ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ
4/2024
Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:



ПО МАТЕРИАЛАМ КОНФЕРЕНЦИЙ 2024

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Первый в России практический опыт эксплуатации виброисточников «Восток 62Т/62»

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

ЛУЧШИЕ В МИРЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ГЕОФИЗИКИ!



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.

НОВЫЙ ВОСТОКГЕО
NEW EASTGEO Co. Ltd



YF Solo 4.5 Гц
Высокочувствительные геофоны.



Литий ионная система питания 120 Ah



Alwev - Бескабельная система сбора сейсмических данных

new-eastgeo.ru
seismik-geoservice@mail.ru

ТЕМА НОМЕРА:
«По материалам конференций 2024 года»

СОДЕРЖАНИЕ:

Наши партнеры 3

КОЛОНКА РЕДАКТОРА
Главный редактор Слонов Д.Н. 6

ТЕМА НОМЕРА
Пресс-релиз научно-технической конференции «Встречи на Волге 2024»
Матвеев С.А. 7

Невозможное возможно: качественные и эффективные сейсморазведочные работы в сложных и ограниченных условиях
Слонов Д.Н. 9

Рекорды производительности и высокой плотности при производстве полевых сейсморазведочных работ
Жужель А.С., Гафаров Р.М. 19

СИГМА-ГЕО: лидер профессиональных инициатив на конференции БАЙКАЛГЕО'24
Немцева Д.Б., Агафонов Ю.А. 24

Пресс-релиз научно-практической конференции «Электроразведка – 2024 им. И.Х. Абизгильдина».
Махонская Е.В. 27

Пресс-релиз конференции «Сейсморазведка в Сибири и за ее пределами – 2024»
Петров Д.А. 31

Пресс-релиз по итогам XIV Всероссийского совещания во ВНИГНИ
Виценовский М.Ю. 33

АГГИ – объединение науки, бизнеса и образования в разведке и добыче
Воробьев В.С. 35

О результатах научных достижений, новых идей и технологий в разведочной и промысловой геофизике, представленных на конференции «ГЕОСОЧИ -2024»
Золотая Л.А. 41

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
Разделение сигналов от перекрывающихся источников на примере синтетически смешанных данных морской сейсморазведки с донными станциями
Казанин Г.А., Гайнанов В.Г., Литвачук А.В., Ткач В.С. 52

Влияние допусков контроля качества на возможные изменения характеристик регистрируемого сигнала при морских сейсмических работах 3D
Горбачев С.В., Лопаткина Э.В. 60

Влияние случайной задержки между возбуждением сигналов при перекрывающемся отстреле на характер наблюдаемого шума
Казанин Г.А., Гайнанов В.Г., Базилевич С.О. 72

Технология БПЛА: перспективы интеграции в технологии ГРР
Жгенти Н.С. 82

Эффективные решения компании ВЕГА в геофизических (несейсмических) работах
Самсонов Б.В., Самсонов М.Б. 95

Опыт изучения малоамплитудных тектонических нарушений с помощью атрибутов сейсмической томографии
Молдаков В.В., Романов В.В., Латышев К.А. 103

Система ПАНГЕЯ – эффективная альтернатива иностранному ПО в сейсморазведке 116

Миграция данных георадиолокации с целью увеличения разрешающей способности
Романов В.В., Кауркин М.Д., Андреев Д.О., Матюшенко А.А. 121

Накопленный опыт обработки и интерпретации сейсмики высокого разрешения. Технология «nSeis»
Хромова И.Ю., Архипов А.А. 125

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

АО «ГЕОСВИП» сегодня
Интервью с Онгемахом Э.Г. 136

«Восток» - название, вдохновляющее на открытия
Слонов Д.Н. 141

Комплекс донной сейсморазведки транзитных зон «Катран». Конструкция и результаты испытаний. Зиборов А.В., Попов Д.А,, Потемка А.К., Кудинов А.А., Половков В.В., Долотказин О.И. 149

Алгоритм расчета временных невязок часов для автономных сейсмических станций и способ определения их позиций
Станюлис А.Л-А., Пальцев И.О. 158

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИДЕИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Новая глобальная геология. Кушнир Д.Г. 171

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Высшее геологическое образование в Московском университете и взаимодействие МГУ с предприятиями геологической отрасли России
Степанов П.Ю., Крылов И.О., Филимонов С.В., Ситар К.А. 185

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.
Гафаров Р.М.
д.т.н. Гогоненков Г.Н.
к.т.н. Горбачев С.В.
Гурьев С.В.
к.т.н. Дагаев И.Л.
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.
к.г-м.н Шиманский С.В.

Руководитель проекта
Матвеев С.А.

Корректор:
Пачикина М.И.

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
ИП Волоконский
Андрей Викторович
Тел.: +7-905-326-0213
Тираж: 300 экз.

Подписано в печать:
25.12.2024

Дата выпуска:
30.12.2024

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

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

Организатор журнала:
Турлов П.А.

Уважаемые коллеги!

Представляем вашему вниманию четвертый номер журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» за 2024 г. Анонсируя этот выпуск, хочу поделиться размышлениями.

В геологоразведке, как и во многих других сферах, сегодня наблюдается глобальная трансформация информационного пространства. Представители отрасли встречаются на конференциях, вебинарах и других мероприятиях гораздо чаще, чем несколько лет назад. Обмен идеями и практическими результатами идет с высокой интенсивностью. И хочу отметить, что конкурентный дух подобных мероприятий очевидно сменяется вектором на конструктивное взаимодействие. Уже неоднократно отмечалось, что обсуждения становятся более открытыми, что позволяет участникам эффективнее использовать полученные знания в своей работе. Несколько десятков конференций, проводимых в течение года, отражают актуальные тенденции современного рынка.

Наш журнал, будучи информационным партнером многих мероприятий, предлагает участникам публиковать материалы своих выступлений с предоставлением скидки при размещении статьи. Яркие выступления становятся значимыми событиями для отрасли, и, чтобы сделать их доступными более широкой аудитории, мы сделали темой этого номера материалы конференций за 2024 г.

В номере представлены пресс-релизы конференций, прошедших в этом году, с наиболее значимой информацией о событиях. Особенно приятно отметить возрожденную после 12-летнего перерыва конференцию «Встречи на Волге», снова прошедшую в Саратове, в организации которой активно участвовали наш журнал и команда. «Встречи» собрали более 150 участников и вызвали большой интерес, что создает основу для того, чтобы мероприятие стало регулярным.

Говоря о конференциях, также хочется выделить материал «Невозможное возможно: качественные и эффективные сейсморазведочные работы в сложных и ограниченных условиях» – репортаж о проведенном круглом столе на конференции «Геофест», проходившей летом в Москве. Возможно, такой формат – коллективное обсуждение проблемы с последующим представлением результатов в публикации – может заинтересовать организаторов и других конференций.

Яркое выступление на вышеназванной конференции представителя компании АО «Башнефтегеофизика» стало основой для публикации, безусловно, являясь важным и прорывным событием в отрасли. Коллеги поделились опытом выполнения самого масштабного объема сейсморазведочных работ в России за один сезон силами одной партии и одной экспедиции. В статье описаны, без преувеличения, впечатляющие рекорды производительности, достигнутые в прошлом зимнем полевом сезоне 2023-2024 гг. при проведении полевых сейсморазведочных работ в Таймырском регионе по методике Slip Sweep.

Мы стараемся в каждом номере представить вам новых авторов и новые компании, чтобы наша заинтересованная аудитория постоянно расширялась. В номере, который вам предлагается сегодня, сразу четыре компании впервые выбрали журнал «ПриС» в качестве площадки для презентации своих достижений.

ФГПУ «ВНИИОкеанологии» предлагает «Алгоритм расчёта временных невязок часов для автономных донных сейсмических станций и способ определения их позиций». Группа компаний «Дельта» раскрывает важные аспекты БПЛА-технологий, которые, несомненно, в скором времени глубоко интегрируются в различные геологоразведочные процессы. Компании «Вега» и «МТЦ» также представили информацию, которая будет полезна специалистам.

Традиционным направлением работы журнала остается активное участие в полевых испытаниях оборудования и техники. В материале компании «Олимп Ойл» отражен первый в России практический опыт производственной эксплуатации виброисточников нового поколения «Восток 62Т/62» непосредственно в полевых условиях в Оренбургской области.

Возвращаясь к теме выпуска, «Конференции», мы решили составить календарь всех мероприятий по нашей тематике, запланированных на 2025 г. Надеемся, что объединение тематических событий в одном месте будет удобно для наших читателей, формирующих свои рабочие календари на год.

На 2025 г. редакционная коллегия определила следующие темы выпусков нашего журнала:

- Тенденции и перспективы геофизического рынка.
- Технологии, формирующие завтрашние проекты.
- Морские и транзитные работы.
- Интеллектуальные технологии ГРР.

Желаем нашим авторам и читателям всего наилучшего, творческих успехов, интересных проектов и новых открытий, о которых захочется рассказать на страницах наших журналов в наступающем 2025 году!

А пока предлагаем вам новый номер журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» №4 за 2024 г. Приятного чтения!

Надеемся, наши публикации вдохновят вас на новые идеи и проекты!



С уважением,
Главный редактор
«Приборы и системы
разведочной геофизики»
Дмитрий Слонов



Встречи на Волге

18 по 20 сентября 2024 года в г. Саратов прошла научно-практическая конференция «Встречи на Волге». Более 150 человек откликнулись на приглашение организаторов и приняли участие в мероприятии.

ООО «ГеоЕвразия», ООО «ЦГМ НИР Поволжья», АО «СКБ СП» и журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» приняли непосредственное участие в организации возрождённой после 12-тилетнего перерыва конференции, впервые прошедшей в 2004 году.

Программа охватывала практически весь спектр геологоразведочных работ:

- Современные тенденции в геологоразведке в России;
- Организация работ при геологическом изучении недр с учетом действующих законодательных, нормативно-технических актов;
- Современные технологии и оборудование разведочной геофизики;
- Обработка и пост-обработка сейсмических данных (ГСМ, миграции, сигнальная обработка, инверсии и др.);
- Комплексная интерпретация сейсмических данных;
- Методы машинного обучения при решении геолого-геофизических задач.

Конференция привлекла много компаний которые решили помочь возрождению конференции, в их числе Генеральный спонсор конференции АО «ПАНГЕЯ» и Спонсоры конференции: ООО «ЦГМ НИР Поволжья», АО «СКБ СП», АО «Башнефтегеофизика», ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия», ЗАО «МиМГО», ООО «НОВА Технолоджиз», ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО», ООО ТД «Олимп-Ойл», ООО «Сейстех», АО «Соединитель», ООО «НПП «Спецгеофизика», ООО «Экспорт Групп».

Оргкомитет конференции благодарит всех Спонсоров за неоценимую роль в организации конференции и надеется на продолжение успешного партнерства в будущем

Участники и докладчики, представляющие и разработчиков аппаратуры, и геофизические компании, и компании-заказчиков, и государственные учреждения, отвечающие за эффективность ГРР, насыщенная и разнообразная научная программа, полевая демонстрация геофизической аппаратуры, возможность формального и неформального диалога в доброй дружественной атмосфере.

Участники азартно участвовали в интеллектуальной викторине «ГеоКВИЗ».

Четырехчасовая экскурсия по Волге от Генерального спонсора мероприятия – компании «Пангея», решившей отметить 30-тилетний юбилей своей организации на фоне Золотой осени на Волге оставили неизгладимые впечатления. И горячее желание снова встретиться на Волге уже в 2025 году.

Регистрация на «Встречи на Волге 2025» для участников и докладчиков, приглашение к сотрудничеству спонсоров уже открыта на сайте ВСТРЕЧИНАВОЛГЕ.РФ.

Конференция пройдет на базе гостиницы «Словакия» в г. Саратове.

Для проведения полевой демонстрации оборудования определено место – Парк покорителей космоса – там, где Ю.А. Гагарин приземлился после своего полета в космос. Участников конференции также ждет увлекательная экскурсия.

На сайте **встречинаволге.рф** можно начти фотоотчет о прошедшем в 2024 г. мероприятии, программу, доклады, разрешенные авторами к открытому размещению.



Из отзывов участников:

- Огромное спасибо Организаторам! Собрать такой не постесняются - концентрат идей, умов и оборудования для полевой сейсморазведки, а также дальнейших её этапов - это несомненно является значительным достижением и великой помощью для всех сейсморазведчиков.

- Главный геофизик ПАО «Самаранефтегеофизика», Пантюшев Сергей.

- Выражаю огромную благодарность организаторам конференции «Встречи на Волге» за насыщенную и плодотворную программу конференции, её высокий профессиональный уровень и актуальность предложенных тем. Вам удалось собрать большую аудиторию гостей со всех уголков России. Ваша команда продемонстрировала большой организационный профессионализм. Благодаря слаженной работе - семинар прошел на высочайшем уровне.

- С Уважением, генеральный директор xPortGroup, Красноборов Дмитрий.

- От имени ООО ТД "Олимп-ойл" выражаем искреннюю благодарность за высококачественную организацию научно-практической геолого-геофизической конференции "Встречи на Волге", прошедшей с 18 по 20 сентября 2024 года в г. Саратов.

Конференция предоставила уникальную платформу для обмена знаниями и опытом среди ведущих специалистов в нашей области.

Мы отметили высокий уровень подготовки участников, интересные дискуссии и продуктивные встречи, которые способствовали расширению профессиональных контактов.

Надеемся на дальнейшее сотрудничество и желаем успехов в организации будущих мероприятий.

- С уважением, генеральный директор ООО ТД "Олимп-ойл", Варламов С.Е.







Невозможное возможно: качественные и эффективные сейсморазведочные работы в сложных и ограниченных условиях

Обзор открытой дискуссии на круглом столе конференции. Слонов Д.Н., один из модераторов круглого стола.

На конференциях «Геофест» всегда происходят интересные открытые дискуссии по различным проблемным аспектам геологоразведки.

В 2024 году организаторы подготовили обсуждения актуальной темы реализации небольших и сложных проектов в эксклюзивных зонах с развитой инфраструктурой и разрабатываемыми месторождениями, а также в условиях сложных поверхностных условий. В зале собрались специалисты из ведущих геофизических компаний и их Заказчики, которые регулярно сталкиваются с необходимостью решения локальных геологических задач на небольших и «старых» объектах (Рис.1.).

Дискуссия во многом стала ответом на актуальные вызовы полевых сейсморазведочных работ, сформулированные в выступлениях представителей ведущих нефтегазовых и сервисных компаний РФ:

1. Малые сейсморазведочные площади;
2. Необходимость повышения плотности данных;
3. Сейсмика на разрабатываемых месторождениях с высокой техногенной нагрузкой;

▼ *Рис. 1. Участники круглого стола на тему эффективной работы на малых и сложных объектах. Конференция «Геофест-2024».*



4. Слалом-профилирование, неравномерные системы наблюдений

От редактора: Доклад «Горы зовут в разведку» о выполнении сейсморазведочных работ в Предуралье от Захарова Ю.М. стал весьма показателен для темы дискуссии – и с точки зрения «утяжеления» методики, и с точки зрения отличных геологических результатов, полученных, несмотря на сложнейшие сейсмогеологические условия.

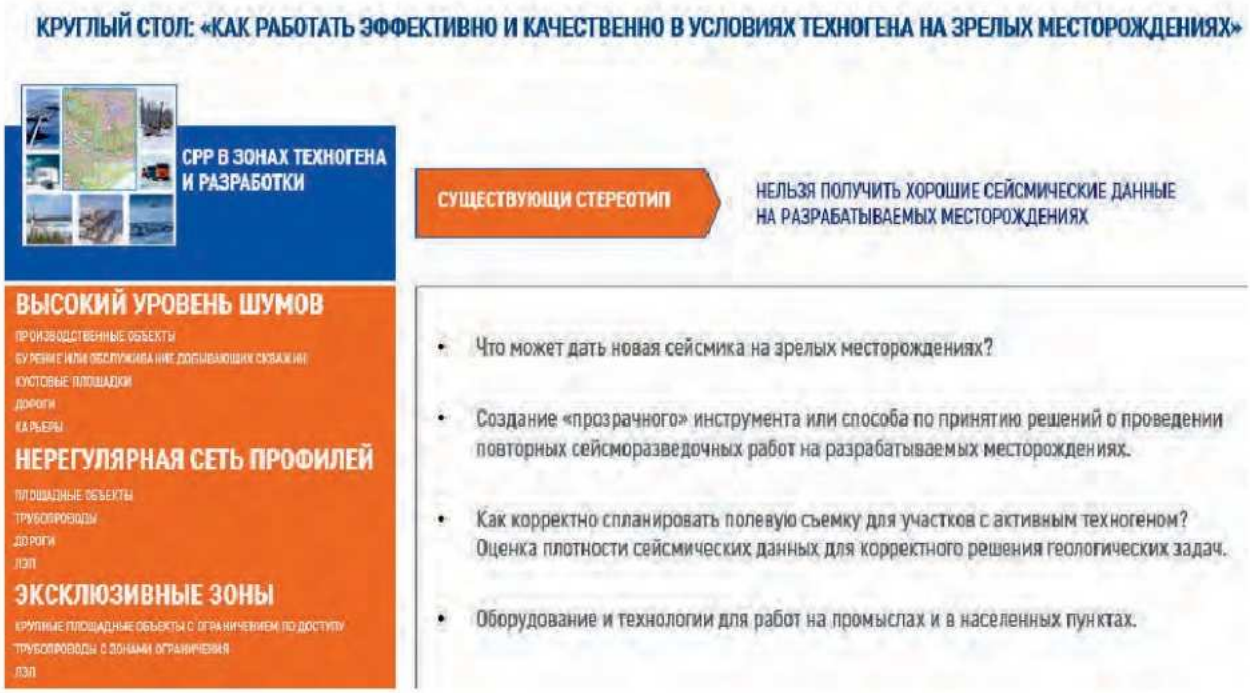
Представитель крупной ВИНК, модератор круглого стола:

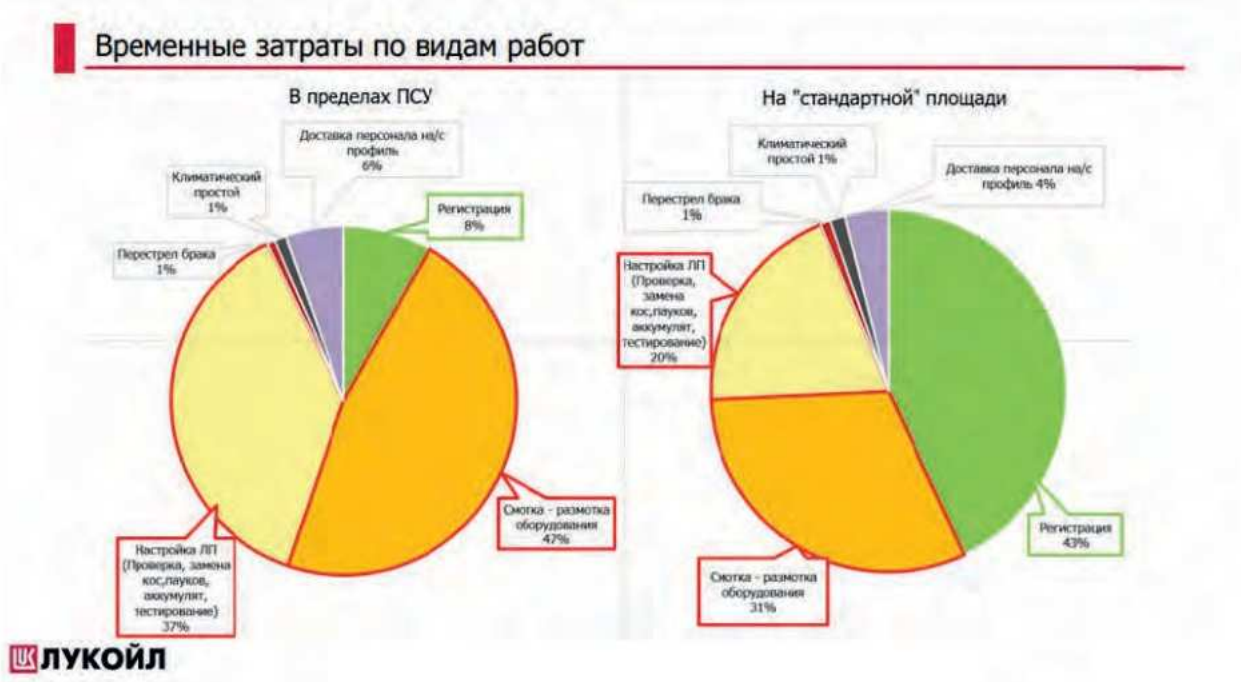
Легких и больших объектов, требующих традиционного подхода использования больших и мощных партий, становится все меньше и меньше. При этом локальных задач, при решении которых сейсморазведка будет весьма эффективна, остаётся предостаточно. И развитие технологий и оборудования в сейсморазведке постоянно расширяет круг решаемых задач. Это детализация давно разрабатываемых месторождений, поиск пропущенных залежей и доизучение краевых частей объектов. Причем, это задачи, требующие относительно небольших объемов исследования – порядка и 100 и меньше квадратных километров съемки. Это очень нужные и важные задачи с точки зрения Заказчика-недропользователя, однако для исполнителя выполнение таких объемов не интересно. Просто не выгодно, в рамках бюджета, который может выделить Заказчик. Какие организационные и технологические решения могут изменить ситуацию. Фактически создав нишу «малых» проектов, интересных и Заказчику, и Исполнителю? Рис.2.

Захаров Ю.М. (ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», г. Пермь, Ведущий геофизик Управления сейсмических исследований)

В предгорных условиях Пермского края мы имеем опыт выполнения проек-

▼ *Рис. 2. Круг вопросов для обсуждения на круглом столе Геофеста. (Из презентации ВИНК).*





▲ *Рис. 3. Хронограмма сложного проекта в предгорных условиях Урала и «стандартного» проекта в регионе. (Из доклада Захарова Ю. М. на конференции «Геофест»).*

тов в сложных геологических ситуациях надвиговой тектоники, экстремальных поверхностных условиях изрезанного рельефа и экологических ограничений. Работы выполнялись силами нашего постоянного партнера компании «Пермнефтегеофизика», по плотности съемки максимально приближенной к традиционным проектам в Пермском крае. Отмечу, что практически вся расстановка полевой системы наблюдения выполнялась без использования техники – вручную. Да, производительность оказалась ниже стандартных проектов, а цена на такие работы выше. Но при этом, мы впервые получили полноценную геологическую картину, благодаря том, что реализовали проект 3D. Однако, надо понимать, что время размотки и наладки оборудования в таких условиях вырастает кратно. Рис. 3. И, конечно, технологические решения и новое оборудование, облегчающее выполнение данных видов работ сейсморазведочного конвейера расширит возможности ведения работ в сложных условиях. А геологических задач, которые надо там решать в таких условиях – предостаточно. Необходимо накапливать опыт работ в условиях передовой складчатости Урала, разрабатывать механизмы расчёта и оценки методики изучения региона с позиции наилучшего соотношения стоимости работ и их геологической эффективности.

Гладилов Д.В. – главный инженер ООО «Соника»

Для того, чтобы эффективно выполнять небольшие проекты необходимо максимально снижать стоимость всех элементов сейсморазведочных работ. Дешевый канал, дешевое возбуждение, легкая техника, небольшая по численности партия. Дешевый канал и малая партия – это нодальные системы, которые просты в работе, не требуют тяжелой техники. А источник возбуждения – это импульсный источник, причем в движении. Да, это сигнал от этого источника источника существенно менее мощный,

чем взрывной. Однако, наложите на проект, расположенный над действующим промыслом схему охранных зон, и окажется, что возбуждение с использованием ВВ делать просто негде. И обеспечить смещением ПВ даже условно регулярную сетку и кратность – невозможно. А импульсным источником можно обеспечить высокую и сверхвысокую плотность ПВ, несмотря ни на какие коммуникации. И эта плотность компенсирует низкую мощность сигнала, и возможные пропуски ПВ.

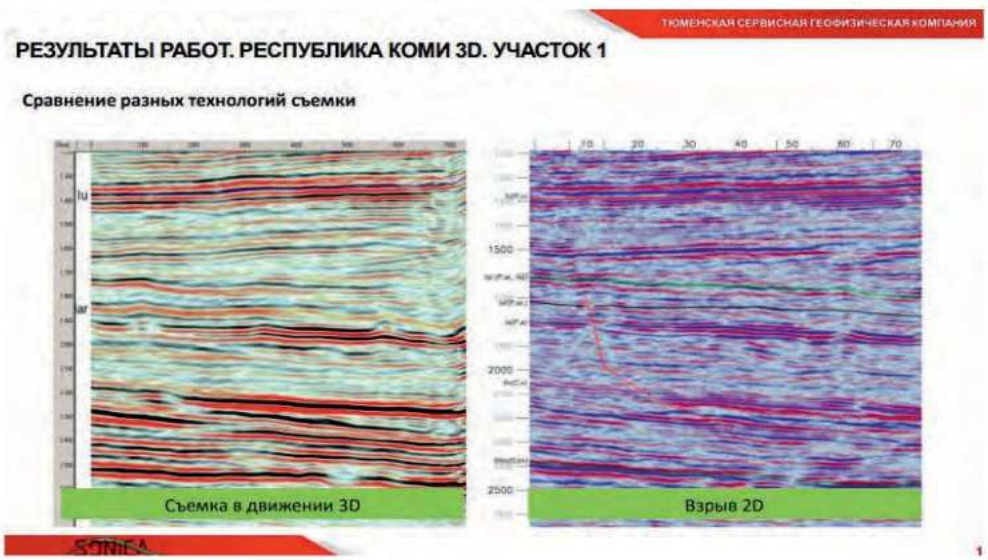
Но главный вопрос – какие должны быть подходы со стороны Заказчика при контроле технологии. За чем должен следить супервайзер и какова должна быть периодичность такого контроля. И без формализации данного вопроса широкое использование «легких» технологий так и останется эксклюзивом, несмотря на успешный опыт выполнения подобных проектов, в том числе и силами нашей компании ООО «Соника».

Зозуля В. А. (главный геофизик ООО «ТСГК»)

Данная технология – импульсный источник в движении - позволяет производить работы по экологосберегающим принципам с применением как стандартных, так и криволинейных профилей. Производительность, по сравнению со стандартной технологией работ возрастает, в среднем, примерно в 1,5 раза, что вместе с сокращением количества оборудования и персонала позволит снизить себестоимость работ. Результаты обработки сейсмических данных показали, что высокая плотность (и кратность) данных съемки в движении обеспечивают лучший статистический эффект накапливания сигналов и подавления помех на ряде этапов обработки.

Обработанный материал съемки в движении характеризуется более высокой вертикальной разрешенностью за счет отсутствия накапливания на точке воздействия, уменьшения базы группирования источников, а также лучшей работы деконволюции и других процедур, что, в свою очередь, приводит к лучшему качеству прослеживаемости верхних горизонтов за счет более высокой плотности и фактической кратности на малых временах. Общая глубина исследований при этом не уменьшается и позволяет изучать разрез на глубины до

▼ *Рис. 4. Сравнение итоговых временных разрезов съемки в движении и при использовании ВВ. (Из доклада Зозули В. А., Гладилова Д. В. и др. на конференции «Геофест»).*



3-5 км. Рис.4.

Таким образом, необходимо развивать технологию работ «в движении» сразу в нескольких направлениях. Во-первых, необходимо снижать удельную стоимость канала в приемном тракте «возбуждение-регистрация». И тут необходимо и увеличивать как канальность работ на проекте, так и снижать стоимость единичного канала.

Что касается стандартов контроля качества, то давно назрела необходимость мониторинга работоспособности оборудования и условий возбуждения как основного критерия контроля качества. В условиях высокой плотности работ в сейсморазведке отслеживание каждой трассы становится архаичным подходом, о котором говорит все больше специалистов.

Федоров А.Б. – главный геофизик АО «ГЕОТЕК»

Несомненно, все озвученные вызовы на данной дискуссии являются актуальными и уже в полной мере затрагивают существенную долю современных сейсморазведочных проектов. Это данность, с которой приходится считаться и предлагать решения которые устроят, как ВИНКов, так и сервисные компании. Компания ГЕОТЕК уже много лет работает по всем современным сейсморазведочным методикам проведения полевых работ в любых географических, климатических и поверхностных условиях, используя все возможные источники возбуждения сейсмических сигналов.

Одним из стратегических направлений сейсморазведки является продвижение и внедрение на рынке геофизических услуг высокоплотных систем наблюдений при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-3D (4D) — переход на высокоточные (высокоплотные) системы наблюдений с целью повышения разрешающей способности и помехозащищённости получаемых данных.

Факторы, сдерживающие внедрение технологии высокоразрешающей сейсморазведки: высокая цена за прогноз, экологическая нагрузка на среду, и сохраняющейся профессиональный и технологический консерватизм.

Специалистами АО «ГЕОТЕК» предложен новый вектор развития данной тематики: использовать для возбуждения упругих волн невзрывной импульсный электромагнитный источник «ЕНИСЕЙ» в движении – технология ISSD (СЭМ-100 и новую мощную модификацию Н-20).

Это позволяет внедрять высокоплотные и высокоэффективные методики производства сейсморазведочных работ уже сейчас.

Основные преимущества применения импульсных электромагнитных источников:

- Экологичность — верхние слои грунта не разрушаются;
- Универсальность — возможность работы в любых климатических и поверхностных условиях, в том числе в условиях техногенной застройки;
- Энергоэффективность — потребляемая источником мощность не превышает 2–5 кВт, что в 20–30 раз меньше вибрационного источника;
- Экономичность — для реализации проекта необходимо гораздо меньше задействованных ресурсов и оборудования в сравнении с вибрационными или взрывными методиками для сейсморазведочной партии, включая этап мобилизации.

Компания АО «ГЕОТЕК» на собственных мощностях выпускает широкий модельный ряд источников «Енисей», который представлен тремя модификациями (колёсные, санные, водные) для производства наземных работ и работ на акваториях. Наши источники применимы практически в любых регионах проведения сейсморазведочных работ.

Результаты опытно-методических и производственных работ по технологии ISSD в различных регионах РФ и ближнего зарубежья свидетельствует о её эффективности и может быть рекомендована при проведении СРР.

В заключении хотелось бы отметить, что постепенный переход к высокоплотным системам наблюдений будет планомерно развиваться на территории нашей страны. Не принципиально, с какой стороны будет происходить уплотнение сейсмических съемок: ПП или ПВ, но это случится. За долгое время компания АО «ГЕОТЕК» прошла этап от идеи до реализации и промышленного внедрения технологии с импульсными электромагнитными источниками в движении ISSD, что позволяет создать высокоэффективную методику СРР позволяющую сократить цикл ГРР и обеспечить раннюю разработку месторождений нефти и газа. Данный факт должен позволить всем нефтяным компаниям своевременно получить возврат инвестиций и начать раньше срока получать прибыль, а также ответить на основные актуальные вызовы современных СРР.

Череповский А. В. (АО «Росгеология», член редакционной коллегии «Приборы и Системы разведочной геофизики»

Сегодня на современных больших проектах за рубежом – прежде всего на Ближнем Востоке и в Северной Африке – в одной сейсмопартии используются десятки виброисточников, работающие по произвольной схеме с одиночным накоплением, и сто тысяч и более каналов в приемной расстановке.

И уже много лет Заказчик следит исключительно за работоспособностью оборудования и качеством регистрации данных с точки зрения ветровых помех. А сам сейсмический материал детально анализируется уже только на этапе обработки. Ответственность за качество окончательных данных переносится на обработчиков.

Обработка вытянет все. Прежде всего, за счет высокой плотности наблюдений и кратности ОГТ.

Гордич Е.А. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», г. Тюмень, Ведущий геофизик Управления сейсмических исследований

Думаю, все слышали фразу, что время «легкой нефти» ушло. Для сейсморазведчиков это означает, что настало время предложить Заказчикам новую, полезную в добыче нефти и газа информацию.

Естественно, наращивать информативность сейсморазведочных работ необходимо на всех этапах, но нас здесь в первую очередь интересуют полевые работы. В настоящее время, для метода общей глубинной точки, увеличение плотности трасс на кв.км. является самым понятным механизмом повышения информативности во время регистрации. При этом, главным остаётся вопрос, а какая плотность данных будет достаточна для решения поставленных задач и помощи в разработке месторождений? Ведь при недостаточной плотности мы теряем полезную информацию, а при избыточной - «утяжеляем» проект без возврата инвестиций. Кроме этого, немаловажно помнить, что для каждого

из регионов будет своя оптимальная плотность, которая зависит не только от геологического строения перспективных объектов, но и от приповерхностных условий.

Задачи определения прироста информативности сейсморазведки и «достаточной» плотности данных в настоящий момент являются одними из самых главных в индустрии, так как в случае успеха мы сможем обосновать не только постановку работ на новых участках, но и «перестрел» на зрелых месторождениях. При этом важно помнить, что значительную роль в экономическом обосновании постановки более плотных сейсморазведочных работ играет применение беспроводного регистрирующего оборудования, а также высокопроизводительных импульсных и вибрационных методик.

Зоммер А. С. ООО «ТННЦ» ПАО «НК Роснефть»

Полностью разделяем, озвученные коллегами, актуальные вызовы развития СРР. Не смотря на смещение основных объемов СРР на Восток, выполняемых на этапах поиска и разведки, основные перспективы СРР, мы также связываем с доразведкой зрелых месторождений в частности в Западной Сибири. Проведение таких работ направлено на освоение невовлеченных запасов, не разработанных интервалов и снижение рисков при бурении. К СРР выполняемых на этапе доразведки, на действующих месторождениях, предъявляются высокие требования к технологичности как методических приемов, так и технических средств. Отмечаем, что предлагаемые участниками рынка СРР услуг, технические решения, соответствуют актуальным вызовам. Использование нодальных систем считаем возможным на проектах компании. И мы готовы в рамках подготовки конкретных проектов в рамках принятых в ПАО «НК «Роснефть» стандартов выполнения сейсморазведочных работ адаптировать Техническое задание под возможности аппаратуры. При этом, конечно, исполнитель должен трезво оценивать риски выполнения проекта и максимально работать над их минимизацией. Используя и дополнительные ресурсы, и ведя предпроектные исследования площади работ.

Думаю, дополнительная подготовка, например, проведение ВЛС, а также дополнительное внимание к полноте и сохранности оборудования помогут снижению рисков проекта.

Гафаров Р.М. – главный геофизик АО «Башнефтегеофизика»

По моему мнению, актуальные вызовы, представленные на экране, это уже не вызовы для геофизики, а повседневность, с которой мы сталкиваемся очень часто.

Отработка малых площадей в АО «Башнефтегеофизика» велась всегда, просто это нигде не представлялось как некое ноу-хау. Наши мобильные партии ориентированы на выполнение работ модификаций ВСП в комплексе с наземной сейсмикой, но есть опыт отработки и чисто полевых сейсморазведочных работ, малых объёмов, до 100 кв.км.

О возможностях производства работ высокой плотности было рассказано на этой конференции ГЕОФЕСТ-2024, где мы, на участке в 40 кв.км., достигли плотности 13,4 миллиона трасс на квадратный километр и, практика показала, что это далеко не предел. Обработка полученных материалов производится в настоящее время и должна дать заключение о достаточности достигнутой плотности. В случае недостаточности, резервы для повышения плотности, имеются.

Ред. Статья по докладу АО «Башнефтегеофизика» «Мобильная партия» - эффективные способы решения задач малоразмерных объектов, краевых частей залежей и околоскважинного пространства» на конференции «Встречи на Волге» представлена в данном номере.

