

ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ТЕМА НОМЕРА:

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ

4/2022

Издается с 2002 г.

НОВОСТИ рынка



ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Представление новой для российского рынка нодальной системы Allseis1C



Революция В Стоимости Сейсморазведки

СОВЕРШАЕТ ПЕРЕВОРОТ В СТОИМОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫХ РАБОТ

работы ведутся
вдвое быстрее

на 50% уменьшается
количество рабочих бригад
и техники на проекте

на 50% снижена
операционная
стоимость проекта

IGU-16 / IGU-16HR

IGU-16HR IES



IGU-16HR 3C



IGU-BD3C-5



IAU-19



ВЫСОКОПЛОТНУЮ СЕЙСМОРАЗВЕДКУ ТЕПЕРЬ МОЖНО ДЕЛАТЬ ДЕШЕВО!

«ВКонтакте»



Первый в мире интеллектуальный
сейсмический датчик
Высокоплотная и экономичная
сейсморазведка — теперь это возможно

Email: sales@smartsolo.com.ru
Tel: +7 (969) 061-9960
Website: www.smartsolo.com.ru/www.dtcc.biz

Общие глобальные поставки

400,000+
каналов

ТЕМА НОМЕРА:**«Новости рынка и технологий»****СОДЕРЖАНИЕ:****Наши партнеры 4****КОЛОНКА РЕДАКТОРА****Главный редактор Слонов Д.Н. 5****ТЕМА НОМЕРА****Оценка современной нодальной системы AllSeis-1C – отвечая на запросы рынка****Красноборов Д.В., Жисян Чжу 6****Перспективы применения широкополосного свип-сигнала при проведении работ
методом вертикального сейсмического профилирования****Садыков Э.А., Акуленко А.С., Адиев Т.Р. 15****Об извлечении геофизической информации из электромагнитных и сейсмических
шумов Земли****Шайдуров Г.Я., Потылицын В.С., Майков О.А. 21****ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ****Уникальные возможности вибросейсмического метода при использовании
кусочно-линейных разверток****Кострыгин Ю.П. 29****ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ****IGU 16HR IES – нодальный модуль с возможностью подключения внешних
сейсмоприемников – инновационный продукт в линейке компании SmartSolo****JuangShan Shen 40****Оценка точности инклинометра донного модуля «Краб» на основе сейсмического
волнового поля****Казанин А.Г., Базилевич С.О., Демонов А.П., Литварчук А.В., Казанин Г.А., Луковников
Г.Г., Шепелев А.А., Романов В.В. 45****ЛЮДИ, ДАТЫ, СОБЫТИЯ****II научно-практическая конференция «Электроразведка-2022»****Махонская Е.В. 52****Тектоника плит против расширения Земли: борьба только начинается?****Череповский А.В. 54****24-я научно-практическая конференция «Геомодель-2022»****Архипов А.А. 68**

Дорогие коллеги!
Авторы и читатели нашего издания!
Мы поздравляем вас с наступающим Новым годом!
Желаем добра и стабильности,
реализации планов
и новых интересных проектов.

НАШИ ПАРТНЕРЫ



Главный редактор:
Слонов Д.Н.

Редакционная коллегия:

к.т.н. Абдулвалиев М.Т.
 д.ф.-м.н. Александров П. Н.
 к.т.н. Белоусов А.В.
 к.г.-м.н. Волкова Е.Н.
 д.т.н. Гогоненков Г.Н.
 к.т.н. Горбачев С.В.
 Гурьев С.В.
 к.т.н. Детков В.А.
 д.т.н. Жуков А.П.
 к.г.-м.н. Золотая Л.А.
 д.т.н. Кострыгин Ю.П.
 д.г.-м.н. Михеев С.И.
 к.т.н. Тарасов Н.В.
 к.т.н. Циммерман В.В.
 к.т.н. Череповский А.В.
 д.т.н. Шехтман Г.А.

Руководитель проекта
Матвеев С.А.

Корректор:
Матвеева И.Э.

Учредитель:
СРО МОО ЕАГО

Издатель:
ООО «ПСРГео»



Адрес издательства:

г. Саратов, ул. Крайняя, д. 129
 Телефон +7-987-822-68-37

Обложка и оформление:
Мокроусов Д.В.

Вёрстка:
Мокроусов Д.В.

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

Подписано в печать:
 19.12.2022

Дата выпуска:
 26.12.2022

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

Издание зарегистрировано
 в Министерстве РФ по
 делам печати, телерадио-
 вещания и средств мас-
 совых коммуникаций за
 номером ПИ № 77-7906
 от 27.04.2001 г.
 ISSN: 2074-8906
 Web-сайт: psrgео.ru

Организатор журнала:

Турлов П.А.

Уважаемые коллеги!

За 20 лет жизни издания «Приборы и Системы разведочной геофизики» нам часто приходилось писать в редакционных статьях про сложные времена, влияющие на работу журнала. Но мы всегда говорили, что адаптивность к переменам в сфере ГРП выше, чем во многих прочих отраслях.

Сегодня можно констатировать, что сектор геологоразведки переживает кардинальную перестройку, происходящую по времени стремительно. И технологически, и организационно. Отражением этих перемен стал четвертый номер журнала за 2022 год на тему «Новости рынка и технологий».

Ряд производителей геофизической аппаратуры, ранее активно взаимодействовавшие с нашим журналом, пока воздерживаются от предоставления информации, размещения рекламы. И это тот случай, когда отсутствие информации красноречивее ее обилия. Наверно, эти компании пока не видят возможности работы на российском рынке. И, значит, это прямой сигнал для их конкурентов.

В этом номере - премьера - рассказ о новой для российского рынка телеметрической системе ALLSEIS-1C, успешно завоевывающей позиции в мире. Причем, читатель может не просто узнать о технических характеристиках новой для России нодальной системы, но и ознакомиться с результатами тестирования ее в двух российских геофизических компаниях.

Не отстает по подаче новой информации и наш постоянный партнер – компания «Smart Solo», презентующая модификацию IGU 16HR IES – нодальный модуль с возможностью подключения внешних сейсмоприемников.

Рекламная информация, представленная на страницах журнала, будет интересна нашим читателям. Широкий спектр геофизической аппаратуры и оборудования, включая и гусеницы для вибрационных установок поставляет компания «Новый Восток-Гео». Новая информация также в рекламных блоках от компаний «Геоспейс» и «СКБ СП». Будем также ждать следующих публикаций от наших рекламодателей, не только с презентацией линейки продукции, но и с рассказом об успешных проектах, выполненных благодаря их технологиям.

Новый взгляд на проблемы глобальной тектоники в свете теории расширяющейся

Земли в статье Анатолия Череповского «Тектоника плит против расширения Земли: борьба только начинается?». Мы, вместе с нашим постоянным автором, понимаем смелость высказанных идей и будем ждать откликов на эту статью.

Подводя итоги года, можно отметить, что в 2022 году наше издание успешно проявило себя как информационный партнер нескольких геофизических форумов. Об одном из них – конференции «Электроразведка 2022» – наш пресс-релиз. И в номере анонс большого мероприятия, которое ждет нас в уже марте следующего года – традиционной встрече геофизиков «ГеоЕвразия-2023».

Надеемся, что такое сотрудничество продолжится и в 2023 году, расширяя круг наших тем и аудиторию издания.

Стремительная скорость перемен, происходящих в экономике и технологиях, требует нового подхода к оценке качества и стандартам ведения работ в сейсморазведке. Один из номеров в 2023 году будет снова посвящен этой важной теме.

Вот темы номеров, планируемые в следующем году:

- Стандарты качественной сейсморазведки
- «Не сейсмикой единой» – о несейсмических методах в геофизике
- Программное обеспечение в геофизике
- Новости рынка и технологий.

А еще – с наступающим Новым годом! Всех благ нашим читателям и авторам, желаем вам больше хороших проектов, стабильности и позитива.



С уважением,
Главный редактор журнала

Дмитрий Слонов

Оценка современной нодальной системы AllSeis-1C – отвечая на запросы рынка

- Красноборов Д.В., «X-Port Group», г. Москва.
- Жисян Чжу, компания GDST, г. Пекин, Китай.

О характеристиках оборудования и результатах тестирования в России.

Мировая сейсморазведка в настоящее время переживает повсеместный переход на бескабельные системы. И это свершившийся факт. В России этот переход происходит не так стремительно по целому ряду причин, в том числе, и из-за разнообразия присутствующих на рынке производителей различных систем и необходимости выбора. Однако, можно с уверенностью говорить, что этот переход произойдет в ближайшее время. И резоны те же, что и повсеместно, – сейсморазведку нужно делать дешевле, быстрее и с минимальным ущербом для окружающей среды. А значит, без легких, компактных, удобных в эксплуатации и, главное, недорогих, автономных модулей не обойтись.

При схожести и внешнего вида, и алгоритма работы различных нодальных систем, различия в них есть. И не только ценовые.

Чтобы принять правильное решение, российские геофизики проводят тщательную оценку нодальных систем. Оборудование ALLSEIS-1C от компании GDST (Китай) только появилось на российском рынке, но уже прошло тестирование в двух крупных компаниях, проводящих сейсморазведку в различных сейсмогеологических условиях.

История нодов ALLSEIS-1C

Компания GDST (Китай) специализируется на следующих видах услуг:

- Разработка и производство интеллектуального оборудования для сейсморазведки;
- Интеллектуальная сенсорная технология;

- Разработка и производство морских инженерных систем;

- Выполнение собственных проектов проекты 2,3, 4 D с использованием разных типов источников;

- Дополнительные услуги для работы с большими данными в области геолого-геофизических исследований;

- Разработка и реализация решений для «УМНОГО ГОРОДА»;

- Исследования и услуги по визуализации высокого разрешения городского подземного пространства и предотвращению чрезвычайных ситуаций.

В 2019 году были завершены промышленные испытания нового интеллектуального сейсмического блока ALLSEIS-1C land seismic solution, созданного для сейсморазведки с высоким разрешением, высокой эффективностью и надежностью. При разработке датчика особое внимание было направлено на его экономичность в производстве без ущерба для технических требований к надежности оборудования.

Компания имеет производственные площади в городах Сучжоу и Баодин. Общая площадь около 10 000 м². Производство состоит из стерильного цеха по производству интеллектуальных датчиков, испытательной платформы для тестирования сейсморазведочного оборудования, в том числе и климатика на низкие температуры. Производственный конвейер создавался сразу из расчета производительности более миллиона каналов в год, что обусловлено оценкой потребностей рынка, которые уже существуют в мире, и сохранятся в ближайшие годы. Отличная культура организации



▲ Рис. 1. Производство ALLSEIS-1C – стерильная чистота, высокие технологии организации труда.

производства, продуманный технологический цикл и отлаженная конвейерная сборка, плюс недорогая упаковка и опережающие закупки элементной составляющей обуславливают возможность минимизации цены датчика ALLSEIS-1C.

Технические характеристики ALLSEIS-1C

Allseis-1C — это универсальное высокопроизводительное и бюджетное сейсмическое нодальное решение, используемое для любых наземных условий или рельефа (Рис.2.):

- Сверхпрочный водонепроницаемый корпус (IP68), огнеупорный (5VA) и с защитой от ультрафиолетового излучения (F1);

- Уменьшенные габариты (9,8 см x 10,8 см x 11 см) и малый вес (750 г), удобен для транспортировки и развёртывания;

- 24-разрядный АЦП для регистрации сейсмических сигналов с высоким разрешением и в широком динамическом диапазоне;

- Настраиваемая частота дискретизации и усиление предусилителя;

- Встроенный высокочувствительный модуль GNSS, с поддержкой BeiDou, GPS и ГЛОНАСС, обеспечивает высокую точность глобальной синхронизации;

- Встроенный генератор тестовых сигналов, поддержка самотестирования и диагностики в поле, включая эквивалентный входной шум системы, динамический диапазон в реальном времени, сопротивление геофона постоянному

▼ Рис. 2. Датчик ALLSEIS-1C – все необходимое, для качественной работы.



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Датчик	5Гц высокочувствительный геофон (5Гц~150Гц) Опционально 10Гц высокочувствительный геофон (10Гц~240Гц) Опционально – нижняя часть корпуса с разъемом КСК для подключения внешней группы геофонов
АЦП	24 разрядный дельта-сигма АЦП с синхронизацией частоты по GNSS
Объем флэш-памяти	8 Гб флэш-память (наращиваемая до 16 Гб)
Продолжительность работы от батарей	Встроенная перезаряжаемая Li-Ion батарея (52Втч) >600 часов (25 дней) непрерывной регистрации
Точность синхронизации времени	±10мкс
Встроенные тесты	Наклон прибора, температура, эквивалентный входной шум, динамический диапазон, сопротивление геофона, собственная частота геофона, затухание, чувствительность, и т.д.
Рабочий режим	Автономный с контролем состояния и самодиагностикой с помощью Bluetooth с низким энергопотреблением, поддерживается контроль с транспортных средств и БПЛА.
Светодиодная индикация	Состояние узла, состояние синхронизации GNSS, состояние беспроводной передачи BLE
Сбор данных	Беспроводной сбор данных / Встроенная стойка для загрузки данных/зарядки аккумулятора
Конфигурирование и контроль качества на профиле	Промышленный портативный наладочный компьютер
Вес:	0.75кг (1.65lbs) включая аккумулятор и геофон
Габариты (ДхШхВ)	9.8см x 10.8см x 11см (без штыря)
Рабочая температура	-40~70°C
АНАЛОГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
АЦП	24 разряда
Шаг квантования	0.5мс, 1мс, 2мс, 4мс
Коэффициент усиления	x1, x4, x16 (0 дБ, 12 дБ, 24 дБ)
Входной импеданс	20кОм 22нФ (10Гц Геофон) 40кОм 22нФ (5Гц Геофон)
Точность усиления	0.1%
Максимальный уровень входного сигнала (амплитудное значение)	±2.5В @ 0дБ ±625мВ @ 12дБ ±156мВ @ 24дБ
Мгновенный динамический диапазон@1мс	125дБ @ 0дБ
Динамический диапазон системы	145дБ
Эквивалентный входной шум	1мкВ @ 0дБ
Общие гармонические искажения	<0.2% с 5Hz/10Hz высоко чувствительным геофоном
Полоса пропускания входного сигнала	0Гц ~ 866Гц @ 0.5мс (-3дБ) 0Гц ~ 800Гц @ 0.5мс (-0.1дБ)
Антиалиазинговый фильтр	Линейная фаза, -3дБ @ 86.6% Найквиста
Затухание в полосе записи	>120дБ @ Найквиста

▲ Табл. 1. Эксплуатационные характеристики датчика ALLSEIS-1C.

току, собственная частота, чувствительность, демпфирование и т.д.;

- Встроенный беспроводной модуль BLE, позволяющий осуществлять контроль качества на месте и воспроизведение сигнала в реальном времени.

- Расстояние наземной связи ≥ 20 м,

расстояние воздушной связи ≥ 100 м, поддержка инспекции в ручном режиме, с помощью транспортных средств и с помощью БПЛА;

- Режим работы Place&Record (P&R) поддерживает автоматическое сопоставление линии сбора данных и суммирова-

ния, что позволяет максимально увеличить производительность полевых работ.

- Встроенный высокоточный модуль позиционирования и синхронизации GNSS, поддерживает BeiDou, GPS, ГЛОНАСС и т.д.;

- Благодаря встроенному высокостабильному кварцевому генератору с температурной компенсацией уход часов составляет менее 1мс (в течение одного часа после потери связи со спутником);

- 600 часов непрерывной регистрации в стандартном режиме низкого энергопотребления GNSS и прерывистой синхронизации спутников;

- Поддерживает использование на глубине с настраиваемым режимом низкого энергопотребления GNSS и постоянной синхронизацией со спутником GNSS;

- Настраиваемая синхронизация сбора данных.

О тестировании ALLSEIS-1C в России

С момента создания ALLSEIS-1C в 2019 году, на рынок поставлено более 120,000 каналов сейсмических узлов, и уже более 40 сейсмических проектов успешно выполнено благодаря новому оборудованию. Уровень потерь по причине отказа оборудования – практически нулевой. Геофизические компании доверяют качеству ALLSEIS-1C, реализуя проекты с самыми разными геологическими задачами. (Рис.3).

Выход на Российский рынок в настоящее время осложнен многими факторами. Тем не менее, уже несколько российских компаний провели тестирование нового оборудования, высоко оценив его преимущества.

Компания проводила тестирование в Якутии в условиях отрицательных температур и снежного покрова. Новое обо-



▲ Рис. 3. Предпроектное тестирование оборудования ALLSEIS-1C в Китае.

рудование сопоставлялось с регистрирующей системой SN-508 с одиночными датчиками типа YF-Solo (5 Гц). Для тестирования был использован вибратор SERCEL NOMAD 65 Neo весом 30 тонн.

Одна приёмная линия, оборудование ALLSEIS1C и SERCEL 508XT устанавливается на одних и тех-же приёмных пикетах, 280 приёмных пикетов с шагом 25 метров, общая длина приёмной расстановки 7000м. Линия возбуждения параллельна приёмной линии, ПВ и ПП расположены на одних и тех же пикетах. Интервал пунктов возбуждения 25м, группа из 2 вибраторов, 4 накопления. 280 пунктов возбуждения, всего 1120 возбуждений. (Рис.4.).

Было осуществлено обучение персонала, показавшее, что логичный и дружелюбный интерфейс оборудования ALLSEIS-1C хорошо воспринимается российскими специалистами, что определило быстрое понимание технологии и порядка работы.

Утром 10 октября было размещено и настроено 280 узлов одной бригадой (один рабочий, устанавливающий узлы, один специалист для привязки оборудования, одно транспортное средство и один водитель).

Толщина снежного покрова на тестовой линии составляла около 15 см из-за



Рис. 4.
Схема опытных работ
в Якутии.

Рис. 5. Развертывание оборудования ALLSEIS-1C для опытных работ.



непрерывного снегопада. При размещении узлов сначала следует расчистить снег на земле и строго соблюдать требования к установке "ровный, устойчивый, прямой и плотный".

В процессе работы осуществлялся мониторинг состояния приёмной расстановки ALLSEIS 1C с помощью модулей Bluetooth. После отработки запланиро-

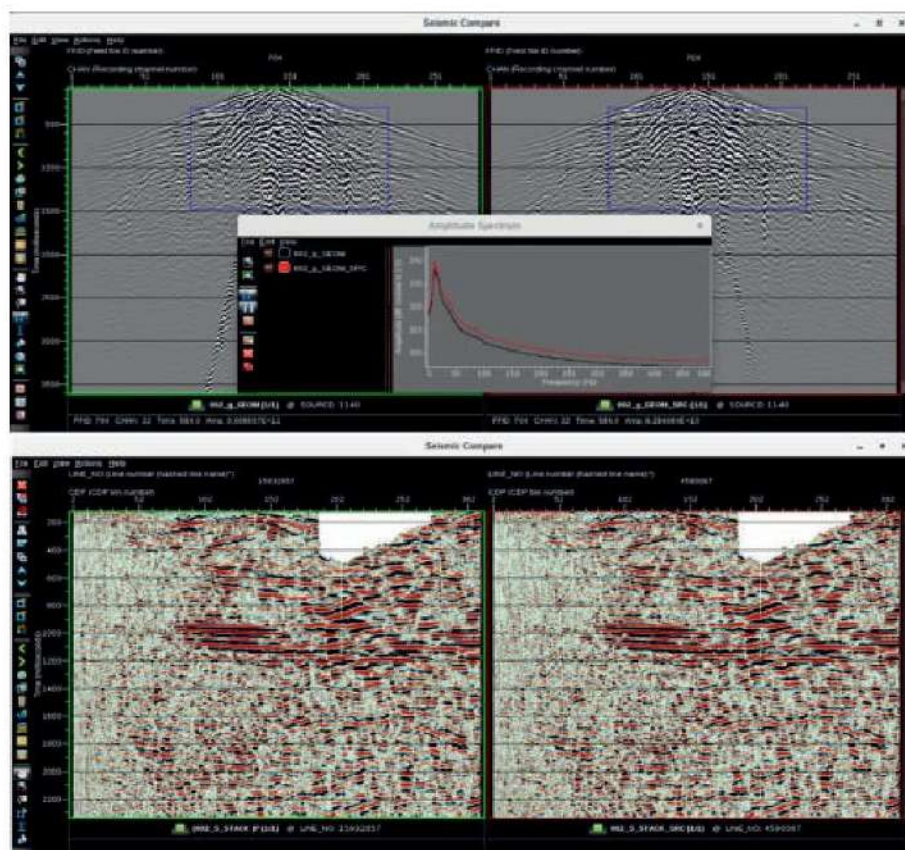
ванного числа физических наблюдений, оборудование было доставлено на базу и все материалы оперативно считаны и запущены в обработку.

Малый объем оборудования не позволил получить сейсмические материалы кратности, достаточной для геологической оценки результатов. В то же время, на уровне анализа сейсмограмм, их АЧХ,



Рис. 6. Проверка качества установки приборов и соблюдения технологических требований программы OMR.

► Рис. 7.
Сопоставление
сейсмических
материалов,
полученных
системами
ALLSEIS 1C (слева)
и SN508 (справа).



отношение сигнал/помеха в выбранных окнах, суммированных предварительных разрезов, можно определить идентичность сейсмоданных, полученных разными телеметрическими системами (Рис.7).

В качестве дополнительных тестов проводилась оценка работоспособности оборудования в условиях глубокого снежного покрова. Ноды засыпали снегом высотой почти 1 метр. Наблюдение за качеством сигналов спутников и рабочим состоянием нода проводилось утром и вечером. Результат мониторинга показал, что под таким снегом, оборудование ALLSEIS 1C полностью работоспособно. (Рис. 8).

Вторая компания в октябре 2022 года также выполнила тестирование оборудования ALLSEIS 1C в Республике Татарстан. Для тестирования была реализована следующая программа (Рис.9):

- 300 нодов ALLSEIS 1C были размещены на 5 линиях по 60 модулей в каждой линии. Расстояние между модулями 30см, расстояние между линиями 10см.

▼ Рис. 8. Оценка работоспособности ALLSEIS 1C в условиях снежного покрова.



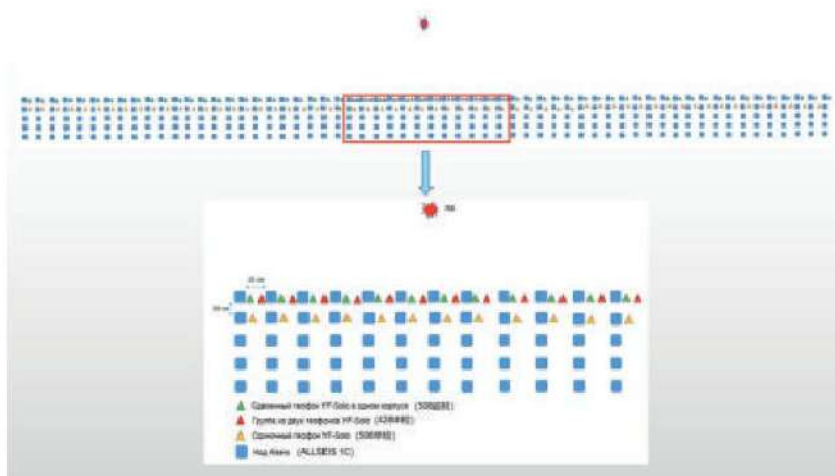


Рис. 9.
Схема
тестирования
оборудования
ALLSEIS-1C
в Республике
Татарстан.

- 60 сдвоенных геофонов YF-Solo в одном корпусе были расположены между нодами ALLSEIS 1C на первой линии и подключены к станции Sercel 428XL,

- 60 одиночных геофонов YF-Solo были расположены между нодами ALLSEIS 1C на второй линии и подключены к станции Sercel 428XL.

- 12 сдвоенных групп геофонов YF-Solo были расположены в середине первой линии и подключены к станции Sercel 428XL.

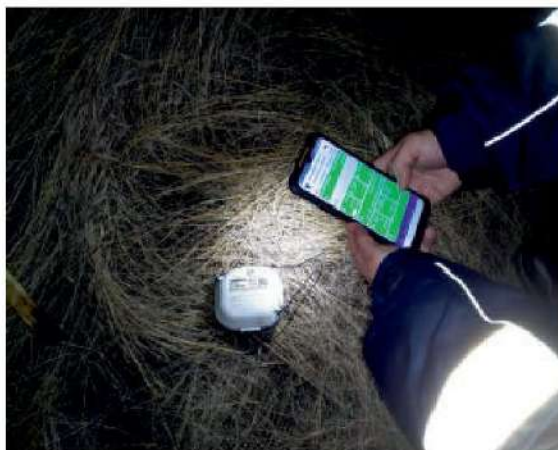
- Источник возбуждения: Взрывчатый материал (300 г).

