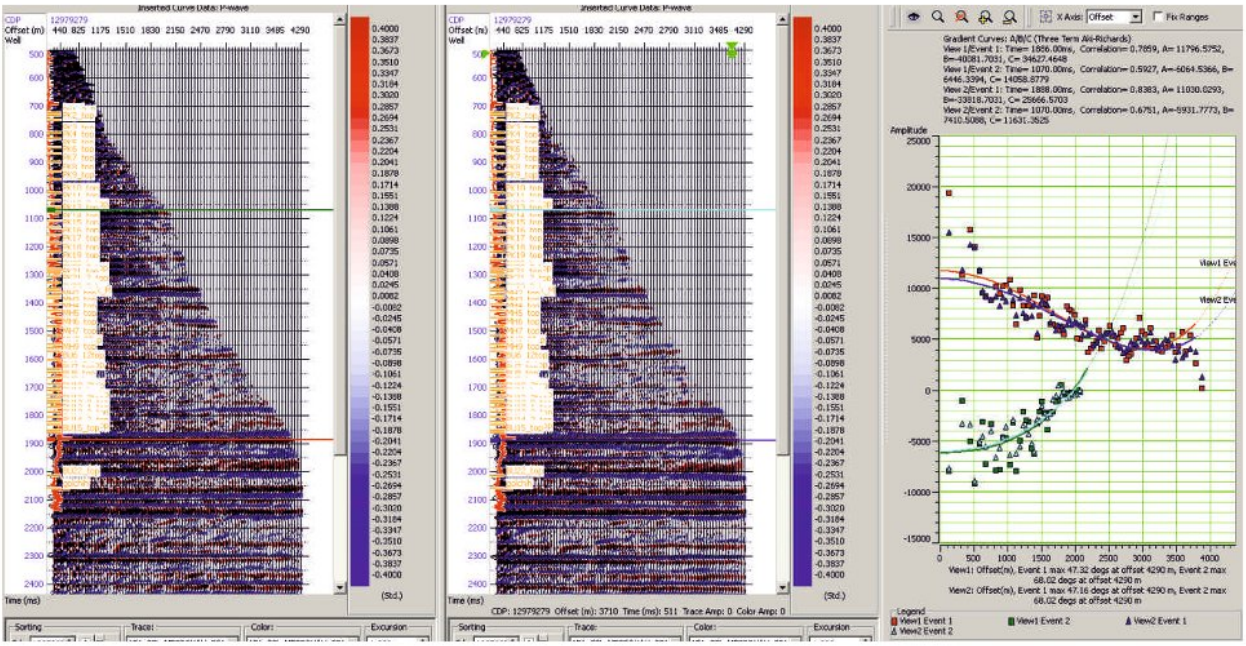
После выполнения основных этапов ВСА-обработки контроль AVO-распределения выполняется по сопоставлению данных, полученных на текущем этапе обработки, с синтетическими сигналами, полученными на основе одномерного или двумерного моделирования в районе скважины. Рассмотрим пример контроля AVO в целях сравнения результатов двух миграций – временной и глубинной. На рис.3 приведены сейсмограммы ОТО после временной миграции (рис.3а), после глубинной миграции (рис.3б) и графики AVO по двум целевым горизонтам (рис.3в). Основным критерием оценки в данном случае является коэффициент корреляции зависимости и облака точек. В табл.2 приведено сопоставление значений КК, полученных в ходе сравнения. Видно, что зависимости, рассчитанные по результату PSDM, являются более устойчивыми.

Особое внимание следует уделить этапу привязки кубов к скважинным отбивкам (рис.4). Выполнение правильной привязки позволяет оценить совпадение полученной геологической модели с данными бурения, и, как следствие, получить в дальнейшем более точную глубинно-скоростную модель для миграции и структурных построений.

На рис.5 приведены фрагменты вертикального сечения кубов, обработанных в разные годы с применением ИСО (рис.5б) и без оного (рис.5а). На фрагменте разреза выбран целевой интервал, осложненный разрывным нарушением с взбросом. В пределах целевого интервала времени построены амплитудно-частотные спектры (рис.5в). Применение ИСО на конкретном этапе (в данном случае при тестировании параметров поверхностно-согласованной деконволюции) позволило получить оптимальный результат путем увеличения временной разрешенности записи.

Вывод

В последние годы наблюдается негативная производственная тенденция отделения специалистов обработчиков от интерпретаторов и геологов. Для решения сложных геологических задач необходима совместная научно-производственная деятельность геофизиков обработчиков и интерпретаторов от приемки полевых данных до получе-