Для работ в зонах техногена, считаю необходимым обязательно включать в комплекс работ проведение воздушного лазерного сканирования, которое обеспечит предварительное, грамотное планирование будущих работ. Такой опыт у АО «Башнефтегеофизика» тоже имеется на Астраханском газоконденсатном месторождении (АГКМ), где на участке 900 кв.км, территория АГКМ составила почти 400 кв.км., на которой находилось 150 добывающих скважин и сотни километров коммуникаций, железных и автомобильных дорог. При соответствующей подготовке и планировании, возможно проведение работ с любой сложной техногенной ситуацией.

Слалом-профилирование считаю грамотным методическим приёмом, экономящем ресурсы партии и сохраняющим экологию. Но, инициатива проведения работ по такой методике должна принадлежать Заказчику и быть включена в тендерные условия.

Осуществление импульсных воздействий в движении считаю разновидностью высокоплотной сейсморазведки. Но, энергия импульсного источника кратно уступает сейсмовибратору и, если сигнал не достаёт до целевых горизонтов, то толку от высокой плотности не будет. Представляемые на конференциях материалы, конечно, впечатляют, но окончательный вердикт по данной методике мы сможем дать только после получения в наши руки полевых материалов и соответствующей обработки.

Юров А.А. главный геофизик ООО «Фирма «Геосейс».

Коллеги! Давайте разделять в терминологии бескабельные системы и нодальные системы. Это не одно и то же. ПАК «Геотом» в отличии от так называемых «слепых» нодальных систем является полноценной телеметрической системой, обеспечивающей полный контроль состояния приемной расстановки и условий регистрации данных. Более того, сегодня уже можно говорить о возмож-

▼ *Рис. 5. Вариант организации контроля качества сейсмического материала (из доклада Тиссена А. А. на конференции «Геофест»).*

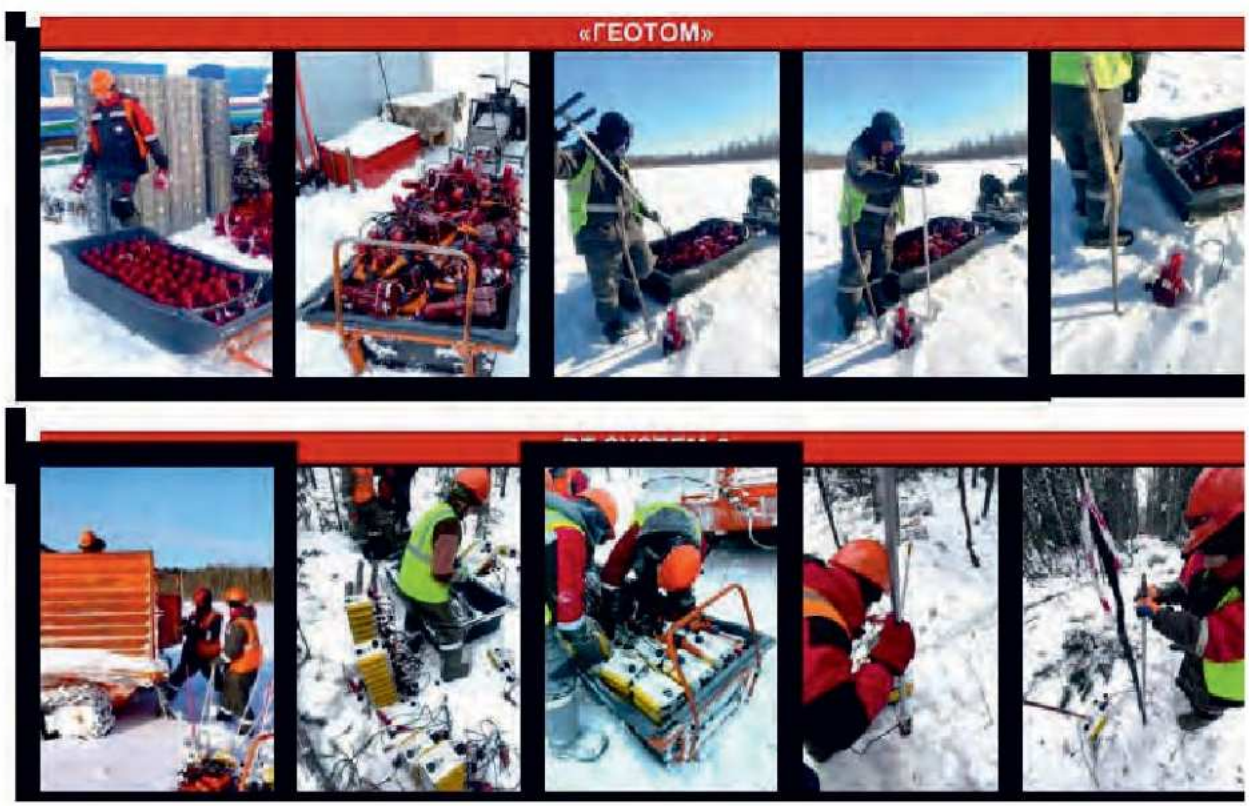


ности контроля сейсмического материала в околореальном времени. На наш взгляд, эта возможность опциональна – для качественных данных достаточно видеть статус каждого блока и оценивать уровень шумов. Но оценивать материал ПАК «Геотом» позволяет, имея возможность выборочного скачивания одиночных трасс. И технология работы с ПАК «Геотом» должна иметь согласованную с Заказчиком минимально необходимую выборку трасс, скачиваемых в процессе регистрации или в процессе перемотки данных. Пример рекомендаций по организации работы с этой российской бескабельной сейсморегистрирующей системой был представлен в докладе Александра Тиссена (ООО «Фирма «Геосейс») «Рекомендации по эффективной работе с ПАК «ГЕОТОМ». Рис. 5.

Такая возможность, в сочетании с удаленным контролем статусов всей приемной расстановки и уровня шумов, делает ПАК «Геотом» максимально адаптивным к действующим в отрасли стандартам проведения сейсморазведочных работ. Это решение не только соответствует современным требованиям, но и обуславливает высокую эффективность и надежность в процессе получения данных. ПАК «Геотом» представляет собой российскую разработку, которая изначально ориентирована на нужды российских Исполнителей и Заказчиков, занимающихся сейсмическими исследованиями.

Это добавляет дополнительную ценность продукту, так как учитывает особенности и специфику работы в различных геологических условиях страны, обеспечивая полноценное соответствие требованиям отечественного рынка и поддерживая высокий стандарт качества услуг.

▼ *Рис. 6. Удобство в расстановке ПАК «Геотом» оценено работниками СП-3 ООО «ТСГК» (Из доклада Митрофанова Д. Ю. на конференции «Геофест»).*



Митрофанов Д. Ю. начальник геофизического отдела ООО «ТСГК»

В прошедшем зимнем сезоне на Западно-Усть-Балыкской площади мы смогли в полной мере оценить эффективность ПАК «Геотом». Работники партии оценили российскую разработку с точки зрения ее технологичности и удобства в работе. Одна бригада загружает в сани около 100 блоков (максимум – 105 блоков «ГЕОТОМ» с подключенными сейсмоприемниками YF-Solo-5Hz). При перевозке «RT-2» с максимальной загрузкой часто теряются внешние антенны. Рис.6.

Смотка-размотка блоков «ГЕОТОМ» выполняется быстрее, чем с «RT-2», т.к. «ГЕОТОМЫ» не требуют ежедневной замены аккумуляторных батарей. Наладка профиля во время работы минимальна, отсутствие внешних антенн и аккумуляторных батарей. Весной в оттепель блоки «ГЕОТОМ» работают стабильно, что нельзя сказать о «RT-2» (наличие внешних антенн и батарей у «RT-2»).

Думаю, ПАК «Геотом» может стать эффективным технологическим решением для выполнения небольших проектов, особенно в условиях разрабатываемых месторождений или развитой инфраструктуры.

Представитель ВИНК: модератор круглого стола:

Подводя итоги, могу отметить, наша компания готова к применению бескабельных систем сбора данных (слепые, с передачей статусов технического состояния оборудования, с передачей данных с выборочных модулей, с передачей в околореальном времени 100% зарегистрированных данных).

Кроме того, мы имеем опыт и планируем продолжать работы с низкоэнергетическими импульсными данными – импульсный источник в движении, работы малой группой источников на ледовых поверхностях.

Подходы к организации получения качественных данных (от подготовки профилей до оперативной оценки качества) технологий бескабельного сбора данных и применения низкоэнергетических источников сейчас не формализованы, «изобретаются по месту» каждой сервисной компанией самостоятельно, что несет высокие риски не принятия таких данных в обработку, либо как минимум долгие дискуссии о качестве с исполнителями обработки на этапе анализа первичных данных.

Считаю, участникам рынка целесообразно общими усилиями формализовать эти подходы с учетом накопленного опыта.

Слонов Д. Н. Главный редактор журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики», модератор круглого стола.

Несомненная польза такой открытой дискуссии в рамках круглого стола в формализации проблемы, разделении ее на составляющие, каждая из которых может иметь свое решение. И конкретное предложение одного из лидеров технологического развития российской сейсморазведки к разработке общими усилиями нормативного документа, открывающего возможности использования нового оборудования и технологий в отрасли, является отличным результатом дискуссии.

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГЕОФЕСТ-2024

Рекорды производительности и высокой плотности при производстве полевых сейсморазведочных работ

Жужель А.С., Гафаров Р.М. АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа

Данная статья является журнальным вариантом выступления авторов на 8-й международной научно-практической конференции ГЕОФЕСТ-2024. В статье описываются, без преувеличения грандиозные рекорды производительности без потери качества, при проведении полевых сейсморазведочных работ в Таймырском регионе по методике Slip Sweep, достигнутые в АО «Башнефтегеофизика» в прошедшем зимнем полевом сезоне 2023-24г.г.

Введение

Тенденции современной сейсморазведки направлены на значительное увеличение плотности трасс при производстве полевых сейсморазведочных работ. Достижение высокой плотности осуществимо только путём сгущения, а следовательно увеличения количества пунктов приёма и пунктов возбуждения. В нынешних реалиях кратное увеличение количества напольного оборудования, состоящего из импортных комплектующих, влечёт за собой значительное удорожание всего комплекса работ. В данной ситуации на первый план выходит вариант увеличения пунктов возбуждения с применением вибрационных высокопроизводительных методик Slip Sweep и ISS. Мировая практика показывает, что выполнение больших объёмов возможно и необходимо, хотя их локация в основном приурочена к пустынным районам Аравийского полуострова. В условиях Заполярья объёмы работ свыше 1000 квадратных километров являются большой редкостью. Прошедший зимний полевой сезон показал, что отечественные геофизические компании вполне справляются с подобными вызовами.

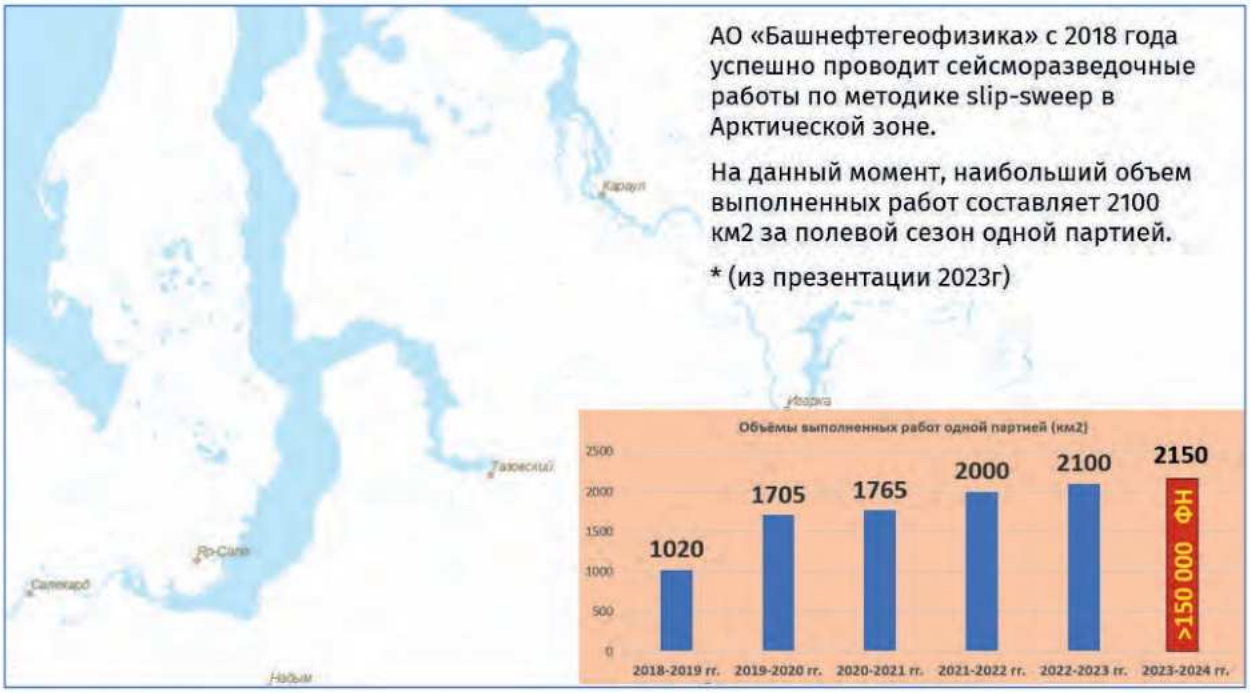
Ретроспектива площадных исследований

АО «Башнефтегеофизика» уже имело опыт проведения работ на больших площадях. На рисунке 1 показаны объёмы, выполняемые силами одной полевой партии, начиная с 2018 года. Это слайд из выступлений на конференциях, который пополнялся год от года. Видна устойчивая тенденция роста и 2024 год не стал исключением. В прошедшем сезоне эта партия обновила свой же рекорд и закрыла площадь в 2150 квадратных километров или 145 563 физических наблюдений. Стабильное повышение показателей говорит о том, что выполнение таких объёмов не является случайностью или «везением» с погодой.

До 2023 года это была единственная партия с ежегодными объёмами более тысячи квадратных километров и у стороннего наблюдателя могло возникнуть предположение, что она поглощает львиную долю ресурсов компании в угоду PR-акции и последующей рекламе, если бы не объявление нового тендера летом 2023 года.

Новые вызовы

По условиям нового тендера, площадь в 6 825 кв.км необходимо было отработать за два полевых сезона силами до трёх полевых партий, причём плотность наблюдений должна быть более 100 ф.н. на квадратный километр (расстояние между профилями – 200м, между ПП и ПВ – 50м). В пересчёте на физические наблюдения это составляет почти 700 000 пунктов возбуждения. Таким образом, плановый объём работ на каждую партию за сезон составил 1150 кв.км, а это по 115 000 ф.н на партию.



▲ *Рис. 1. Хронология объёмов работ, выполняемые силами одной полевой партии.*

По результатам тендера победителем признаётся АО «Башнефтегеофизика» и начинается подготовка к проведению работ. Контуры лицензионных участков характеризовались сложной конфигурацией, что требовало тщательного подхода при выборе наиболее оптимальной схемы отработки площадей. По результатам планирования и перебора десятков вариантов была выбрана схема отработки за два года. Основной смысл состоял в том, чтобы в процессе отстрела расстояние между приёмными расстановками было не меньше 20 км с целью исключения влияния шумов источников разных партий.

Для выполнения данного объёма каждая партия была оснащена 20-ю виброисточниками и до 25 000 каналов напольного оборудования.

В процессе летней подготовки были проведены многочисленные опытные работы по подбору параметров свип-сигнала. Опыты проводились в учебной партии в Башкирии, затем в производственной в Волгоградской области и окончательно были утверждены перед началом производственных работ. Протестировано более 60 вариантов свип-сигналов. В результате был выбран низкочастотно-модулированный сигнал от 2 Гц.

Что примечательно, вибраторы NOMAD-65T из-за ограничений гидравлической системы не смогли выйти на полную мощность в требуемом диапазоне частот и заказчиком было принято решение о замене группы NOMAD-65T на группу БАТЫРов. Опытные работы показали, что БАТЫРы, даже самой первой модификации лучше излучают низкие частоты, чем NOMAD-65T. Только NOMAD-65 NEO смог выдержать параметры данного свипа.

Грамотное планирование позволило отработать сезон 2023-24г.г относительно ровно, без проблемных моментов и даже со значительным перевыполнением. Сейсмопартия №3, при плане 1150 кв.км покрывает 1372 кв.км., что на 20% больше запланированного объёма с окончанием работ на 15 дней раньше запланированного срока. Но, как оказалось, это не предел. Сейсмопартия №2, при том же плане закрыла 1541 кв.км - это перевы-

полнение на 35%!!! И только сейсмопартия №1 выполняет плановые объёмы, но с опережением производственного плана на 25 дней. На этот сэкономленный период были запланированы масштабные высокоплотные опытно-методические работы с применением независимых источников.

Опытно-методические работы (ОМР) с применением независимых источников

Целью данных опытов являлось:

- апробирование методики независимых виброисточников (ISS) в производственном режиме для изучения возможности увеличения производительности полевых сейсморазведочных работ в Ямальском регионе;

- получение высокоплотных данных для определения оптимальной методики полевых работ и достаточной плотности данных на участках Ямальского региона.

Сразу необходимо отметить, что применить технологию ISS в чистом виде не удалось, так как для перехода в данный режим сейсмостанции требовалось лицензионное программное обеспечение. Поэтому использовали технологию Slip Sweep с минимальным временем задержки 1 секунда.