На приёмной линии было установлено 300 нодов ALLSEIS 1C с шагом 12.5 метров. Длина приёмной линии составила

3750м. Регистрация проводилась совместно с 75 группами геофонов GS-20DX подключённым к сейсмической станции Sercel 428XL, установленными с шагом 50 метров. В группе GS-20DX используется 6 геофонов, соединение смешанное – две параллельных группы по три последовательно соединённых геофона. Из-за сложностей рельефа пикеты возбуждения начинаются с 60 пикета с начала профиля. Всего 232 пикета возбуждения с шагом 12.5м.

Оборудование ALLSEIS-1C показало свою надежность, результаты сопоставимы со стандартными данными, получаемыми с помощью кабельной системы с одиночными датчиками широкого диапазона.

Рис. 10. Развертывание оборудования ALLSEIS-1C.



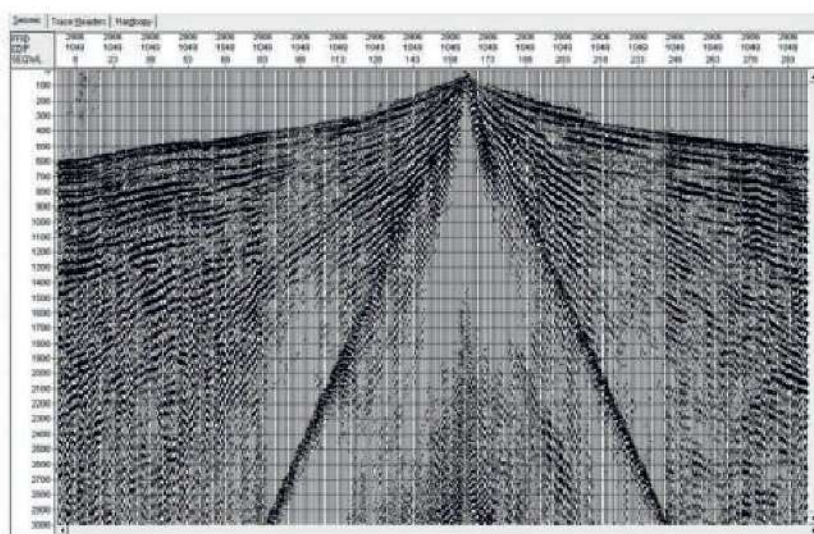
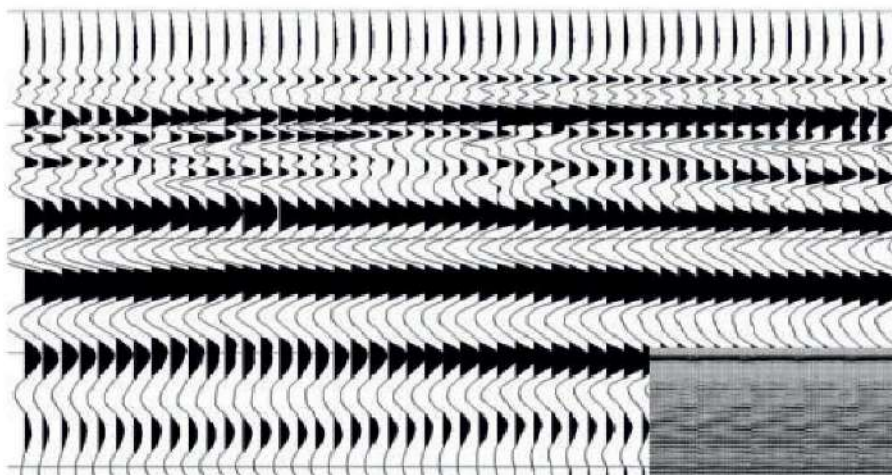
Выводы по результатам тестирования обе компании сделали идентичные:

- В результате сравнительного теста были получены обширные и достоверные данные полевых испытаний, доказывающие, что узел ALLSEIS-1C удобен, эффективен и стабилен для полевых работ

- Продолжительность работы от аккумулятора соответствует заявленной

- Техническое описание беспроводной системы регистрации ALLSEIS-1C соответствует заявленным параметрам.

► Рис. 11.
Проверка
идентичности
оборудования
ALLSEIS-1C.



◀ Рис. 12.
Сейсмограмма,
сформированная
по материалам
ALLSEIS-1C.

Высокая оценка российскими геофизиками качества нового для рынка оборудования ALLSEIS-1C создает отличный задел не только для продвижения его на рынок, но и может стать важным шагом на пути широкого внедрения в отрасли бескабельных технологий.

Подробнее об авторах



Красноборов Д. В.

Генеральный
директор
компании
«X-Port Group»
в России.



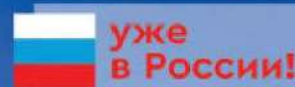
Жисян Чжу, Председатель
Совета Директоров GDST,
академик Китайской
академии наук, академик
Академии наук стран
третьего мира, член
Общества геофизиков-
исследователей (SEG)
и лауреат научной премии
Tan Kah Kee 2020 года
в области наук о Земле.



xPORT GROUP



многофункциональная
бескабельная система



AllSeis – 1C, 3C, 4C



- **нет ограничений** (санкций) в поставке
- производство - **2000** каналов в день
- **AllSeis** с внешним разъемом под группу геофонов, гидрофон, геофон в болотном корпусе
- **AllSeis** датчик – 1Гц, 5Гц, 10Гц
- **AllSeis** память - 8Гб, 16Гб, 32Гб
- **AllSeis** – для работы на воде



Moscow - xPort Group, ООО
Phone: +7 (916) 172-87-67
E-mail: dkrasnoborov@xportgroup.com

Houston - xPort Group, Inc.
Phone: +1 (281) 665-0907
E-mail: eblossom@xportgroup.com
Website: www.xportgroup.com

Перспективы применения широкополосного свип-сигнала при проведении работ методом вертикального сейсмического профилирования

■ Садыков Э.А., Акуленко А.С., Адиев Т.Р.,
ООО НПЦ «Геостра», АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

В статье представлены результаты опытных работ по применению свип-сигналов различных типов (линейный и широкополосный) при проведении регистрации сейсмических данных методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в Оренбургской области, а также анализ перспектив применения широкополосного свип-сигнала для решения задачи по повышению разрешенности данных скважинной сейсморазведки.

На основе серии критериев, ключевым из которых являлось сопоставление результатов одномерного моделирования с трассами однократных отражений, рассчитанных по сейсмическим данным, полученным с различными свип-сигналами, определена значительная перспективность применения широкополосного свип-сигнала при выполнении последующих работ методом ВСП в пределах исследуемой площади.

Ключевые слова: широкополосный свип-сигнал, вертикальная разрешенность, сейсморазведка, ВСП, АО «Башнефтегеофизика»

Введение

Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) является самостоятельным методом скважинных сейсмических исследований, применяемым для определения и уточнения параметров геологической модели месторождений с целью минимизации геологических рисков при бурении и оптимизации процесса разработки. Наиболее распространенной модификацией метода является продольное ВСП. При реализации данной модификации сейсмоприемники перемещаются от забоя к устью скважины при фиксированном положении источника возбуждения. После проведения соответствующей обработки и интерпретации сейсмических данных ВСП, обеспечивается возможность решения серии значимых геологических задач, таких как определение кинематических и упругих параметров среды, поглощающих и анизотропных свойств и т.д. [1].

Материалы продольного ВСП, а также иных модификаций, используются и в процессе выполнения камеральной

обработки и интерпретации наземных сейсмических данных. При этом, реализуемый комплексный подход позволяет значительно повысить эффективность и точность решения широкого перечня задач, за счёт того, что трассы однократных отражений ВСП определяются вблизи глубин образования отражений и имеют тесную связь с распределением упругих свойств среды (со скважинными данными) и, одновременно, при регистрации данных ВСП применяется такой же источник, как и в наземной сейсморазведке, образующий то же волновое поле в том же частотном диапазоне [2]. Методическое развитие комплексного применения сейсмических данных наземной и скважинной сейсморазведки непрерывно совершенствуется в группе компаний АО «Башнефтегеофизика» и системно освещается в публикациях В. А. Ленского и А. С. Жужеля [3-5].

Одной из ключевых стадий актуального варианта методики комплексирования, практикуемой в АО «Башнефтегеофизика», является применение данных

ВСП для выполнения сейсмостратиграфической привязки материалов наземной сейсморазведки. Для успешного решения данной задачи, а также выполнения иных стадий методики, таких как формирование сейсмического эталона по данным ВСП для последующего определения параметров деконволюции, применяемой по материалам наземной сейсморазведки, расчёт параметров «дрейфа фаз» и т.д., важным фактором является вертикальная разрешенность сейсмических материалов ВСП, т.к. высокие значения данного параметра волнового поля обеспечивают более тесную взаимосвязь данных ВСП со скважинной информацией и, как следствие, способствуют повышению эффективности реализации методики и выполнения комплексных работ по сейсмогеологическому изучению среды в целом.

Принимая во внимание данный фактор, в рамках реализации программы по оптимизации процессов полевых сейсморазведочных работ, компанией АО «Башнефтегеофизика» в 2021 году были проведены опытные работы, направленные на анализ перспектив применения широкополосного свип-сигнала для решения задачи по повышению разрешенности сейсмических материалов ВСП. Результатам, полученным по итогам выполнения данных опытных работ, посвящена настоящая статья.

▼ Табл. 1. Основные параметры свип-сигналов.

Параметр	Линейный свип	Широкополосный свип
Начальная частота, Гц	7	3
Конечная частота, Гц	120	120
Конус, с	0.5 – 0.5	1 – 0.5
Нелинейность, дБ/Гц	0	+0.12
Длина свип-сигнала, с	12	12

Методика и результаты опытных работ

Исходные сейсмические данные ВСП были получены в одной из скважин, вскрывшей рифейские отложения и расположенной в Оренбургской области. Регистрация данных проводилась с шагом 10 метров по стволу скважины, с использованием трехкомпонентной семиточечной аппаратуры «Slim Wave» (Sercel, Франция). Поверхностный контрольный прибор располагался на расстоянии 17 метров от устья скважины, пункт возбуждения находился на удалении 136 метров. В качестве источника сейсмических колебаний была использована группа из двух сейсмических виброустановок R-Vib на базе автомобиля КАМАЗ. Для модуляции свип-сигналов была применена система GDS-II (ООО «ГСД», Москва), позволяющая стабильно получать начальную частоту свип-сигнала от 2 Гц.

При выполнении работ были использованы два типа свип-сигналов. Первый тип соответствовал линейно-частотно модулированному свип-сигналу, который широко применяется в отрасли. Второй тип имел нелинейную развертку по частоте для увеличения энергии высокочастотной компоненты и расширенный диапазон в сторону низких частот, т.е. относился к классу широкополосных. Перечень основных параметров свип-сигналов представлен в таблице 1.

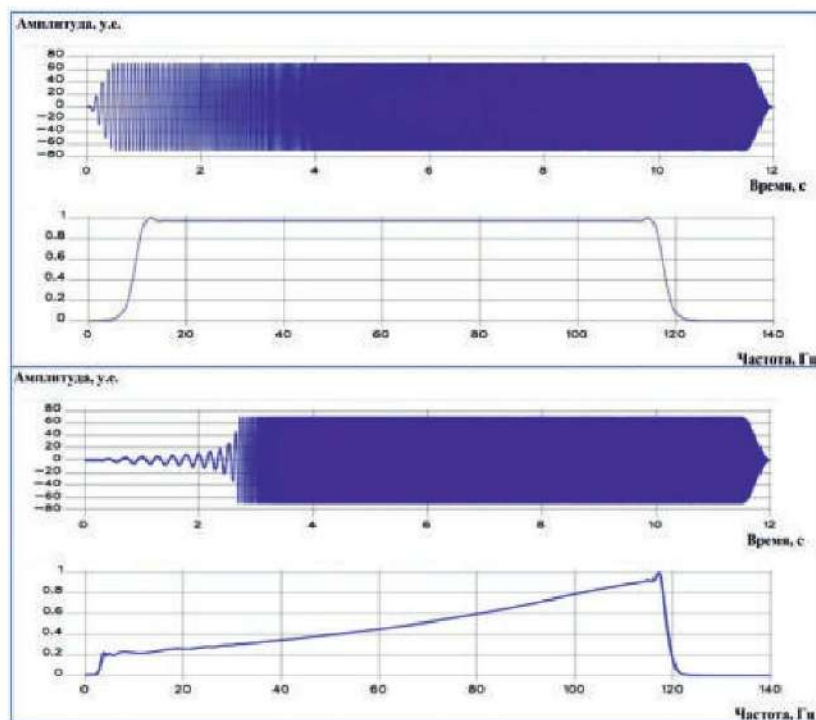


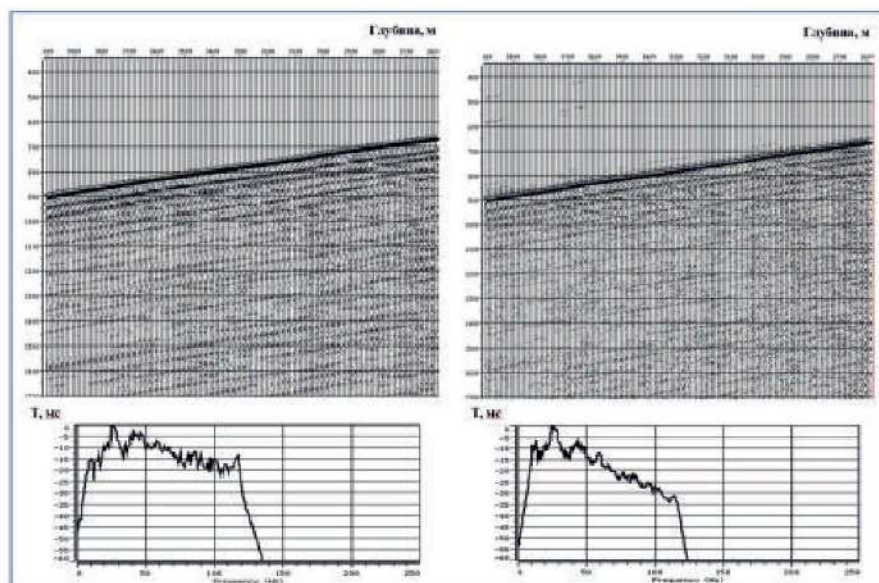
Рис. 1.
Амплитудно-частотные характеристики линейного (сверху) и широкополосного (снизу) свип-сигналов.

Амплитудно-частотные характеристики указанных свип-сигналов представлены на рисунке 1.

Полевые данные, полученные с применением линейного и широкополосного свип-сигналов, были обработаны по идентичному технологическому графу, который состоял из следующей последовательности основных процедур: формирование профиля ВСП, редактирование записей, ввод статических поправок по записям контрольных приборов, определение интервальных, пластовых и средних скоростей, ориентация установки по поляризации первой волны, расчет X, Y, Z-компонент и оптимальной компоненты продольных волн, подавление интенсивных помех, разделение полей падающих и восходящих волн заданного типа, переменная во времени и глубине деконволюция по набору заданных импульсов, коррекция амплитуд за геометрическое расхождение фронта волны, приведение поля отраженных волн к вертикали (лучевая миграция), получение трасс однократных отражений (коридорная сумма).

Исходные сейсмические материалы и результаты, полученные после проведения обработки, были проанализированы. В процессе анализа установлено, что волновые поля, полученные с применением свип-сигналов обоих типов, характеризуются сопоставимым уровнем прослеживания основных типов падающих и восходящих волн. На амплитудно-частотном спектре сейсмических данных, полученных с линейным свип-сигналом, отмечается равномерное затухание амплитуд с увеличением частоты, что является стандартным для условий применения свип-сигнала данного типа. Амплитудно-частотный спектр сейсмических данных, полученных с широкополосным свип-сигналом, характеризуется равномерным распределением амплитуд по частоте и более широким освещенным частотным диапазоном за счет вклада энергии компоненты низких частот (рис.2). При этом, оба набора данных не имеют каких-либо явно выраженных артефактов и являются пригодными для решения геологических задач.

► Рис. 2. Волновые поля ВСП до обработки и амплитудно-частотные характеристики линейного (слева) и широкополосного (справа) свип-сигналов.

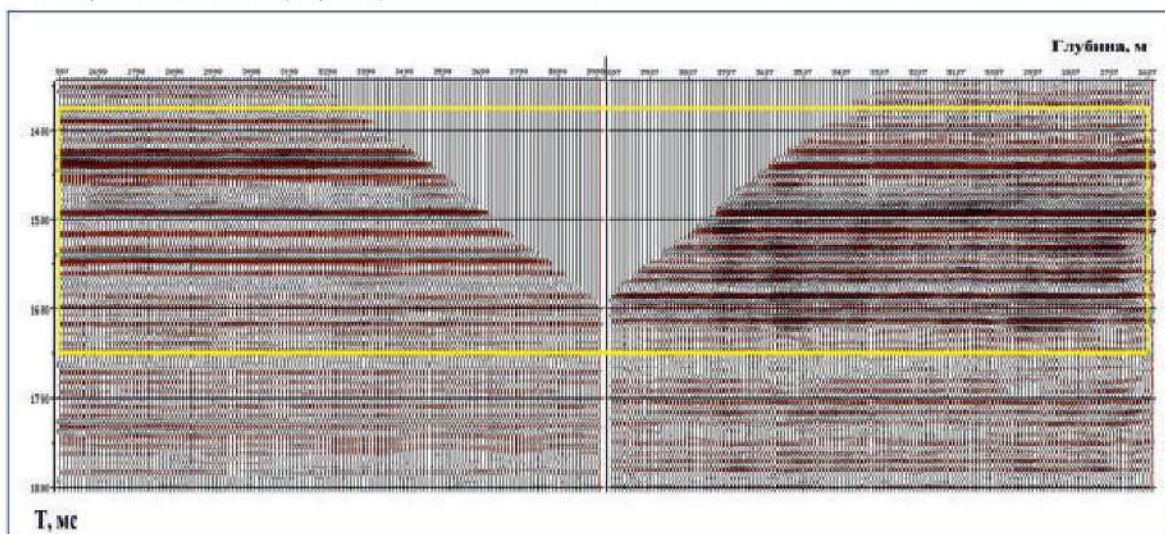


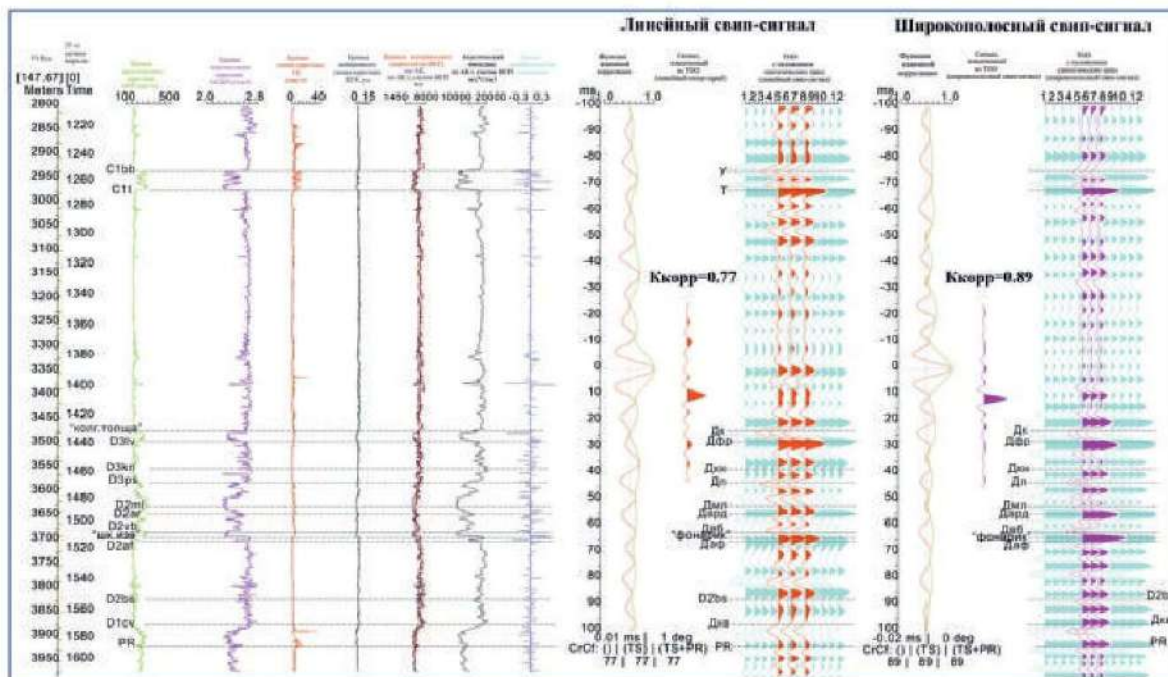
После выполнения обработки сейсмических данных, расхождения в отношении вертикальной разрешенности волновых полей становятся однозначными. Даже при визуальном анализе, в целевом интервале 1450-1650 мс по данным, полученным с применением широкополосного свип-сигнала, высокочастотные оси синфазности, которые могут быть ассоциированы не только с опорными, но и целевыми горизонтами малой мощности, выделяются гораздо более

контрастно, чем на волновом поле, полученном с применением линейного свип-сигнала, где данные оси синфазности либо прослеживаются не однозначно, либо отсутствуют (Рис.3).

Таким образом, модуляция низких частот (широкополосный свип-сигнал) позволила обеспечить увеличение вертикальной разрешенности сейсмических данных за счет понижения побочных максимумов импульса сигнала и, как следствие, получить сейсмическое

▼ Рис. 3. Поля отраженных продольных волн, выведенные на вертикаль, после выполнения обработки сейсмических данных ВСП, полученных с линейным (слева) и широкополосным (справа) свип-сигналами.





▲ Рис. 4. Результаты одномерного моделирования.

отображение горизонтов за счёт более глубокого проникновения излучаемого сигнала.

Данный вывод подтверждается и при выполнении одномерного моделирования, одного из ключевых инструментов проведённого анализа. На рисунке 4 представлены данные ГИС (слева направо: кривая акустического каротажа, кривая плотностного каротажа, кривая гамма-каротажа, кривая нейтронного гамма-каротажа, кривые интервальных скоростей по ВСП, акустический импеданс, трасса коэффициентов отражения), а также трассы однократных отражений (ТОО), рассчитанные по сейсмическим данным, полученным с использованием линейного и широкополосного свип-сигналов, и совмещенные с соответствующими синтетическими трассами, рассчитанными по данным ГИС, извлеченные импульсные характеристики и функции взаимной корреляции ТОО и синтетических трасс.

Извлеченные из волновых полей импульсные характеристики, позволяют

сделать заключение о более высокой степени сжатия главного максимума и понижении амплитуд побочных максимумов для данных, полученных с применением широкополосного свип-сигнала по сравнению с линейным, что является подтверждением увеличения вертикальной разрешенности. При этом значение коэффициента корреляции синтетической трассы с трассой однократных отражений, значимо увеличилось с 0,77 до 0,89, что свидетельствует о существенном повышении сходимости сейсмических и скважинных данных. Таким образом, отождествление отражающих горизонтов на волновом поле стало более однозначным, количество горизонтов, ассоциированных с нуль-переходом трасс, значительно уменьшилось.

Заключение

Необходимость излучения максимально возможной полосы частот, в отношении вертикального сейсмического профилирования, вытекает из главной

методической задачи метода, изучения условий выделения отраженных волн от всех сейсмических границ, представляющих геологический интерес [6]. Выполненные опытные работы подтвердили важность соблюдения данного условия, а также тот факт, что расширение диапазона частот свип-сигнала в низкочастотную область даже на несколько герц с одновременным увеличением энергии высоких частот по развертке свип-сигнала позволяет значительно увеличить вертикальную разрешенность результирующих материалов ВСП, что обеспечивает более точное решение поставленных перед методом геологических задач, а также повышает эффективность реализации методик комплексирования данных наземной и скважинной сейсморазведки. Таким образом, выполненные опытные работы подтвердили перспективность применения широкополосного свип-сигнала при последующих работах методом продольного ВСП в пределах исследуемой площади.