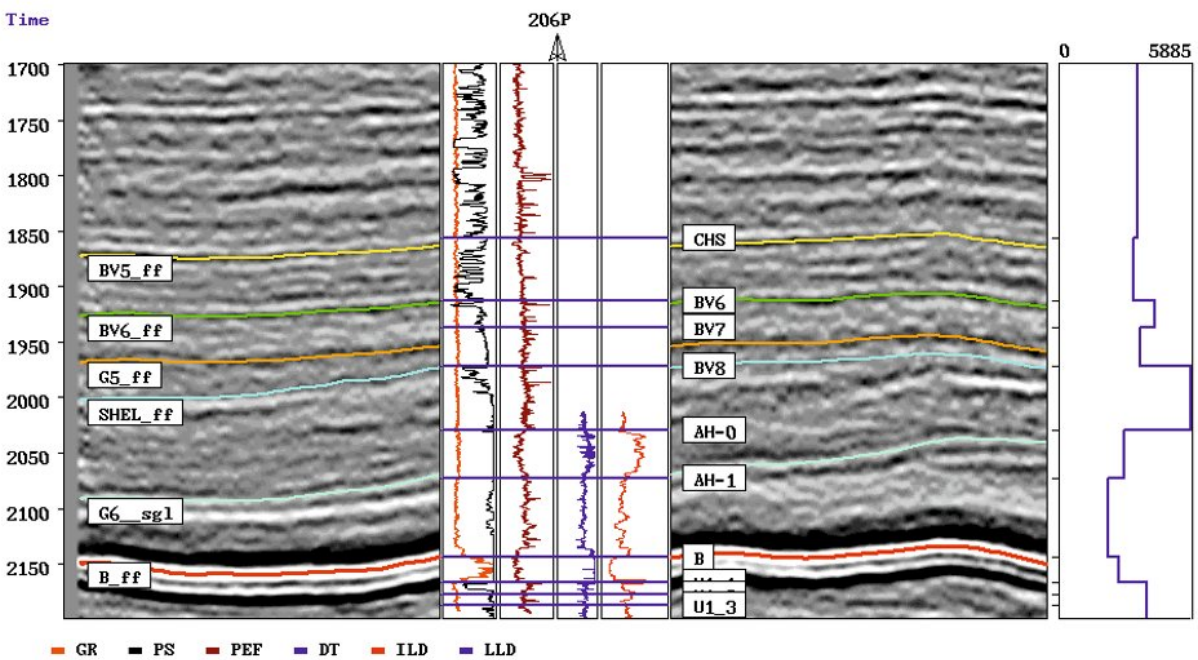


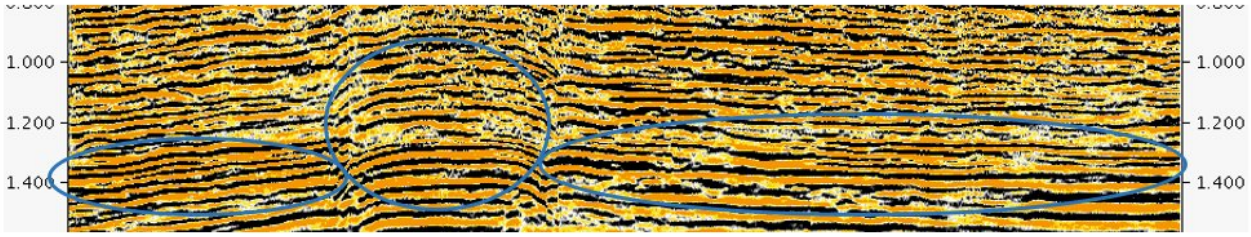
▲ *Рис. 3. Контроль AVO-распределения в сейсмограммах ОТО в точке опорной скважины после PSTM (а) и PSDM (б), в – зависимости амплитуды от удаления вдоль двух целевых горизонтов.*

▼ *Табл. 2.*

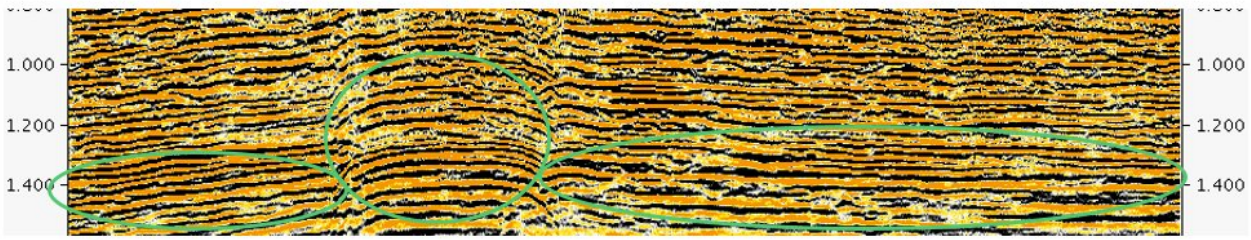
AVO-зависимость	Коэффициент корреляции
PSTM(красный)	0.7859
PSDM(синий)	0.8383
PSTM (зеленый)	0.5927
PSDM(бирюзовый)	0.6751

▼ *Рис. 4. Стратиграфическая привязка сейсмических опорных горизонтов по скважине для построения глубинно-скоростной модели.*

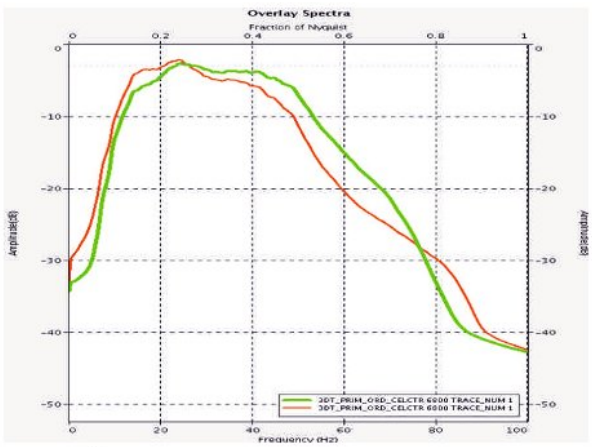




а) результат обработки без интерпретационного сопровождения



б) результат обработки с интерпретационным сопровождением



в)

Рис. 5. Сечение сейсмического куба и амплитудно-частотные спектры разрезов полученных с интерпретационным сопровождением (зеленый цвет) и без него (красный цвет).

ния конечного результата. Именно для этого и используется интерпретационное сопровождение обработки сейсмических данных.

ИСО применяется с целью повышения качества обработки данных сейсморазведки и минимизации рисков получения некондиционных материалов на этапе обработки.

ИСО выполняется при тесном взаимодействии специалистов обработчиков и интерпретаторов, осуществляющих методический контроль качества обработки. Такой подход позволяет понизить риски возможной ошибки в дальнейшем решении поставленных геологических задач.

ИСО подразумевает привлечение скважинной информации для оценки качества после каждого значимого этапа обработки.