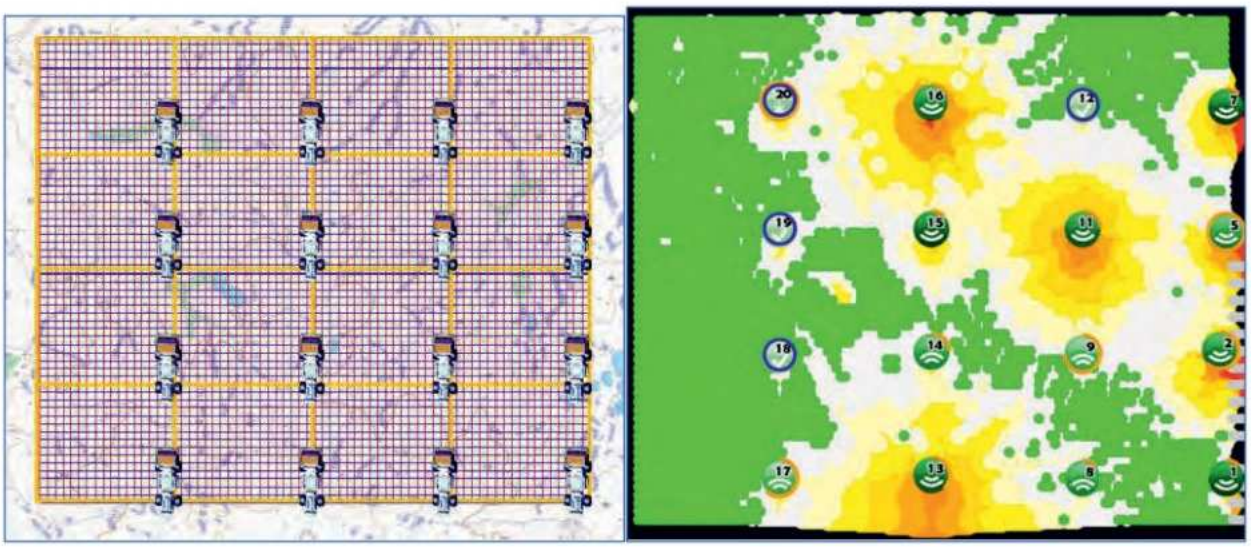
Параметры методики ОМР:

- Шаг между линиями приёма и возбуждения – 100м;
- Шаг пунктов приёма – 50м;
- Шаг пунктов возбуждения – 6,25м;
- Методика работ - Slip Sweep, slip time 1с;
- Объём работ – 40 кв.км.

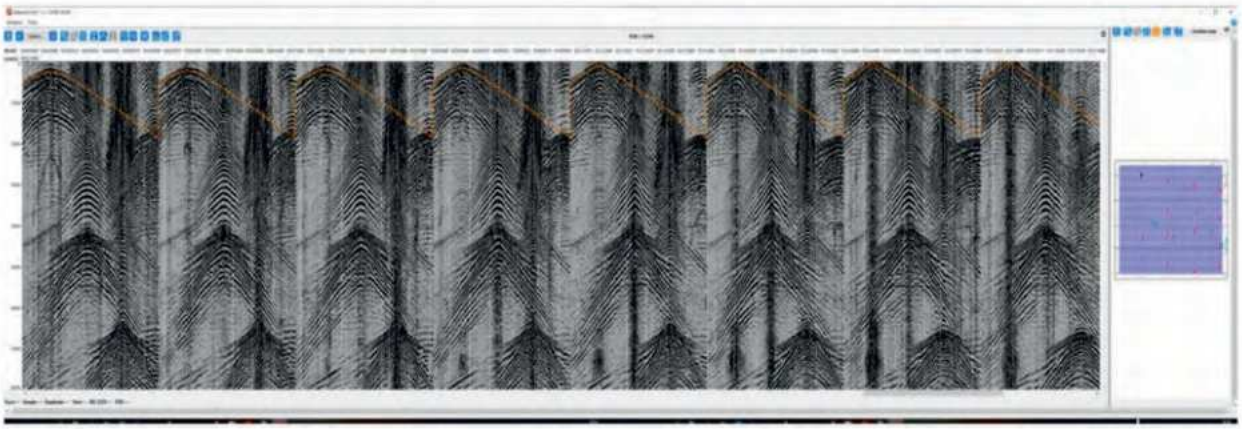
Плотность съёмки составила 13,5 миллионов трасс на квадратный километр. Для минимизации шумов от соседних сейсмовибраторов (СВ), опытный участок был разделён на 16 секторов (рисунок 2). Каждый СВ работал в своём секторе, обеспечивая максимально возможное расстояние между соседними источниками не менее 1500 м.

Статистика по производительности в сравнении с производственными работами показывает, что если в производстве, с 6-ю вибраторами средняя производительность составляла 50 ПВ в час, а максимальная – 117 ПВ в час, то на опытных работах средняя производительность превысила 1000 ПВ в час, а максимальная – более 1500 ПВ в час.

Конечно, в процессе регистрации выявились проблемы, связанные в первую очередь с огромным объёмом получаемых данных, так как регистрировались



▲ *Рис. 2. Принцип расстановки виброисточников и скриншот окна сейсмостанции.*



▲ *Рис. 3. Скриншот окна сейсмостанции, типовая коррелограмма.*

и виброграммы и коррелограммы (рисунок 3). Станция зависала хаотично и, на первый взгляд, беспричинно. Периоды с начала регистрации до момента зависания варьировались от 8 минут до 2-3 часов. Операторы опытным путём выявляли причины и таким образом учились на ошибках. Вторая проблема – проблема копирования. Данные за 10 часов непрерывной работы на профиле копировались на ПВЦ соизмеримо, порядка 10 часов. Но выход из данной ситуации имеется – писать материнскую виброграмму, а разделение производить на этапе обработки на вычислительном центре. Тогда объём материала, по подсчётам, сокращается примерно в 10,5 раз. Такой опыт и соответствующее программное обеспечение в АО «Башнефтегеофизика» уже имеется.

Также не обошлось без незначительного количества пропусков, меньше 1%, основные причинами которых являлись:

- «подъём плиты» вибратора – лифт, ошибка «14»;
- маленький шаг ПВ – вибраторы иногда просто миновали очередной ПВ.

Установленные рекорды

Неопровержимым фактом является то, что АО «Башнефтегеофизика» в зимнем полевом сезоне установила несколько рекордов при проведении сейсморазведочных работ в Арктическом регионе в Российской Федерации:

1. Максимальная площадь, покрытая силами одной полевой партии составила 2150 кв.км (СП 17);
2. Максимальный объём работ, выполненный силами одной полевой партии, составил 154 662 физических наблюдения (СП 2);
3. Проведены единственные в России сверхвысокоплотные опытные работы по высокопроизводительной методике в объёме 65 875 физических наблюдений (СП 1).
4. В течение одного полевого сезона, фактически силами одной экспедиции, отработано 6220 квадратных километров производственных наблюдений. Вместе с опытными работами отстреляно 620 тысяч пунктов возбуждения. Одновременно в процессе производства принимали участие 86 виброисточников, 94 % из них это БАТЫРы.
5. Все описанные выше объёмы были сданы заказчикам со средним коэффициентом качества 0,989 (согласно актам окончательной приёмки).

Заключение

АО «Башнефтегеофизика» получило грандиозный опыт ведения работ с высокой производительностью, имеет достаточно ресурсов и высококвалифициро-

ванного персонала для производства более полумиллиона физических наблюдений за один полевой сезон [1].

Накоплен неоценимый опыт при регистрации огромного объёма информации до 13 миллионов трасс на квадратный километр.

По результатам анализа проведённых ОМР имеется достаточная уверенность в возможности одновременной регистрации с участием до 30-ти одиночных виброисточников.

Литература

1. Гафаров Р.М., Идиятов Р.Х. Сейсмический вибрационный источник «БАТЫР». Техническое решение в условиях международных санкций // Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 01(80). С. 7-15/

Подробнее об авторах



Гафаров
Радий Марсович

главный геофизик
АО «Башнефтегеофизика»



Жужель
Андрей Сергеевич

Заместитель генерального директора – директор ДРГ
АО «Башнефтегеофизика»

СИГМА-ГЕО: лидер профессиональных инициатив На конференции БАЙКАЛГЕО'24

Немцева Д.Б., Агафонов Ю.А., ООО «СИГМА-ГЕО», г. Иркутск.

ООО «СИГМА-ГЕО» — инновационная научно-производственная компания, занимающаяся полным циклом электроразведочных работ, а также разработкой высокоточной электроразведочной аппаратуры и программного обеспечения. Эффективность использования прецизионных аппаратурно-программных комплексов и оригинальных подходов к интерпретации геолого-геофизических данных подтверждена как в России, так и за пределами страны — от тундры Западной Сибири до джунглей Малайзии и Индонезии.

Компания активно участвует в отраслевых научно-практических мероприятиях и выступила соорганизатором конференции «БайкалГео'24», прошедшей с 17 по 21 июня 2024 года в Иркутске. Это событие предоставило отличную платформу для обмена опытом и последними достижениями в области геологических исследований и технологий.

Тематика конференции охватывала разнообразные вопросы геологии и геофизики, включая достижения науки и производства по следующим направлениям: геология месторождений полезных ископаемых, сейсмические и несейсмические геофизические методы, их комплексирование, а также теория и практика малоглубинной геофизики. Кроме того, обсуждались поиски подземных вод, разработка нефтяных и газовых месторождений, исследование скважин и экономические аспекты геологоразведочных работ (ГРР).

Конференция «БайкалГео» проходит с 2010 года и является девятой в своем цикле. До 2022 года она организовывалась при поддержке EAGE (Европейской ассоциации геоученых и инженеров), которая приостановила свою деятельность в России из-за политической ситуации. С этого времени организацию мероприятия взяла на себя Российская ассоциация геологов, геофизиков и инженеров (АГГИ), что позволило сохранить его статус значимого события в Восточной Сибири. В 2024 году в конференции участвовали 151 человек из 65 компаний, было представлено 87 докладов. Это стало возможным благодаря работе оргкомитета и поддержке спонсоров, таких как ООО «Иркутская нефтяная компания», ООО «СИГМА-ГЕО», ПАО «Газпром нефть» и АО «ГЕОТЕК».

Мероприятие в цифрах

Участники	151
Компании	60
Спонсоры	4
Принятые доклады	87
Сессии	8
Геологические семинары	2

Выбор Восточной Сибири в качестве места проведения конференции не случаен. Этот регион, известный своим богатством полезных ископаемых, обладает внушительной ресурсной базой, которая требует дальнейшего изучения и исследований. С Восточной Сибирью связывают надежды на прорывные открытия новых и перспективных месторождений, что делает его центром притяжения для специалистов в



▲ *Рис. 1. Работа секций конференции «БайкалГео'24».*

области геологии и геофизики.

Перспективы, открывающиеся в этом регионе, требуют не только внедрения новых технологий, но и комплексного подхода к исследованию, основанного на использовании различных методов. Это включает как традиционные, так и инновационные подходы к геологическим и петрофизическим исследованиям, которые помогут глубже понять особенности месторождений.

В рамках конференции активно обсуждались важные вопросы, касающиеся геологических и петрофизических характеристик месторождений, а также геофизических методов разведки. Участники обменивались мнениями по темам, связанным с недропользованием и разработкой эффективных стратегий для освоения природных ресурсов. Такие обсуждения помогают не только выявить существующие проблемы, но и выработать способы их решения, что является неотъемлемой частью успешного научного и практического опыта в данной области (Рис. 1).

Сотрудники компании «СИГМА-ГЕО» представили свои разработки по различным направлениям в рамках общей программы конференции. Они также выступили модераторами нескольких значимых секций. Доклады специалистов «СИГМА-ГЕО» заинтересовали участников и стали основой для содержательных дискуссий.

- Новый подход к оценке качества инверсии данных ЗСБ на базе программного обеспечения EMIQ;
- Технология комплексного учета скоростных неоднородностей верхней части разреза. Результаты применения на юге Сибирской платформы;
- Критерии поисков подземных вод в условиях распространения многолетней мерзлоты на территории Лено-Вилюйского артезианского бассейна II порядка.



▲ *Рис. 2. Фото с геологической экскурсии.*

В рамках конференции было реализовано два геологических семинара. Первый из которых - однодневный выезд «Шаманский утёс», в ходе которого участники приобрели уникальный опыт: на практике ознакомились с опорным геологическим стратотипическим разрезом терригенного венда, с которым связываются основные перспективы добычи нефти и газа в пределах Сибирской платформы, а также освоили методы создания интегрированных геолого-гидродинамических моделей обнажений-аналогов.

Вторым стал двухдневный геологический семинар "Геология Западного Прибайкалья - района со сложным геологическим строением" (Рис. 2), программа которого включала посещение таких локаций как «рапакивиподобные граниты приморского комплекса Сибирского кратона», «мраморы Бугульдейского месторождения», пролив «Ольхонские ворота», мыс «Крест», группа габброидных массивов «Танхан», сдвиговая система «Нутгей», мраморная дорога, залив «Усть-Анга», «Ухо Байкала», бухта «Ая». Участники размещались на базе отдыха на берегу Куркутского залива Байкала, откуда открывается великолепный живописный вид на священное озеро.

Насыщенная программа геологических семинаров никого не оставила равнодушным: как отмечают сами экскурсанты, каждый получил массу впечатлений и узнал что-то новое для себя.

Одной из ключевых особенностей конференции стало участие значительного количества экспертов и специалистов из смежных областей, связанных с геолого-геофизическими исследованиями недр. Это дало возможность рассмотреть проблемы с разных сторон и открыть новые горизонты сотрудничества. Примечательно, что по результатам опроса удовлетворенность от участия в конференции выразили практически 100% опрошенных, а 58% респондентов уже подтвердили готовность принять участие в ГеоБайкале в 2025 году.

Очередное мероприятие - «ГеоБайкал'25» запланировано на август 2025 года.

Участие в конференции «ГеоБайкал» – отличная возможность совместить профессиональные интересы с посещением одного из самых живописных мест России и мира – озера Байкал.

Регистрация уже открыта на сайте «Геомодель» (https://geomodel.ru/gb25).

III Международная научно-практическая конференция «Электроразведка - 2024 имени И.Х. Абизгильдина»

с успехом прошла в Москве 23 – 25 октября в бизнес-центре гостиницы «Севастополь».



Спонсоры конференции: ООО «СИГМА-ГЕО» и ООО «ВЕГА»

Спонсор выставки: КБ «ЭЛЕКТРОМЕТРИИ»

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

Соорганизаторами конференции выступили: Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, "НТЦ Северо-Запад".

Прежде всего, необходимо отметить общий интерес к предмету конференции. В третий раз программа конференции заполнена желающими выступить, показать свои достижения, поделиться сомнениями и обсудить в широком кругу специалистов из самых разных регионов свои работы.

По широкому охвату тем - от теоретических взглядов на проблемы электроразведки до проблем реализации высказанных идей, обсуждения производственных вопросов, связанных с развитием отрасли, развитием аппаратуры, методики работ и обработки материалов исследований. Конференция подтвердила свою репутацию одного из главных в году форумов инженерно-геофизических исследований. Ежегодное участие в конференции специалистов из МГУ им. М.В. Ломоносова, Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Санкт-Петербургского государственного университета, института наук о Земле, Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН и других авторитетных организаций подтверждает интерес квалифицированных специалистов к нашему мероприятию.

В конференции приняли участие более 120 человек (очное и онлайн участие), это участники из 14 городов России, а также представители зарубежных организаций из Казахстана, Кыргызстана и Узбекистана. Прозвучало 47 докладов, из них 4 расширенных доклада и мастер-класса.

Конференция открылась мастер-классом Яковлева Д.В., представляющего НТЦ Северо-Запад, он был посвящен состоянию электроразведочной отрасли в России в последние годы. Сделан обзор решаемых с помощью электроразведочных технологий прикладных и поисковых задач и какие методы наиболее часто применяются при их решении. Обозначены географические центры российский электроразведочной школы, наиболее крупные коммерческие электроразведочные компании.

Интересен обзорный доклад Ксении Михайловны Антащук, которая, как представитель крупнейшего рудного недропользователя, имеет возможность сопоставлять результаты поисковых электроразведочных работ с результатами разведочного бурения и оценить информативность того или иного метода.

Доклад Игоря Николаевича Модина посвящён возможностям применения современных электроразведочных технологий при решении различных малоглубинных задач. Игорь Николаевич имеет огромный опыт решения инженерных, археологических, гидрогеологических, технических и др. задач, который и представил в своем докладе.

Состояние сибирской электроразведочной школы, одним из центров которой является город Иркутск, было представлено в докладе Игоря Константиновича Семинского. Широкий набор методов от георадиолокации до глубинного МТЗ, которые используют Иркутские геофизики для решения инженерных и поисковых задач показано на многочисленных практических примерах.

Больше всего докладов было связано с магнитотеллурической тематикой – 11. Практически все доклады были сделаны специалистами из трех организаций – МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ и НТЦ СевероЗапад. Отметим следующие тенденции – только 2 доклада были посвящены интерпретации «живых» полевых данных, остальные доклады связаны с усовершенствованием методики сьёмки, развитием подходов к интерпретации. Четыре доклада были посвящены работам в высокочастотном диапазоне с искусственным источником, что говорит о современных тенденциях метода.

На втором месте по количеству докладов был метод электротомографии – 10 докладов. Тема докладов – решение прикладных инженерных задач. Больше всего докладов по электротомографии сделали представители ИНГГ СО РАН.

В этом году скромно выступили представители, занимающиеся аэро вариантами электроразведки. Всего было сделано 4 доклада из которых 3 – сотрудниками ООО Геотехнологии.

Только 2 доклада были посвящены применению метода ЗСБ, оба - сотрудниками компании ООО Сигма-Гео.

Четыре доклада были связаны с результатами георадиолокации. Основной объект исследования – неоднородности в строении многолетнемерзлых грунтов.

Было представлено несколько докладов, которые можно отнести в раздел «научных разработок». Например, несколько докладов были посвящены развитию аппарата инверсии скважинных измерений, трехмерных задач ЗСБ. Два доклада были посвящены совместной интерпретации данных электроразведки и сейсморазведки.