Литература

1. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М.: Недра, 1982. 344 с.
2. Направления развития технологии ВСП в АО «Башнефтегеофизика» / Ленский В.А. [и др.] // Геофизика. 2022. №4. С. 27-36.
3. Ленский В.А., Жужель А.С., Иркабаев Д.Р. Возможности ВСП при обработке и интерпретации данных наземной сейсморазведки 2D/3D // Геофизика. 2020. №4. С. 16-24.
4. Ленский В.А., Жужель А.С. Дрейф фаз отражений и возможность его оценки с использованием ВСП // Геофизика. 2021. №1. С. 21-25.
5. Ленский В.А., Жужель А.С. Актуальные задачи современной стратиграфической привязки отражений по данным ВСП // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. №6. С. 42-49.
6. Шехтман Г.А. Методика проведения работ в скважинной сейсморазведке // Приборы и системы разведочной геофизики. 2015. №3. С. 59-70.

Об извлечении геофизической информации из электромагнитных и сейсмических шумов Земли

■ Шайдуров Г.Я., Потылицын В.С., Майков О.А., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В статье изложены алгоритмы обработки низкочастотных шумовых сигналов естественных электромагнитных и сейсмических полей Земли в диапазоне частот 0.1 – 20 Гц при поисках полиметаллических руд методом вызванной поляризации и углеводородов сейсмо-электрическим методом. Приведены графики профилирования на известных месторождениях железных руд (респ. Хакасия), полиметаллов (Восточный Казахстан) Минусинском газоконденсатном месторождении (респ. Хакасия) и на нефтяных участках (Пермская обл.). Делается вывод о максимально возможной глубинности поисков за счет использования теллурических токов.

Ключевые слова: шумовые поля, электромагнитные, сейсмические, вызванная поляризация, сейсмо-электрический, теллурический метод, алгоритмы обработки, полевые, испытания.

Введение

Шумовые поля Земли являются естественными источниками, переносящие информацию о структуре и свойствах геологических разрезов. Их использование не требует специальных генераторов для излучения поля, что является большим преимуществом перед другими методами электро- и сейсморазведки. Однако статистическая неоднородность этих полей по пространству, неэргодичность по времени и спектру, требует разработки алгоритмов обработки сигналов и методов проведения работ инвариантных или, по крайней мере, устойчивых против изменяющихся параметров.

Электромагнитные шумовые поля в электроразведке применяются при постановке методов кажущегося сопротивления, например, АФМАГ [1] в диапазоне частот 10 Гц ÷ 10 кГц, а также теллурического зондирования на сверхнизких частотах < 10 Гц для структурных исследований на глубинах до нескольких километров [2].

На сегодняшний день широкое распространение для поиска углеводородов получили сейсмические методы, связанные с использованием активных источ-

ников сейсмического поля (2D и 3D сейсморазведка), но данные методы дают лишь 30 процентов продуктивных скважин, поэтому для увеличения результативности разрабатываются новые методы поиска с использованием различных физических и химических эффектов. Использование сейсмических шумов для прямых поисков углеводородов, основанное на явлении генерации инфразвуковых волн нефтегазовой залежью, зарегистрировано в России как научное открытие [3].

Известны работы Ведерникова Г.В. [4] в этой области по регистрации шумов в диапазоне сверхнизких частот в паузах между сейсмическими воздействиями, что по-видимому связано с акустическим резонансом залежи.

Первые предложения по применению шумов Земли в электроразведке методом вызванной поляризации (ВП) относятся к 70-м годам прошлого столетия [5, 6].

В течении многих лет автором и его сотрудниками производились аппаратные разработки и их полевое апробирование в различных районах России, Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, в том числе и в лабораторных бассейнах со

многими удачными и неудачными результатами. Лишь, начиная с 2010 года, удалось разработать методику обработки сигналов и произвести успешные полевые работы по регистрации потенциалов ВП на рудных месторождениях.

Совместное использование сейсмических и электрических шумов для работы сейсмо-электрическим методом при поиске углеводородов было апробировано авторами настоящей статьи на Минусинском газоконденсатном месторождении (республика Хакасия) в 2010 – 2018 годах [7, 8], а в 2019 году на нефтяных проявлениях в Пермской области, показавших целесообразность постановки работ подобным способом и для решения задачи поиска нефти.

Алгоритмы обработки шумовых сигналов

Исходной предпосылкой для извлечения информации из шумов является теорема «черного ящика», известного американского математика Норберта Винером [10], из которой следует, что при подаче на линейную систему с импульсной характеристикой $K(t)$ «белого» шума $x(t)$, с автокорреляционной функцией в виде единичного дельта-импульса $\delta(\tau)$, определяемой как:

$$R_{xx}(\tau) = R_0 \delta(\tau) = R_0 \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t-\tau)dt \quad (1)$$

Путем вычисления функции взаимной корреляции $R_{xy}(\tau)$ шумовых сигналов на входе $x(t)$ и на выходе «черного ящика» $y(t)$, можно получить его импульсную характеристику:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t-\tau)dt = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \int_{-\infty}^{\infty} x(t)K(t-\tau)dt dt = R_0 K(\tau) \quad (2)$$

В реальных условиях, входной шум имеет спектральную характеристику, ограниченную по частоте, например, в виде Марковского шума:

$$S_x(\omega) = \frac{R_0}{\alpha_1^2 + \omega^2} \quad (3)$$

В этом случае теорема Винера требует уточнений.

Если импульсная характеристика системы для метода ВП описывается экспоненциальной функцией:

$$K(t) = A\alpha_2 e^{-\alpha_2 t} \quad (4),$$

с частотной характеристикой вида

$$K(j\omega) = \frac{A\alpha_2}{\alpha_2 + j\omega} \quad (5),$$

то свертка (3) и (5), определяющая функцию взаимной корреляции в спектральном представлении будет иметь вид:

$$S_{xy}(\omega) = \frac{AR_0 \cdot \alpha_2}{(\alpha_1^2 + \omega^2)(\alpha_2^2 + \omega^2)} \quad (6)$$

Эта функция зависит от параметров R_0 , α_1 , являющихся случайными величинами. По этой причине необходимо найти алгоритм обработки, обеспечивающий инвариантность измеряемого параметра относительно нестабильных величин R_0 , α_1 , в (3).

Представим шумовые сигналы $x(t)$ и $y(t)$ в виде разложения в ряд Карунена – Лозва:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \psi_{ij}(t) \quad (7)$$

$$y(t) = \sum_{j=1}^n \bar{y}_{ij} \psi_{ij}(t) \quad (8)$$

Где $\psi_{ij}(t)$ – базисные взаимно-ортогональные функции, подчиняющиеся на интервале $[0, \tau]$ закону:

$$\int_0^T \psi_i(t) \psi_j(t) dt = 0 \quad (9)$$

Нормированные по дисперсии случайные амплитуды сигналов, можно записать как:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i}{\sqrt{\sigma_x^2}}; \quad \bar{y}_i = \frac{y_i}{\sqrt{\sigma_y^2}} \quad (10)$$

Для получения фазового сдвига $\Delta\varphi_i(\omega_i)$, как информационного параметра ВП, минимизируем разность (7, 8), путем адаптивной вариации некоторого коэффициента γ :

$$\frac{1}{T} \int_0^T [\bar{x}(t) - \gamma \bar{y}(t)]^2 dt \rightarrow \min \quad (11)$$

Для примера, представим базисные функции ψ_i, ψ_j в виде тригонометрических рядов:

$$\psi_{xi} = \sin(\omega_i t + \varphi_i); \psi_{xj} = \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (12)$$

$$\psi_{yi} = \sin(\omega_i t + \varphi_i + \Delta\varphi_i); \psi_{yj} = \cos(\omega_i t + \varphi_i + \Delta\varphi_i)$$

Здесь: ω_i – частота гармоник шумового сигнала; φ_i – начальная фаза; $\Delta\varphi_i = \Delta\varphi(\omega_i)$ – фазовый сдвиг за счет эффекта ВП на i -й гармонике.

Ограничиваясь двумя членами рядов в (7, 8), получим разность амплитуд сигналов x_i и y_i для первой гармоники:

$$\eta = \bar{x}_1 - \gamma \bar{y}_1 = \sqrt{x_i y_i} \sin \Delta\varphi_i [\cos(\omega_i t + \Delta\varphi_i) - \sin(\omega_i t + \Delta\varphi_i)] \quad (13)$$

При малом $\Delta\varphi_i$ и отфильтровки частотно зависимых функций $\sin \omega_i t$ и $\cos \omega_i t$, разность этих сигналов соответствует измеряемому параметру $\Delta\varphi_i$

$$\eta = \sqrt{x_i y_i} \cdot \Delta\varphi_i.$$

Общее число гармоник, при равенстве в (11) амплитуд $\bar{x}(t) = \gamma \bar{y}$, и минимизации этой разницы автоподстройкой коэффи-

циента γ , дает:

$$\eta_n = \sum_{i=1}^n \sqrt{\sigma_{xi}^2} \Delta\varphi_i \quad (14)$$

Это означает, что расширение спектра входных случайных сигналов $x(t)$ за счет появления дополнительных источников помех, лишь увеличивает чувствительность метода.

Если наблюдать функцию взаимной корреляции $R_{xy}(\tau)$ между сигналами $x(t)$ и $y(t)$, то:

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) \bar{y}_i(t - \tau) dt = \sigma_{xiy}^2 [\sin \Delta\varphi + \cos \Delta\varphi + \sin(2\alpha + \Delta\varphi)] \quad (15)$$

При малом фазовом сдвиге $\Delta\varphi \rightarrow 0$, эта функция дает коэффициент взаимной корреляции в виде:

$$R_{xy}(0) \approx \sigma_{xiy}^2 (1 + \Delta\varphi \cos 2\alpha) \quad (16)$$

Таким образом, алгоритм вычисления функции взаимной корреляции не позволяет наблюдать малый информационный параметр $\Delta\varphi_i \ll 1$ на фоне большой величины дисперсии сигнала σ_y^2 . По этой причине можно сделать заключение о целесообразности использования в методе ВП разностного алгоритма обработки случайных сигналов (13), дающего возможность получить фазовый сдвиг этого процесса, определяемый через импульсную характеристику $K(\tau)$, как произведенную переходной характеристики разряда двойного электрического слоя ВП:

$$K(\tau) = \frac{\delta}{\delta t} h(t) = h'(t) \quad (17)$$

где для процесса ВП

$$h(t) = A\alpha_2 e^{-\alpha_2 t} \quad (18)$$

Спектральная и фазо-частотные харак-

теристики объектов поиска с импульсной функцией (18):

$$K(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} A\alpha_2 e^{-\alpha t} e^{-j\omega(t-\tau)} dt = \frac{A\alpha_2}{\alpha_2 + j\omega} \quad (19)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{J_m(j\omega)}{R_e(j\omega)} = \frac{\omega}{\alpha_2} \quad (20)$$

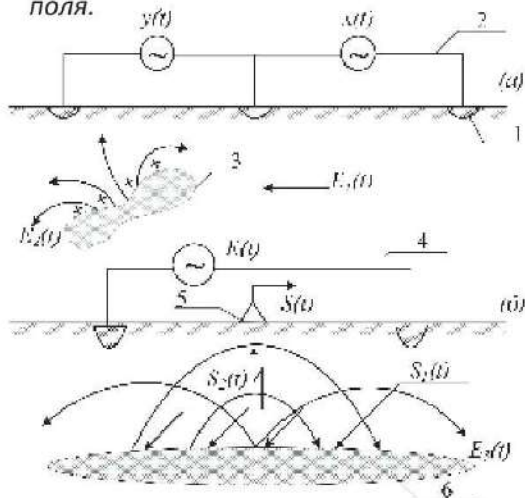
При малом фазовом сдвиге, каждая спектральная линия шумового сигнала дает:

$$\Delta\varphi_i = \frac{\omega_i}{\alpha_{2i}}.$$

Таким образом, общий вид измерительной установки будет иметь следующий вид, представлены на рис. 1а.

Откуда следует, что оценка фазового параметра по (14, 20), приемлема для работ методом ВП. На рис. 2 показана схема проведения экспериментальных работ сейсмо-электрическим методом ВПЕМПЗ на руднике Жомарт 7-8 сентября 2021 (месторождение Жаман-Айбат в

- ▼ Рис. 1. а – электроразведка ВП;
б – сейсмо-электроразведка (СЭ);
1 – неполяризуемые электроды;
2 – приемные линии ВП; 3 – рудное тело;
4 – приемная линия СЭ; 5 – сейсμοприемник;
6 – углеводородный пласт;
 $E_1(t)$, $S_1(t)$ – первичные электрические и сейсмические шумовые поля (СЭШ);
 $E_2(t)$, $E_3(t)$ – вторичные электрические поля.



▲ Рис. 2. Карта проведения полевых работ с нанесенным профилем наблюдений и контуром рудного тела на руднике Жаман-Айбат.

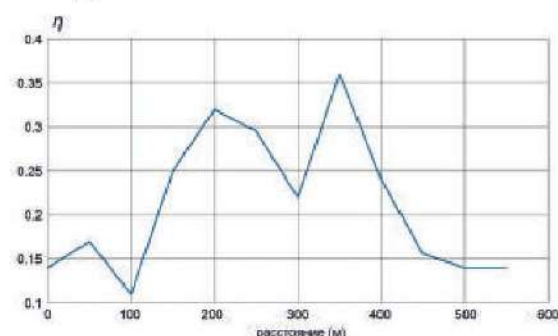
Восточном Казахстане).

Полиметаллическая рудная залежь вкрапленного типа находилась на глубине 600 м. Приповерхностный слой Земли 10-40 м состоит из смесей песка и суглинка, обуславливающих высокое кажущееся сопротивление на участке работ.

Для приема использовалась дифференциальная установка из двух смежных электрических диполей длиной 50 м с заземлением на неполяризующиеся электроды конструкции ВИТРа. Запись сигналов производилась на микроконтроллер с 24-х разрядного аналого-цифрового преобразователя. При обработке сигналов использовался разностный алгоритм (14).

На рис. 3. Представлен график профилирования поперек рудного тела по

▼ Рис. 3. График профилирования по параметру вызванной поляризации на руднике «Жаман-Айбат».



параметру ВП η содержащий два пика по краю аномалии, соответствующий приему градиентной установкой с соотношением сигнал/фон 5:1.

Поскольку использовался диапазон шумовых частот $0.1 \div 20$ Гц, входит в область теллурических токов, то это позволило достичь глубинности 600 м, что по мнению авторов является объяснимой гипотезой появления потенциалов ВП под действием этих токов на больших глубинах.

Можно сделать вывод, что потенциально возможная глубинность исследований методом ВПЕМПЗ соответствует глубине достигаемости методами становления поля и теллурических токов, но работающих по параметрам кажущегося сопротивления.

Применение шумового метода при поиске углеводородов

Представляет интерес использование пассивного сейсмо-электрического метода с выделением информации из сейсмических и электромагнитных шумов Земли при поиске и разведке нефти и газа.

В отличие от метода ВП, основанного на перезарядке двойного электрического слоя – электронный проводник – ионно-проводящая среда, физической основой сейсмо-электрического эффекта является регистрация дополнительного электрического заряда углеводородного пласта под действием сейсмических шумов.

В этом случае, по причине синхронности этих процессов, за исключением временной задержки вторичного электромагнитного поля на участке между поверхностями пласта и земли, оказалось целесообразным использовать в качестве информационного параметра коэффициент взаимной корреляции

между нормированными по дисперсии сигналами, снимаемыми одновременно с сейсмоприемника $S(t)$ и электрического заземленного диполя $E(t)$:

$$R(0) = \frac{1}{T} \int_0^T \overline{E(t)} \overline{S(t-\tau)} dt \quad (21)$$

Здесь T – время наблюдений.

Взаимно-корреляционная функция связи сейсмо-электрического поля, как результат сейсмо-электрического эффекта, вызванного действием сейсмической волны, будет соответствовать импульсной переходной характеристике разряда емкости возбужденного слоя продуктивного пласта:

$$R_{ES}(\tau) = S_0^2 \frac{\delta E(\tau)}{\delta \tau} \quad (22)$$

Это означает, что вторичное электрическое поле СЭ эффекта несет информацию об его электрических и геометрических параметрах.

В [12] были изложены результаты наблюдений методом ВПЕМПЗ на Минусинском газоконденсатном месторождении с использованием дифференциальной электрической установки с длиной приемных диполей до 200 м. График профилирования этой установки показал максимум коэффициента ВП (14) на краю месторождения. Такой результат можно объяснить эффектом разряда эквивалентной емкости продуктивного пласта на окружающую среду. Это позволяет надеяться на использование сейсмо-электрического эффекта в комбинации с методом ВП при поиске углеводородов.

В [11] показано, что при действии на газовый пласт ударного импульса сейсмического источника, амплитуду $E(\tau)$ можно оценить, как:

$$E_x = \frac{E_0 \sigma_2 L_1 L_2 P_2 \tau_u}{4\pi h_1^2 \sigma_1 h_2 V_2 \rho_2} e^{-\beta h_1} \quad (23)$$

Где: $E_0 = 120$ В/м – напряженность статического электрического поля Земли; σ_1, σ_2 – соответственно электропроводности окружающей пласт горной породы и углеводородной среды; L_1, L_2 – продольный, поперечный размер пласта; h_2 – его мощность; h_1 – глубина положения пласта; P_2 – давление сейсмического удара на его поверхность; τ_u – длительность ударного импульса; V_2 – скорость продольной сейсмической волны в среде пласта; ρ_2 – плотность углеводородной среды; β – коэффициент поглощения электромагнитной волны в горной породе.

Для нефтяного пласта, в связи с более высокой плотностью его среды, амплитуда $E(\tau)$ уменьшается как показано в [11] на величину множителя

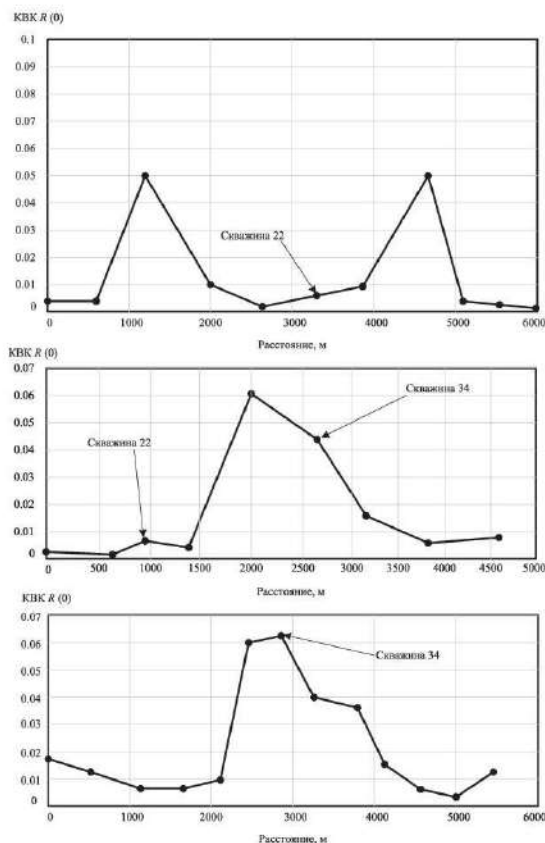
$$1 + \frac{P_0 \tau_u}{m V_2}, \text{ где } P_0 = \frac{P_C}{\lambda_{S2}^2};$$

P_C – сила сопротивления среды; λ_{S2} – размер первой зоны Френеля на поверхности пласта; m – масса смещаемой среды. Этот коэффициент необходимо уточнять лабораторным экспериментом. Однако, с учетом того что для нефти параметр $\frac{P_0 \tau_u}{m V_2}$, то в расчетах E_X можно пользоваться формулой с подстановкой V_2 и ρ_2 характерных для этой среды.

На рис. 4 приведены результаты наблюдений СЭ при регистрации по профилям коэффициента взаимной корреляции электрических и сейсмических сигналов $R(0)$ (26). Работы проводились на нефтяных участках одного из нефтедобывающих предприятий (г. Пермь) в 2019 году.

Как видно из этих графиков, прибор давал четко выраженные аномалии над залежами нефти.

К сожалению, у авторов не было материалов по геологическим структурам района работ.



▲ Рис. 4. Графики профилирования на нефтяном месторождении (Пермская обл.) пассивным сейсмо-электрическим методом.

Выводы

1. Показано, что для выделения информации о потенциалах ВП из шумовых электромагнитных полей Земли в диапазоне частот (0.1÷20 Гц) на полиметаллических месторождениях, можно использовать дифференциальный метод, реализуемый вычислением разности амплитуд сигналов двух смежных электрических диполей.

2. Для поиска углеводородов пассивным сейсмо-электрическим методом, целесообразно использовать алгоритм оценки коэффициента взаимной корреляции между электрическим и сейсмическим шумовыми сигналами.

3. В связи с работой на сверхнизких частотах в диапазоне 0.1÷20 Гц, как при поиске полиметаллических месторождений методом ВП, так и углеводородов

сейсмoeлектрическим методом, в обоих случаях достигается максимально возможная глубинность характерная для электротеллурических исследований.

4. Возможно создание универсального переносного прибора для работы обоими методами.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00267.

Литература

1. Преимущества и недостатки метода АФМАГ. Перевод Комен А.А., ред. Вишняков А.Э. Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 37, 28-37.

2. Бердичевский М.Н. Электрическая разведка методом теллурических токов. Гос. н-т изд. нефтяной и горно-топливной лит., М.: Гостехиздат, 1960. 237 с.

3. Арутюнов С.Л., Давыдов В.Ф., Кузнецов О.Л. Явление генерации инфразвуковых волн нефтегазовой залежью. — Научное открытие. 1993 - № 109.

4. Ведерников Г.В. Прогноз залежей углеводородов по характеристикам микро-сейсм. Новосибирск. Изд. СВАС, 2012, 165 с.

5. Шайдуров Г.Я. О возможности использования естественных электромагнитных полей для регистрации потенциалов вызванной поляризации // Новая аппаратура и методика ее применения в народном хозяйстве. Красноярск: СибЦМА, вып. 2, 1967. С. 3-7.

6. Шайдуров Г.Я. Об использовании электромагнитных естественных полей для выделения потенциалов ВП. Сборник трудов ВИТРА, № 81, 1972. С. 50-55.

7. Потылицын В.С., Шайдуров Г.Я. Некоторые результаты полевых испытаний метода ВП на основе выделения информации из естественного электромагнитного поля Земли // Приборы и системы разведочной геофизики. «Информ-Геофиз. Сервис», Саратов: № 4, 2012. С. 51-54.

8. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Потылицын В.С. и др. О наблюдении сейсмoeлектрического эффекта на газоконденсатном месторождении в естественных электромаг-

нитных и сейсмических шумах Земли в диапазоне 0.1÷20 Гц. Геология и геофизика, № 5, т. 59, 2018. С. 703-708.

9. Шайдуров Г.Я. Способ предсказания горного удара в шахтах и рудниках. Патент РФ № 2727317 от 15.10.2019.

10. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М.: Сов. Радио, 1968. 325 с.

11. Шайдуров Г.Я. Методика системного анализа сигналов сейсмoeлектрического эффекта при поиске углеводородов Приборы и системы разведочной геофизики Информ. Геофиз. Сервис Саратов 2021 № 4, с. 33-37.

12. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Потылицын В.С. и др. Первые результаты наблюдений сейсмо-электрического эффекта и вызванной поляризации на газоконденсатном месторождении в естественных шумовых полях Земли. Приборы и системы разведочной геофизики. Информ. Геофиз. Сервис Саратов 2016, с. 81-88.

Подробнее об авторах



Шайдуров
Георгий Яковлевич,

д.т.н., профессор
Сибирского федерального
университета (СФУ)
г. Красноярск



Потылицын
Вадим Сергеевич

старший научный
сотрудник,
НИЛ «Электроакустика»
СФУ, г. Красноярск



Майков
Олег Анатольевич

заведующий лабораторией,
Лаборатория электроакустики,
Департамент науки
и инновационной
деятельности СФУ

ГЕОФОНЫ БЕЗ КОРПУСА



- Вертикальные;
- Горизонтальные;
- Всенаправленные;
- Скважинные.

ГРУППЫ ГЕОФОНОВ

- Полевые;
- Трёхкомпонентные;
- Болотные.



РАЗЪЕМЫ

- Для групп геофонов;
- Для подключения к станции;
- Герметичные;
- Комплектующие к разъемам.



КАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ

- Телеметрические кабели;
- Линейные сейсмические кабели до 100 жил;
- Сейсмокосы всех типов;
- Кабель сейсмический;
- Кабель электроразведочный.



Уникальные возможности вибросейсмического метода при использовании кусочно-линейных развёрток

■ Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск

Кусочно-линейные вибросейсмические развёртки представляют из себя, как известно, непрерывные последовательности ЛЧМ-сигналов, которые могут отличаться частотными диапазонами, длительностями или фазовыми характеристиками. И основное преимущество таких развёрток по сравнению с другими развёртками, используемыми при вибросейсмических исследованиях, заключается в возможности возбуждения колебаний с любым наперёд заданным спектром.