Литература

1. Кашик А.С., Гогоненков Г.Н., Кириллов С.А., Федоров А.Л., Ческис В.Л. Новые подходы к моделированию залежей углеводородов. Ленский В.А., Керусов И.Н., Шилкин С.Г. Обеспечение интерпретационного сопровождения обработки сейсмических данных. Четвертая международная НПК ЕАГО "КАЛИНИНГРАД-2014 «НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА» Калининград, 26-30 мая 2014 г. с.150-160.

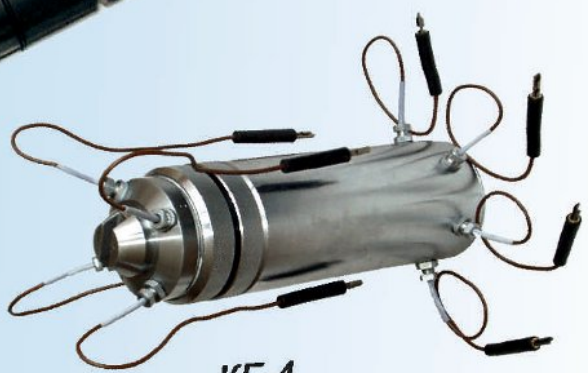
2. Силаенков О.А., Фиников Д.Б. Интерпретационное сопровождение обработки – необходимое условие успешной работы. НПК «Сейсмические технологии-2016», М.,2016.

3. Кашик А.С., Кириллов С.А., Горбунов В.И.Концепция комплексных экспериментальных моделей нефтепромысловых объектов. Специализированный журнал «Бурение и нефть», №10, М., октябрь, 2006, с.5-7.

Коллектора
для геофизических подъёмников



КГ-4 взрывозащищённый



КГ-4



КГ-4



КГ-8

Общество с ограниченной ответственностью

ПромГеоФизСервис

Разработка и производство геофизического оборудования

www.pgfs.ru
sarpgfs@mail.ru

+7(8452) 75-62-85, 75-62-95

Результаты комплексных исследований курганов Лесной курганной группы методами инженерной геофизики на территории Гнёздовского археологического комплекса

- Новиков В. В., ИАЦ «Гардарика»;
- Каинов С. Ю., Государственный исторический музей;
- Сергеев К. С.З, Белоусов А. В., РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

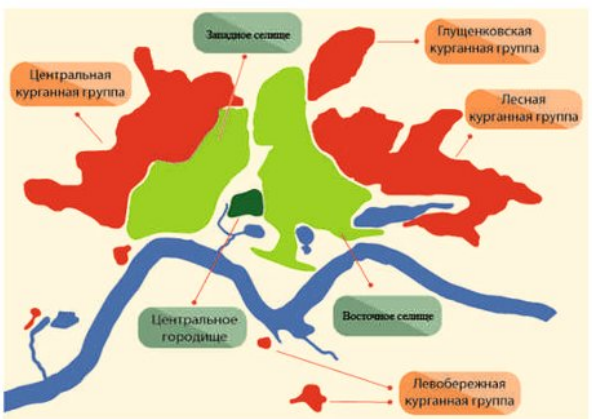
Введение

Исследование объектов культурного наследия методами современной разведочной геофизики – перспективное направление в археологии, которое представляет особый интерес на памятниках, подвергавшихся длительному антропогенному и техногенному воздействиям. Археологические раскопки позволяют подтвердить или опровергнуть результаты геофизических исследований и «откалибровать» методику работ, в особенности на объектах с микроуровнем исследования.

Среди археологических объектов, связанных с эпохой раннего Средневековья и периодом образования Древнерусского государства в IX–X вв., особым интересом пользуются погребальные комплексы. На территории Руси они представлены погребениями, совершёнными по обряду трупосожжения или – реже – трупоположения с сооруженной сверху земляной насыпью. Курганная насыпь формировалась из грунта, взятого вокруг кургана – так появлялся ровик (преимущественно кольцевидной формы), глубина и ширина которого зависела, соответственно, от высоты насыпи.

В настоящей статье рассматриваются результаты применения методов разведочной геофизики при археологическом исследовании курганов Гнёздовского археологического комплекса в 2016 – 2017 гг.

Гнёздовский археологический комплекс – крупнейший памятник эпохи викингов, расположенный на центральном отрезке трансконтинентального торгового пути «из варяг в греки» в 12 км от современного Смоленска. Памятник со сложной топографической и контекстной структурой находится на обоих берегах Днепра и вытянут вдоль него на протяжении 5 км. (Археологическая карта России, 1997. С. 82–92; Авдусин, 1999. С. 7–11). Курганный могильник археологического комплекса является крупнейшим в Европе: в начале XX в. он насчитывал более 4500 курганов, которые распределяются на 8 курганных групп, в числе которых – Центральная и Лесная (Лявданский, 2002. С.187–188. Таб. XXXII-XXXIII), (Рис. 1). Курганы пострадали от антропогенного и техногенного воздействия: многие насыпи нарушены (а иногда и полностью разрушены), их поверхность сильно замусорена.



▲ *Рис. 1. Ситуационный план центральной части Гнёздовского археологического комплекса.*

Общая информация и методы фиксации.

Работы по геофизическому исследова-

нию курганных насыпей сопряжены с комплексными топогеодезическими работами, результаты которых объединяются в геоинформационной системе (ГИС), создаваемой для всей территории археологического комплекса. Система опорных реперов, созданная с помощью GNSS-станции, позволяет свободно увязывать в единый массив геодезические съемки на разных участках памятника в системе координат WGS84 UTM N36. Геоподосновой для работы выступает ортофотоплан, полученный в результате аэрофотосъемки с БПЛА системы Геоскан-101 в 2016 году (Новиков, 2017. С.26–28).