По решаемым задачам явное лидерство имеет инженерное направление, далее изучение мерзлых грунтов, рудные поиски. Отметим практически полное отсутствие докладов по нефтегазовым поискам с применением электроразведки. Возможно, это связано с жесткими ограничениями, которые выставляют заказчики по сохранению коммерческой тайны работ.

Как и в предыдущие годы с замечательным и очень полезным докладом по быстрой вызванной поляризации выступил патриарх сибирской электроразведочной школы – Кожевников Николай Олегович. В каждом выступлении Н.О. всегда содержатся новые идеи, гипотезы и решения. Изучение влияния межповерхностной ВП, которой посвящен доклад Н.О. становится с каждым годом все более актуальной темой в связи с уходом электроразведочных технологий (особенно магнитотеллуричсеких) на все более высокие частоты, где эти эффекты проявляются наиболее ярко.

В целом, конференция продемонстрировала большую заинтересованность научно-производственного сообщества в контактах, обмене идеями, разработками и результатами исследований.

Организатор конференции: проект «Радарные и Сейсмические Системы», Махонская Е. В.

Приглашаем Вас на VII
научно-практическую конференцию
и выставку **«Георадар-2025»**
имени И.Х. Абизгильдина
26-28 марта 2025 года,
г. Москва

Ссылка на регистрацию:
https://go.georadarconf.ru

BASV

ВИБРОИСТОЧНИКИ «ВОСТОК» ОТ ЗАВОДА BASV В РОССИИ

ВОСТОК

В наличии и под заказ



На колесном и гусеничном ходу



Летнее и арктическое исполнение

Продольная (P) и поперечная (S) волна



@BASV_VOSTOK_RUSSIA

xPORT GROUP

Эксклюзивный дилер BASV в России

Россия, 115184, Москва, Старый Толмачёвский переулок, дом 9.
т.: +74951471617
info@olymp-oil.ru | www.basv.com.ru

ОЛИМП-ОЙЛ
ТОРГОВЫЙ ДОМ

Официальный дистрибьютор BASV в России:

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

xPORT GROUP

GDST 中科深源

уже в России!

многофункциональная бескабельная система

AllSeis – 1C, 3C, 4C,

OBN 2C/4C - морской нод








- 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



Официальный дистрибьютор в РФ:

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

xPORT GROUP

Конференция
«Сейсморазведка в Сибири и за ее пределами - 2024»



С 22 по 25 октября 2024 года в Красноярске состоялась VII научно-практическая конференция «Сейсморазведка в Сибири и за ее пределами», которую ежегодно проводит научно-исследовательский и проектный институт Компании «Роснефть» «РН-КрасноярскНИПИнефть», специализированный институт по обработке, интерпретации и корпоративному хранению сейсмических данных ПАО «НК «Роснефть».

Основная цель конференции – это обмен опытом и информирование о новых результатах исследований и разработках в области обработки и интерпретации сейсмических данных в ходе разведки и разработки месторождений нефти и газа. Приоритетными для обсуждения темами стали вопросы применения современных технологий обработки и интерпретации данных сейсморазведки, разработки новых методик и алгоритмов, а также суперкомпьютерные технологии и искусственный интеллект в сейсморазведке. Конференция проводится уже в седьмой раз, и интерес участников к ней постоянно растет, поскольку на сегодняшний день сейсморазведка считается одним из самых эффективных методов поиска и разведки месторождений нефти и газа.

Конференцию посетили специалисты из 95 отечественных компаний: сотрудники научно-исследовательских и проектных организаций, нефтегазовых компаний и учреждений РАН.

Помимо очного формата, конференция транслировалась на онлайн-площадке, что позволило привлечь к участию более 600 специалистов передовых предприятий нефтегазовой отрасли и научно-исследовательских организаций со всей России, Республики Беларусь.

На конференции было представлено порядка 40 докладов. Пленарная сессия затронула 3 актуальные темы: сейсморазведка, аэрогеофизика, искусственный интеллект. С пленарными докладами выступили Е.М. Рукосуева (Департамент по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу) с темой «Особенности проведения сейсморазведочных работ в западной части Сибирской платформы», А.Л. Мейснер (АО "ГНПП "Аэрогеофизика") с темой «Аэрогеофизические технологии при поисках и разработке нефтегазовых месторождений». Завершил пленарную сессию А.С. Семенихин (ООО "Цифровая Формула Доверия") с докладом «Современные тренды

применения искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли: от базового машинного обучения до больших языковых моделей». В первый день конференции были рассмотрены технологические особенности проведения полевых сейсморазведочных работ и обработки данных. Во второй день мероприятия участники обсудили методики интерпретации сейсморазведочных данных с привлечением комплекса других геолого-геофизических методов, а также вопросы разработки и применения новых алгоритмов. Третий день конференции был посвящен секции «Региональная геология и геологоразведочные работы».

Слушатели конференции отметили высокий уровень подготовки докладов, актуальность тем и живые дискуссии с острыми вопросами на проблемы и вызовы в сейсморазведке, а также возможность увидеть взгляды самых разных специалистов под интересными углами.

Специально для участников конференции были проведены обучающие семинары. Лектором одного из семинаров выступил Новокрещин Алексей Васильевич (ООО «ТННЦ») с темой: «Проблема компенсации аномалий ВЧР МОГТ». Второй семинар был посвящен вопросам инверсии: «Сейсмическая инверсия: современное состояние и перспективы развития», лектор Данько Дмитрий Анатольевич (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина).

Были отмечены доклады П.А. Дергача (НГУ, ИНГГ СО РАН) на тему «Разработка портативного вибрационного источника поперечных волн для задач инженерной и рудной сейсморазведки», М.А. Васильева (Группа компаний «Газпром нефть») на тему «Снижение неопределенности при прогнозе трещиноватости в условиях ограниченности входных данных», М.М. Попова на тему «Когнитивный диссонанс в вопросах разрешения сейсмических данных и его решение» и Н.В. Мисюркеевой с темой «Картирование тектонических нарушений и оценка степени флюидопроницаемости комплексом глубинных геофизических методов». Наградой «Лучший слушатель» за самые интересные вопросы был отмечен С.Б. Коротков (ООО «Газпроминвест»).

Конференция **«Сейсморазведка в Сибири и за ее пределами»** проводится ежегодно, в Красноярске. С более подробной информацией о датах конференций можно ознакомиться на странице регистрации на конференцию:

sibseismic.ru

Отзывы участников:

Коротков Сергей Борисович, ООО «Газпроминвест»: - *«Конференция самая авторитетная в нашей стране по сейсморазведке».*

Контарович Олег Рафаилович, ООО «ГНПП «Аэрогеофизика»: - *«Мы впервые на этой конференции и были приятно удивлены уровнем докладов и организации мероприятия».*

Жданова Елена Фанисовна, ООО «ТННЦ»: - *«Мне очень нравится эта конференция, приезжаю сюда не первый год. На высшем уровне и организация, и доклады очень интересные».*

Швецова Елена Алексеевна, ООО «Инженерно-технологический сервис»: - *«Очень редко, где сейчас встретишь, чтобы конференция проходила именно для сейсмиков».*

Пресс-релиз по итогам XIV Всероссийского совещания во ВНИГНИ

14–15 ноября 2024 г. в Москве состоялось XIV Всероссийское совещание во ВНИГНИ «Геологоразведочные работы на углеводородное сырье в Российской Федерации: взаимодействие государства и недропользователей в условиях новых правовых норм».



XIV Всероссийское совещание во ВНИГНИ – представительная аудитория, стратегические доклады, обстоятельная дискуссия.

В двухдневной программе Совещания приняли участие более 400 представителей академической науки, нефтегазовых компаний и сервисных предприятий, руководителей и ведущих специалистов подведомственных Роснедрам учреждений.

В первый день Совещания в Актовом зале Минприроды РФ с приветственным словом выступили Орест Сетракович Каспаров, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию Роснедра и Нина Леонидовна Ерофеева, начальник Управления геологии нефти и газа, подземных вод и сооружений Роснедра, а также генеральный директор ФГБУ «ВНИГНИ» Павел Николаевич Мельников. Орест Сетракович отметил большую включенность в мероприятие аудитории в связи с усилением роли ВНИГНИ в структуре государственного управления недрами, особенно в части углеводородного сырья в связи с изменениями в законодательстве. Он также подчеркнул, что ВНИГНИ активно и плодотворно взаимодействует с недропользователями при выборе объектов, лицензировании, изменениях в лицензиях. Сегодня площадка дает возможность для выработки решений по развитию отрасли, улучшению коммуникации между государством и бизнесом.

В программе Первого дня прозвучало 12 докладов, посвященных ключевой теме Совещания «Геологоразведочные работы на углеводородное сырье в Российской Федерации: взаимодействие государства и недропользователей в условиях новых правовых норм».

На мероприятии рассматривались ключевые темы, касающиеся геологоразведочных работ (ГРР) на углеводородное сырье и взаимодействие государства с недропользователями. Выступления специалистов из государственных организаций сосредоточились на различных аспектах недропользования, включая новые правовые нормы, результаты текущих исследований и прогнозы на будущее. Стратегически значимые вопросы поднимались практически в каждом из звучавших на совещании докладе.

Шиманский С.В. осветил взаимодействие государства и недропользователей в контек-

сте новых правовых норм, что важно для обеспечения эффективного и устойчивого использования недр. **Мельников П.Н.** представил предварительные результаты геологоразведки на УВС в 2024 году, обсудив планы и перспективы дальнейших исследований и разработок в этой области. **Шпуров И.В.** затронул тему применения методологии ТРИЗ (теория решения изобретательских задач) и ее влияние на новый цикл инвестирования в нефтегазовой отрасли, подчеркивая необходимость инновационных подходов для улучшения результатов в секторах недропользования.

В рамках мероприятия продолжилось обсуждение современных подходов и технологий в области геологоразведочных работ, что позволяет значительно улучшить качество и эффективность исследований. Выступления представителей частного сектора дополнили вызовы и тенденции, обозначенные ранее государственными функционерами.

Мисюркеева Н.В., (ООО «Сигма Гео»), представила доклад о значении электроразведочных исследований для повышения геологической информативности на различных этапах геологоразведочных работ (ГРР). Она акцентировала внимание на важности интеграции электроразведочных технологий для комплексного исследования объектов недропользования и достижения более точных результатов.

Мейснер А. Л. (ГНПП «Аэрогеофизика») обсудил результаты применения мультиметодных высокоточных аэрогеофизических съемок для изучения геологического строения и углеводородного потенциала территорий России. Его доклад выделил значимость комплексного подхода к геофизическим исследованиям для более детального анализа недр.

Качан М.А. (АЮГК) сосредоточился на юниорных проектах в Астрахано-Калмыцком Прикаспии, подчеркивая важность поддержки и развития младших геологоразведочных компаний для стимулирования инноваций и исследования новых районов.

Тиссен А. А. (ООО «Фирма «Геосейс») представил перспективы нового российского оборудования для сейсморазведчиков — сейсморегистрирующей системы ПАК «Геотом». Он рассказал о рыночных возможностях и преимуществе российских технологий в этой области, что способствует снижению зависимости от иностранных разработок. Кроме того, ПАК «Геотом» обладает высоким потенциалом для повышения эффективности сейсморазведочных работ в любых условиях. Значимость для отрасли этой разработки отметили участники совещания в дискуссии.



Новые технологии – залог эффективности ГРР.

В заключительном слове Павел Николаевич Мельников отметил, что данное мероприятие продемонстрировало активное сотрудничество между государственными и частными структурами, направленное на решение актуальных задач в сфере геологоразведки и устойчивого управления природными ресурсами в России.

Все разрешенные к публикации доклады размещены на официальном сайте и Телеграм-канале ВНИГНИ. Доклады Совещания также будут доступны на платформе Геовебинары для зарегистрированных подписчиков.

vnigni.ru | t.me/fgbuvnigni | geowebinar.com

АГГИ — объединение науки, бизнеса и образования в разведке и добыче

Некоммерческая Ассоциация геологов, геофизиков и инженеров является центром, который объединяет науку, бизнес и образование в сфере разведки и добычи нефти и газа, твердых полезных ископаемых, редкоземельных элементов и других природных ресурсов. Эта платформа позволяет специалистам из разных компаний свободно обмениваться информацией, знаниями и передовыми практиками, что, в свою очередь, способствует развитию бизнеса и повышению эффективности сложных проектных задач в области геологоразведки.



Владимир Воробьев, президент АГГИ:

«Международные ассоциации ушли из России, что затрудняет эффективное развитие коммуникаций внутри сообщества, обмен знаниями и методологиями. В связи с этим ключевые кураторы отраслевых конференций и руководители нефтегазовых компаний инициировали создание новой Ассоциации. В настоящее время Ассоциация развивается в таких направлениях, как нефть, газ, инженерные аспекты нефтедобычи, малоглубинные исследования, анализ данных, молодежные инициативы, технологии и цифровые решения, рудная геология, редкоземельные элементы и минеральные ресурсы. Основные цели Ассоциации заключаются в развитии компетенций, распространении знаний и лучших практик, привлечении специалистов в отрасль, вовлечении молодежи в научные и производственные проекты, а также в установлении коммуникаций между профессионалами на уровне вузов, организаций и отраслевых институтов».

Преимущества вступления в АГГИ: доступ к библиотеке знаний и бесплатным вебинарам от отраслевых экспертов, скидки на участие в конференциях, бесплатные публикации в электронном журнале, бесплатные мероприятия для студентов, аспирантов и молодых ученых, индексация научных трудов в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), постоянный нетворкинг, причастность к развитию отрасли и многое другое.

Результаты 2024 года

- Под эгидой АГГИ и «Геомодели» прошло **11** конференций и семинаров. Участие приняли более **1000** представителей компаний нефтяного и газового сектора, сервисных и горнодобывающих организаций, вузов. Всего на прошедших конференциях было представлено более **650** научных докладов;
- Открыта электронная библиотека **Либгео** – самая большая библиотека статей по геонаукам в Рунете. Каждая публикация в библиотеке прошла тщательную проверку и отбор, что является

гарантией их высокого качества и соответствия современным требованиям и стандартам. Сейчас в библиотеке опубликовано более **1500** статей, и коллекция постоянно обновляется;

• Проведено 7 научных онлайн-вебинаров, объединивших более 600 человек из разных компаний:

- Области *применения литолого-фациального анализа в нефтегазовой отрасли. Интегрированный подход;*
- *Повышение эффективности разработки контактных запасов. Моделирование и практика;*
- *Проблемы изучения и разработки трудноизвлекаемых запасов;*
- *Распределенные оптоволоконные акустические системы в малоглубинной сейсмике;*
- *Технологии петрофизических исследований для прогноза насыщения сложных коллекторов;*
- *Новые технологии воздействия на пласт;*
- *Геологическое моделирование сложных резерву*аров.

• Проведен первый съезд АГГИ, участниками которого стали руководители и эксперты из разных нефтегазовых и нефтесервисных компаний, предприятий ТЭК, вузов, Государственной комиссии по запасам. Специалисты совместно наметили ключевые ориентиры будущего и сформировали дальнейшие шаги.

Конференции 2024

Геонауки: современные вызовы и пути решений

Первым событием 2024 года стала региональная конференция по геонаукам в Санкт-Петербурге, проходящая раз в два года с 2003 года и собирающая от 300 до 700 участников. На ней обсуждались стратегические направления развития российских ВИНК, перспективы нефтегазовой отрасли, необходимость национального аудита запасов и будущее отечественного программного обеспечения.



Горизонтальные скважины

Специализированная научно-практическая конференция «Горизонтальные скважины» прошла в 2024 году в Казани и собрала более 220 участников. Усложнение структуры запасов нефти и газа подталкивает компании к разработке новых технологий, включая горизонтальное бурение. Эти тенденции создают серьезные вызовы для отрасли, которые были обсуждены на конференции с целью их дальнейшего решения.

Конференция и выставка «Инженерная и рудная геофизика»



2024 год стал для конференции и выставки «Инженерная и рудная геофи-

зика» юбилейным – двадцатым, и состоялся в Казани. Эта одна из известнейших российских площадок, где встречаются наука и производство, а производители геофизического оборудования такие, как «Логис-Геотех», «ГЕОСИГНАЛ», «НТЦ Северо-Запад», «КБ Электрометрии» и многие другие традиционно демонстрируют свои новинки.

Молодежный день

Два мероприятия Молодежной секции прошли в Санкт-Петербурге в 2023 году и в Казани в 2024 году. На Молодежном дне проводятся мастер-классы, ярмарка вакансий, геовикторина и форсайт-сессии и круглые столы. Победители всегда поощряются наградами. **Мероприятие в следующий раз состоится в 2025 году** в третий раз и пройдет на конференции и выставки «Инженерная и рудная геофизика 2025» в Екатеринбурге.

БайкалГео

На протяжении многих лет конференция является площадкой для дискуссий и обмена опытом в области геолого-геофизических исследований Восточной Сибири. Это уникальная возможность для профессионального общения, коллаборации научных идей и бизнес-проектов!

Международная конференция «Интеллектуальный анализ данных в нефтегазовой отрасли»

Ежегодная конференция, начиная с 2020 года, является открытой площадкой для дискуссий и обсуждений передовых разработок в области интеллектуального анализа данных.

На конференции собираются около 100 экспертов, в 2024 году было представлено 50 докладов, проведен круглый стол по применению больших языковых моделей для решения прикладных задач нефтяного инжиниринга.



Следующая встреча состоится в августе 2025 года в Астрахани. Также для участников будут организованы Хакатон, посвященный машинному обучению, и геологический семинар на солевом озере Баскунчак.



Геомодель 2024



Ежегодная конференция «Геомодель», посвященные геологоразведке и разработке месторождений нефти и газа, стали важным событием для профессионалов в этой области. Конференция 2024 года, прошедшая в «Южморгеология», собрала 160 специалистов из 80 организаций и включала 140 докладов. В программе были круглый стол семинар по геостатистике и 17 сессий

Конфернция «Геомодель 2025» состоится 8 - 12 сентября 2025 года.