Такое преимущество позволяет, в частности, реализовать способ оптимальной фильтрации обнаружения, применяемый на этапе возбуждения колебаний и позволяющий максимизировать отношение сигнал/помеха [1]. Указанный способ заключается в использовании управляющих сигналов, амплитудный спектр которых определяется совокупной частотной характеристикой геологической среды и системы вибратор-грунт, поделённой на спектр мощности некогерентных помех (1):

$$S_{ynp}(f) \sim H(f) / B(f), \quad (1)$$

где $S_{ynp}(f)$ – амплитудный спектр управляющего сигнала; $H(f)$ – совокупная амплитудно-частотная характеристика геологической среды и системы вибратор-грунт; $B(f)$ – амплитудный спектр мощности микросейсм.

Физически энергетическая эффективность рассматриваемого способа объясняется тем обстоятельством, что он обеспечивает увеличение плотности энергии возбуждаемых колебаний в области частотных интервалов, характе-

ризующихся наибольшими значениями параметра сигнал/помеха.

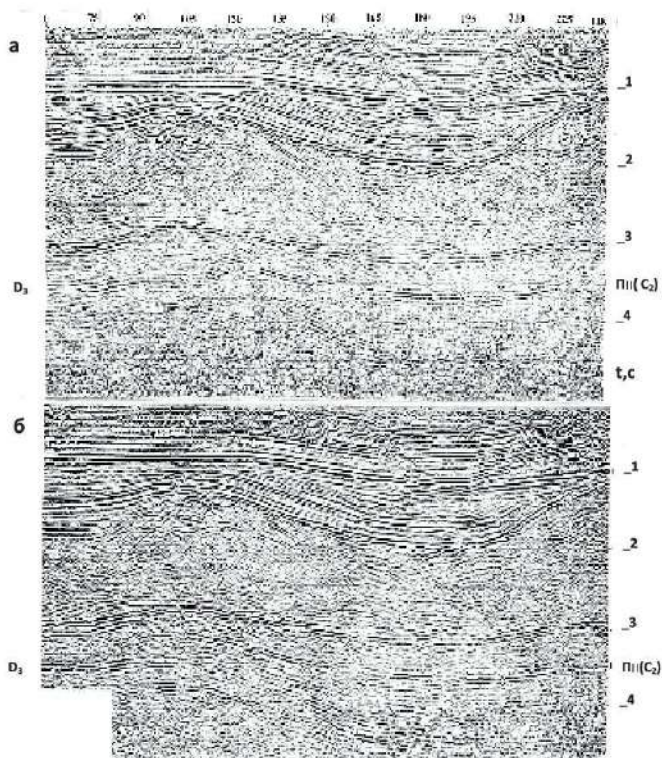
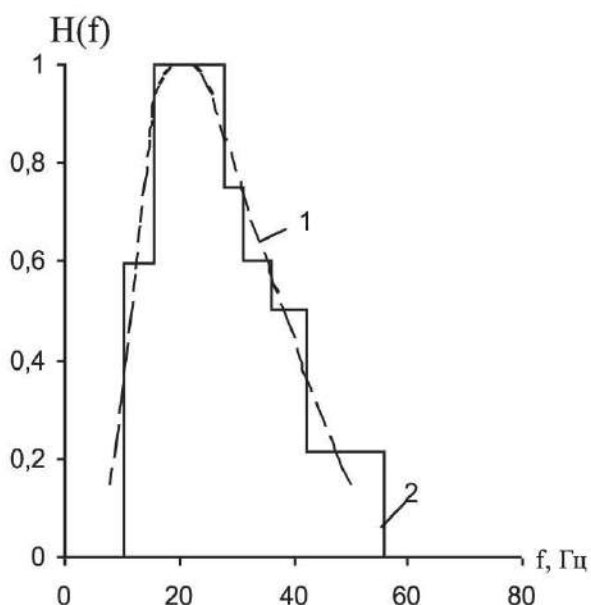
Очевидно, что при такой технологии вибросейсмических наблюдений происходит некоторое ухудшение динамики возбуждаемых и регистрируемых колебаний. Поэтому рассматриваемый способ целесообразно применять лишь в тех случаях, когда целевые границы практически не удаётся проследить с использованием всех других методических приёмов.

Указанный способ достаточно продолжительное время использовался в пределах Калмыкии сейсмическими партиями ПГО «Центргеофизика» при изучении глубокопогруженных девонских отложений. Для повышения глубинности исследований на начальной стадии работ применялось шестиэлементное группирование вибраторов СВ-5-150М, длительность ЛЧМ-развёрток равнялась 16 с, а кратность статистического накопления 12. То есть возбуждение колебаний осуществлялось фактически на пределе энергетических возможностей того времени. Однако даже при таких параметрах методики не удавалось проследить девонские отложения для большинства площадей Калмыкии. В этой связи в качестве последней возможности для решения поставленных задач было предложено использовать способ оптимальной фильтрации обнаружения с применением кусочно-линейных развёрток. Для этого предварительно определялись совокупные частотные характеристики среды и системы вибратор-грунт $H(f)$ для волн, отражённых от относительно устойчивого горизонта в отложениях башкирского яруса $\Pi\Pi(C_2)$, расположен-

ного в непосредственной близости от девонских отложений. Расчёт совокупных характеристик осуществлялся путём спектрального анализа колебаний, зарегистрированных с применением широкополосных ЛЧМ-сигналов. При выборе кусочно-линейной развёртки зависимость $B(f)$ в данном случае не учитывалась, т.к. микросейсмы, регистрируемые в степных районах, отличаются достаточно равномерным амплитудным спектром в сейсмическом диапазоне частот [2]. Параметры развёртки задавались таким образом, чтобы спектр ФАК управляющего сигнала максимально приближался к функции $H(f)$ (рис. 1).

На рис. 2 сопоставлены временные разрезы, полученные на участке территории Калмыкии, расположенном в пределах юго-западной части Прикаспийской

▼ Рис. 1. Выбор параметров кусочно-линейной согласованной развёртки для условий юго-западной части Прикаспийской впадины: 1 – совокупная частотная характеристика среды и системы вибратор-грунт для отражений от горизонта П11; 2 – приблизительный спектр ФАК использованной кусочно-линейной развёртки.



▲ Рис. 2. Разрезы, полученные в условиях юго-западной части Прикаспийской впадины с использованием ЛЧМ-развёртки (а) и согласованной кусочно-линейной развёртки (б)

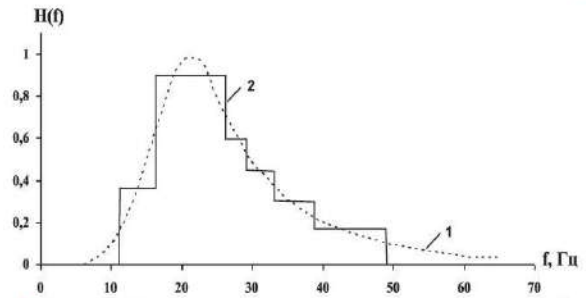
впадины, с применением согласованной кусочно-линейной развёртки и обычного ЛЧМ-сигнала. Методика полевых наблюдений и граф обработки при использовании нелинейной развёртки в данном случае были такими же, как и при использовании ЛЧМ-сигнала.

Наблюдения выполнялись по системе 24-кратных перекрытий, частотный диапазон развёрток равнялся 12-56 Гц, колебания возбуждались шестью вибраторами СВ-5-150М, применялась 18-элементная группа сейсмоприёмников на базе 51 м. Из рис. 2 можно видеть, что использование кусочно-линейной согласованной развёртки обеспечило более высокую надёжность выделения горизонтов в отложениях девона.

Значительный положительный эффект от применения согласованных кусочно-

линейных развёрток был достигнут при проведении вибросейсмических работ в условиях Ферганской впадины. Так, в 1992 году при бурении одной из глубоких скважин на площади Мингбулак, расположенной на территории Ферганской впадины, при достижении забоем кирпично-красной свиты на глубине 5300 м возник мощный нефтяной фонтан. Суточный объём фонтанирующей нефти составлял $\approx 1800 \text{ м}^3$, при этом в $\approx 70 \text{ м}$ от скважины протекала река Сыр-Дарья. Необычность ситуации заключалась в том, что вибросейсмические исследования, которые ранее проводились на площади Мингбулак с использованием ЛЧМ-сигналов, не позволяли даже ориентировочно оценить конфигурацию и размеры ловушки нефти, с которой был связан фонтан. И это затрудняло оперативное принятие необходимых решений в сложившейся критической ситуации специалистами, приглашёнными из Западной Сибири и США.

Для того, чтобы получить информацию о геологическом строении разреза в интервале кирпично-красной свиты, руководством ПО «Узбекгеофизика» было принято решение провести на площади Мингбулак вибросейсмические исследования с использованием кусочно-линейных согласованных развёрток.

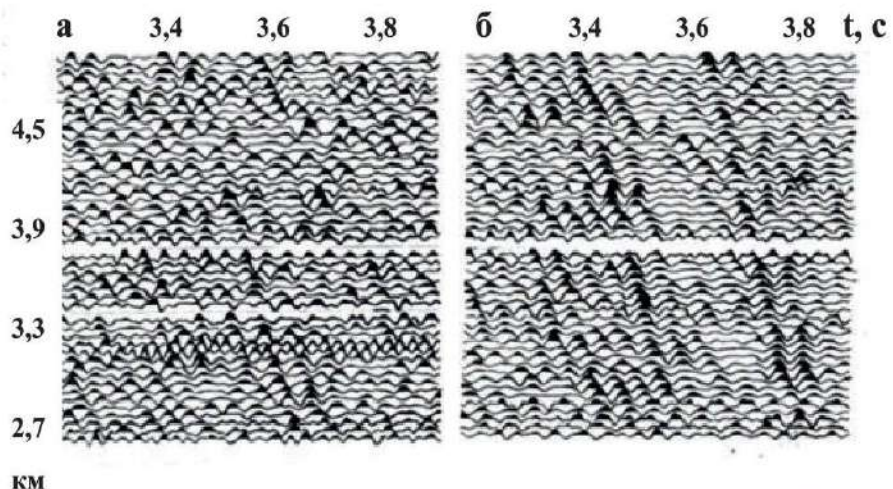


▲ Рис. 3. Выбор параметров кусочно-линейной развёртки для площади Мингбулак: 1 — совокупная частотная характеристика среды и системы вибратор-грунт; 2 — приблизительный спектр ФАК использованной кусочно-линейной развёртки.

Кусочно-линейные развёртки были согласованы с совокупными амплитудно-частотными характеристиками системы вибратор-грунт и геологической среды для наиболее глубоких горизонтов, которые представлялось возможным качественно выделить при вибросейсмических наблюдениях с использованием ЛЧМ-сигналов, и состояли из последовательности 6 ЛЧМ-сигналов (рис. 3).

В результате проведённых работ были получены весьма качественные сейсмические материалы и было установлено, что фонтан нефти связан с протяжённой антиклинальной структурой. Так, на рис. 4 сопоставлены коррелограммы, полученные на площади Мингбулак, с исполь-

► Рис. 4. Коррелограммы, полученные на площади Мингбулак ($\Delta F=11-49 \text{ Гц}$, группа из 8 вибраторов): а — ЛЧМ-сигнал; б — согласованная кусочно-линейная развёртка.



зованием ЛЧМ-сигналов и кусочно-линейных согласованных развёрток. Из рисунка можно видеть, что в конкретных условиях кусочно-линейные согласованные развёртки обеспечили значительное улучшение качества регистрируемых глубоких отражений.

Следует отметить, что если на начальной стадии развития технологии, использующей кусочно-линейные развёртки, приходилось рассчитывать частотные диапазоны и длительности для каждого сегмента развёртки, то в настоящее время геофизику по точкам достаточно задать желаемый амплитудный спектр управляющих сигналов, остальную же работу выполняет компьютер системы управления вибросейсмических комплексов, что существенно упрощает использование таких развёрток и обеспечивает формирование более гладкого спектра сигналов. Следует также отметить, что современные вибросейсмические излучатели являются значительно более мощными по сравнению с вибраторами СВ-5-150М, однако и в настоящее время нередко возникают ситуации, когда отношение сигнал/помеха при регистрации колебаний характеризуется аномально низкими значениями. Поэтому рассмотренный способ может иметь хорошие перспективы применения и в современных условиях.

Наряду с реализацией оптимальной фильтрации обнаружения на этапе возбуждения колебаний, кусочно-линейные развёртки могут успешно использоваться и при необходимости увеличения веса высокочастотных гармоник. Вместе с тем, для усиления высокочастотных компонент сигнала в настоящее время системы управления вибраторами обеспечивают работу не только кусочно-линейных, но и, так называемых, логарифмических и степенных нелинейных развёрток. При этом практическое освоение таких сигналов, задава-

емых аналитическими выражениями, началось именно с логарифмических развёрток в связи с тем, что геофизики принимали во внимание то обстоятельство, что частотные искажения сейсмических колебаний при прохождении геологической среды, в основном, определяются экспоненциальной функцией с отрицательным показателем. Поэтому у специалистов преобладало мнение, что наиболее строгая компенсация искажений сигнала представляется возможным при условии, если возбуждение колебаний осуществляется с использованием нелинейных развёрток, амплитудный спектр которых соответствует экспоненциальным функциям с положительными показателями. Такими спектральными характеристиками, как известно, и отличаются именно логарифмические развёртки. Например, амплитудный спектр логарифмической развёртки вида «децибел-на-герц», предложенной компанией «PELTON», можно представить следующим образом [2]:

$$S_{\text{ynp}}(F) \sim e^{(F-F_H)H(\ln 10)/20}, \quad (2)$$

где F_H - начальная частота развёртки; H - градиент изменения спектральной плотности сигнала с размерностью дБ/Гц.

Однако, рассматривая вопрос о возможности строгой компенсации искажений сигнала в геологической среде, следует также иметь ввиду и весьма значительное ослабление высокочастотных гармоник в процессе возбуждения и регистрации колебаний. Так, системы управления вибраторами, как известно, обеспечивают приблизительное равенство динамических усилий на грунт, а значит и ускорения возбуждаемых колебаний, в пределах всего частотного диапазона развёртки, за исключением интервалов скосов. Вместе с тем, регистрация колебаний осуществляется, как

правило, сейсмоприёмниками, т.е. датчиками скорости смещения. В этой связи в электромеханической части сейсмоприёмника происходит интегрирование колебательного процесса ускорения частиц грунта (3):

$$A f \sin \omega t \, dt = - (A/\omega) \cos \omega t \quad (3)$$

Поэтому, если, например, амплитуда гармонического сигнала A не зависит от частоты колебаний, то после интегрирования она определяется уже отношением (A/ω) , т.е. уменьшается пропорционально увеличению частоты. Связанные с этим искажения вибросейсмического сигнала соизмеримы с ослаблением высокочастотных гармоник при прохождении геологической среды, и поэтому строгое восстановление спектра колебаний путём использования логарифмических развёрток, впрочем, как и степенных развёрток, в принципе невозможно. Применение же кусочно-линейных развёрток позволяет без каких-либо ошибок при необходимости сформировать равномерный амплитудный спектр

интересующих нас отражений. Для этого следует определить совокупную частотную характеристику геологической среды и системы вибратор-грунт $H(f)$ и далее по точкам задать амплитудный спектр управляющего сигнала, совпадающий с функцией $1/H(f)$.

Однако, следует отметить, что развёртки, которые бы полностью компенсировали частотные искажения колебаний в среде и системе вибратор-грунт, применяются крайне редко, так как довосстановить спектр колебаний можно за счёт использования процедуры обратной фильтрации. При этом наиболее эффективное применение алгоритмов деконволюции представляется возможным, если управляющий сигнал обеспечивает для целевых отражений приблизительно одинаковое и достаточно высокое значение отношения сигнал/помеха в пределах всего частотного диапазона развёртки. Такое условие также можно реализовать исключительно с применением именно кусочно-линейных развёрток.

Так, на рис. 5 сопоставлены временные разрезы, полученные в пределах

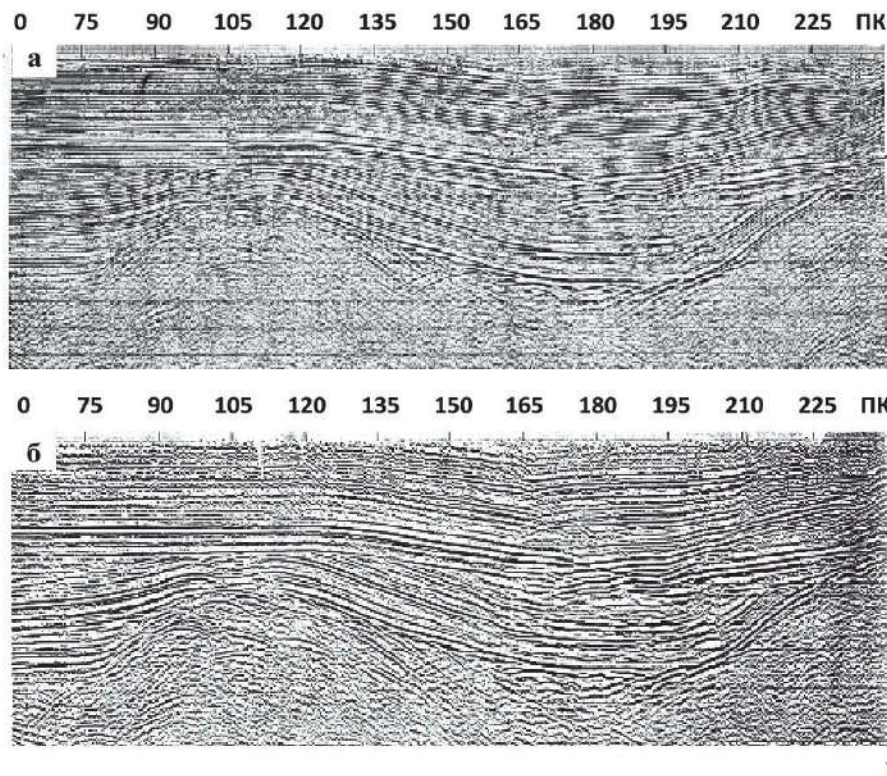


Рис. 5. Разрезы, полученные в условиях юго-западной части Прикаспийской впадины с использованием высокочастотной кусочно-линейной развёртки (а) и ЛЧМ-развёртки ($\Delta F = 10-90$ Гц) (б).

юго-западной части Прикаспийской впадины, с использованием кусочно-линейной развёртки (а) и ЛЧМ-сигнала (б). Методика полевых наблюдений и граф обработки при использовании нелинейной развёртки в данном случае были такими же, как и при работе с ЛЧМ-сигналом. Возбуждение колебаний осуществлялось 6-элементной группой вибраторов СВ-5-150М, развивающих номинальное динамическое усилие на грунт, равное 50 кН, частотный диапазон развёрток равнялся 10-90 Гц. Вибраторы располагались вдоль двух параллельных линий на базе 20 м. Для регистрации сигналов использовались 18-элементные группы сейсмоприёмников на базе 25 м.

Задача, которая в данном случае была поставлена перед исполнителями, заключалась в необходимости сформировать такую кусочно-линейную развёртку, которая бы обеспечила для отражений в нижней части надсолевого комплекса примерное равенство отношения сигнал/помеха в интервале всей используемой полосы частот, за исключением скосов. А далее, уже применив программу деконволюции DECVTX, предполагалось сопоставить материалы, полученные с применением нелинейной развёртки и ЛЧМ-сигнала.

Как видно из рисунка 5, совместное применение кусочно-линейной развёртки с деконволюцией позволило существенно повысить разрешённость и информативность записи. При этом количественный сравнительный анализ разрезов, выполненный с применением программ KGS и FREVTX показал, что при работе с нелинейной развёрткой разрешённость записи повысилась в ≈ 2 раза, а комплексный коэффициент качества (RPN) в 1,2-1,8 раза. В районе пикета 210 удалось проследить тектонические нарушения, выделяющие пассивный

горст, что было достаточно важно для геологов. При работе же с ЛЧМ-сигналом определение местоположения горста представлялось проблематичным.

Эффективное применение кусочно-линейных развёрток осуществляется также и при реализации технологии адаптивной вибросейсморазведки с торговой маркой АвиСейс, разработанной в ООО «Геофизические Системы Данных» под руководством Жукова Александра Петровича [3]. Основная задача, стоящая перед адаптивной вибросейсморазведкой, заключается в компенсации динамических аномалий волнового поля, возникающий вследствие неустойчивости вдоль профиля совокупной амплитудно-частотной характеристики системы вибратор-грунт и верхней части геологического разреза. Очевидно, наличие таких аномалий усложняет интерпретацию сейсмических материалов с использованием динамического атрибутивного анализа и снижает эффективность интерференционных систем на больших базах.

Основные принципы адаптивной вибросейсморазведки включают в себя необходимость дважды отрабатывать все пункты возбуждения, предусмотренные в проекте. При этом для первого наблюдения предполагается использование широкополосного ЛЧМ-сигнала и на основании спектрального анализа наиболее устойчивого отражения в верхней части разреза определять совокупную частотную характеристику системы вибратор-грунт и геологической среды $H(f)$. Дублирующее наблюдение осуществляется с применением кусочно-линейных развёрток, амплитудный спектр ФАК которых $S_{\text{фак}}(f)$ соответствует выражению (4):

$$S_{\text{фак}}(f) = J(f) / H(f), \quad (4)$$

где $J(f)$ – желаемый амплитудный спектр корреляционных импульсов для отражения, по которому производится расчёт совокупной частотной характеристики $H(f)$.

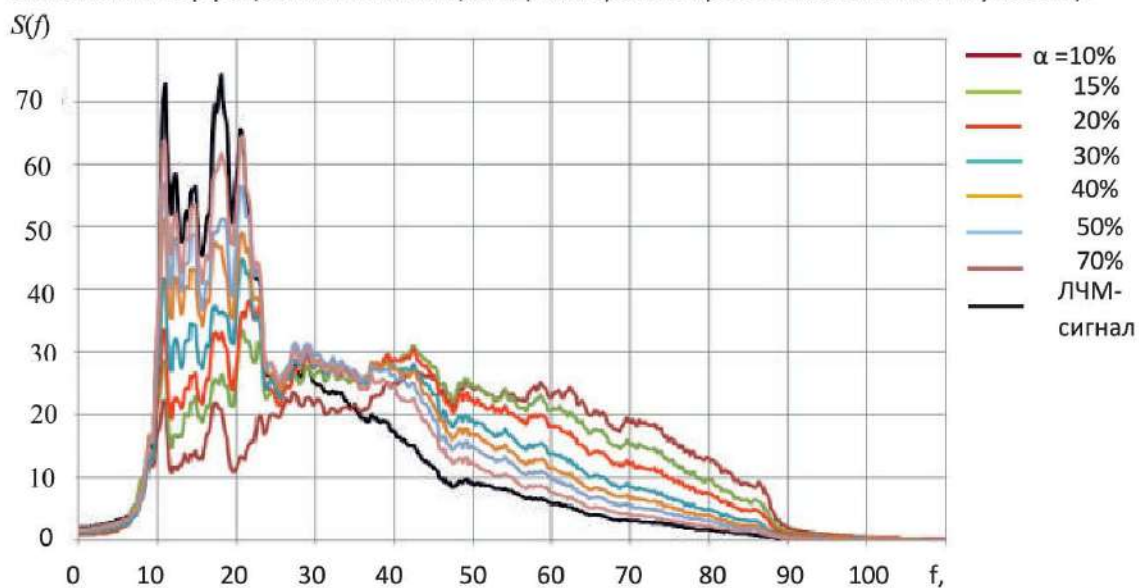
При этом, по аналогии с обрабатываемыми программами деконволюции в системе управления, предусмотренной для реализации технологии АвиСейс, выбор функции $J(f)$ и соответствующего ей сигнала, осуществляется в автоматическом режиме в зависимости от задаваемого относительного уровня некогерентных помех в процентах, условно называемого коэффициентом адаптации α . Наиболее полное восстановление спектра регистрируемых колебаний происходит при малых заданных значениях α . По мере же возрастания коэффициента адаптации, возбуждаемые дублирующие сигналы приближаются по своим возможностям к ЛЧМ-сигналам, а степень восстановления спектрального состава колебаний снижается. Т.е. коэффициент α при построении данной технологии является чрезвычайно важным параметром, фактически определяю-

щим компромисс между глубиной сейсмической разведки и динамикой формируемых колебаний.