Геофизическое исследование курганов

Работы в 2016 и 2017 гг. – прямое продолжение исследований курганов методами разведочной геофизики в 2015 году, когда были обследованы три насыпи в Центральной курганной группе, две из которых – Ц-352 и Ц-353 – подверглись археологическим раскопкам (Рыжков и др. 2017. С. 59–63). К настоящему времени общее число курганов, исследованных разными методами (электроразведка и магниторазведка) за период с 2015 по 2017 гг., составляет 13 насыпей, из которых 7 были раскопаны в ходе археологических работ.

Электроразведка осуществлялась с применением электроразведочной станции SYSCAL PRO. Измерения проводились тремя установками: Шлюмберже, диполь-диполь, поль-диполь. Использовался многожильный кабель для управления комплектом электродов, соединенных в линию. Шаг по электродам составлял 25 или 50 см.

Магниторазведка проводилась с применением магнитометра ENVI PRO, который представляет собой портативный протонно-прецессионный магнитометр. Прибор позволяет проводить съемку в режиме магнитометра, градиентометра или опорного пункта. При работах данный прибор использовался в режиме подвижного магнитометра. Другой же магнитометр (Geometrics G-859) использовался в качестве опорного пункта.

Погрешность измерений составила 0,1 нТл. Измерения на площади производились с шагом в 0,25 или 0,5 м в привязке к профилям электроразведки и в зависимости от протяженности профиля и необходимой детальности исследований. Датчик подвижного магнитометра находился в 10-15 см от поверхности земли и был ориентирован на географический север.

Основными аномалиями, которые проявляются в геофизических полях для курганов в Лесной курганной группе, являются кольцевые ровики, подкурганные ямы, локальные зоны, связанные с сооружением погребения по обряду трупосожжения на месте, конструкции в теле насыпи кургана, включения неоднородных слоев в процессе сооружения насыпи, камерные погребения под телом насыпи, а также зоны потери корреляции слоев, которые могут соответствовать раскопкам XIX в. или грабительским ямам XIX – XXI вв.

Результаты работ

В 2016 и 2017 годах работы по археологическому изучению курганов были сосредоточены в Лесной курганной группе. В 2016 году раскопаны две курганные насыпи, расположенные в южной части группы – курган Л-204 диаметром около 10 м и курган Л-205 диаметром около 8 м. Курганы находились в незначительной удаленности от русла Днепра, и для зоны характерно затопление части

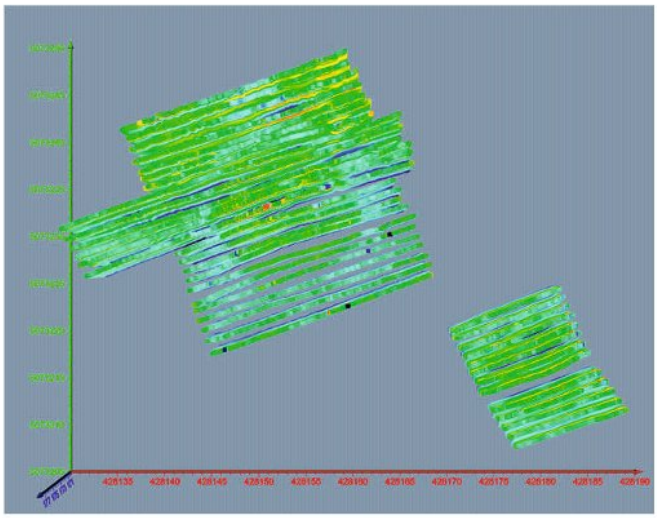
насыпей во время весеннего паводка. Грунт в этой зоне представляет собой плотную супесь, переходящую в суглинок (рис. 2).



▲ *Рис. 2. Курганы Л-204 (первый план) и Л-205 (второй план).*

На двух курганах было отснято 38 профилей электротомографии с шагом 25 см. Работы проведены с использованием комбинированной трехэлектродной установки Шлюмберже (прямая и встречная). Эта установка обеспечивает максимальную глубину и детализацию исследований. Проводись также измерения с четырехэлектродной установкой Шлюмберже, позволяющей в условиях трехмерных неоднородностей получать устойчивые значения кажущегося сопротивления. На основании профилей электротомографии была построена 3D-модель, которая отображает пространственное положение профилей и определяет наличие аномалий, среди которых зоны пониженного сопротивления – кольцевидные ровики вокруг курганов (рис. 3).

Центральный профиль кургана Л-204 демонстрирует наличие в центральной части ям перекопа (показатель 20 м), одна из которых оказалась связана с деятельностью животных, а другая в

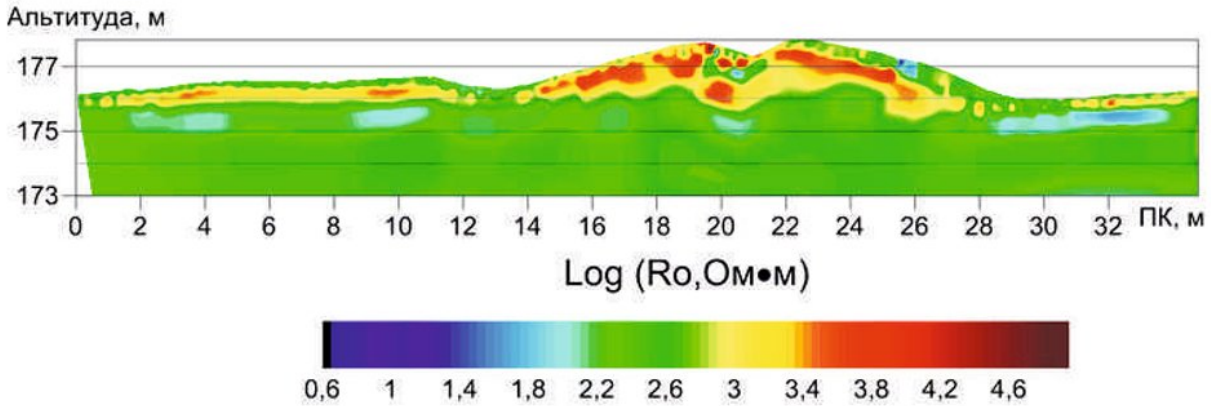


▲ *Рис. 3. 3D-модель на основе профилей электроразведки на курганах Л-204 (слева) и Л-205 (справа).*