Тюмень

Данная конференция является площадкой, на которой нефтегазодобывающие предприятия и научно-технические организации РФ, представляющие как отраслевую , так и академическую науку могут в открытом диалоге обменяться лучшими практиками решения актуальных фундаментальных и прикладных проблем нефтегазовой отрасли с учетом актуальных трендов ее технологического и операционного развития.



Важным моментом является проведение конференции в центре развития нефтегазовой промышленности РФ – городе Тюмени.

РОЭК



Встреча единомышленников на РОЭК является одним из первых шагов для укрепления российской нефтегазовой отрасли, которая является флагманом высокотехнологичных, наукоёмких и инновационных технологий, и, как следствие, всей российской науки. Программа конференции охватывает широкий круг тем в сегменте разведки и добычи нефти и газа и продолжает расширяться за счет участия компаний из смежных областей, включая НИОКР, IT и другие.

На РОЭК состоялся первый съезд АГГИ. Темами обсуждений стали: работа с отраслевыми стандартами и сертификация качества, агрегация всех обучений по рынку для планирования трека развития сотрудников, проведение мероприятий по распространению знаний, работа с молодежью и решение кадровых вопросов.

Другие мероприятия АГГИ в 2025 году *

Конференции

ПроГРРесс. Геологоразведка как бизнес. Самое крупное и представительное мероприятия для всей экосистемы геологоразведочного бизнеса. Конференция проходит 1 раз в 2 года, начиная с 2019 и собирает на своей площадке 400-500 руководителей и менеджеров высшего звена, в октябре 2025 года конференция впервые состоится в Москве. Тема конференции 2025 года – ресурсная база как основа.

Специализированный семинар: **Наука о сланцах.** В ряду стоящих перед нефтяниками задач, разведка и разработка трудноизвлекаемых запасов является одной из самых сложных. Семинар проходит 1 раз в два года в Москве весной и собирает около 70 экспертов, в 5-й раз он состоится 7-8 апреля 2025 года.



Геофизика на карсте. Осенью 2025 года впервые состоится научно-практический семинар «Геофизика на карсте». Карст – сложный и труднопрогнозируемый геологический процесс. Крайне важна оценка его опасности и параметров проявления. Геофизические методы один из основных инструментов ее получения. В рамках семинара намечены прямые эксперименты по опытной оценке информативности различных геофизических методов на примере естественного карстового объекта мирового уровня - Кунгурской ледяной пещере. С этой целью Вам будет предоставлена уникальная возможность проведения полевых наблюдений в пределах полигона, развернутого на Ледяной горе, включающей данный объект.

Углеводородный потенциал Дальнего Востока. Начало октября на Сахалине еще радует хорошей погодой, что позволяет организовать не только дискуссию об углеводородном потенциале Дальнего Востока в конференц-залах Южно-Сахалинска, но и увлекательную геологическую экскурсию, на которой можно познакомиться с геологическим развитием острова Сахалин, увидеть меловые отложения на реке Найба. Научно-практический семинар состоится 1-3 октября 2025 года.

* программа может быть скорректирована

Полевые семинары



Карбонатные породы и тектоника в нефтегазовой геологии Динаридов. Уникальный геологический семинар в мае 2025г. В Восточной Герцеговине в рамках которого участники изучат геологическое строение, особенности карбонатной седиментологии и подходы к работе с карбонатными нефтяными системами.

Седиментология меловых отложений в обнажениях рек Обского бассейна. Филдтрип в июле 2025г., позволяющий увидеть глазами, пощупать руками и изучить вместе с экспертами выходы прямых фациальных и возрастных отложений – аналогов пластов, которые разведываются и разрабатываются в Западной Сибири.

Терригенные карбонатные породы Дагестана. Осенью 2025г. запланировано к проведению обучение, позволяющее изучить седиментологию, тектонику и нефтяные системы одного из старейших нефтяных регионов России, открытия в котором происходят и по сей день. Участники смогут прикоснуться к пластам, выведенным тектоникой на поверхность, из которых не так далеко ведется добыча углеводородов.

Вебинары

1. Складчато-надвиговые зоны
2. Сейсмика в поддержку разработки
3. ИИ в нефтегазе
4. Геологическая оценка сложных объектов с низкой степенью изученности - новые подходы
5. Новые регионы - новые вызовы ГРР
6. Принятие решений и вызовы при планировании программы ГРР
7. Применение НСМ
8. Технологии количественного прогноза ФЕС по данным динамической интерпретации сейсмических данных
9. Карбонатные резервуары
10. Технологические решения для увеличения нефтеотдачи сложных резервуаров
11. Как дать вторую жизнь старым месторождениям?

www.geoscience.ru

https://t.me/aggi_association

О результатах научных достижений, новых идей и технологий в разведочной и промысловой геофизике, представленных на конференции «ГЕОСОЧИ -2024»

Золотая Л.А., МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.





С 22 по 25 апреля 2024 года в очном формате прошла ежегодная научно-практическая конференция ***«ГЕОСОЧИ-2024. Новые идеи и технологии разведочной и промысловой геофизики»,*** **которая состоялась с участием** специалистов промысловой геофизики».

Конференция продолжила славную традицию организации ежегодных мероприятий, организуемых ООО «ГеоЕвразия» совместно с отделением геофизики Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова при информационной поддержке Московского отделения МОО ЕАГО.

За 14 лет проведения мероприятий конференция «Геосочи-2024» по праву завоевала достойное место в геофизическом сообществе: стала популярной и известной площадкой для презентации новых современных технологий по обработке и интерпретации геолого-геофизических данных, а также примеров решения практических задач геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа в различных регионах России и за рубежом. Организаторы приняли важное решение по расширению круга вопросов, обсуждаемых на конференции и провели впервые тематическую сессию по промысловой геофизике.

В 2024 году конференция «ГеоСочи» прошла в формате офлайн, чтобы участники смогли насладиться человеческим и профессиональными общением с коллегами, возможностью обменяться опытом при решении сложных задач геологоразведки в различных областях нефтегазовой отрасли, а также достижений новых компьютерных технологий и провайдеров программных решений по обработке и интерпретации геофизических данных. Это обстоятельство особенно важно для молодых геоучёных, которые только начинают свою деятельность в нефтяных и сервисных компаниях.

На участие в конференции «ГеоСочи» на первых этапах подготовки подали заявки около 80 человек, но, к сожалению, многих докладчиков не поддержало руководство, и на финишной прямой число участников значительно сократилось.

Однако, составленная научно-техническая программа конференции продемонстрировала высокий уровень представленных докладов. Все организа-



Регистрация участников конференции Хомяковой Л.Ю.

ционные и юридические вопросы регистрации участников и оформления финансовых документов участникам конференции успешно решала финансовый директор компании-организатора Регистрация участников конференции Хомяковой Л.Ю.



Выставочный стенд ООО « МТЦ»



Уразгалиева Е.В.

Организаторы выражают отдельную благодарность **генеральному директору компании «МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР» в лице Уразгалиевой Евгении Владимировны,** оказавшей спонсорскую поддержку конференции «ГЕОСОЧИ-2024.Новые идеи и технологии разведочной и промысловой геофизики».

Компания более 10 лет проводит региональные исследования по изучению крупных геологических структур с целью исследования строения осадочного чехла и консолидированной коры.

Имеет богатый опыт по изучению мелкомасштабных структурных элементов с целью разведки залежей углеводородов. В перерывах заседаний участники конференции имели возможность посмотреть рекламные видеоролики компании МТЦ и посетить выставочный стенд компании- спонсора.

Первые два дня заседаний проходили в Большом конференц-зале отеля **** SEA GALAXY, оснащенного современной презентационной техникой.

Открытие конференции состоялось 22 апреля. С приветственным словом к участникам и спонсорам обратились главный координатор конференции «ГЕОСОЧИ- 2024» Золотая Л.А. и сопредседатель программного комитета Архипов А. А.



Модераторы пленарной сессии :
Архипов А.А. и Золотая Л.А



Большой конгресс-зал
SEA GALAXY

С первым докладом на пленарной сессии выступил главный геофизик АО «НПП «Радар ММС». Симаков Александр Евгеньевич на тему «Инновационные комплексы геофизической разведки на базе беспилотных авиационных систем самолётного и вертолётного типов». Его доклад был посвящён обзору современных подходов к проведению геофизических съёмок с использованием беспилотных авиационных систем (БАС). Автор, считает, что Аппаратура и методика аэромагнитных съёмок с использованием беспилотных воздушных самолётного типа зарекомендовала себя положительно и может успешно применяться для выполнения аэромагнитных съёмок масштаба 1:10 000 и мельче, что позволит существенно расширить область применения беспилотных воздушных систем при проведении геологоразведочных работ, частично заняв нишу пилотируемой авиации. Производительность съемки на БВС самолетного типа, дальность полета до площади работ, устойчивость в воздухе при повышенном ветре существенно превышает возможности съемки на мультикоптерах и БВС вертолётного типа.

Содержательный доклад о ретроспективном анализе кривой прироста ресурсной базы (creaming curve analysis) и структурно-фациальном зонировании для оценки перспективности поиска и разведки углеводородов на примере северо-восточного шельфа Сахалина представили Попов Алексей Александрович и Глущенко Дмитрий Витальевич (ООО «Сахалинская Энергия»). Он вызвал живой интерес участников конференции.

Председатель программного комитета Архипов Александр Алексеевич (ООО «НПП Геошельф») с соавторами презентовал в своем докладе обзор популярных аппроксимаций, скважинного моделирования и сопоставление результатов с программным пакетом CGG Hampson-Russell, которые позволяют на современном этапе добиваться повышения точности синхронной сейсмической инверсии.

Во второй половине дня пленарных заседаний под председательством профессора А.В. Шумилова из Пермского Национального Университета были заслушаны доклады :

- Зиборова Андрея Владимировича (ООО "Морской Технический Центр") на тему «Новейшие Российские мобильные комплексы морской сейсморазведки» ;

- Ялаева Тагира Рустамовича с соавторами - «Построение карт интенсивности трещиноватости на основе тектонофизических подходо» из АО «ИГиРГИ».

- Хромовой Инги Юрьевны в соавторстве с , Кобзаревым Г.Ю. и Архиповым А.А. –« Особенности интерпретации высокоразрешённых сейсмических



С докладом выступает Хромова И.Ю.

данных. О критериях достоверности расширения спектра». Инга Юрьевна – высоко эрудированный докладчик. Она со свойственной ей убежденностью рассказала, что развитие инновационных алгоритмов в сочетании с возросшими счетными ресурсами порождает новые инструменты обработки сейсмических данных. Повышение вертикальной и латеральной разрешенности сейсмических данных вдвое- втрое становится реальностью. Завуалированные интерференционными и другими искажающими эффектами на стандартных сейсмических разрезах геологические тела принимают отчетливый облик на высокоразрешенных разрезах. Нужно лишь сместить фокус внимания с привычных протяженных границ на множество геологических неоднородностей, ставших ныне доступными к картированию: литологических ограничений залежей, «невидимых сейсмикой» малоамплитудных тектонических нарушений. Но интерпретация высокочастотных сейсмических данных обладает рядом особенностей. С возросшей детальностью волнового поля возрастает требовательность к детальной привязке, тщательной корреляции отражений, кропотливой проработке структурно- тектонической и сейсмофациальной моделей. Результатом предложенной методологии анализа является создание новых непротиворечивых моделей месторождений углеводородов.

По завершении пленарного заседания Золотая Л. А. поздравила с 65 -летием со - председателя ОРГКОМИТЕТА конференции «ГеоСочи-2024» профессора Шумилова А.В - заведующего кафедрой геофизики Пермского государственного национального исследовательского университета. 22 апреля А.В. Шумилов свой юбилей он решил отметить в кругу коллег-геофизиков , впервые приняв участие на сочинских мероприятиях. Золотая Л.А. вручила ему памятный подарок - «Родословную книгу» с пожеланиями заполнить ее архивными материалами о нескольких поколениях геологов и геофизиков семьи Шумиловых. Участники пожелали ему успехов и творческого долголетия на посту заведующего кафедрой геофизики ПГУ и председателя Пермского отделения МОО ЕАГО,



Вручение подарка профессору Шумилову А.В.

Завершился первый день конференции праздничным фуршетом в честь юбиляра и открытия конференции.

23 апреля (второй день конференции) был полностью посвящен тематике «Региональные геолого-геофизические исследования для решения нефтегазовых и рудных геологических задач». Модераторами утренней сессии выступили Кушнир Денис Григорьевич (АО «Таймыргеофизика») и Платонов Антон Евгеньевич (ООО «НК «Роснефть» - НТЦ»).

В. И. Казаис - главный геолог (АО «Таймыргеофизика») представил масштабный доклад на тему «Геологоразведка высоких широт: новые возможности», который вызвал большой интерес у слушателей. Докладчик преложил получить с единых методических позиций и на строгом количественном уровне первую, по-настоящему объективную и полновесную оценку всего ресурсного потенциала северной и южной полярных областей, прежде всего АЗРФ по углево-



Докладчик - В.И. Казаис

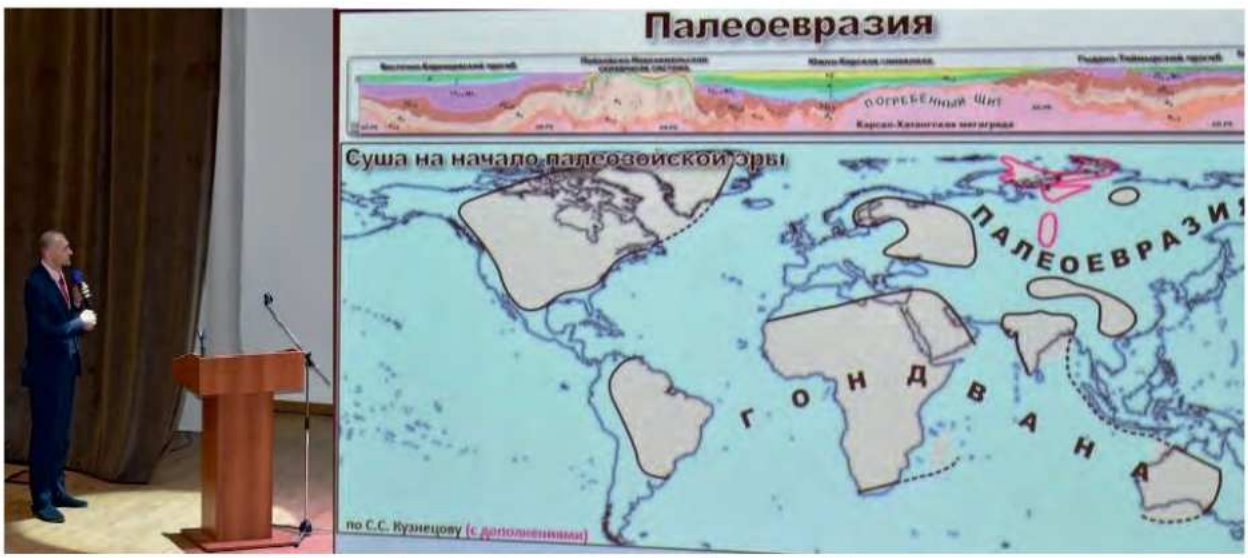
дородному сырью и по твердым полезным ископаемым. Разработать на новом витке знаний единую Концепцию геолого- разведочных работ в АЗРФ с целевым видением перспектив различной дальности (5 - 10-20 лет).

Следует увязать Концепцию с соответствующими стратегическими документами, регламентирующими развитие заполярных территорий в целом и Северного морского пути в особенности. Вывести разведку высоких широт, в первую очередь Российского Заполярья, на качественно более высокий уровень научного геологического прогноза, придав самому поисковому процессу мощный стимул и второе дыхание, которых сегодня так не хватает геологии.

Ямалетдинова А.А. доложила об особенностях строения и продуктивности доюрского комплекса в пределах западной части Западо-Сибирского НГБ, что чрезвычайно важно для продолжения исследований в этом регионе.

ООО "РН-БашНИПИнефть» в лице Коломасовой С.А. рассказала о своем опыте по проведению оценки характера насыщенности с использованием кривых относительной фазовой проницаемости для пластов васюганской свиты месторождений Западной Сибири

Кушнир Д.Г. - главный геофизик (АО "Таймыргеофизика") выступил с оригинальным докладом « Палеоевразия и арктический полюс консолидации литосферы как ядро Гипербореи». Он отметил, что выявленные на Таймыре аномалии раздела Мохоровичича сочетаются с запечатлёнными в осадках важнейшими тектоническими событиями, во многом объясняя их природу. Формирование седиментационных бассейнов, их непременная инверсия и замещение горными системами, а также новые прогибания после пенепленизации, являются следствием, с одной стороны, изостатического опускания, вызываемого периодическим уплотнением в низах земной коры и её эклогитизацией, с другой стороны, связаны с изостатическим воздыманием из-за закономерного разрушения высокоплотного тела, которое превышает по плотности перидотиты верхней мантии и потому является неустойчивым. Следовательно, появление наиболее значимых континентальных структур обеспечивает-



С докладом выступает Кушнир Д.Г.





Рабочие моменты дискуссий на пленарном заседании

ся вертикально направленными напряжениями, возникающими вследствие термобарических изменений литосферы, а определяемый дрейфом континентов горизонтальный стресс уходит на второй план, осложняя их строение. Одновременная активизация геофизических исследований в Арктике открывает возможность широкого масштабирования сделанных геотектонических выводов.

Отвечающие разновозрастным поверхностям седиментации и денудации отражающие сейсмические горизонты, протягиваются вдоль всего Евразийского континента, демонстрируя обширное развитие соответствующих процессов накопления и размыва осадков и доказывая его единство на протяжении доступного для изучения геологического периода, от протерозоя до кайнозоя. В свою очередь, общность природы крупнейших осадочных бассейнов такой «Палеоевразия» предопределяет близкие перспективы нефтегазоносности образовавшихся в однотипных условиях толщ, которые часто испытали сходное воздействие и на последующих этапах преобразования.