Так, на рис. 6 приведены спектры отражений, зарегистрированных в условиях Южно-Русского нефтегазоконденсатного месторождения с использованием технологии АвиСейс. Из рисунка можно видеть, что спектр колебаний при проведении сейсмических исследований с применением адаптивной вибросейсморазведки зависит, по аналогии с алгоритмами деконволюции, от задаваемого уровня шума α .

В качестве примера использования адаптивной вибросейсморазведки на рис. 7 сопоставлены временные разрезы, полученные на основании исследований, проведённых ООО «Геофизические Системы Данных» на Южно-Русском месторождении с применением ЛЧМ-сигнала (а) и кусочно-линейной развёртки по технологии АвиСейс (б). Из рисунка можно видеть, что при работе с ЛЧМ-сигналом качество прослеживания целого ряда отражений в интервале 0,5–2,0 с было крайне низким. Использо-

▼ Рис. 6. Спектры отражений, зарегистрированных в условиях Южно-Русского месторождения с использованием технологии АвиСейс при различных значениях коэффициента адаптации α (материалы предоставлены А.П. Жуковым).



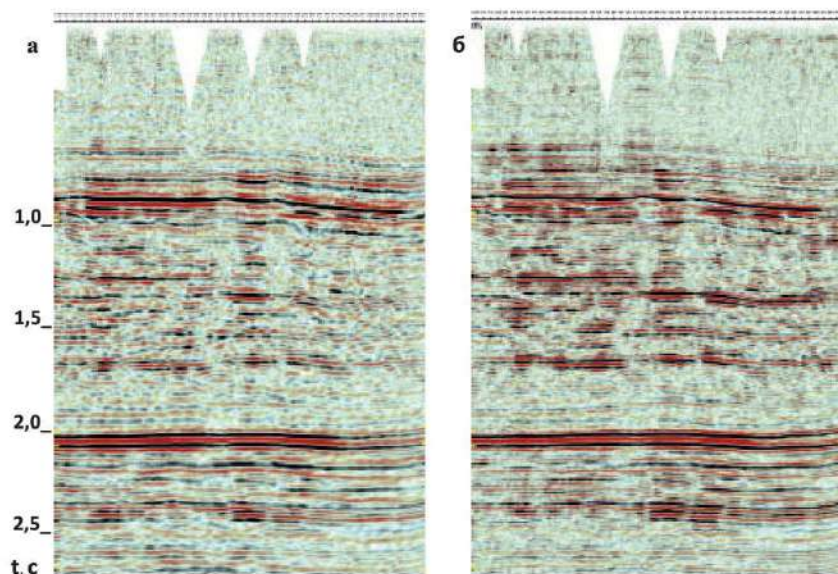


Рис. 7. Временные разрезы, полученные в условиях Южно-Русского месторождения ($\Delta F = 6 - 80$ Гц):
 а – использован ЛЧМ-сигнал;
 б – адаптивная вибросейсморазведка с применением кусочно-линейных развёрток (материалы предоставлены А.П. Жуковым).

ние же технологии адаптивной сейсморазведки позволило существенно улучшить прослеживаемость отражений в указанном диапазоне времён. При этом существенно повысился и спектральный состав колебаний, поскольку исполнители в данном случае задавали относительно высокочастотную функцию $J(f)$, соответствующую коэффициенту адаптации 20%.

И, наконец, значительный практический интерес представляют кусочно-линейные развёртки, состоящие из непрерывной последовательности укороченных до $2 \div 3$ секунд ЛЧМ-сигналов с одинаковыми частотными диапазонами и длительностями, но при этом с различными полярностями [4]. Такие развёртки отличаются повышенной скоростью изменения частоты и поэтому элементы конструкций зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от вибросейсмических излучателей, не успевают войти в резонанс, что позволяет существенно снизить опасность их разрушения. Вместе с тем, таким последовательностям, в общем случае, соответствуют периодические корреляционные функции с периодом повторения $2 \div 3$ секунды, что

ограничивает возможности их использования для большинства задач, стоящих перед нефтегазовой сейсморазведкой. С целью же применения их в практической работе достаточно исключить на коррелограмме первый период повторения, что не сложно реализовать путём задания функции кода, у которой первый боковой дискрет ФАК равен 0. В этом случае, например, при значениях длительности сегментов T , равных 2 с или 3 с, коррелограмма в интервале соответственно 4 с или 6 с от первых вступлений будет свободна от интенсивного корреляционного фона, связанного с периодичностью исходного сигнала.

Такое требование выполняется, например, для разнополярной последовательности, состоящей из 7 ЛЧМ-сигналов, функция кода которой, соответствует последовательности (5):

$$1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \quad (5)$$

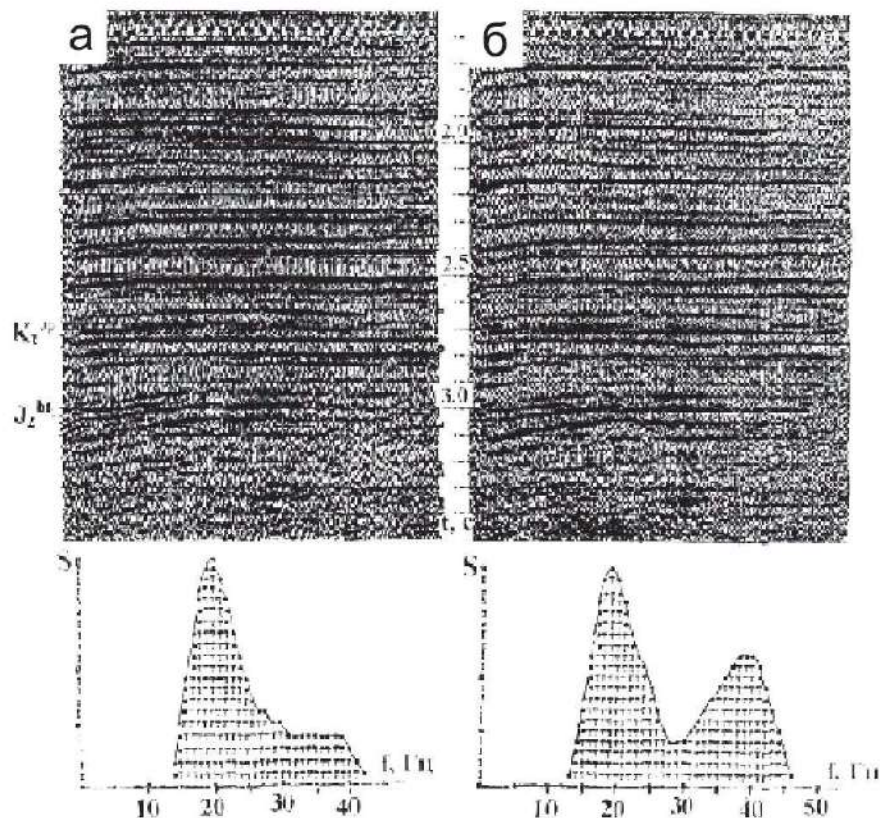
Первый боковой дискрет ФАК функции кода (5) равен нулю, поэтому выбор такого закона изменения полярности ЛЧМ-развёрток и приведёт к обнулению первого периода повторения коррелограммы.

Профильные наблюдения с применением рассматриваемого способа весьма успешно проводились ОАО «Краснодар-нефтегеофизика» на территории ряда станций Краснодарского края и, в частности, в пределах станции Тбилисская. Геологическая задача в пределах исследуемой площади заключалась в поиске структурных ловушек в нижнемеловых и юрских отложениях. Отражённые от целевых границ волны регистрировались в интервале 2,6 – 3,2 с. На ограниченном участке станции Тбилисская, расположенном на удалении от жилых домов, наблюдения проводились дважды: с использованием непрерывной разнополярной последовательности двух-секундных ЛЧМ-сигналов и обычных ЛЧМ-сигналов протяжённостью 10 с. Частотный диапазон развёрток соответствовал интервалу 10 - 48 Гц. Закон изменения полярности при использовании непре-

рывной последовательности ЛЧМ-сигналов определялся кодовой функцией (5), в следствие чего исключался первый побочный период корреляционной функции последовательности.

На рис. 8 сопоставлены временные разрезы, полученные при использовании ЛЧМ-сигнала и кусочно-линейной развёртки. На основании сравнительного анализа разрезов можно сделать вывод о том, что суммарные записи, полученные с применением обычного ЛЧМ-сигнала и разнополярной непрерывной последовательности 2-х секундных ЛЧМ-сигналов, характеризуются практически равноценным качеством. Вместе с тем, выполненный спектральный анализ свидетельствует о том, что при использовании укороченных ЛЧМ-сигналов удаётся расширить эффективную ширину спектра в область высоких частот, т.е. несколько улучшить динамику целевых

► Рис. 8. Временные разрезы ОГТ, полученные в пределах станции Тбилисская: а – ЛЧМ-сигнал; б - непрерывная последовательность 2-секундных ЛЧМ-сигналов, функция кода 1 1 1-1 1 1 -1; интервал спектрального анализа 2,6-3,2 с.



отражений. Указанное обстоятельство является чрезвычайно принципиальным и физически связано с многократным увеличением скорости изменения частоты при использовании укороченных развёрток и, в этой связи, значительно более быстрым прохождением низкочастотного резонанса колебательной системы вибратор-грунт. Т.е. если при стандартных технологиях вибросейсмических наблюдений с использованием ЛЧМ-сигналов динамика возбуждаемых колебаний практически не зависит от длительности развёртки, то при длительностях $1 \div 3$ с и соответственно повышенных значениях отношения $(\Delta F/T)$ вибратор не успевает войти в рабочий режим и это приводит к некоторому смещению спектра возбуждаемых колебаний в высокочастотную область.

Необходимо также отметить, что рассмотренный способ в настоящее время является фактически единственным способом, позволяющим значительно уменьшить опасность разрушения зданий и сооружений при проведении вибросейсмических наблюдений и при этом сохранить на коррелограммах такой же низкий уровень корреляционных помех, как и при работе с обычными ЛЧМ-сигналами.

Литература

1. Кострыгин Ю.П., Лев И.С., 1992, Способ вибросейсмической разведки: СССР, авт. св. №1774301.
2. Кострыгин Ю.П., 2014, Вибросейсмический и кодоимпульсный методы сейсмической разведки. – Краснодар: Просвещение-Юг, 494 с.
3. Жуков А.П., 2016, Технология адаптивной вибросейсморазведки (АВИСейс) повышает качество и эффек-

тивность сейсморазведочных работ. Приборы и системы разведочной геофизики, 1, 71–79.

4. Кострыгин Ю.П., Сидоренко Д.В., 1998, Способ вибросейсмической разведки: Россия, патент № 2102776.

Подробнее об авторе



Кострыгин
Юрий Петрович

Доктор технических наук,
директор ООО
«Новоросморгео».

Внимание, анонс!



Желающие приобрести книгу
Юрия Петровича Кострыгина
**«Вибросейсмический
и кодоимпульсный способы
сейсмической разведки»**
могут обращаться
kostr_p@mail.ru
или по телефону:
8-918-135-87-30.

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» | «NEW EASTGEO» Co., LTD.

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» -
единственный официальный
представитель в России и СНГ
группы заводов производителей,
которые разрабатывают
испытывают внедряют новые
технологии для
сейсморазведочной,
геофизической, буровой и
нефтяной отраслей.



NEGEO



ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»

Литийная система питания 3S1P-
12V120Ah Li-ion для проведения
сейсморазведочных работ в полевых,
транзитных, морских зонах.



Гусеничный механизм для
вибратора NOMAD 65NEO – KZ-28 (BV-62).



разработка новых типов геофонов YF Solo 4,5
- 5Hz 180(v/m/s) и иного оборудования по
потребностям клиентов.

new-eastgeo.ru
techgeoservice@mail.ru

IGU 16HR IES – нодальный модуль с возможностью подключения внешних сейсмоприемников – инновационный продукт в линейке компании SmartSolo.

■ JiangShan Shen, SmartSolo Inc, Китай

Введение

IGU-16HR IES - новое поколение интеллектуальных сейсмических датчиков с возможностью подключения внешних геофонов, создан SmartSolo Inc., как ответ на запросы рынка. Не на всех проектах компактные нодальные системы с встроенным геофоном являются самым оптимальным техническим решением, принимаемым Заказчиком. И новое оборудование было разработано для более полного удовлетворения потребностей Заказчика.

Внедрение бескабельной системы и технологически, и идеологически легче проходит через реализацию комбинированных, гибридных систем с единым типом сейсмоприемников. С другой стороны, в настоящее время в геофизических компаниях накоплено большое количество отдельных сейсмоприемников – как одиночных, так и группированных. И большое количество проектов, где существует необходимость подавления случайных волн-помех, требует использования именно интерференционных систем, реализуемое использованием групп сейсмоприемников. Благодаря оборудованию SmartSolo IGU-16HR IES с возможностью подключения внешних геофонов, клиенты имеют больший маневр в использовании собственных технических ресурсов, в формировании полевой регистрирующей системы под задачи Заказчиков.

При этом, преимущества работы компактных нодальных систем реализуются в полной мере.

SmartSolo работает в соответствии с принципом, известным как «принцип

3W» в сейсморазведке (Wave - высокоточный сигнал, When - точная синхронизация и Where - точное позиционирование). Оборудование IGU-16 серии и IGU-16HR IES полностью совместимы в рамках единой полевой регистрирующей системы. Таким образом, клиенты, которые заказали оборудование SmartSolo в этих двух модификациях, могут максимально эффективно использовать имеющееся у них оборудование.

Описание оборудования

IGU-16HR IES

IGU-16HR IES сохраняет встроенный высокочувствительный геофон DT-Solo (доступен в 10Гц и 5Гц исполнении) и батарею на базе оборудования IGU-16 серии. В основной корпус добавлен стандартный разъем для внешнего подключения сейсмоприемников. Блок оснащен также модулем Bluetooth для мониторинга данных и результатов самопроверки станции.

Блоки могут работать с различным усилением, устанавливаемым при настройке блоков. Возможен режим работы или с внутренним геофоном, и тогда блок работает как стандартный IGU-16, или с внешними сейсмоприемниками любого типа. Режим работы встроенного детектора или подключения к внешним геофонам можно переключить, настроив скрипт при подготовке оборудования к проекту. В устройстве встроена молниезащита (до 4 kV), обеспечивающая сохранность оборудования в экстремальных погодных условиях.

По сравнению с нормальным режимом работы IGU-16, Энергопотребление IGU-16HR IES снижено на 19% в рабочем



▲ Рuc. 1. IGU-16.



▲ Рuc. 2. IGU-16HR IES.

режиме с включенным Bluetooth, и он может работать до 25 дней в режиме непрерывного 24-часового сбора данных.

Состояние оборудования (результаты самопроверки, параметры скрипта, процент заряда батареи, процент заполненности памяти) можно отслеживать в режиме реального времени через Bluetooth через специальные планшеты или обычными смартфонами. Также можно осуществлять и поиск оборудования. Когда на мобильном телефоне включен GPS, терминал полевого развертывания получает сигнал от станции, приложение SmartSolo включает зуммер, и тогда в зависимости от мощности сигнала Bluetooth, издаются звуки нарастающей интенсивности при приближении к блоку.

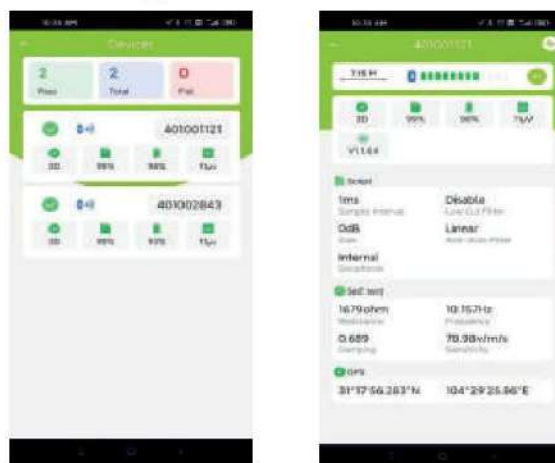
А также программа позволяет синхронно на экране смартфона видеть сейсмические колебания на блоке, что может быть полезным, например, при оценке уровня помех при работе в режиме онлайн.

Для повышения шумозащищенности сигнала, беспроводное оборудование может быть закопано в грунт. При этом, чувствительность системы позволяет

вести поиск оборудования - при глубине погружения 10 см - на расстоянии до 20 м; при глубине залегания 20 см поиск сигнала и сейсмических данных возможен на расстоянии до 15 м.

Мобильное приложение может одновременно подключаться к нескольким станциям и отображать режим работы станции, результаты самопроверки геофона, информацию GNSS, заряд батареи, информацию о памяти, контроль качества данных в реальном времени и т. д. Программное обеспечение может экспортировать и сохранять результаты.

▼ Рuc. 3. Рабочее окно программы Mobile App.



Для работ в районах с большим уровнем случайных помех, для повышения информативности материала, для шумоподавления целесообразно использовать группы сейсмоприемников. Основные характеристики геофонов, (прежде всего, рабочая и минимальная частота и чувствительность датчика) должны быть установлены в программном обеспечении Solodmc, что позволит максимально адаптировать входящий сигнал под заданные параметры полевой регистрирующей системы.

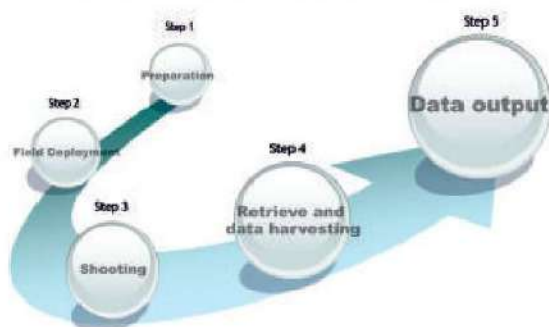
Наиболее эффективно использование оборудования IGU-16HR IES в сложных поверхностных условиях, в переходных зонах, когда необходимо в расстановке использовать различных типов сейсмоприемников. В том числе, болотных сейсмоприемников или гидрофонов.

Рабочий процесс IGU-16HR IES

Рабочий процесс IGU-16HR IES практически аналогичен IGU-16, что не требует длительной дополнительной подготовки персонала, знакомого с работой IGU-16. Работа состоит из 5 этапов: предварительная подготовка (тестирование оборудования, написание программы), развертывание оборудования, физическое наблюдение, сбор и загрузка данных, вывод данных.

3000 каналов SmartSolo IGU-16HR IES используется на проекте.

▼ Рис. 4. Общая схема работы с оборудованием Smart Solo IGU-16HR IES и IGU-16.



3D в провинции Шэньси

Геофизическая компания, предоставляющая широкий спектр различных услуг (геофизические исследования, геологическая съемка и картография, ликвидацию последствий стихийных бедствий, а также научные исследования и инновационные разработки) включила оборудование IGU-16HR IES в свой технический арсенал. Компания успешно использовала IGU-16HR для разведки геотермальных ресурсов, разведки угольных ресурсов и других проектов с 2019 года. Учитывая специфику выполняемых проектов, имея положительный опыт работы с оборудованием SmartSolo, после появления IGU-16HR IES на рынке, для работ на изрезанном рельефе и вовлечения уже имеющихся групп геофонов в производство, клиент заказал 3000 каналов IGU-16HR IES.

Имея опыт работы с IGU-16HR, процесс обучения персонала и тестирование работоспособности нового оборудования занял очень короткое время. Все 3000 каналов были признаны работоспособными, после чего их добавили к полевой регистрирующей системе на проекте 3D, реализуемым в провинции Шэньси (Китай).

После того, как все оборудование прибыло на площадку работ, инженеры SmartSolo помогли заказчику завершить приемку оборудования.

Рельеф района работ очень непростой - горный массив, сплошь пересеченный глубокими ущельями, волнистыми балками и гребнями, а полевые работы затруднены. IGU-16HR IES использует режим как встроенного геофона для сбора данных, так и внешнего одиночного 5Гц сейсмоприёмника.

На проекте использованы в качестве источника возбуждения взрывы из



▲ Рис. 5. Подготовка оборудования к работе.

одиноких скважин.

На этом проекте интеллектуальный сейсмический датчик SmartSolo в полной мере показал свои эксплуатационные преимущества - благодаря легкому весу, компактным размерам и простому разворачиванию установка полевой регистрирующей системы не требовала больших трудозатрат. Сейсмобригада из трех человек может нести от 50 до 60 блоков одновременно.

Максимальная суточная производительность, которой удалось достигнуть была 312 фн за день. Работы на проекте



▲ Рис. 6. Транспортировка оборудования Smart Solo IGU-16HR IES.

проходили в сезон дождей. И геофизики высоко оценили герметичность бескабельного оборудования SmartSolo.

Работа по перемотке оборудования, считыванию данных и зарядке аккумуляторов за проект осуществлялась только дважды за 42 дня сбора данных.

Кроме того, высоко были оценены возможности встроенных модулей Bluetooth, сыгравшей важную роль в оптимизации рабочего процесса. С ее помощью сейсмики легче находили блоки, и удаленно контролировали их работоспособность, объезжая активную



◀ Рис. 7. Сбор данных в поле.

расстановку. На проекте было реализовано 9787 ПВ, все данные были полностью прочитаны без потерь информации. Процент восстановления данных составил 100%. Собранные данные были полностью признаны кондиционными.

Эффективное выполнение этого проекта показало, бескабельное оборудование IGU-16HR IES наследует высокую надежность и высокую стабильность бренда SmartSolo.

Заключение

Функция внешнего подключения геофона SmartSolo IGU-16HR IES может удовлетворять спрос в различных областях сейсмических исследований. IGU-16HR IES может быть скомбинирован как с IGU-16, так и с кабельными системами в единой гибридной телеметрической системе, позволяющей надежно осуществить сбор сейсмических данных. Использование оборудования IGU-16HR IES решает проблему, связанную с необходимостью подключения внешних геофонов для подавления фонового шума в зонах с низким отношением сигнал/шум. Для суровых условий, таких как болота, реки и приливные отмели, появление IGU-16HR IES дает клиентам больше возможностей выбора необходимых для работы типов сейсмоприемников.

Преимущества нового оборудования компании Smart Solo будут высоко оценены всеми геофизическими компаниями, выбравшими данную регистрирующую систему.

Подробнее об авторе



JiangShan Shen

Инженер технической поддержки
SmartSolo Inc.

Оценка точности измерений инклинометра донного модуля «Краб» на основе сейсмического волнового поля

- Казанин А.Г., Базилевич С.О., Демонов А.П., Литвачук А.В., Казанин Г.А., Луковников Г.Г., Шепелев А.А., АО «МАГЭ», г. Москва
- Романов В.В., РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

Аннотация. Для достижения технологического суверенитета в области геологоразведочных работ на протяжении последних лет в нашей стране разрабатывается и планомерно внедряется в производство ряд образцов автономных донных модулей (ДМ), предназначенных для выполнения многокомпонентных сейсмических исследований на шельфе. При этом, как непосредственные эксплуатанты оборудования, так и Заказчики работ заинтересованы во всесторонней верификации всей получаемой информации, что в итоге гарантирует высокий уровень получаемой итоговой геологической информации. В рамках данной статьи выполнена независимая оценка точности измерений инклинометра ДМ «Краб» на основе сейсмической информации, показано как соответствие исследуемого прибора заявленным производителем характеристикам, так и общемировым отраслевым стандартам.

Ключевые слова: геофизическое оборудование для геологоразведочных работ на шельфе, сейсморазведка 3D (4C), инновационные донные сейсмические регистраторы «Краб», инклинометр.

Введение

Нодальная сейсморазведка с каждым годом завоевывает все большую популярность в мире в первую очередь за счет того, что позволяет регистрировать полное волновое поле — продольные и обменные поперечные волны. Помимо этого, использование донных систем дает возможность реализовать ранее малодоступные на акваториях широкоазимутальные наблюдения. Заглубление регистрирующей системы на уровень морского дна способствует расширению погодного окна для производства работ [1]. При этом скорость производства работ на современном этапе развития технологий может не уступать классической сейсморазведке с буксируемыми косами. Отдельно стоит отметить, что прибрежные шельфовые части, характеризующиеся минимальными глубинами, в обычном случае недоступны для проведения 3D съемок с буксируемыми косами, нодальные же системы подобных

ограничений не имеют, что позволяет реализовывать в рамках одной съемки работы на глубоководье, транзитной зоне, и, при необходимости, обеспечить выход на сухопутную часть без замены регистрирующей системы, что значительно упрощает дальнейшую увязку данных в рамках единого массива геофизической информации [2, 3].