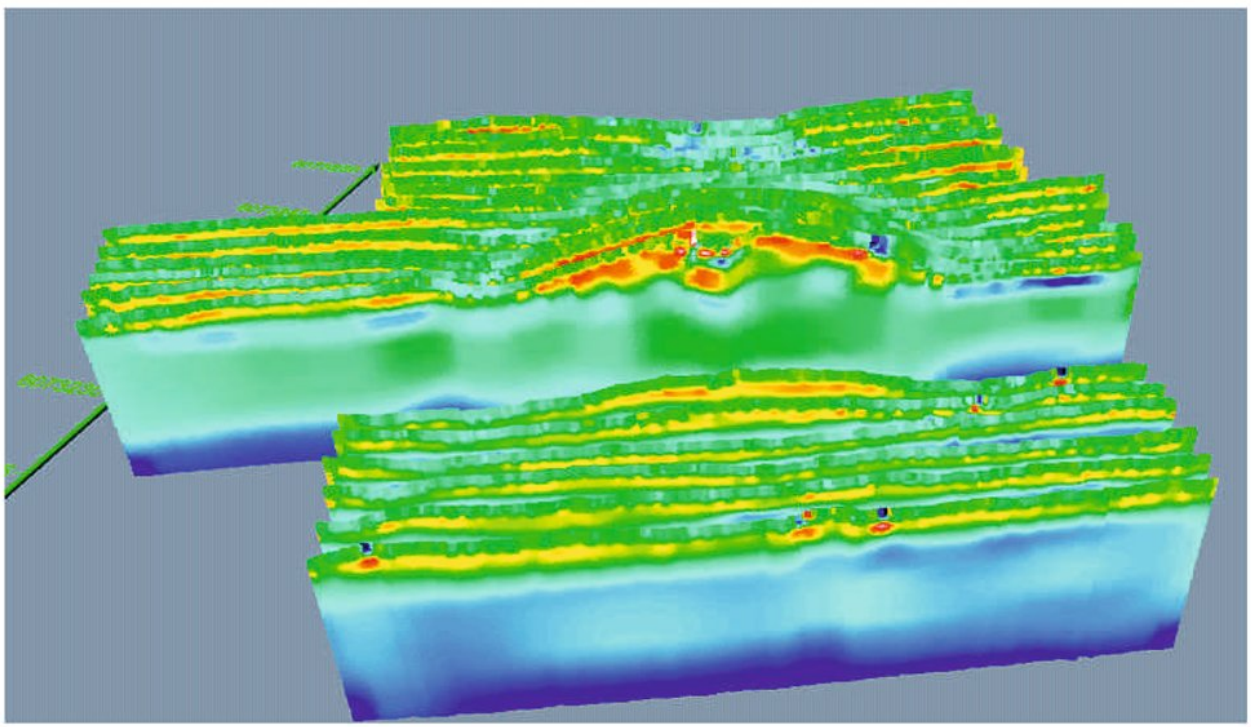
результате археологических изысканий была определена как окоп-ячейка 1941 – 1943 гг.

В профиле выделяются также зоны повышенного сопротивления. Раскопки показали включения в тело насыпи плотного, местами обожженного суглинка: в процессе сооружения насыпи из него был сформирован кольцевидный вал, который, вероятно, удерживал насыпь от расползания. (рис. 4, 5, 6)

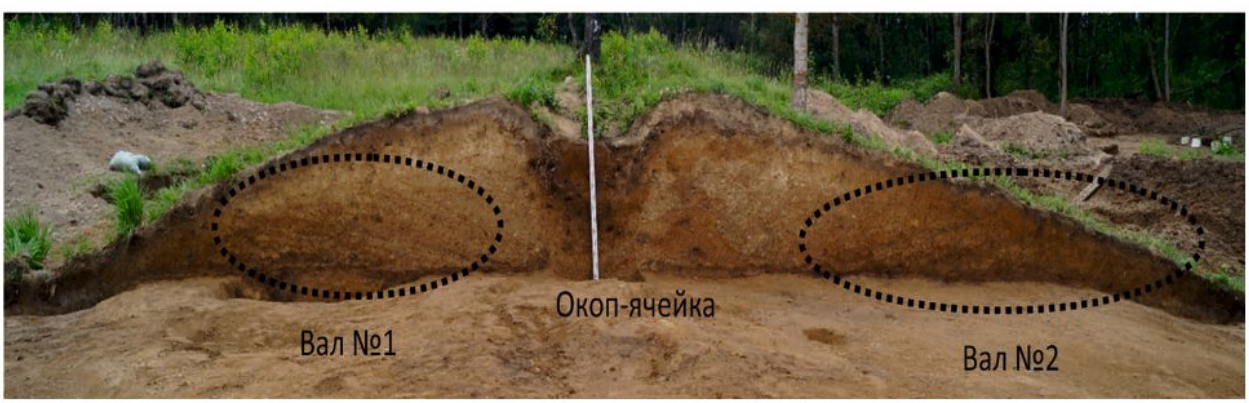
На основании профилей были также построены 2D-карты распределения удельных электрических сопротивлений на разных уровнях насыпи. Подобный формат отображения информации наглядно показал аномалии, связанные с кольцевидным ровиком, все нарушения в теле насыпи и особенности слоев на площадке сооружения курганной насыпи, а также позволил предположить наличие подкурганных аномалий, не связанных непосредственно с сооружением курганной насыпи в X в. Археологические изыскания подтвердили это предположение: под курганной насыпью были выявлены объекты, определённые как хозяйственно-жилые ямы поселения днепро-двинской культуры, которое