Затем были заслушаны доклады :

-Левкович Ольга Сергеевна, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» в соавторстве , и др. «Строение валанжинского и рязанских ярусов на юго-востоке Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО)»;

- Платонов Антон Евгеньевич, Земцов Павел Анатольевич, Куксов Сергей Владимирович, (1 - ООО "НК" Роснефть"-НТЦ") «Комплексирование методов литофациального анализа и структурно-кинематического моделирования с целью поиска ловушек УВ в юрских отложениях Черногорской моноклинали»

- Карарова Альфия Зуфаровна, Фёдорова Дарья Владимировна, Хайруллин Альфир Радикович, Кобяков Иван Николаевич, Габдуллина Галия Талгатовна (ООО «РН-БашНИПИнефть») «Фациальный анализ для детализации петрофизической модели на примере тюменских отложений».

Во второй половине дня, под руководством модераторов Баркова Александра Юрьевича (ООО "СЖЖ ВОСТОК") и Аюновой Дарьи Владимировны (ИНГГ СО РАН, НГУ) была продолжена сессия «Региональные геолого-геофизические исследования для решения нефтегазовых и рудных геологических задач».

Об особенностях строения и перспективах доразведки миоценовых залежей месторождения Зыбза-Глубокий Яр в своем докладе рассказал представитель ООО "НК "Роснефть" - НТЦ" Платонов Сергей Николаевич (соавтор - Земцов Павел Анатольевич).

Аюнова Дарья Владимировна (ИНГГ СО РАН) в соавторстве с Конторович В.А.(НГУ поделились опытом изучения сейсмогеологической характеристики Геофизического месторождения.

В последние десятилетия, с развитием высокопроизводительных вычислительных технологий, сейсмическая инверсия полной формы волны (FWI) становится наиболее многообещающим подходом к восстановлению свойств модели земных недр с высоким разрешением для обнаружения природных ресурсов. Поэтому доклад представителей компаний ООО "СЖЖ ВОСТОК" и ООО «Сахалинская Энергия» в лице Баркова А.Ю, (совторы Канищев Г.А., Рыков Александр, , Ильин С., Кочетков Д.) , на тему « Применение результатов полноволновой инверсии в качестве начального приближения при сейсмической инверсии для газовых залежей» заинтересовал участников пленарного заседания и вызвал множество профессиональных вопросов докладчику.

Вечернее заседание 23 апреля завершила своим выступлением Канакова Ксения Игоревна , представляющая кафедру геологии месторождений нефти и газа ГГФ Новосибирского Университета, выступив с докладом на тему «Применение кластерного анализа сейсмического волнового поля для уточнения геологического строения палеозойских отложений Западной Сибири ».

Модераторы региональной сессии завершили этот день заседаний живой дискуссией по проблемам региональных геолого-геофизических исследований для решения нефтегазовых и рудных геологических задач.

24 апреля под руководством Шумилова Александра Владимировича (ПАО «Пермнефтегеофизика») впервые на конференции «ГеоСочи» состоялась тематическая сессия "Современные технологии в промысловой геофизике".

Были заслушаны доклады :

-Буянова А.В. и Каневской Р.Д. на тему « Скрытые возможности традиционного комплекса промыслово-геофизических методов оценки притока и состава в газоконденсатных скважинах» . В докладе изложены результаты совместной работы специалисты АО "ИГиРГИ" и РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина. Дальнейшее развитие описываемого подхода видится авторам в привлечении спектрометрического гамма-каротажа, по которому можно было бы проверить изменение содержания калия во времени по профилю фильтрации флюида через пористую среду вблизи призабойной части пласта.

- Попова Д. А. в соавторстве с . Зиборовым А.В., Кошелевым Е.А. и Долотказиным И.Н. представили последние результаты инновационных разработок ООО «Морской Технический Центр» и Санкт-Петербургского Государственного Университета . ИХ доклад на тему «UP.QC. Программное обеспечение для контроля качества и предварительной обработки сейсмических данных с автономных донных станций» был высоко оценен специалистами аудитории». Авторы убедительно продемонстрировали, что программный пакет UP.QC является важной и неотъемлемой частью аппаратно-программных комплексов морской

сейсморазведки производства компании «МТЦ». Программный пакет решает широкий спектр задач, крайне актуальных для сейсморазведки с донными автономными регистраторами, увеличивая скорость и производительность работы.

ООО "Тюменский нефтяной научный центр" в лице Серкин М.Ф. и Гильманова Я.И. поделись своим опытом по использованию данных профильных исследований керна для повышения результативности методов ГИС.



Докладчик -Белов С.В.

Белов Сергей Владимирович (ООО Предприятие "ФХС-ПНГ") представил уникальные практические результаты своей работы по комплексной обработке данных мультипольного акустического каротажа. Докладчик продемонстрировал, что комплексная обработка данных мультипольного АК в ПО ParmaLog. Acoustic позволяет извлечь максимум информации из исходных данных, а также возможность получать и сравнивать различные варианты обработки, подбирать оптимальные параметры и получать наиболее адекватный результат.

Модератор сессии Шумилов Александр Владимирович (ПАО «Пермнефтегеофизика») в соавторстве с Головацкой Г.И. и Потаповым А.П.(АО НПП "ВНИИГИС") представил для участников конференции доклад «Инновационные возможности технологии магнитно-импульсной дефектоскопии-толщинометрии методом переходных процессов для повышения эффективности геофизических исследований в многоколонных скважинах», который отличался большой оригинальностью и глубиной проработки этого экспериментального материала. На



Модератор сессии и докладчик Шумилов А.В.

основе физического моделирования кривых спада ими определены информативные временные интервалы при определении дефектов и толщины колонн. Показано, что использование зондов различной длины позволило разработать метод определения дефектов в многоколонных скважинах и алгоритм вычисления толщины колонн путем последовательного усложнения моделей интерпретации.

Затем были заслушаны доклады на тему :

-Методики оценки качества контакта "цемент-порода" по данным акустического каротажа ,докладчик -Искандиров Михаил Валентинович (ООО «Удмуртнефтегеофизика»).

-Оценка возможностей технологии виброакустического воздействия и термометрического контроля с применением оптоволоконного кабеля на примере геофизических исследований в скважинах Западной Сибири, докладчик- Крючатов Андрей Дмитриевич (ОАО "Когалымнефтегеофизика")

-Влияние отклонения прибора плотностного гамма-гамма-каротажа от стенки скважины на результаты измерений. Докладчики : Ромашев Илья Сергеевич и Адиев Руслан Айратович (ООО "ОйлГИС").


Модератор сессии: Архипов А. А.

Большой интерес участников вызвала сессия "Инновационные методы обработки и интерпретации геофизических данных", которая была профессионально проведена модератором Архиповым А. А. - генеральным директором ООО "НПП Геошельф".

Были заслушаны доклады :

-Автоматизированный поиск аналогов пластовых нефтей и газов с подбором подсчетных параметров (ООО "Тюменский нефтяной научный центр") . Докладчик Гребенкин А.А. , соавторы : Заночуев С.А., Громова Е,А., Шинкевич В.О.;

-Современные методы изучения шельфовых месторождений. Подбор оптимального комплекса исследований .Докладчик Бакланов Л.А.(ООО "Тюменский Нефтяной Научный Центр");

- Выделение коллекторов с применением алгоритмов машинного обучения. Докладчик Казарян А. А., соавторы: Лубянская Е. А., Марков А.В, Воронина А. Н. (совместная работа ООО РН-БашНИПИнефть и Уфимского Университета Науки и Технологий).. Авторами по результатам апробации алгоритма выявлена новая залежь на Х месторождении, промышленная продуктивность которой подтверждена посредством проведения опытно-промышленных исследований (ОПИ) на одной из скважин. Использование методов машинного обучения для анализа и выделения продуктивных коллекторов в карбонатных отложениях является эффективным подходом, который позволяет прогнозировать коллекторские свойства с точностью 85–90%. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию новых методов анализа данных и повышению эффективности разработки месторождений в карбонатных отложениях Волго-Уральской НГП.

Докладчик Хемраев К.А. (ООО "Тьерра Колада) представил два доклада

1. Инновационная платформа для решения геолого-геофизических задач «Colada»

2. Опыт решения задачи FWI/RTM в платформе «Colada» на модельных и открытых морских данных 2D . В презентациях докладчика было показано, что Colada сочетает в себе современные возможности визуализации, интерактивного представления данных и возможности высокопроизводительных вычислений (HPC). На сегодняшний день Colada позволяет выполнять 2D/3D волновое моделирование в различных модификациях, FWI инверсию и RTM миграцию как на отдельной машине, так и на кластере. Платформа является кроссплатформенной и работает под ОС: Windows, Linux, macOS.

- Автоматизация интерпретации ГИС в карбонатном разрезе (совместная работа АО "ИГиРГИ" и ООО "РН-Ближне-восточная компания). Докладчик Галечян А.М. ы соавторстве с Болдыревым С.Ю., Минязевой А.Р., Осмоловская М.Е., Зариповой Л.Ф. и Чикиной Н.Н.)

-Использование альтернативных видов миграции с целью повышения качества скоростной модели и сейсмического изображения в условиях солянокупольной тектоники.

Докладчик Плешкова Анна Сергеевна в соавторстве с Цветухиным И.В., Кудрявцевым К.Ю., Кучкановым Е.А., Андреевым А.Ю и М.В. Кусевичем (совместная научная работа ООО "СЖЖ ВОСТОК", ООО "РИТЭК" и ПАО "ЛУКОЙЛ").

В последний день конференции 25 апреля в конференц-зале «Комфорт» была организована сессия "Современные интеллектуальные технологии в геологоразведке. Инновационные методы обработки и интерпретации геофизических данных" по председательством Шевченко Алексея Александ-ровича (ООО "ПетроТрейс") и Сокулиной Ксении Борисовны (ООО "ЦГМ НИР Поволжья").

Большой коллектив авторов (Рыков А.П.,

Хабаров А.В., Баранов К.Б., ,Кишкель . В. Королев А.Е., Фролова В.А.) представляющих интересы компаний ООО "Сахалинская Энергия" и ООО «Петротрейс» подготовили совместный доклад на тему «Адаптивный подход к разделению волновых полей и подавлению помех, на примере данных 3Д ВСП ОВИС, полученных на Пильтун-Астохском месторождении» с которым выступил Шевченко А. А.

Доклад «Методика выделения коллекторов в карбонатном разрезе по комплексу специальных методов ГИС с учетом результатов ПГИ» презентовала Минязева А.Р. в соавторстве Галечян А.М., Осмоловской М.Е. , Болдыревым С.Ю., Минязевой А.Р., Осмоловская М.Е., Зариповой Л.Ф. и Чикиной Н.Н. , представляющие сотрудников АО "ИГиРГИ" и ООО «РН-Ближневосточная компания».

Блестящий доклад на тему «Разработка технологии комплексного анализа гравитационных и магнитных полей для районирования территории северо-западной части Прикаспийской впадины с целью постановки сейсморазведочных работ» был представлен Сокулиной К.Б. (ООО "ЦГМ НИР Поволжья") в соавторстве Золотой Л.А.(МГУ имени М.В.Ломоносова) , Хуснуллиной Г.Ф., Сивожелезовым Е.В, (ООО "ЦГМ НИР Поволжья") . На конкретных примерах изученных сложных структур соляно-купольной тектоники Прикаспийской впадины докладчик убедительно показал высокую результативность интерпретации



Докладчик Сокулина К.Б.

сейсмических данных при привлечении результатов плотностного моделирования , которые существенно повысили надежность прогнозирования ловушек УВ. На основании изученных материалов дан оптимальный вариант сети проектируемых сейсморазведочных профилей МОГТ-2Д с учетом равномерности, ориентировки соляных тел в пространстве, положения выявленных ранее объектов. Доклад спровоцировал большое количество профессиональных вопросов по теме доклада и пожеланий дальнейшего развития этого направления .

Во второй половине дня, в рамках этой же сессии "Современные интеллектуальные технологии в геологоразведке. Инновационные методы обработки и интерпретации геофизических данных" были заслушаны доклады :

- Авторского коллектива компаний ООО «Сахалинская Энергия» и ООО «Петротрейс», в составе Алексей Александрович Шевченко (докладчик), А.П. Рыкова, Н.А. Токарева, Р.Г. Облекова, А.В. Хабарова , С.А. Черкашнева, А.Е. Королева на тему «Динамический диапазон регистрации сейсмических данных 3D-ВСП ОВИС, полученных на Пильтун-Астохском месторождении».

- ООО "РН-БашНИПИнефть" в лице докладчиков Мартыновой Ю.В. и Байкова В.А. презентовали доклад на тему «Петрофизическое моделирование сложнопостроенного терригенного коллектора».

Актуальная тема « Прогнозирование пористости в терригенных коллекторах методами машинного обучения» прозвучала в докладе Шиверского Г.В. (ООО "Лукойл-Инжиниринг" "ПермьНИПИ нефть")

ООО "БашНИПИнефть" поделились опытом использования аппаратурно-методический комплекс биградиентного (дивергентного) каротажа самопроизвольной поляризации в высокоомном карбонатно-терригенном разрезе Волжско-Уральского региона в форме доклада Жилко Е.Ю. и Кузмичева О. Б.

25 апреля завершилась сессия докла-

дом ученых Новосибирского Государственного Университета Канаковым М.С. и Лапковский В.В. на тему «Модульное платформенное решение геолого-геофизического анализа КРАТОН».

Оргкомитет конференции совместно с участием модераторов тематических сессий подвели итоги проведения конференции и вынесли единогласной решение , что 2025 году нужно запланировать проведение конференции «ГЕОСОЧИ-2025.НОВЫЕ ИДЕИ И ТЕХНОЛОГИИ РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ» в конце апреля.

Вечером 25 апреля в ресторане отеля SEA GALAXY на 18 панорамном этаже был организован банкет для всех участников конференции «ГеоСочи» . Традиционно главный координатор конференции Золотая Людмила Алексеевна , финансовый директор ООО « ГЕОЕВРАЗИЯ» Лариса Хомякова и руководитель проектов Несмеянова Екатерина поблагодарили председателей научных сессий и вручили им благодарственные письма за помощь в организации и проведении тематических сессий конференции. Они , в свою очередь, в рамках коротких выступлений высоко оценили их усилия в высокопрофессиональной организации конференции и поблагодарили за насыщенную научную программу конференции. По сути, праздничный вечер позволил обменяться мнениями и дискуссией всех участников в свободной дружеской форме.

В заключении, хочется привести мнение со-председателя Программного комитета конференции А. А. Архипова. Он считает, что в этом году технические сессии конференции «ГеоСочи-2024» проходили в новом, обустроенном и комфортабельном зале, а отлаженная работа организаторов мероприятия позволила провести программу без сбоев и накладок. В дружественной обстановке докладчики представили свои работы, посвящённые новым разработкам и завершённым инновационным проектам. Следует отметить уже традиционный для конференций «ГеоСочи» рост уровня выступлений как технического, так и оформительского характера, чёткий тайминг, выверенную логику повествования докладчиков. Отдельного упоминания заслуживает необычно высокая для геолого-геофизических конференций активность зала при которой, в большинстве случаев, не хватало отведённого времени для ответов на вопросы специалистов. При сохранении динамики развития конференции, «ГеоСочи» обладает потенциалом выхода в лидеры отрасли. За последние 5-8 лет «ГеоСочи», пожалуй, единственная площадка, предоставляющая возможность детально обсудить технические аспекты разработок и при этом заключить деловые соглашения на месте. Он призвал коллег поддержать будущую конференцию «ГЕОСОЧИ» своим участием с докладами в 2025 году.

Информацию о планах мероприятий, организуемых ООО « Геоевразия» в 2024 - 2925 году читайте на сайте **www.gece.moscow.**

Подробнее об авторе



Золотая
Людмила Алексеевна

-главный координатор конференции, генеральный директор ООО «Геоевразия», кандидат геол-мин.наук, доцент, заслуженный преподаватель кафедры геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова , главный редактор журналов ЕАГО «Геофизика» и «Геофизический вестник».