Отечественный рынок геофизических услуг следует за общемировыми тенденциями и в последние годы в России был реализован ряд промышленных съемок ОВН как с привлечением иностранного оборудования, так и на основе собственных разработок [4, 5]. На данный момент парк российского оборудования представлен, в первую очередь, донными модулями «КРАБ» (ООО «Морской Технический Центр», г. Санкт-Петербург), основным эксплуатантом которого является АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция».

Характеристики инклинометра автономного донного модуля «КРАБ»

При проведении сейсморазведочных работ ЗС на суше по понятным причинам удается соблюсти требования по вертикальной установке Z - компоненты (обычно, с допуском в $\pm 5^\circ$) и строгой ориентации горизонтальных (X, Y) компонент – обычно вдоль линий ПП и ПВ. При этом отдельные огрехи установки сейсмоприёмников определяются на этапе наладки активной расстановки путем tilt – теста геофонов.

В практике морских сейсморазведочных работ с автономными донными модулями (ДМ) конечное положение прибора на дне неизвестно, что требует либо установки группы геофонов в карданный самовыравнивающийся привод, либо комплектации регистратора дополнительным измерительным устройством – компас-инклинометром, позволяющим определить набор углов, характеризующим наклон корпуса донного модуля – дифферент (pitch), крен (roll), а также азимут (yaw) – угол, характеризующий ориентацию горизонтальных компонент регистрации.

Донный модуль «КРАБ» оснащен трехосевым МЕМС-инклинометром (СМР-53-2) [1], ось которого ориентирована параллельно оси компоненты X и соответствующие углы определены следующим образом:

- ось X наклоняется вниз – минус дифферент (pitch);
- ось X наклоняется вверх – плюс дифферент (pitch);
- наклон на левый борт относительно X – плюс крен (roll);
- наклон на правый борт относительно X – минус крен (roll);

Согласно паспортным характеристикам, инклинометр ДМ «КРАБ» определяет углы крена и тангажа с погрешностью

$\pm 1^\circ$, азимута $\pm 5^\circ$ (в широтах до 50°). Диапазон измерения крена $\pm 90^\circ$, дифферента $\pm 180^\circ$, азимута $0-360^\circ$. Период опроса инклинометра задается пользователем при подготовке модуля к работе, но не может быть менее 10 секунд. Память обеспечивает хранение не менее 8000 измерений. [6]

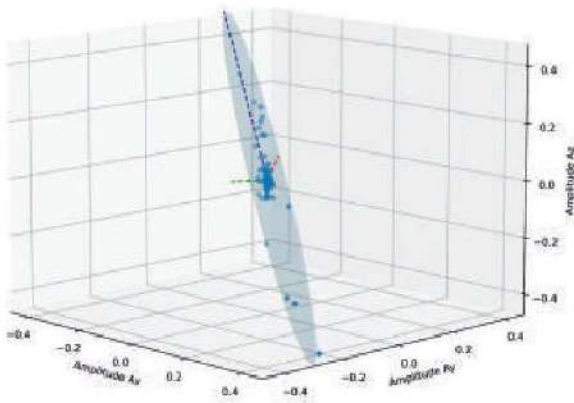
Заявленная производителем точность определения углов аналогична наиболее популярным образцам соответствующего оборудования. Так, например, для донных модулей z700 (Magseis-Fairfield, Норвегия) для углов крена и тангажа заявляется погрешность $\pm 1.5^\circ$, азимута $\pm 5^\circ$.

Отсутствие корректной информации об ориентации компонент существенно усложняет процесс обработки сейсмических данных, а в некоторых случаях и вовсе делает ее невозможной. Однако в ряде случаев есть способы получения оценки углов непосредственно из волнового поля. Строго говоря, определение ориентации донного модуля по волновому полю является стандартной процедурой в практике контроля качества и обработки данных OBN. Однако, когда речь заходит о вводе в эксплуатацию новых образцов оборудования, требуется верификация всех систем регистратора, в том числе таких важных, как инклинометр.

Определение ориентации донного модуля на основе волнового поля

В рамках данной работы авторами ставилась задача получения независимых оценок углов для донных модулей «КРАБ» на основе волнового поля и сравнение их с реальными наблюдаемыми значениями, полученными с помощью инклинометра.

Работа выполнена на промышленных сейсмических данных, полученных в акватории Охотского моря.



▲ Рис. 1. Синий вектор – главная ось эллипсоида, зеленый – вектор с наименьшим собственным значением (увеличен в 5 раз для удобства визуализации).

В отличие от гидрофона, геофон имеет характеристику направленности, что позволяет путем анализа амплитуд первых вступлений, соответствующих прямой волне, произвести необходимые расчеты для определения поляризации смещения частиц.

Когда прямая волна от источника достигает морского дна в месте нахождения донного модуля, геофоны регистрируют результирующее относительное смещение частиц (скорость смещения) в виде трех временных последовательностей по трем направлениям X, Y и Z. Исходя из этого, возможно сформировать поле значений, состоящее из значений ампли-

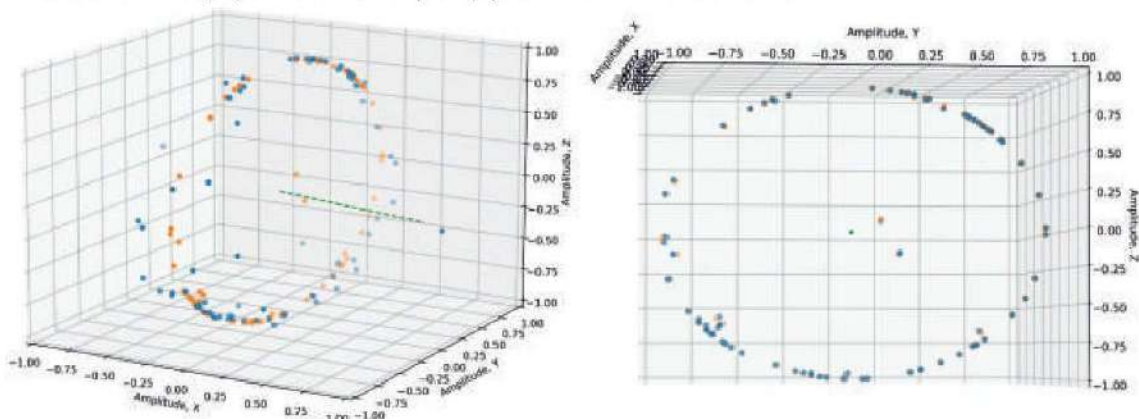
туд компонент X-Y-Z для каждого отсчета сейсмических трасс в области прямой волны.

Данное поле значений амплитуд (рис. 1) в общем случае является квазиэллипсоидальным и, соответственно, можно с помощью метода главных компонент (РСА) рассчитать оси эллипсоида, которые, в свою очередь, связаны с собственными значениями и собственными векторами ковариационной матрицы. Главная ось эллипсоида определяет основное направление поляризации сейсмической волны, т. е. соответствует направлению прихода волны и, приближенно, углу между источником и приемником. Для дальнейшего нахождения углов, соответствующих значениям pitch и roll инклинометра, нам необходим вектор эллипса, имеющий наименьшее собственное значение. [7]

Требуемый вектор может быть найден и иными способом - для каждого временного отсчета рассчитывается энергия, отношение значения амплитуды к энергии формирует поле точек в пространстве (рис. 2). Данные точки можно аппроксимировать плоскостью, нормаль которой и будет искомым вектором.

Имея вектор эллипса с наименьшим собственным значением, можно рассчи-

▼ Рис. 2. Зеленый вектор – нормальный вектор плоскости. Синие точки - исходное поле значений, оранжевые - спроецированные на плоскость.



тать угол между ним и его проекцией на горизонтальную плоскость для каждой пары источник-приемник. Уменьшая итерационным путем сумму углов для каждой пары ПВ-ПП определяется дифферент (pitch).

Имея значения pitch, выполняется поворот исходных сейсмических данных на рассчитанный угол (формула 1).

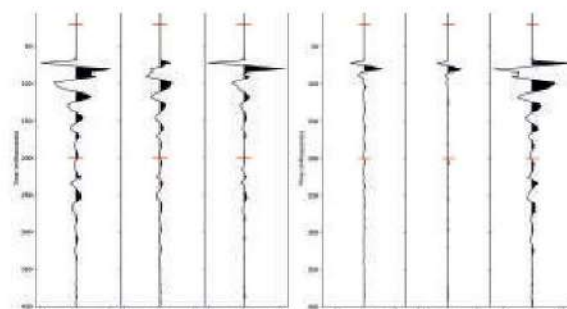
$$\begin{bmatrix} X'(t) \\ Y'(t) \\ Z'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos P & 0 & \sin P \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P & 0 & \cos P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

где $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ - сейсмические трассы, а P - дифферент (pitch)

Далее аналогичным образом вычисляется крен (roll), но в качестве входных данных используются развернутые на предыдущем этапе сейсмические трассы - $X'(t)$, $Y'(t)$, $Z'(t)$.

Таким образом, определяется требуемая пара углов - крен и дифферент.

Рассмотрим предложенный алгоритм на примере реальной сейсмической записи, соответствующей донному модулю, установленному (по показаниям инклинометра) с значительным отклонением от нормального. Значения

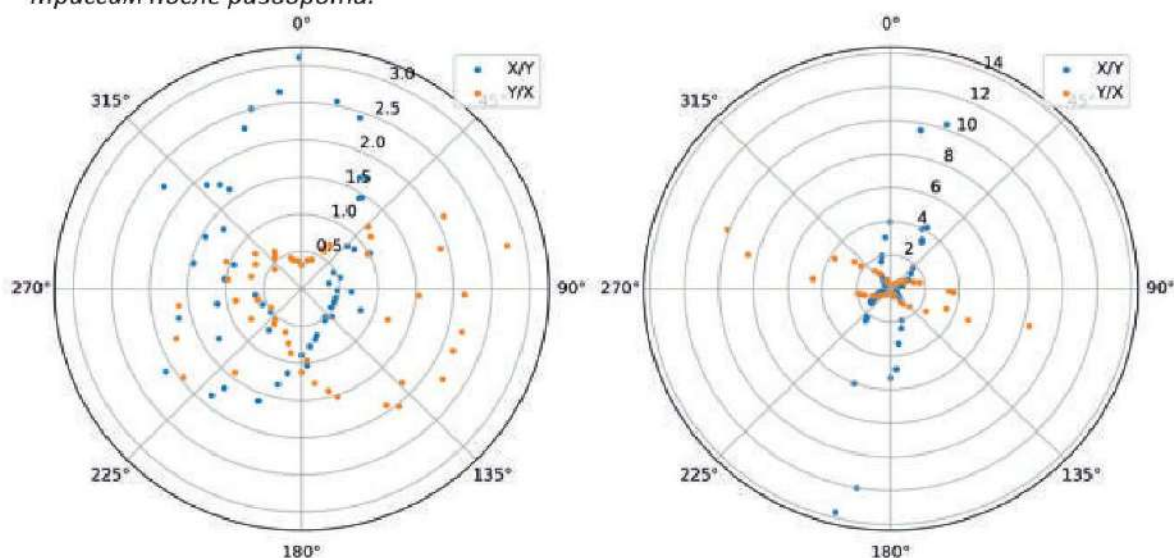


▲ Рис. 3. Исходные сейсмические трассы X , Y , Z компонент (слева), сейсмические трассы X , Y , Z компонент после разворота (справа).

анализируемых углов для данного случая: $\text{pitch} = 115^\circ$, $\text{roll} = -26^\circ$. Соответствующие расчетные значения - 113° и -28° . Разворот сейсмических трасс путем умножения вектора смещения на матрицу поворота приводит к компенсации наклона корпуса донного модуля - вся энергия, соответствующая полю продольных волн «перекачивается» с горизонтальных компонент на вертикальную - т.е. происходит вертикализация поля компоненты Z (рис.3).

В свою очередь, поле горизонтальных компонент высвобождается от вертикальной составляющей сигнала, что является одним из этапов подготовки

▼ Рис. 4. Слева - исходное отношение среднеквадратичных амплитуд X, Y компонент, справа - отношение среднеквадратичных амплитуд X, Y компонент по сейсмическим трассам после разворота.



поперечного волнового поля к дальнейшей обработке.

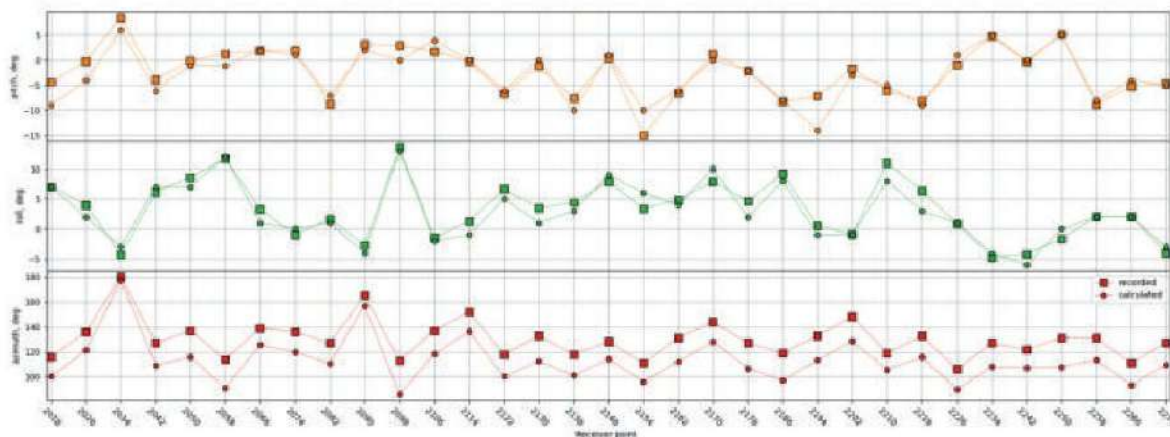
Для дополнительного контроля корректности разворота сейсмической записи могут быть использованы круговые диаграммы отношений среднеквадратичных (RMS) амплитуд компонент X и Y (Рис. 4) для каждой пары отсчетов.

Данная диаграмма, полученная по исходному волновому полю (Рис. 4, слева), имеет квазиэллиптическое распределение значений. Однако после компенсации наклона модуля распределение принимает вид вытянутого вдоль осей горизонтальных компонент поля эллипса (Рис. 4, справа) – угол между множествами значений X/Y , Y/X на диаграмме принимает значение 90° , что указывает на корректность рассчитанных углов.

На основе предложенного алгоритма был выполнен расчет углов pitch, roll, yaw для набора реальных данных – линии приёма, состоящей из 32 донных модулей. Полученные значения вынесены на графики в сравнении с реальными измеренными инклинометром значениями (рис. 5).

Для анализируемого профиля средние отклонения между наблюдаемыми и рассчитанными значениями составили для углов pitch и roll - 0.5° , что лежит вне точности измерения прибора (менее 1°).

▼ Рис. 5. Сравнение углов, рассчитанных по сейсмическим данным (круглые марки), с показаниями инклинометров (квадратные марки).



Средняя разница по азимуту - 17° связанная, в первую очередь, разницей магнитного и истинного азимутов для конкретного региона работ.

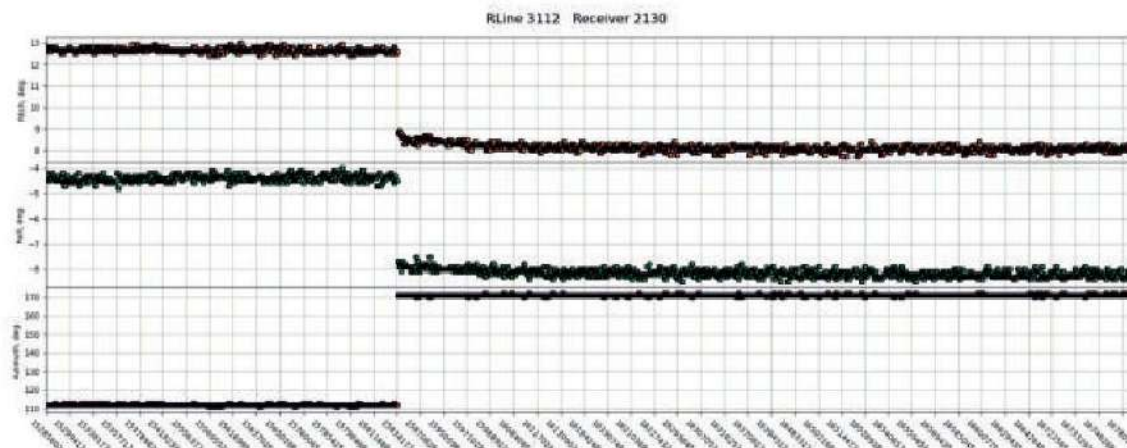
Практика использования донных модулей такова, что приборы могут находиться на морском дне вплоть до месяца и более и, в зависимости от конкретных внешних условий (погода, рельеф дна, придонные течения), менять свою ориентацию в процессе работ (рис. 6).

В подобной ситуации отследить поведение модуля во времени иначе, как на основе качественных показаний инклинометра, невозможно.

Выводы

В результате данной работы получены расчетные оценки в достаточной мере согласующиеся с показаниями инклинометров ДМ «Краб», что, с одной стороны, подтверждает корректность выбранного алгоритма расчета, с другой - подтверждает полное соответствие инклинометра заявленным техническим характеристикам. Расчеты выполнены на для статистически значимой выборки полевых данных.

Единичные отклонения могут быть вызваны как проблемами с отдельно взятым инклинометром, так и с ошибкой вычисления, связанной с качеством



▲ Рис. 6. Пример записи углов для ДМ, сменившего ориентацию в процессе работы.

сейсмических данных.

Стоит отметить, что определение ориентации ДМ по сейсмическим данным не может являться альтернативой показаниям инклинометра – в условиях мелководья прямая волна не регистрируется в явном виде и для подобного анализа непригодна. Дополнительные ограничения на рассматриваемую методику накладывает использование для расчета только ближних удалений – мы, по сути, выполняем расчет в узких временных окнах, соответствующих работе судна-источника в непосредственной близости от конкретного ДМ. Добавим, что в полной мере методика применима только для данных, полученных в рамках площадных съемок, где обеспечивается достаточно равномерное азимутальное распределение трасс в области ближних удалений.

Литература:

1. Казанин А.Г. Инновационный цифровой сейсмический комплекс морской сейсморазведки "Краб". Разработка, внедрение и перспективы развития отечественных донных станций / А.Г. Казанин, С.О. Базилевич, Д.Г. Куома и др. // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – № 12(253). – С. 28-35.
2. Казанин А.Г. Многоволновые сейсморазведочные работы 3D(4C) на континентальном шельфе о. Сахалин с использованием системы автономной донной регистрации Краб / А.Г.

Казанин, С.О. Базилевич, А.В. Зимовский и др. // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 8. – С. 14-18.

3. Казанин А.Г. Применение инновационного комплекса сейсмических регистраторов «Краб» на действующих месторождениях шельфа России / А.Г. Казанин, С.О. Базилевич, Д.Г. Куома и др. // Нефть. Газ. Новации. – 2022. – № 4(257). – С. 34-39.
4. Казанин Г.С. Многокомпонентные морские сейсмические исследования на арктическом шельфе на базе технологии Geospace / Г.С. Казанин, С.А. Нечхаев, В.А. Щедров, А.В. Зимовский / Разведка и охрана недр. – 2014. – № 4. – С. 40-44.

5. Казанин Г.С. Результаты испытаний отечественных 4-компонентных автономных донных станций «КМС» в юго-восточной части Баренцева моря в сравнении с донными станциями ОВХ компании Geospace / Г.С. Казанин, С.О. Базилевич, А.В. Зимовский, И.А. Матвеев, Д.Г. Куома, Д.А. Ильинский., К.А. Рогинский, О.Ю. Ганжа // Сборник материалов 8-й международной конференции «Геосочи - 2018». – 2018. Тверь: Полипресс.
6. ООО «Морской Технический Центр», Автономная донная сейсмическая станция аппаратно-программного комплекса морской сейсморазведки и мониторинга в транзитных зонах и на шельфе «Краб». Техническое описание и руководство по эксплуатации. – 2021.

7. Шевченко А. А. Сейсмические исследования в скважинах // М.: МГУ, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики. – 2007.



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSPRU

РОССИЙСКОЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

SCOUT-NT

*кабельно-бескабельный
сейсморазведочный комплекс*

Комплекс разработан для выполнения следующих проектов:



3D проекты любой сложности



4D проекты. Микросейсмический мониторинг месторождений и скважин с использованием геофонов, гидрофонов и сейсмографов.



Любые 2D проекты в любых условиях.



Проекты по изучению ВЧР.



Инженерные изыскания с минимальным интервалом квантования 0.25 ms.



II научно-практическая конференция «Электроразведка – 2022» с успехом прошла в Москве 26-28 октября в бизнес-центре гостиницы «Салют».

- Организатор конференции проект «Радарные и Сейсмические Системы»,
Махонская Е. В., г. Москва



На мероприятии были представлены результаты новейших исследований и изысканий с использованием различных электроразведочных методов, рассмотрены теоретические и методические аспекты электроразведочных технологий.

Генеральные спонсоры: КБ «Электрометрии» и АО «ЕМ-Разведка».

Генеральный информационный партнер: – электронный журнал «ГеоИнфо».

Соорганизаторами конференции выступили: Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, «Геосигнал».

В конференции приняли участие более 120 человек из 19 городов России. Хочется отметить большое число молодых участников конференции и, широкое региональное представительство. Крупные делегации представляли основные научные школы электроразведки: Мос-

▼ Выступления на конференции вызвали большой интерес и оживленное обсуждение.



ква, Санкт-Петербург, Новосибирск, Иркутск.

За три дня работы конференции на ней прозвучало 59 докладов, среди них 5 обзорных, мастер-класс и практикум. На выставке геофизического оборудования свои новинки демонстрировали компании-экспоненты: КБ «Электрометрии», АО «ЕМ-Разведка», «Северо-Запад», «КГЭ «Астра», «Radar Systems» Inc., Riga, Latvia, «Радарные и Сейсмические Системы», «ГЕОСИГНАЛ».

Тематика докладов включала как фундаментальные разработки технологии измерений и обработки данных, так и примеры сугубо прикладных задач, решенных с помощью различных мето-

дов электроразведки. Насыщенными были блоки докладов, посвященных методам моделирования, анализа, коррекции и инверсии данных. Среди прикладных задач важное место заняли доклады инженерно-экологической, гидрогеологической и археологической тематик. Отдельно стоит отметить ряд докладов, посвященных аэроэлектроразведочным методам – это динамично развивающееся во всем мире направление.

По итогам научно-практической конференции «Электроразведка - 2022» к весне будет подготовлен сборник тезисов с индексацией в РИНЦ.

В плане перспектив практического применения участники нашли много нового и интересного на мастер-классах, презентующих новые технологические решения и на выставке оборудования, представленного компаниями-производителями.

Ключевые участники конференции: КБ «Электрометрии», «ЕМ-Разведка», НПО «Терразонд», «Radar Systems» Inc., Riga, Latvia, «Северо-Запад», «КГЭ «Астра», НПО «Уралгеополе», АО «ГНПП «Аэрогеофизика», «ВНИИ Галургии», «Газпром недра», ФГБУ «МОСГОРГЕОТРЕСТ», Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Сибирская школа геонаук ИРНТУ, ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, ИМЗ СО РАН, Институт наук о Земле СПбГУ, «СИГМА-ГЕО», «Радарные и Сейсмические Системы», «ГЕОСИГНАЛ».



▲ Практическая демонстрация работы оборудования «КБ Электрометрия».



▲ Презентация разработок от компании «Северо-Запад».



▲ Живое общение участников.

Следующая конференция **«Электроразведка – 2024»** планируется **21-23 марта 2024 года**, а уже **22-24 марта 2023 года** приглашаем к участию в конференции и выставке **«Георадар-2023»**.

Мероприятие традиционно пройдет в г. Москва, Бизнес-центре гостиницы «Салют» 4*.

Тектоника плит против расширения Земли: борьба только начинается?

■ Череповский А.В., член редакционной коллегии журнала «ПСРГ», г. Москва

Теория тектоники литосферных плит выросла из гипотезы о дрейфе континентов и получила всеобщее признание сначала за рубежом (в 60-е годы XX века), а затем и в России (СССР). Тектоника плит опирается на гипотетические глубинные механизмы, такие как конвекция в мантии и субдукция океанической коры, достоверность которых нельзя проверить. Дрейф континентов и расширение всех океанов в современную геологическую эпоху гораздо проще объяснить увеличением размеров Земли, которое может даже ускоряться в последние сотни миллионов лет. Последние публикации сторонников тектоники плит – как за рубежом, так и в России – изобилуют натяжками и откровенными выдумками, показывающими несостоятельность данной глобальной гипотезы. Если придерживаться принципа всё подвергать сомнению, то теория тектоники плит – отличный кандидат для обоснованной критики и пересмотра её исключительного положения в глобальной тектонике.