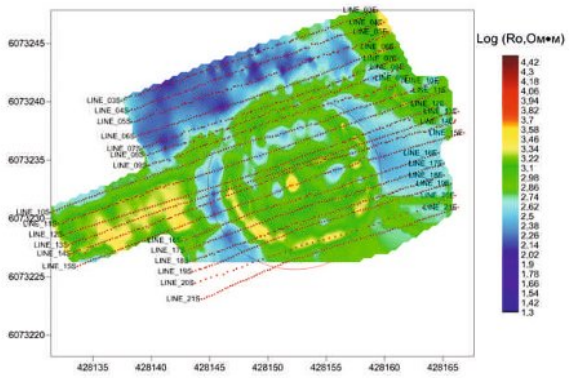
▲ *Рис. 4. Профиль №15 электроразведки на кургане Л-204.*



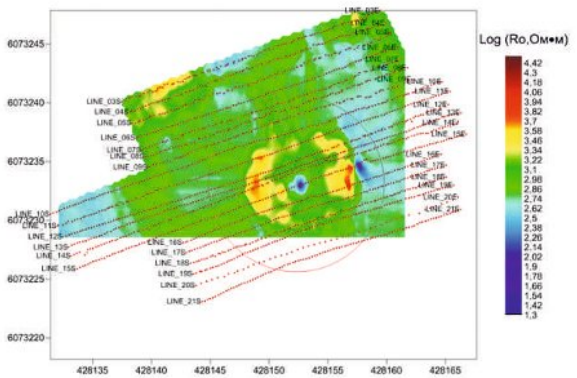
▲ *Рис. 5. Профиль №15 электроразведки на 3D-модели кургана Л-204.*



▲ *Рис. 6. Профиль север-юг кургана Л-204.*



▲ *Рис. 7. 2D-карта на основе серии профилей электроразведки на кургане Л-204. Глубина 176.20 м.*



▲ *Рис. 8. 2D-карта на основе серии профилей электроразведки на кургане Л-204. На уровне сооружения насыпи кургана.*



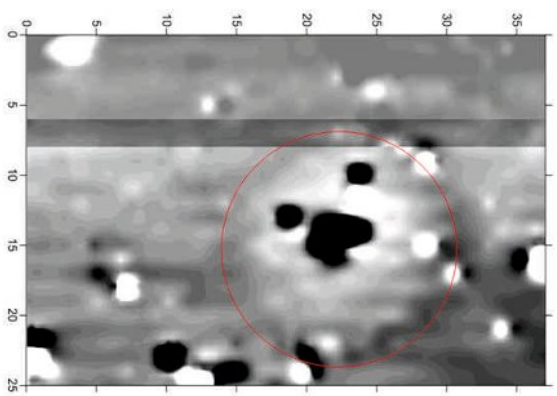
▲ *Рис. 9. Зачистка на уровне сооружения насыпи кургана Л-204.*

предварительно можно отнести к первой половине I тыс. н. э. (рис. 7, 8, 9, 10).



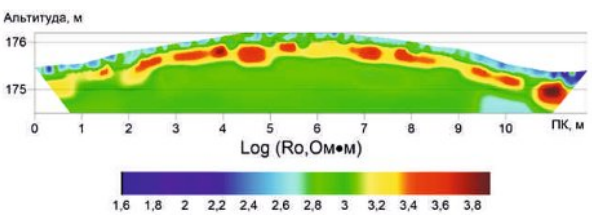
▲ *Рис. 10. Зачистка на материке ниже уровня сооружения насыпи кургана Л-204.*

Магниторазведка проводилась по сетке профилей электротомографии. Запись измерений проводилась по профилю с непрерывным шагом. Данный подход позволил получить большое количество наблюдений на каждом профиле. Дополнительно были отсняты опорные профиля, повторные измерения на которых были необходимы для оценки вариации магнитного поля. Ее среднее значение составило 2.5 нТл. Магниторазведка зафиксировала кольцевидный ровик вокруг курганной насыпи и наличие центрального нарушения в теле кургана (рис. 11).

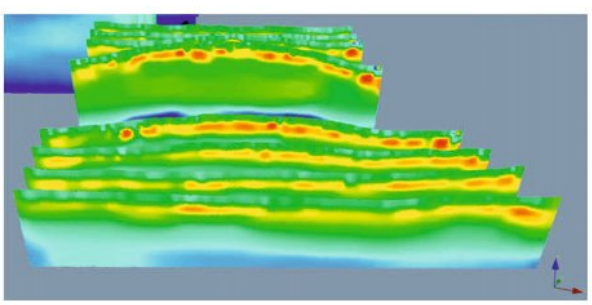


▲ *Рис. 11. Карта магниторазведки на кургане Л-204.*

Курган Л-205 на профиле электротомографии не показал присутствия поздних нарушений. Отсутствие зон высокого сопротивления позволило предполагать, соответственно, отсутствие слоя, связанного с совершением обряда трупосожжения на месте. Археологические изыскания подтвердили оба предположения: было установлено отсутствие перекопов или грабительских ям; курган носил предположительно меморативный характер (кенотаф) и не содержал погребения (рис. 12, 13, 14).



▲ *Рис. 12. Профиль №34 электроразведки на кургане Л-205.*



▲ *Рис. 13. Профиль №34 электроразведки на 3D-модели кургана Л-205.*



▲ *Рис. 14. Профиль восток - запад кургана Л-205.*

В 2017 году археологические работы по исследованию курганных насыпей были перенесены в западную часть Лесной курганной группы. Для работ были выбраны 3 курганные насыпи, которые получили порядковые номера Л-206, Л-207 и Л-208. Грунт в этой части памятника представлен мелкозернистым песком. Курганы расположены в зоне леса с преобладанием сосен, часть из которых произрастает непосредственно на курганных насыпях. Территория сильно засорена различным металлическим мусором.

Чтобы проанализировать эффективность применения метода электро- и магниторазведки в зависимости от естественной увлажненности грунтов, работы на курганах проводились в течение двух сезонов – зимнего (конец февраля – март) и летнего (июнь и июль). (рис. 15).



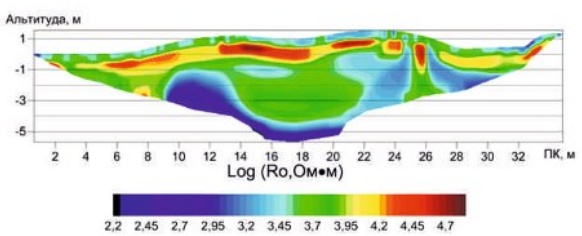
▲ *Рис. 15. Курганы Л-208, Л-206, Л-207.*

Курган Л-206 был наиболее полноценно изучен с точки зрения применения различных методов. Насыпь кургана имела глубокую просадку в центральной части, что позволяло предполагать наличие ямы перекопа от раскопок XIX в. или грабительской ямы. Однако первые результаты обработки данных электротомографии исключили это. На профиле отчетливо определились контуры аномалии, которая была уверенно интерпрети-

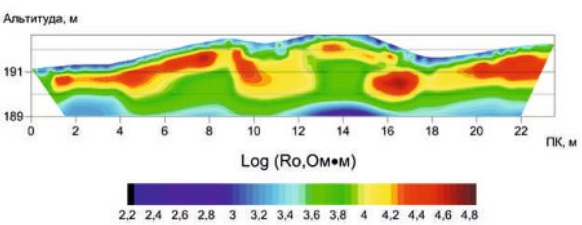
рована как большая могильная яма (аномалия на пикетах 16 – 20 м). Повторная съемка в летний период подтвердила наличие аномалии. Она имела в поперечнике 4 м и глубину до 2 м. В профилях отчетливо проявляются и аномалии, связанные с деревьями (пикет 26 м на рис. 17). В целом зоны высоких сопротивлений связаны с «пересущенностью» грунта вокруг деревьев, а не с инородными включениями в тело насыпи. Тело насыпи в целом достаточно однородно и представляет собой мелкозернистый песок.



▲ *Рис. 16. Курган Л-206.*



▲ *Рис. 17. Профиль №8 электроразведки на кургане Л-206 (февраль – март).*



▲ *Рис. 18. Профиль №8 электроразведки на кургане Л-206 (июнь).*

В результате археологических исследований под курганной насыпью Л-206 было обнаружено камерное погребение – особый тип погребения по обряду трупоположения, когда погребённого помещают в деревянную камеру, имитирующую дом, в свою очередь поставленную в могильную яму. Размеры могильной ямы – 3,5 х 3,1 м при глубине около 1,5 м. Заполнение ямы было песчаным и представляло собой грунт насыпи, осыпавшийся вниз в результате разрушения деревянной крыши погребальной камеры.



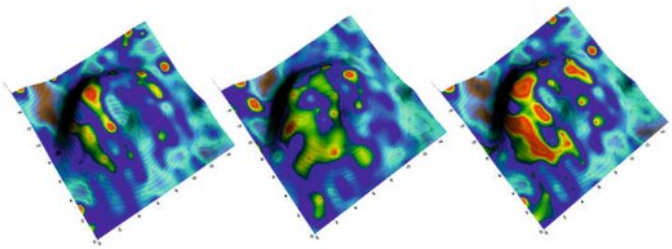
▲ *Рис. 19. Контур камерного погребения в кургане Л-206.*

Курган содержал погребение мужчины с богатым погребальным инвентарём – одеждой, украшенной серебряным позументом, кошельком с монетами и весовыми гирьками, фибулой и ножом. Наиболее интересной находкой стал деревянный щит с металлическими деталями, поставленный за головой погребенного.



▲ *Рис. 20. Камерного погребение мужчины со щитом в кургане Л-206.*

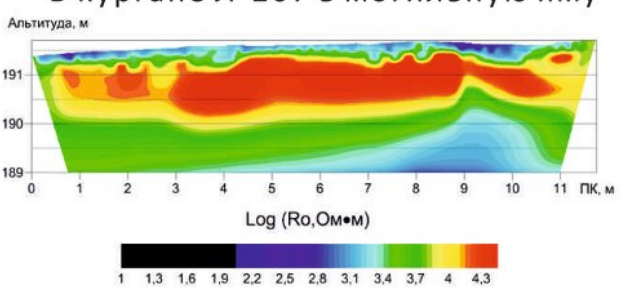
Уверенные результаты электротомографии не в полной мере сопоставляются с данными геомагнитной съемки. Общая засорённость поверхности кургана металлическим мусором не позволила построить карты, которые могли бы определить аномалии, связанные с сооружением кургана в X в. под телом насыпи (рис. 21).



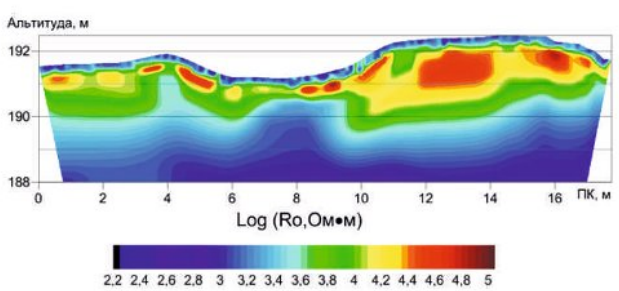
▲ *Рис. 21. Геомагнитные карты, наложенные на рельеф кургана Л-206.*

Проведенные исследования курганов Л-207 и Л-208 также определили отсутствие позднейших нарушений каждой из насыпей и наличие подкурганных аномалий, интерпретированных как погребения в могильных ямах разных размеров.