Фиксизм, расширение Земли или мобилизм?

До конца 60-х годов прошлого века в науках о Земле, а именно в глобальной тектонике, с переменным успехом конкурировали как минимум три направления [12]: 1) фиксизм, 2) расширение, пульсации или сжатие Земли и 3) мобилизм.

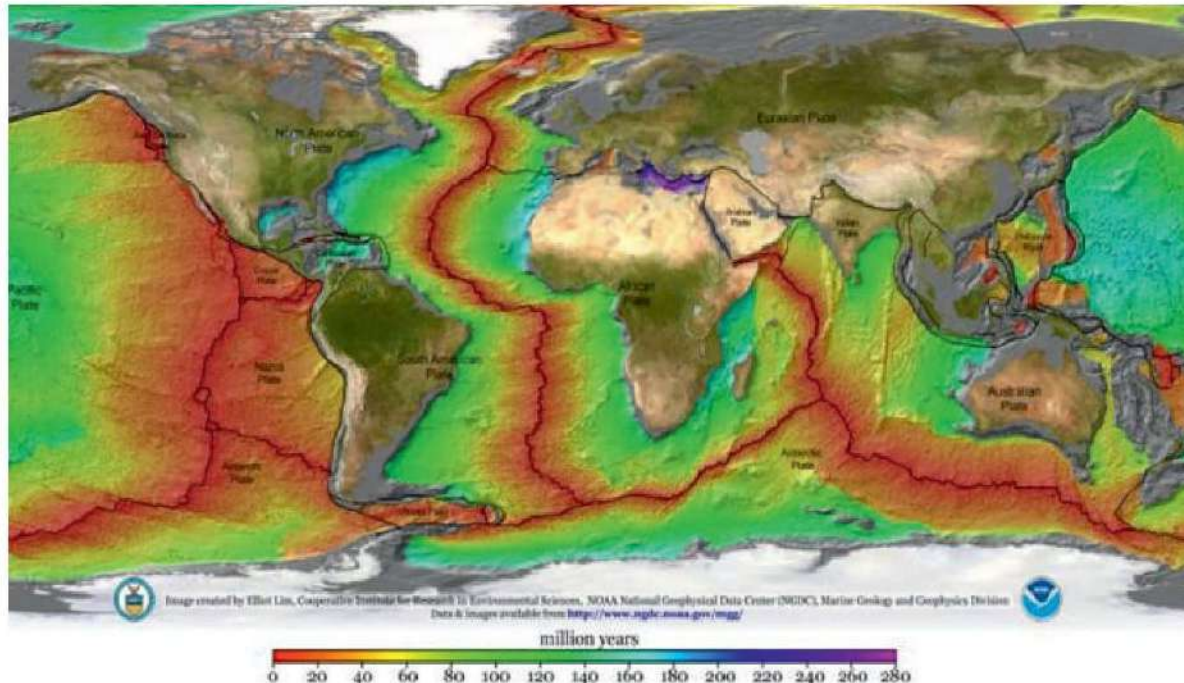
Первое направление – это традиционный фиксизм. Сторонники этого направления отдавали предпочтение вертикальным движениям земной коры или циклам её геосинклинального развития на планете фиксированного размера. Тем не менее считалось, что площадь океанов и континентов может меняться во времени благодаря геохимическим процессам в земной коре.

Второе направление допускало изменение размеров нашей планеты. Сюда относились гипотезы о сжатии (контракции), пульсации и расширении Земли. Сторонники этих гипотез близки к фиксистам в том, что материки не испытывают больших горизонтальных перемещений, и их относительное положение неизменно.

Третье направление – мобилизм. У мобилистов доминируют горизонтальные перемещения больших и маленьких блоков океанической и континентальной

коры, которые они называли плитами. Мобилисты, как и сторонники расширения Земли, придерживаются мнения, что в современную эпоху в срединно-океанических хребтах (СОХ) генерируется новая океаническая кора, и дно всех океанов разрастается.

За рубежом в конце 60-х годов резко выросла популярность мобилизма. И можно понять, почему. Дело было не только в логичности или обоснованности той или иной концепции. Шестидесятые годы были временем кардинальных перемен в науке, технике и обществе. Это было время становления атомной энергетики, время первых полетов в космос, время бурного развития телевидения и других средств массовой информации, время хиппи и масштабных студенческих беспорядков во Франции. Можно сказать, что в Европе и Америке существовал общественный заказ на перемены во всём, и любая научно-техническая фантастика шла «на ура», а любые сказки, казалось, вот-вот станут былью... В такой обстановке кропотливые геологификсисты, бережно обращавшиеся с огромным объемом информации, накопленной предыдущими поколениями ученых, и не позволявшие себе выносить на публику недостаточно проверен-



▲ Рис. 1. Карта возраста пород на океаническом дне.

ные или субъективно подобранные факты, были обречены. Мобилизм оказался золотой серединой между скучным фиксизмом и пугающими и опережающими свое время гипотезами о расширении Земли. Мобилизм будоражил геологов и геофизиков возможностью совершенно по-новому представить историческую геологию, был понятен околонушной публике и отлично вписывался в эпоху востребованных перемен.

В те же 60-е годы обширная программа глубоководного бурения в океанах позволила установить относительную молодость горных пород на дне океанов. Победила гипотеза, согласно которой молодая базальтовая океаническая кора формируется в СОХ, где новые порции магмы из глубин мантии поднимаются ко дну океана, застывают в зонах рифтинга и расклинивают СОХ, таким образом расталкивая континенты. И эти процессы будто бы обеспечивает конвекция в мантии [9].

Казалось бы, закономерное увеличение возраста пород на дне океанов от их центров к окраинам (рис.1) должно было

привести геологов к представлениям о неуклонном увеличении размеров Земли в последние 150–170 млн. лет. Нет, это было бы слишком, и революционеры-мобилисты решили, что размеры Земли должны быть неизменны. Один только дрейф континентов плюс предполагаемое периодическое открытие и закрытие океанов между ними уже выглядело как важнейшая революция в геологии!

Нерешенные проблемы мобилизма

В 2018 году в Париже было отпраздновано 50-летие теории тектоники плит в форме трехдневной конференции. Эту юбилейную конференцию открывала презентация, первый слайд которой назывался так: «Освещение и картирование зон субдукции: 50 лет ограниченного успеха геофизических методов и что нам делать с многочисленными остающимися проблемами?»

Почему же за 50 лет не удалось, как говорится, отполировать постулаты или «аксиоматические положения» этой теории [9], которую уже стали называть

классической, и отвести от нее все сомнения и вопросы? Дело в том, что основные идеи тектоники литосферных плит – о субдукции океанической коры и конвекции в мантии – встречали и продолжают встречать серьезные затруднения. Противоречия и нестыковки были видны, что называется, невооруженным глазом с самого начала существования этой механистичной гипотезы. Это прежде всего относится к субдукции, то есть к затягиванию тонкой океанической коры в глубины мантии. Благодаря гипотетическому процессу субдукции размеры Земли у плито-тектонистов остаются постоянными, несмотря на доказанные процессы расширения дна во всех океанах. Например, субдукцию привязали к западному побережью Северной и Южной Америки, где проходит глубоководный океанический жёлоб. Такие окраины океанов называют активными.

Но ведь с физической точки зрения невозможно затолкать тонкую и относительно легкую пластину океанической коры в значительно более плотный и твердый материал мантии даже в геологическом масштабе времени? Уловка плито-тектонистов заключается в следующем: они утверждают, что базальтовая океаническая кора по мере отодвигания от СОХ остывает примерно от исходной тысячи градусов по Цельсию (температура, близкая к точке плавления базальтов) почти до нуля у континентальных окраин. В результате холодная и ставшая более плотной океаническая кора будто бы приобретает отрицательную плавучесть и может самозатягиваться в горячую мантию. Именно поэтому плито-тектонисты допустили, что конвекция в мантии не обязательна для погружения океанической коры. Всё бы ничего, но карта возраста пород на дне океанов говорит скорее об обратном (рис.1). Ведь плито-тектонисты утверждают, что океаническая кора тонет у западных берегов Север-

ной и Южной Америки, где красным цветом на карте показана молодая кора возрастом не более 10-20 миллионов лет. А вот с другой стороны обеих Америк, на их восточном побережье, океаническая кора как раз древняя и остывшая, возрастом от 100 до 150 миллионов лет. И эта остывшая кора почему-то припаяна к континентам и не собирается тонуть. Почему так – плито-тектонисты не объясняют, а просто называют такие окраины океанов пассивными.

Как известно, базальты имеют очень низкий коэффициент линейного теплового расширения – менее одной сотысячной (см. справочник «Физические величины»). Это значит, что при остывании на 1000 градусов плотность базальтовой пластины увеличится менее чем на 2%. Таким образом, плотность базальта можно считать постоянной и равной $2,9 \text{ г/см}^3$. В то же время, согласно общепринятым моделям Земли [4], плотность верхней мантии считается равной $3,3 \text{ г/см}^3$. Одно это уже не позволяет всерьез рассматривать модель самопогружения базальтовой океанической коры.

Естественно, мантия должна быть плотнее, чем земная кора. Согласно распространенным представлениям, миллиарды лет назад, на молодой Земле, её поверхность была очень горячей, и представляла собой океан магмы глубиной до двухсот километров. При остывании Земли происходило её расслоение, и сначала должны были выплавиться относительно легкие минералы и породы, такие как граниты, богатые кварцем.

Затем, гораздо позднее, между остывшими и расходящимися гранитными континентами стала формироваться и разрастаться тонкая базальтовая океаническая кора. И в настоящее время континенты, как и океаническая кора, согласно принципу изостазии, как бы плавают на поверхности астеносферы – вязкой, а

местами, может, и расплавленной верхней мантии, судя по сотням вулканов на нашей планете...

Прежде чем заявлять о возможности самопогружения или затаскивания океанической коры под континенты и в глубины мантии, вплоть до границы с ядром на глубине примерно 2900 км, плито-тектонистам нужно было запретить известные плотностные модели Земли [4], согласно которым плотность мантии увеличивается с глубиной от 3,3 до 5,5 г/см³, что совершенно исключает процесс субдукции, так же как и её двигатель – тепловую конвекцию или круговорот вещества в мантии.

Кроме того, при затаскивании молодой океанической коры в мантию в районе глубоководных желобов должно, казалось бы, наблюдаться сдирание и скучивание рыхлых верхних осадочных слоев океанической коры, но этого нигде не обнаружено. Отметим также, что глубоководные желоба напрасно отнесены плито-тектонистами к явным признакам сжатия океанического дна. В расширяющейся Атлантике есть, так сказать, ужасный ребёнок – это дуга Антильских островов на границе с Карибским морем, с выраженным глубоководным жёлобом со стороны океана. В самой южной части Атлантики есть еще одна дуга – это Южные Сандвичевы острова, также обрамленные жёлобом со стороны расширяющегося океана. Может быть, плито-тектонисты считают, что это допустимые исключения из правила?

Еще одна плохая для плито-тектонистов новость заключается в том, что по данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) в мантии прослеживается целый ряд промежуточных границ, по-видимому, соответствующих фазовым или вещественным изменениям. Одна из наиболее отчетливых границ на глубинах 660-690 км считается границей между средней и нижней мантиями.

Расслоенность мантии исключает гипотезу о ее перемешивании по всей глубине, то есть гипотезу о полномантийной конвекции.

Таким образом, субдукция и конвекция – при своей кажущейся наглядности и правдоподобности – очень маловероятны с физической точки зрения. Но отказаться от этих концепций плито-тектонисты не могут, поскольку без них разваливается вся теория тектоники плит. Ведь ее шестой, заключительный постулат звучит так [9]: «Движение литосферных плит представляет собой поверхностную форму мантийной конвекции, современная структура которой в последнее время становится всё более определённой».

Что касается российских геологов, то они как никто в мире долго и активно противились принятию грубых схем дрейфа континентов и тектоники плит. Из тех, кто призывал скрупулезнее и критичнее отнестись к новым концепциям западных коллег и не отворачиваться от отечественного геологического наследия, в первую очередь можно назвать академиков Д.Ю. Пушаровского, Е.Е. Милановского, Ю.А. Косыгина и А.А. Трофимука, членов-корр. РАН В.В. Белоусова и Г.Б. Удинцева, докторов геол.-мин. наук А.Е. Шлезингера и Н.Я. Кунина и многих других.

В МГУ им. Ломоносова жаркая полемика между фиксистами и мобилистами продолжалась не одно десятилетие. Активным участником этой полемики был В.В. Белоусов, профессор геологического факультета МГУ и один из ярких представителей классической советской геологической школы. Белоусов, мягко говоря, с большим удивлением наблюдал за всемирным победным шествием новой глобальной тектоники, которую позже назвали тектоникой литосферных плит [1]. Приведу цитату из письма, написанного Белоусовым в 1977 году своим колле-

гам, кардинально поменявшим свои научные взгляды: «Следует помнить, что наука развивается там, где есть противоречия, и что исследователь должен прежде всего выискивать не то, что подтверждает его идею, а то, что ей противоречит. Только преодолевая противоречия, он укрепляет свою идею. Учение, которое не терпит противоречий, избегает их, неминуемо выпадает из сферы науки и превращается в догму. Такой научно непознаваемой догмой является сейчас тектоника плит».

Через 10 лет, в конце 80-х годов прошлого века, известный сейсмолог, Наум Яковлевич Кунин писал в своей книге [8]: «Окраинно-океанические желоба пересечены рядом профилей ГСЗ. В подавляющем большинстве случаев – более 90% – осадки в желобах сформированы за счет сноса со стороны континентов или островных дуг и не дислоцированы, что противоречит гипотезе субдукции. Подтвердить субдукцию за несколько десятилетий сейсмических наблюдений не удалось».

Суперконтиненты в прошлом и будущем.

Одна из важнейших составляющих теории тектоники плит – это концепция так называемых «суперконтинентов» или единых массивов суши, которые будто бы не раз образовывались и распадались в геологическом прошлом нашей планеты, то есть сотни миллионов и миллиарды лет назад.

Как известно, сходство очертаний противоположных берегов Атлантики, особенно западного берега Африки и восточного берега Южной Америки, привлекало внимание многих географов и мыслителей еще в эпоху великих географических открытий, в 16-м и 17-м веках. Очертания двух побережий выглядят так, как будто когда-то Южная Америка и Африка были вместе, а потом разделились...

В действительности, в 19-м веке большинство геологов полагали, что земная кора испытывает общее сокращение, поскольку Земля должна постепенно остывать и сжиматься. По этой причине геологи решили, что мосты суши между Южной Америкой и Африкой опустились, и на их месте образовалась южная часть Атлантического океана. Исходя из гипотезы о сжатии Земли и сходства комплексов горных пород и древних организмов на двух ныне удалённых берегах, австрийский геолог Зюсс в своей известной книге «Лик Земли», опубликованной в 1904 г., постулировал существование в прошлом трёх суперконтинентов: Гондвана, Лаврентия и Ангараленд. В то же время Зюсс полагал, что сегодняшние континенты всегда оставались на своих местах.

В первых десятилетиях 20-го века было сделано три открытия, которые подорвали позиции сторонников сжатия Земли и фиксизма. Во-первых, в горных породах были обнаружены радиоактивные элементы, которые длительное время могли нагревать земную кору благодаря радиоактивному распаду и поддерживать активные процессы в ней. Во-вторых, был открыт принцип изостазии, согласно которому земная кора плавает на более плотном и подвижном слое мантии по аналогии со льдом, плавающим в воде. В-третьих, было установлено, что океаническая кора отличается от континентальной и состоит из базальтов.

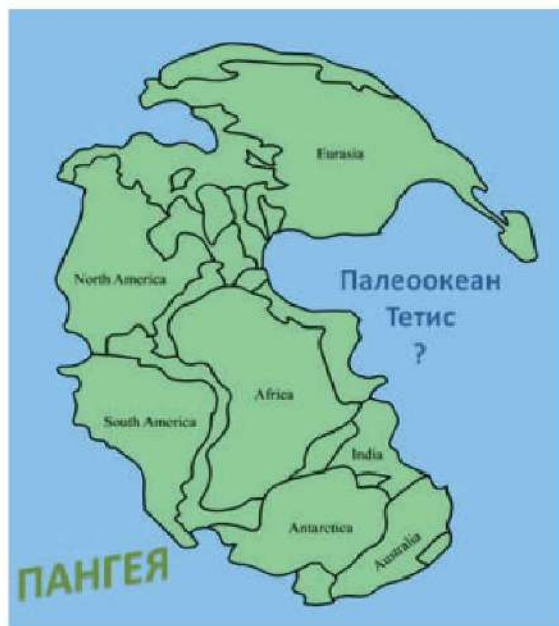
Немецкий учёный Альфред Вегенер учёл эти три открытия и расширил сравнение геологического строения континентов [5]. В отличие от Зюсса он пришёл к выводу, что континенты отодвинулись друг от друга. В 1915 году Вегенер опубликовал свои идеи на немецком языке, в книге под названием «Происхождение континентов и океанов».

Вегенер утверждал, что во время пермского периода, более 200 млн. лет назад, все континенты были объединены

в один суперконтинент, который он назвал Пангея – то есть «вся земля». А окружал его единый океан, Панталасса. По Вегенеру, общие очертания суши были достаточно сложными, и с востока в сушу врезался океан Тетис (рис.2). Пангея состояла из Гондваны, расположенной преимущественно в южном полушарии, и Лавразии в северном полушарии. Вегенер был уверен в том, что континенты подвижны, но он не мог объяснить, какие силы могут быть движущими... Именно поэтому в первой половине 20-го века идеи Вегенера не были восприняты официально наукой. Но открытие спрединга (то есть процесса расширения дна всех океанов) в 50-е и 60-е годы прошлого века позволило геологам вернуться к идеям Вегенера и на их базе разработать теорию тектоники плит, добавив описанные выше гипотетические процессы субдукции и конвекции.

Плито-тектонисты решили, что всего было пять суперконтинентов: Пангея – 250 млн лет назад, Паннотия – 600 млн лет назад, Родиния – один млрд. сто млн. лет назад, Колумбия – один млрд. 600 или один млрд. 800 млн. лет назад, и самый

▼ Рис. 2. Суперконтинент Пангея и палеоокеан Тетис.



древний, Кенорленд – два млрд. 600 млн. лет назад. При этом плито-тектонисты признают, что причины этих процессов мало понятны, и что «только существование Пангеи хорошо задокументировано в геологической летописи» [14].

Я бы сказал, что утверждение о хорошей задокументированности Пангеи является сильным преувеличением. На самом деле, только реконструкции Атлантики однозначны и, можно сказать, выполняются на пятерку, хотя десятки геологов 20-го века, таких как Борис Шубер или Эдвард Буллард, много лет совершенствовали палеостыковки двух берегов Атлантики. А что касается Индийского океана, то здесь надёжность палеореконовструкций уже на три с минусом из-за очень слабой обоснованности существования палеоокеана Тетис и рекордного по скорости (до 20 см в год) плавания Индии через этот предполагаемый океан, от которого сегодня нет и следа. А Тихий океан, ради сохранения размеров планеты, плито-тектонисты решили сделать чуть ли не вечным, и утверждают, что он существует как минимум 1 млрд. лет, и что «континенты туда никогда не заходили» [9].

Любопытно, что плито-тектонисты пришли к мнению, что суперконтиненты могли распадаться и собираться не на одном и том же полушарии Земли, а на разных [14]. Для этого даже предложены специальные термины: 1) интроверсия – это когда суперконтинент образуется на том же месте, что и предыдущий; 2) ортоверсия – когда суперконтинент образуется со сдвигом на 90 градусов по отношению к предыдущему; 3) экстраверсия – когда суперконтинент образуется на другом полушарии, то есть со сдвигом на 180 градусов. Разумеется, эти варианты образования суперконтинента надуманные, но они хоть как-то оживляют историю однообразных и беспричинных суперконтинентальных циклов – к

тому же скорее дающих основания развивать гипотезы о пульсации Земли, а не о хаотическом дрейфе континентов...

Еще одна фантазия плито-тектонистов относится к образованию суперконтинента в будущем, через сотни млн. лет. Действительно, если суперконтинент распадался и собирался не меньше пяти раз в прошлом, почему бы ему не собраться в будущем? Плито-тектонисты единодушны в том, что расширение Атлантического океана продолжится достаточно долго, как минимум еще 50 млн. лет. И тогда он станет на 1000-1500 км шире. Но в глобальном смысле это ничего не поменяет в схеме расположения современных континентов, и нет никаких фактов в пользу изменения знака движения континентов на обратный в отдаленном будущем, через 50 млн. лет и больше. Мало того, что плито-тектонисты придумали конвективные ячейки в мантии в качестве движущего механизма, так еще эти конвективные ячейки должны периодически включать обратный ход, стягивая континенты вместе, с периодом 500 или 600 млн лет. Это очень слабая гипотеза...

Но зарубежные доктора наук и профессора в фильмах на канале National Geographic делают вид, что за их фантазиями относительно суперконтинента

будущего есть какая-то наука. И ход их, так сказать, научной мысли с удивительной непосредственностью демонстрируется широкой публике на светостоле или в ванночке с вырезанными континентами. При этом в руках плито-тектонистов нет их главного детища – плит, между которыми промежутков не бывает. Светила тектоники плит играют именно континентами, придумывая, как бы их сложить, чтобы было не так, как в прошлый раз. Вот и вся подноготная прогноза на 50 или 100 млн. лет вперед... К тому же, серьезные реконструкции надо делать на сфере, а не на плоскости, поскольку в картографических проекциях очень сильно искажается либо форма, либо размеры континентов и островов в северных широтах.

Представьте себе, результаты таких игровых реконструкций обсуждаются мировой геологической наукой на полном серьезе. Есть целый ряд авторских конфигураций будущего суперконтинента (рис.3). Например, в 1982 году профессор Скотезе назвал свой вариант Пангея Ультима, то есть последняя Пангея, которая может появиться через 250 млн. лет. Затем, чтобы не претендовать на предсказание конца времён, Скотезе переименовал свой суперконтинент в Пангею Проксиму, то есть в следующую

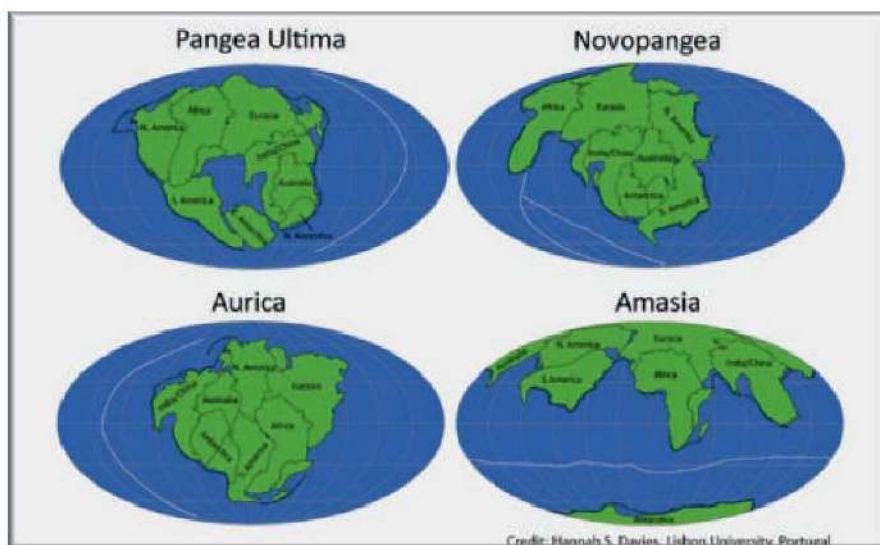


Рис. 3. Четыре варианта суперконтинента будущего. Дан прогноз: через 250-280 млн. лет.

Пангею. Сам профессор пошутил, что у него получился не монолитный массив суши, а скорее бублик...

На 10 лет позже были предложены варианты под названиями Новопангея и Амазия. И наконец, в 2016 году в университете Лиссабона была придумана Аурика с наиболее плотным и круглым расположением континентов с центром в районе экватора.

Напомню, что изначально, в 60-е годы прошлого века, плито-тектонисты делили литосферу на ограниченное количество жёстких плит, горизонтальное движение которых количественно описывается на основе теоремы Эйлера о вращательном движении абсолютно твёрдых тел на сфере. Такое описание тектоники плит со временем стали называть классическим, хотя из-за накопления нестыковок и противоречий тектонику плит пришлось существенно модернизировать. Как написано в двухтомнике «Мировой океан», от классической парадигмы пришлось переходить к тектонике деформируемых литосферных плит, что «существенно усложняет количественное описание движения литосферы» [9]. Теперь плиты могут быть частично (а не полностью) обособлены друг от друга, причем их конфигурация и количество могут изменяться в процессе эволюции Земли.