В кургане Л-207 в могильную яму



▲ *Рис. 22. Профиль №33 электроразведки на кургане Л-207 (июнь)*



▲ *Рис. 23. Профиль №3 электроразведки на кургане Л-208 (июнь)*

размером 4 x 3,8 м и глубиной около 1,5 м была помещена деревянная камера, в которой находилось погребение мужчины с мечом в ножнах, фибулой для застегивания плаща, ножом, пряжкой и деревянным ведром с металлическими обручами.



▲ *Рис. 24. Камерное погребение мужчины с мечом в кургане Л-207.*



▲ *Рис. 25. Погребение мужчины с боевым ножом в кургане Л-208.*

В кургане Л-208 погребённый мужчина был положен в деревянную колоду, помещенную в могильную яму размерами 3,4 x 1,4 м и глубиной около 1,6 м. Среди погребального инвентаря стоит отметить фрагменты шерстяного кафтана, застегивающегося на 7 пуговиц, и такую редкую находку, как боевой нож.

Особенности погребального обряда и найденные в захоронениях вещи позволяют отнести все три погребения ко второй половине X в.

Выводы

В условиях песчаных и супесных грунтов на территории Гнёздового археологического комплекса в Лесной курганной группе наиболее эффективно показывает себя метод электроразведки в модификации электротомографии, который вполне успешно позволяет определять наличие поздних перекопов и грабительских ям, выделять внутри тела насыпи конструкции, составленные из неоднородных грунтов, разных по сопротивлению, а также успешно определять камерные погребения под курганными насыпями даже в условиях однородного характера грунтов заполнения ямы. Наиболее эффективным для проведения работ по электроразведке можно назвать весенний период с максимальным насыщением почвы влагой. Метод магниторазведки в условиях высокой засорённости верхних слоев курганных насыпей на данном этапе не позволяет получать карты, позволяющие прогнозировать наличие тех или иных археологических объектов.

Список литературы

Авдусин, 1999 - Авдусин Д.А., 1999. Обзор местоположения Гнёздова//Гнёздовский могильник. Ч. 1. Труды ГИМ. Памятники культуры. Вып. XXXVI. М. Археологическая карта России. Смоленская область. Ч. 1. Москва

Археологическая карта России, 1997 – Археологическая карта России. М.

Рыжков и др. 2017 – Рыжков В. И., Белоусов А. В., Сергеев К. С., Горин А. Д., Новиков В. В., Каинов С. Ю. Применение электротомографии при изучении курганов Центральной курганной группы гнёздовского археологического комплекса // Электроразведка: Оборудование и технологии. Москва

Лявданский, 2002 – Лявданский А.Н., 2002. Материалы для археологической карты Смоленской губернии А. Н. Лявданского//Смоленские Древности. Городища Смоленской земли. Вып. 2. Смоленск

Новиков, 2017 – Новиков В.В., Плетняков П. А. О создании единой цифровой модели ландшафта археологического комплекса «Гнёздово»//Геопрофи, №1, Москва

Объявление для подписчиков

Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» издается с 2002 года и является единственным тематическим периодическим изданием в современной России, освещающим актуальные проблемы геофизического приборостроения.

Наряду с публикациями, посвященными сугубо практическим вопросам геофизического приборостроения, в журнале широко представлены публикации, в которых рассматриваются теоретические исследования и экспериментальные работы по обоснованию и применению тех или иных новаций в решении задач, стоящих перед геофизической отраслью, теоретические и практические вопросы полевых технологий, обработки и интерпретации сейсмических данных, широкоазимутальной сейсморазведки, физики горных пород, инженерной сейсморазведки и т.д.

Издание ориентировано на широкий круг представителей геофизического сообщества. Мы с готовностью предоставляем страницы нашего журнала для публикации статей, подготовленных специалистами научно-исследовательских институтов, вузов, нефтегазовых компаний, сервисных геофизических компаний, производственных предприятий и организаций и др.

Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» входит в список ведущих периодических изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобразования России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание степени доктора и кандидата наук.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Периодичность издания 4 номера в год (ежеквартально).

Web-сайт журнала: psrgeo.ru
Адрес редакции: 410019, г.Саратов, ул. Крайняя, 129, ИнформГеофизСервис
Электронная почта: turlov@mail.ru
Телефон: +7 (8452) 64-14-32

Продолжается подписка на 2018 и последующие годы.



SCOUT

Бескабельная сейсмосистема

SCOUT - это решение геофизических задач в области сейсморазведки, электроразведки и микросейсмики.

SCOUT работает в труднодоступных местах в комплексе с кабельной системой любого производителя.

Система оснащена всеми необходимыми инструментами контроля состояния полевых блоков и датчиков.

Диапазон рабочих температур от -40 до +70 °C.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Россия, 410019, г.Саратов, ул. Крайняя, 129 , тел.: (8452) 53-45-06; 570-500, факс: (8452) 27-21-01

sales@skbsp.ru | **www.skbsp.ru**

Жизнь связала с сейсморазведкой?



Рекомендуем: новейшая беспроводная телеметрическая система **Sercel UNITE**



GEOSEIS

Предоставление в аренду полного спектра телеметрического оборудования Sercel 408/428; бескабельной системы UNITE. Техподдержка, сервис и обслуживание геофизического оборудования. Производство импульсных источников «Геотон»

Холдинг «ГЕОСЕЙС»
Контактная информация:
Тел. (Москва):
+7 (495) 694-19-07
+7 (495) 694-19-97
Тел. (Тюмень):
+7 (3452) 48-33-72

Электронная почта:
geoton@geoton.ru
geoseis-servis@yandex.ru
geoseisltd@gmail.com
http:
www.geoseisholding.ru
www.geoton.ru