Несомненно, при построении Аурики в университете Лиссабона воспользовались гибкостью теории деформируемых литосферных плит и свободно меняли очертания континентов и резали их на части. Удивляет, в частности, что от Евразии оторвали Индию, Китай и Индокитай и припечатали их с другой стороны предполагаемого суперконтинента, к Австралии и Антарктиде...

О будущем суперконтиненте Амазия в октябре 2022 года в российском интернете появилось сразу несколько публикаций в переводе с английского – в частнос-

ти, на вебсайте Hi-Tech. Там с претензией на сенсацию было написано: «На Земле появится новый суперконтинент. Учёные уже придумали название для будущего суперконтинента». И дан прогноз: через 280 млн. лет. Оригинальная англоязычная статья, подготовленной китайскими геофизиками, работающими в австралийском университете, имеет название «Образуются ли следующий суперконтинент благодаря закрытию Тихого океана?». В кратком содержании утверждает, что «благодаря результатам моделирования, выполненного на суперкомпьютере, данная работа даёт новое понимание общего развития тектоники плит и геодинамики по мере остывания Земли». О результатах моделирования сказано следующее: «Охлаждение Земли с архейских времён свидетельствует в пользу того, что интроверсия могла формироваться только в докембрийское время, в то время как в Фанерозое и в будущем возможна только экстраверсия путём закрытия внешних суперокеанов. Это позволяет предположить, что следующий суперконтинент Амазия может сформироваться только при закрытии Тихого океана».

Кстати, утверждение плито-тектонистов о постепенной потере тепла недрами Земли и о прекращении тектоники плит через 2 млрд. лет тоже является спорным. На самом деле, пока нет никакого научного обоснования того, что через 1, 2 или 3 млрд. лет недра Земли и её поверхностные оболочки остынут, и активность тектонических процессов в земной коре сойдёт на нет. По крайней мере, на следующем(?) суперконтиненте, через 250-280 млн. лет, плито-тектонисты прогнозируют жаркий и сухой климат...

Что касается географии Амазии, то уже более десяти лет плито-тектонисты не могут выбрать одну из двух вероятных моделей её формирования: путем исчез-

новения наиболее «молодых океанов» – Индийского и Атлантического, или путем закрытия «самого старого» из них – Тихого океана. Отметим, что плито-тектонисты беспочвенно утверждают, что одни океаны – молодые, и значит растущие, а другие – старые, и им пора закрываться. Да, Тихий океан самый большой, но карта возраста пород на дне океанов (рис.1) однозначно говорит о том, процесс образования океанов был глобальным, что все океаны Земли раскрываются одновременно, и больше всего молодой океанической коры как раз в Тихом океане. Так что нет оснований приписывать почтенный возраст Тихому океану и заявлять о его нынешнем уменьшении на 2-3 см/год и о «закрытии» в перспективе, несмотря на производящие впечатление на обывателя «результаты моделирования на суперкомпьютерах».

Главное, чего не хватает этим построениям плито-тектонистов, это обоснования глубинных переключаемых механизмов, позволяющих океанам то расширяться, то схлопываться, а континентам – аккуратно, и можно сказать продуманно, причаливать друг к другу, забыв, что они являются частями неких «жестких плит»...

Идеи о расширении Земли

Удивительно, что задолго до открытия спрединга (или расширения дна океанов), находились смелые ученые, которые выдвигали гипотезы о постепенном или скачкообразном увеличении размеров нашей планеты по той или иной причине. Например, в 1933 году немецкий профессор Отто Хильгенберг изготовил и демонстрировал серию глобусов разного размера, иллюстрировавших появление и увеличение современных океанов.

Но первым о неуклонном расширении Земли задумался русский инженер Иван

Осипович Ярковский, который еще в 1889 году опубликовал книгу [13] с новым взглядом на всемирное тяготение и причины возможного увеличения массы нашей планеты. Ярковский предположил, что всепроникающий мировой эфир может поглощаться внутри Земли и преобразовываться в вещество. Похоже, Ярковский опередил своё время лет на 150 или больше, потому что его идеи до сих пор не восприняты официальной наукой.

Проблема в том, что физика и астрономия не только в 19-м и 20-м веках не были готовы к допущениям о постепенном изменении размеров и массы Земли, но и в нашем просвещённом 21-м веке. Как вы знаете, в начале 20-го века наука перевернула представления как о микромире, так и о макромире. Я имею в виду, что была открыта радиоактивность, множество элементарных частиц, которые ведут себя далеко не по тем правилам, к которым мы привыкли на бытовом уровне. Физики-атомщики показали, что элементарные частицы могут появляться из ничего, то есть из вакуума. Да и вся вселенная, быть может, родилась из ничего, из точки, в результате некоего большого хлопка или большого взрыва. И до сих пор вселенная расширяется, да еще с ускорением(!), и миллиарды галактик, каждая из которых состоит из миллиардов звезд, разлетаются от нас во все стороны, если верить в умозаключения астрономов.

Интересно, что эти новые представления как о микромире, так и о макромире довольно быстро стали общепринятыми. Но на бытовом уровне, в который попала и вся наша планета, официальная наука продолжала свято верить в законы сохранения вещества и энергии, на основании которых некогда рожденной и вращающейся в пустоте планете отказали в праве на какую-либо поступательную эволюцию.

Судя по всему, над картой возраста пород на дне океанов (рис.1) много времени провёл неординарный учёный, которого сумела не заметить официальная наука. Это Виталий Филиппович Блинов, количественно оценивший, как меняется со временем процесс расширения океанического дна [3]. Если игнорировать поглощение океанической коры в мифических зонах субдукции, то согласно подсчётам Блинова, за последние 150 млн. лет площадь поверхности земного шара увеличилась вдвое (рис.4): с 250 до более чем 500 млн. кв. км. А это значит, что радиус планеты увеличился примерно на 70 процентов! Обратите внимание, что скорость увеличения площади поверхности земного шара растёт по экспоненте, и мы живём, можно сказать, в эпоху океанического развития нашей планеты.

Блинов в сотрудничестве с другими советскими и французскими учёными подготовил важнейший доклад [2], который был включён в программу 27-го Международного геологического конгресса в Москве, в 1984 году. Разумеется, полученная Блиновым и его коллегами экспоненциальная кривая озадачила геологов, и особенно плито-тектонистов, поскольку она не давала почвы для прогнозов об остывании планеты и замирании тектонических процессов в будущем. Сам Блинов [3] сделал более чем смелое предположение о том, что нашей планете предстоит стать водным

или газовым гигантом – может быть, таким как Юпитер, и в конце концов – звездой!

Понятно, почему официальная геологическая наука не отреагировала на научные работы Блинова и других выдающихся мыслителей 20-го века, которые вынашивали идеи о постепенном и необратимом расширении Земли. Ведь если Земля растёт в объёме, да ещё с увеличением массы, надо идти к физикам и химикам за объяснениями. Надо менять сложившиеся представления об эволюции Земли, Солнечной системы и, может быть, всей Вселенной... На сегодняшний день физики не могут предложить приемлемый механизм, объясняющий значительное увеличение размеров и массы нашей планеты. Но это не значит, что такие гипотезы не имеют права на рассмотрение и изучение.

Напомню вам известную ошибку французской академии наук, куда пару веков назад крестьяне приносили упавшие на их поля метеориты. Академики решительно отказались изучать метеориты, постановив, что «камни с неба падать не могут»! И вот теперь история повторяется. Геологи показали на фактическом материале, что океаны не просто расширяются последние 150 млн. лет, а всё быстрее. С планетой что-то происходит! Согласно Блинову, в настоящее время радиус Земли увеличивается более чем на 2 см в год, а площадь поверхности

► Рис. 4.
Кривая увеличения
площади земной
поверхности за
последние
150 млн. лет.



планеты – более чем на 3 кв. км в год.

Измерения размеров Земли

Казалось бы, космическая геодезия способна уверенно подтвердить или опровергнуть изменения размеров Земли на несколько см в год. Но, к сожалению, международные системы отсчёта координат (такие как ITRF) не предусматривают изменение размеров нашей планеты, хотя параметры этих систем кулуарно обновляются каждые несколько лет. Этот вопрос нетривиальный, и желающим разобраться в этой теме я бы рекомендовал учебник В.И.Крылова, изданный Московским государственным университетом геодезии и картографии [6]. В этом учебнике написано следующее: «Международная земная система отсчёта ITRF физически определяется положениями более чем 200 опорных наземных станций, координаты которых постоянны (за вычетом тектонических движений, сезонных изменений и лунно-солнечных приливов). Для расчета и обновления систем отсчёта координат использовались модели абсолютного движения литосферных блоков – например, начиная с ITRF93, используется модель NNR-NUVEL1A».

Осмелюсь предположить, что подготовленные Американским аэрокосмическим агентством (NASA) модели движения литосферных блоков содержат принципиальные ошибки. Давайте вспомним, как выглядит Земля со стороны Северного полюса. Там находится Северный ледовитый океан, который невелик по размеру, и раскрывается он медленно, со скоростью от 1 до 2 см в год в его центральной котловине и между Скандинавией и Гренландией. Раскрываться Северному Ледовитому океану сложно, потому что Евразийский материк плотно припаян к Северной Америке, и тектонической границы между Чукоткой и Аляской нет. Это, кстати, камень в

огород «классической» теории тектоники плит.

Теперь о Южном полюсе. Он находится в Антарктике, и ситуация здесь обратная: небольшой, полностью покрытый льдом материк Антарктида, окружён огромным Южным океаном с молодым дном, быстро расширяющимся во все стороны. При этом зоны предполагаемой субдукции или самоуничтожения океанической коры ориентированы на нашей планете преимущественно в одном – меридиональном направлении, а не в широтном. Поэтому не избежать допущения, что вместе со своими океанами расширяется вся Земля, причём преимущественно за счёт южного полушария.

Поскольку международные системы отсчета координат пока не предусматривают постепенное увеличение размеров Земли, то континентам (или плитам?) приписываются ложные вектора движения в меридиональном направлении из-за того, что на самом деле экватор со временем смещается на юг, и широта опорных станций меняется. Как вы видите на рис.5, Австралия вроде бы стремительно едет на север или северо-восток, как и Африка, Аравия и Индия. Исходя из таких схем, плито-тектонисты прогнозируют сдавливание Средиземного и Черного морей, и в будущем – столкновение Африки с Европой. Утверждается также, что Африка давит на Аравию и дальше на Евразию. Но это вряд ли, потому что между Африкой и Аравией раскрывается Красное море, и две узкие зоны разломов и растяжения земной коры в недавнем геологическом прошлом, несколько миллионов лет назад, очертили Синайский полуостров.

Более того, современное движение Аравии в сторону Турции и Ирана и сдавливание Персидского залива, да ещё со времён предполагаемого палеоокеана Тетис между Гондваной и Лавразией (рис.2), идет вразрез с тем фактом, что в

странах Персидского залива находятся крупнейшие месторождения нефти и газа, а накопление углеводородов в подземных ловушках требует спокойной обстановки в осадочном бассейне в течение десятков, если не сотен миллионов лет, и нужен скорее режим растяжения и осадконакопления, а не сжатия и разрушения осадочных пород. Тем более известно, что современные активные окраины Тихого океана – с его предполагаемыми зонами субдукции – совершенно не перспективны на нефть и газ.

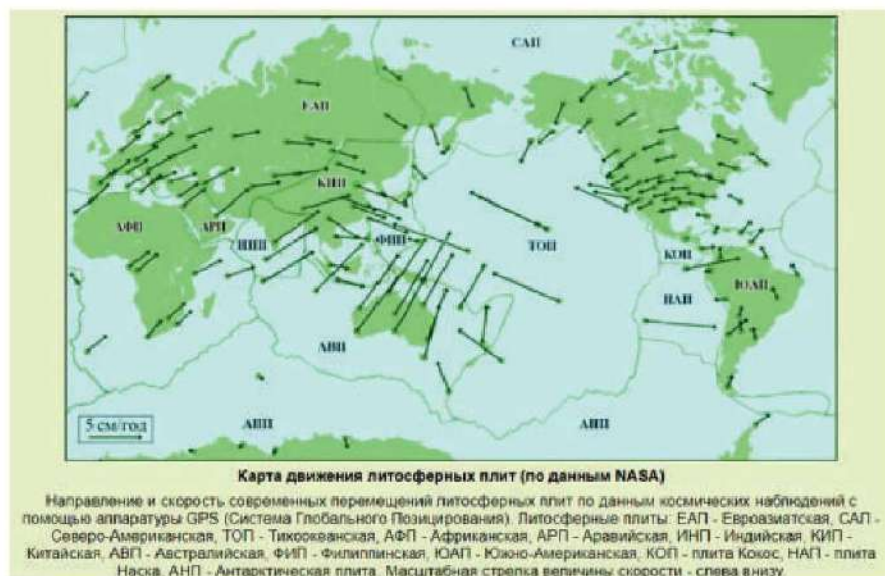
Казалось бы, подтвердить сжатие Средиземного моря очень просто, поставив на опорных пунктах в северной Африке и южной Европе радиотелескопы. Заявлено, что средства космической геодезии позволяют определять координаты опорных пунктов с миллиметровой точностью, так что относительные перемещения континентов на 1 или несколько см в год должны достоверно фиксироваться. Но мне пока не удалось найти в литературе результатов измерения абсолютных расстояний между опорными пунктами в Африке и Европе. Зато есть серьезные на вид зарубежные публикации, от имени NASA, на которые уже ссылаются в Википедии, и в которых утверждается, что «радиус Земли неиз-

менен с точностью до толщины человеческого волоса или 0.1 мм в год». Эти заключения о столь точном постоянстве размеров Земли показывают только то, что авторы расчетов не понимают разницы между точностью метода и точностью средней оценки изменения высот и координат более чем 200 опорных станций. Так что эти цифры не имеют грамотного математического и космогеодезического обоснования, и легко могут быть пересмотрены при изменении подходов к определению параметров международных систем отсчета координат, когда они не будут находиться под прессом аксиомы о постоянстве размеров нашей планеты. Остается дожидаться непредвзятых расчетов и публикаций от зарубежных и российских специалистов по космической геодезии.

Не создай себе кумира!

В заключение приведу цитату из книги петербургских преподавателей М.Б.Сергеева и Т.В.Сергеевой [10]. Их книга нравится мне не только прекрасным изложением истории наук о Земле, но и осторожным подходом к тем теориям, которые кажутся истинными абсолютно-му большинству современных геологов и геофизиков. Цитирую: «Стало склады-

► Рис. 5.
Карта движения
литосферных
плит по данным
космических
наблюдений.



ваться впечатление, что теория тектоники плит представляет собой окончательный вариант теории тектонического развития Земли, и на долю будущих геологов остаётся лишь уточнить некоторые детали. Это не так или, по крайней мере, не совсем так – теория тектоники плит имеет немало нерешённых конкретных вопросов. Не стоит забывать и того, что в истории науки многократно бывало, что самые стройные и логичные научные теории терпели крушение, так что в вопросе о тектонической эволюции нашей планеты ещё рано ставить точку» [10].

Хотя плито-тектонисты отвергают возможность пересмотра своей парадигмы – или даже «зрелой теории» тектоники литосферных плит, – стоит напомнить им, что Томас Кун, написавший книгу «Структура научных революций», под парадигмами подразумевал «признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают модель постановки проблем и их решений научному сообществу. Научная революция происходит тогда, когда учёные обнаруживают аномалии, которые невозможно объяснить при помощи универсально принятой парадигмы, в рамках которой до этого момента происходил научный прогресс» [7].

А аномалии в развитии земной коры, которые не могут объяснить плито-тектонисты, имеются в изобилии!

Литература:

1. Белоусов В.В. Основы геотектоники. Изд. 2. – М., Недра, 1989 г. – 382 с.
2. Блинов В.Ф., Шубер Ю.А., Фор-Мюре А.М., Осипишин Н.Я. Закономерность возрастного состава океанической коры. – М.: // 27-й Международный геол. конгресс, 4-14 августа 1984 г. Тезисы докладов.
3. Блинов В.Ф. Растущая Земля: из планет – в звезды. – М., 2003. – 272 с.
4. Буллен К.Е. Плотность Земли. – М., Мир, 1978. – 442 с.
5. Вегенер, Альфред. Возникновение материков и океанов / пер. с 3-го немецкого изд. – Л., Госиздат, 1925. – 147 с.
6. Крылов В.И. Координатно-временные преобразования в геодезии: учебное пособие – М., Изд-во МИИГАиК, 2014. – 90 с.
7. Кун, Томас. «Структура научных революций». – М., 1975. – 151 с.
8. Кунин Н.Я., Строение литосферы континентов и океанов. – М., Недра, 1989. – 286 с.
9. Мировой океан, том 1. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. Под общей ред. Л.И. Лобковского. – М., Научный мир, 2013. – 642 с.
10. Сергеев М.Б., Сергеева Т.В. Планета Земля. – М., 2000. – 144 с.
11. Тихий океан исчезнет, на его месте сформируется новый суперконтинент. – Иносми, 08 октября 2022 г. (<https://inosmi.ru/20221008/superkontinent-256618984.html>).
12. Череповский А.В. Планета Земля «пухнет», нарушая законы сохранения. – Независимая газета, раздел «Наука», 26.05.2020. (https://www.ng.ru/science/2020-05-26/12_7870_earth.html).
13. Ярковский И.О. Всемирное тяготение как следствие образования материи внутри небесных тел. Кинетическая гипотеза. – М., 1889.
14. Sorkhabi, Rasoul. The supercontinent cycle: Patterns and impacts. – GeoExPro, Vol.18, No.1, 2021. (<https://www.geoexpro.com/magazine/vol-18-no-1>).

Подробнее об авторах



Череповский
Анатолий Викторович

Член редакционной
коллегии журнала
«ПСРГ», к.т.н.,

г. Москва

Geotensis^{((•))}

Эксклюзивный дистрибьютор SmartSolo в России и СНГ

АРЕНДА SmartSolo в России и СНГ



Нодальная система SmartSolo:

- совместима со всеми сейсморегистрирующими системами;
- снижает ваши затраты по персоналу и транспорту;
- позволяет отработать сложные для кабельных систем участки;
- успешно используется в сейсморазведочных 2D и 3D проектах, инженерных изысканиях и при проведении мониторингов по всему миру.

«**SmartSolo.** Как выполнить сложный участок с высокоплотной методикой в короткие сроки в условиях ограниченных ресурсов и Крайнего Севера?»

ООО «Геотенсис»

Тел.: +7 927 040-07-39

Тел.: +7 987 822-68-37

geotensis@yandex.ru

smartsolo.com.ru



Геомодель 2022

24-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа

5–8 сентября 2022 г. | Геленджик, Россия

В период с 5 по 8 сентября 2022г. в конгресс-центре АО «Южморгеология» в г. Геленджике в 24-й раз прошла ежегодная научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель», организованная компанией ООО «Геомодель».



В период с 5 по 8 сентября 2022г. в конгресс-центре АО «Южморгеология» в г. Геленджике в 24-й раз прошла ежегодная научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель», организованная компанией ООО «Геомодель».

В процессе подготовки к мероприятию было принято более 150 тезисов докладов, проведено их рецензирование и сформирована 4-х дневная научная программа. Участие в конференции приняли около 170 представителей из 93 нефтяных и сервисных компаний. В этом году формат предполагал очное общение, но, учитывая логистическую сложность, организаторами была представлена возможность выступить онлайн в рамках отдельной сессии 1-го сентября. Также была организована онлайн транс-

ляция докладов, в которой одновременно принимали участие до 60 слушателей.

«Геомодель» - одна из ведущих площадок для обмена передовым опытом и продвижения инновационных разработок в нефтегазовой отрасли. Не исключением стала и конференция 2022 года. Подавляющее большинство докладчиков, слушателей и председателей сессий отметили существенно возросший уровень докладов и живой интерес к представленным материалам со стороны зала.

Резюмируя мнения представителей программного комитета, можно сделать выводы о устоявшихся тенденциях пересмотра устаревших методик обработки геофизических полей, активного привлечения методов машинного обучения, новых подходах в геологической





интерпретации материалов и необходимости интерпретационного сопровождения проектов.

«Доюрское основание Западной Сибири вновь привлекает внимание исследователей на новом технологическом витке. Новые методы исследования керна, новые методы ГИС в новых глубоких скважинах, новые подходы к полевым наблюдениям и обработке сейсмических данных позволяют приоткрывать завесу тайны сложного строения палеозойского основания и триасовых грабенов. Возвращение интереса связано с новыми открытиями в нетрадиционных вулканогенных коллекторах и рифогенных постройках. Наверное, самым интересным был слом парадигм и устоявшихся шаблонных представлений. Объект исследований - доюрский комплекс, предстал в новом свете, новая информация позволила высказать новые гипотезы, что даже вызвала у некоторых слушателей неготовность принять новую реальность. Возникали бурные дискуссии между корифеями и неофитами. В перерывах вспыхивали стихийные обсуждения услышанного» (И.Ю. Хромова, пред-



седатель сессии «Доюрское основание Западной Сибири»).

Особый резонанс среди аудитории вызвали доклады международного проекта «Созидательное общество» о эндогенной причине изменения климата на пленарной сессии. Хотя на первый взгляд, тематика докладов уходила за пределы привычного круга, тем не менее, долгосрочными целями декарбонизации является именно сокращение добычи углеводородов, что напрямую влияет на сферу деятельности участников конференции.

Выражаю благодарность организаторам конференции, которые, несмотря на современную обстановку, нашли силы и ресурсы для её проведения, а поддержка программного комитета и докладчиков позволили вывести «Геомодель» на качественно новый уровень!

Александр Архипов

Председатель Организационного комитета, директор ООО «Геошельф-Сервис».

Приглашаем вас принять участие в 25-й юбилейной конференции «Геомодель 2023» в сентябре 2023 года!

Крупнейшее событие в
геолого-геофизической
области в России

г. Москва

Гибридный формат

VI геолого-геофизическая конференция

GEO Eurasia 2023

ГеоЕвразия-2023
Геологоразведочные
технологии - наука и бизнес

www.gece.moscow

29-31 марта 2023 г.

+200
докладов

+400
участников

+200
компаний

Успейте подать доклад
до **10 февраля 2023**

Организаторы



Информационный партнер журнал «Приборы и системы разведочной геофизики»:

**ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ**

Первый выпуск журнала 2023 года
будет приурочен к конференции
«ГеоЕвразия-2023»





Your Gateway to Business in Eurasia

Стратегический и управленческий консалтинг на нефтесервисном рынке Ближнего Востока

Анализ состояния рынка и перспективных направлений в регионе под интересы клиентов;

Разработка стратегии входа на рынок;

Поиск и подбор решений по расширению и оптимизации бизнеса в странах Ближнего Востока;

Развитие Вашего бизнеса «под ключ».

Партнерство

Представление интересов клиента в странах региона;

Поиск местных партнёров и заказчиков, организация переговоров;

Привлечение инвестиций под перспективные проекты.

Поставки оборудования и разработка технологических решений

Аренда и продажа нового и бывшего в употреблении оборудования и комплектующих для геологоразведки на море и на суше;

Подготовка проектных решений под запрос.

Россия, г. Москва:

+7 (985) 222 48 44

Россия, г. Уфа:

+7 (347) 246 90 74

ОАЭ, г. Дубай,

+971(56) 170 2553

info@eurasia-oil-services.com



www.eurasia-oil-services.com

Сейсморазведка своих не сдает.

Разве что в аренду.



Аренда сейсморазведочного оборудования

SERCEL 428/508 – регистрирующая система для работ на суше и в транзитных зонах

Aram Aries II – телеметрический комплекс

RT 2 System – гибридная система регистрации с беспроводной передачей данных в режиме реального времени

ГЕОТОН – семейство невзрывных импульсных сейсмоисточников

SLIM WAVE – внутрискважинная телеметрия в реальном времени, для ВСП, межскважинных и микро-сейсмических работ.

G-SOURCE / BOLT – пневматический сейсмоисточник

Судно шутер «Скат» для сейсморазведки в транзитных зонах

Катамараны проекта «Гео» для проведения геофизических и инженерно-геологических работ

Тел/факс: +7 (495) 694-1940 – круглосуточно
E/mail: info@geoton.ru www.geoseisholding.ru



ХОЛДИНГ ГЕОСЕЙС