Разделение сигналов от перекрывающихся источников на примере синтетически смешанных данных морской сейсморазведки с донными станциями

Казанин Г.А.[1,2], Гайнанов В.Г.[2], Литвачук А.В.[1], Ткач В.С.[1]
[1]АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция», Мурманск, Россия
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. *Методика проведения полевых работ с одновременным отстрелом площади несколькими перекрывающимися во времени источниками позволяет сократить затраты на выполнение полевых сейсмических работ за счет существенного ускорения выполнения съемки. Однако при этом на сейсмограммах интерферируют сигналы от нескольких единовременных возбуждений. Для разделения интерферирующих волновых полей требуется выполнение дополнительной предобработки зарегистрированных данных, что представляет собой достаточно сложную задачу. В данной статье описываются основные преимущества выполнения работ с перекрывающимися источниками и представлен алгоритм подавления интерференции, основанный на применении разреженной инверсии. Результаты применения указанного алгоритма продемонстрированы на синтетически смешанных данных 3D сейсморазведки, которые удалось разделить достаточно качественно.*

Ключевые слова: *сейсморазведка, перекрывающиеся источники, разреженная инверсия, шельф, деблендинг, мультиисточник, разделение сигналов.*

Введение

В последние десятилетия применение методики выполнения полевых сейсморазведочных работ на шельфе с использованием нескольких перекрывающихся источников (так называемый *blended acquisition* или *simultaneous source acquisition*) набрало существенную популярность ввиду неоспоримых экономических и технологических преимуществ, которые дает применение данной методики. Так, благодаря использованию нескольких судов-источников возможно существенно сократить время выполнения полевых работ, и, следовательно, затраты на выполнение сейсмической съемки [10]. Кроме того, использование указанной методики дает возможность увеличить плотность пунктов возбуждения сигнала, что позволяет решить сложности, возникающие с пространственным алиасингом по источнику. Таким образом, применение перекрывающихся источников позволяет проявлять гибкость при проектировании сейсмических работ как в сторону снижения затрат, так и в сторону увеличения количества ПВ и качества получаемого сейсмического материала (Рис. 1.) Особую популярность данная методика обрела при сейсморазведочных работах 3D-4C с донным сейсмическим оборудованием [2], где экономический эффект от применения нескольких источников может быть максимизирован. По расчетам, проведенным в АО «МАГЭ», стоимость дня работы полевой партии, выполняющей сейсморазведку 3D с донными станциями по классической методике и состоящей из одного-судна источника, двух судов-раскладчиков, судна-пингеровщика и судна снабжения составляет 1 условную единицу. Для выполнения расчетного объема работ потребуется 120 дней. В случае, если к полевой партии добавляется еще одно судно-источник, то стоимость дня работы возрастает до 1.15 условных единиц, но

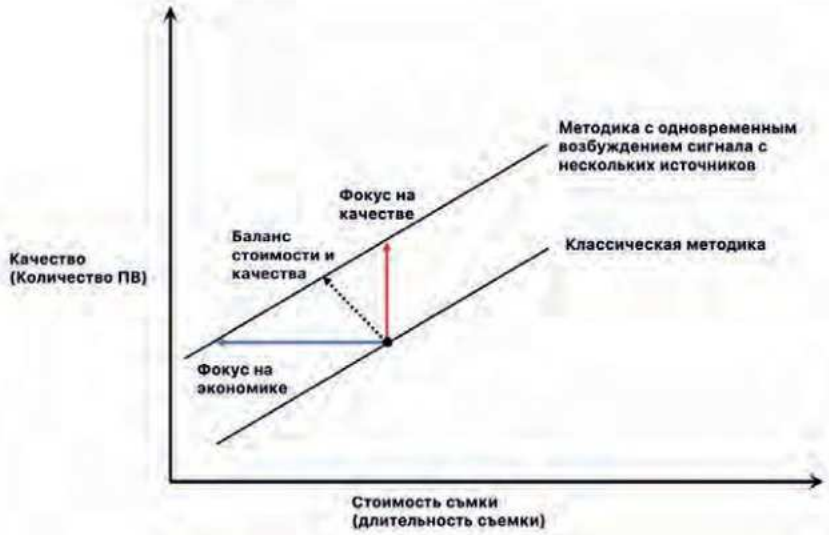


Рис. 1. Схематическое сравнение стоимости и качества работ выполняемых по классической методике сейсморазведочных работ и по методике с перекрывающимся возбуждением сигнала [10].

при этом количество дней для выполнения аналогичного объема работ сокращается до 70. Следовательно затраты на выполнения работ с одним источником составят 120 у. е. против 80.5 у. е. для работ с двумя судами-источниками. Таким образом, при равном объеме сейсморазведочных работ 3D с донными станциями, использования двух-судов источников позволит сократить их стоимость на примерно на 33 %.

В отличие от классической методики выполнения сейсморазведочных работ, где возбуждение сигнала происходит последовательно, с такой задержкой, чтобы сигнал от последующего источника не интерферировал с сигналом от предыдущего источника, применение методики с перекрывающимися источниками приводит к появлению на сейсмограммах сигналов от нескольких источников, которые должны быть отделены друг от друга (Рис.2).

Задача подавления шума от возникающей интерференции является достаточно сложной и на сегодняшний день повсеместно используется подавление шума в сортировке общего пункта приема, так как возникающий шум в указанном домене представляется случайным, что открывает возможности для его подавления различными стандартными методами. Исторически для подавления интерференции использовались различные техники шумоподавления, например, фильтрация с помощью медианного фильтра [1, 4, 5, 6, 7]. Однако данные методы не всегда позволяют восстановить сигнал от глубоких отражений и создают артефакты при применении. Другая группа методов для решения данной проблемы основана на применении разреженной (sparse) инверсии для разделения сигнала от разных источников [2, 10, 11]. Данный подход более надежен и приводит к более эффективному разделению полей и сохранению основного сигнала, а также к оптимизации рабочего процесса обработки таких данных [8].

В данной статье авторами предложено использовать метод разделения источников, основанный на разреженной инверсии, который был первоначально представлен [2; 10], и дополненный в работе [12] для выполнения задачи по отделению шума от перекрывающихся источников на синтетических смешанных данных сейсморазведки.

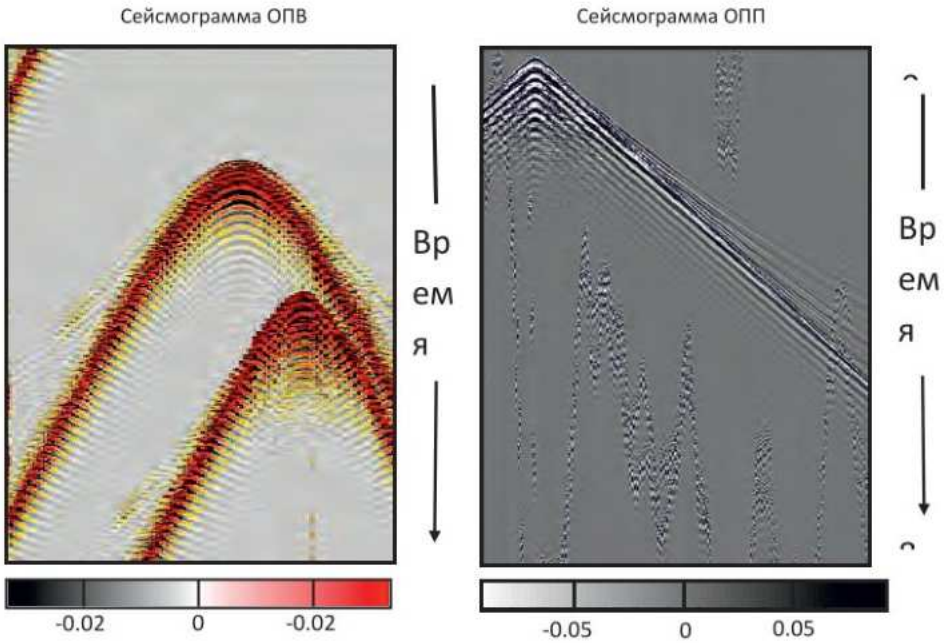


Рис. 2. Пример сейсмограмм общего пункта взрыва (слева) и общего пункта приема (справа), полученных по результатам сейсмической съемки с перекрывающимися источниками. Источник – архив АО «МАГЭ».

Описание метода

Непрерывная сейсмическая запись с приемника, полученная по результатам работ с перекрывающимися источниками, может быть представлена в матричном виде следующим образом:

$$d = Гm \qquad (1)$$

где d – непрерывная сейсмическая запись приемника с сигналом от нескольких источников, $Г$ – матрица смешивания, m – сейсмические данные без шума от перекрывающихся источников.

Уравнение (1) представляет собой прямую задачу смешивания сейсмических данных, известные данные — это запись d и матрица смешивания $Г$, которая показывает, как именно смешаны данные. Данная матрица сконструирована из информации о временах всех выстрелов, произошедших во время работ с несколькими источниками. Неизвестным выступает m, для которой необходимо решить данное уравнение. Задача прямой инверсии и нахождения данных без шума является некорректной и требует регуляризации в связи с тем, что строк в матрице d меньше, чем в матрице m. Для решения данной проблемы предложено использовать алгоритм итеративного жесткого порога (IHT или Iterative Hard Thresholding [3]), что эквивалентно нахождению решения следующей задачи оптимизации:

$$\widetilde{m} = min_d \frac{1}{2}\left|\left|d - Гd\right|\right|_2^2 + \varepsilon\left|\left|S^H d\right|\right|_0 \qquad (2)$$

где S^H – разреженное преобразование, ε – параметр регуляризации, который определяет степень разрежённости в области решения задачи оптимизации.

В качестве разреженного преобразования из всех доступных в сейсморазведке преобразований, таких как F-K преобразование, преобразование Радона, сейслет и курвлет преобразование, авторами было выбрано оконное 3D преобразование Фурье. Оно является наиболее быстрым при применении и требует минимум параметризации (в отличие от преобразований Радона, которые требуют подбора наклона событий). Более того, на преобразование Фурье не влияет пространственный алиасинг, так как события, которые в области Фурье пространственно неоднозначны, остаются когерентными и разреженными в области Фурье и могут быть восстановлены инверсией [2]. Раз-

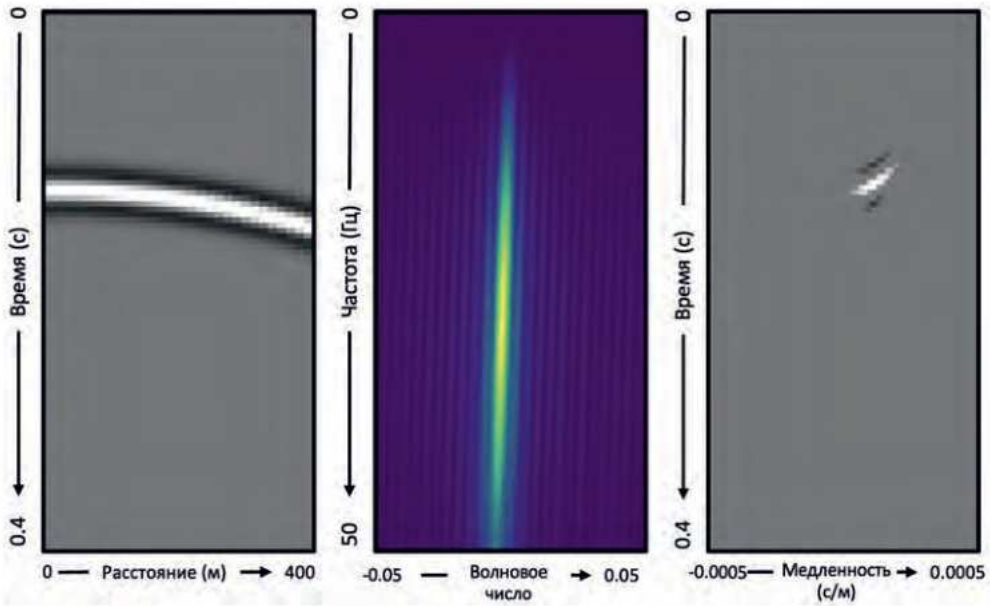


Рис. 3. Синтетическая сейсмограмма (слева), F-K преобразование (по центру), линейное преобразование радона (справа).

реженные преобразования стремятся сконцентрировать сигнал от отражений (Рис. 3.) в одной точке, при этом шум от вторичных источников в области преобразования является некогерентным и не восстанавливается (моделируется) в процессе инверсии.

В целях демонстрации алгоритма разделения сигнала от нескольких источников ниже продемонстрировано выражение для одной *i*-той итерации инверсии:

$$\widetilde{\boldsymbol{m}}_{i+1} = (\boldsymbol{S}^{-1}\boldsymbol{\tau}_i\boldsymbol{S})(\widetilde{\boldsymbol{m}}_i + \boldsymbol{\Gamma}^{\mathbf{H}}(\boldsymbol{d} - \boldsymbol{\Gamma}\widetilde{\boldsymbol{m}}_i)) \quad (3)$$

где S^{-1} – обратное 3D преобразование Фурье, $\boldsymbol{S}$ – прямое 3D преобразование Фурье, $\boldsymbol{\Gamma}^{\mathbf{H}}$ – транспонированная матрица смешивания, $\boldsymbol{\tau}_i$ – оператор порогового значения.

В данной работе авторами был выбран жесткий частотно зависимый порог, где минимальные пороговые значения задаются для каждой частоты в зависимости от исходных данных [9]. Кроме этого, используется оконная версия преобразования Фурье, которая позволяет алгоритму локально применять преобразование в окнах, что существенно повышает разрежённость данных в окне преобразования так как отражения в таких окнах можно аппроксимировать прямыми с небольшим наклоном. Соответственно, уравнение (3) дополняется следующим образом:

$$\widetilde{\boldsymbol{m}}_{i+1} = \sum_{j=1}^{n_w} \boldsymbol{M}_j\boldsymbol{S}_j^{-1}\,\mathbf{T}_{\tau_i(\omega)}\boldsymbol{S}_j\boldsymbol{W}_j\{\widetilde{\boldsymbol{m}}_i + \\ + \boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{\Gamma}\mathbf{H}\boldsymbol{d} - \boldsymbol{\Gamma}\boldsymbol{m}\boldsymbol{i}, \quad (4)$$

где $\boldsymbol{n}_w$ – количество окон преобразования Фурье, $\boldsymbol{W}_j$ – оператор окон Фурье, который разделяет куб исходных данных на окна с областями перекрытия размером в половину заданных окон, $\boldsymbol{M}_j$ – оператор смешивания окон, который снова соединяет их в один куб, $\mathbf{T}_{\tau_i(\omega)}$ – оператор порогового значения, в котором $\boldsymbol{\tau}_i(\boldsymbol{\omega})$ определяет порог для каждой частоты на *i*-той итерации, $\boldsymbol{\alpha}$ – длина шага, которая равна обратному значению максимальной кратности смешивания, а именно, максимальному количеству источников которые смешиваются в одной сейсмограмме.

Алгоритм последовательно реконструирует данные таким образом, чтобы получить их в том виде, как если бы они были получены классическим методом съёмки. При этом, реконструкция начинается с событий, имеющих наибольшую амплитуду и плавно спускается к все меньшим и меньшим амплитудам, завершаясь по достижению либо числа

Алгоритм разделения данных от перекрывающихся источников	
1:	Входные данные: d, Γ, W, M, n_w, α, τ_{max}, $\tau_{\min}(\omega)$, $n_{итер}$
2:	Инициализация: $i = 0, \tilde{m}_0 = 0, R^{-1} = d, \tau_0(\omega) = \tau_{max}, tol = \min \tau_{\min}(w)$
3:	пока $\min \tau_{\min}(w) \geq tol$ & $i \leq n_{итер}$ выполнять следующее
4:	$R^i = d - \Gamma\tilde{m}_i;$
5:	если $\|\|R^i\|\|_2 > \|\|R^{i-1}\|\|_2$ тогда
6:	остановить
7:	$\tilde{m}_{i+1} = \sum_{j=1}^{n_w} M_j S_j^{-1} \mathrm{T}_{\tau_i(\omega)} S_j W_j \{\tilde{m}_i + \alpha \Gamma^{\mathrm{H}} R^i\}$
8:	$\tau^{i+1}(\omega) = \tau_{max} \times 0.9^{i+1}$
9:	если $\tau^{i+1}(\omega) \leq \tau_{min}(\omega)$ тогда
10:	$\tau^{i+1}(\omega) = \tau_{min}(\omega);$
11:	$i = i + 1;$
12:	завершить пока
13:	Возврат $\tilde{m}_i$

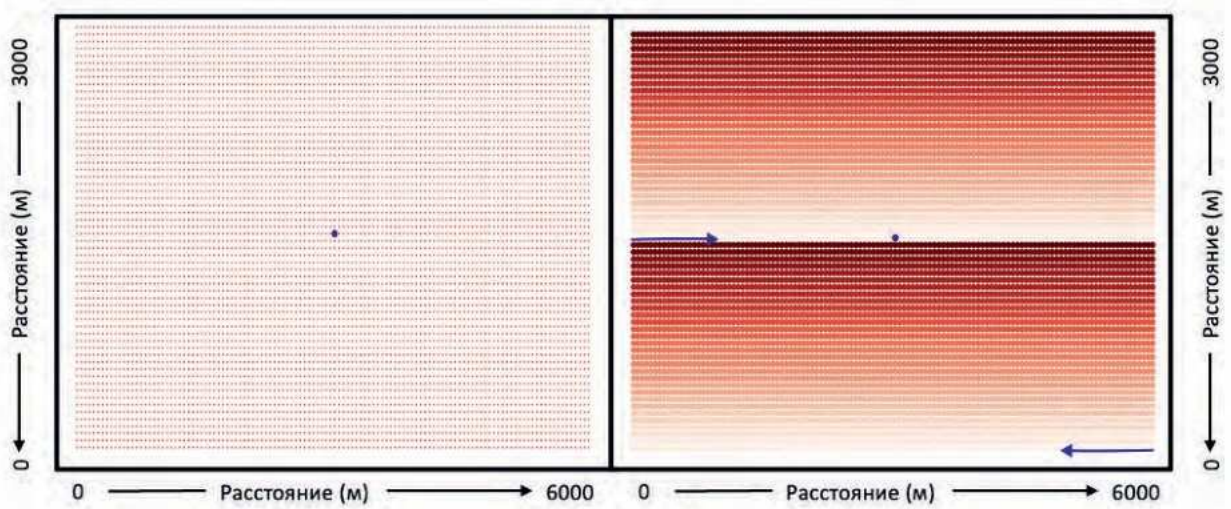
▲ *Табл. 1. Алгоритм разделения данных от перекрывающихся источников.*

итераций, либо заданного порогового значения. Схематично работа алгоритма представлена в таблице 1.

Разделение синтетически смешанных данных

Для тестирования вышеописанного алгоритма был использован набор данных, состоящий из одного пункта приема (одна сейсмограмма ОПП) для 60 линий возбуждения источников, при этом каждая линия состоит из 120 точек возбуждения сигнала. Излучение сигнала производилось по регулярной сети 50x50 метров, общее количество ПВ в данном наборе составило 7200 (Рис. 4).

▼ *Рис. 4. Слева: геометрия съёмки. Синяя точка обозначает координату пункта приема. Красными обозначены координаты пунктов взрыва. Справа: геометрия перекрывающегося отстрела площади. Синими стрелками обозначено направление движения судов-источников. Цветом обозначены абсолютные времена выстрелов с момента начала съемки. Чем «краснее» тем больше время выстрела.*



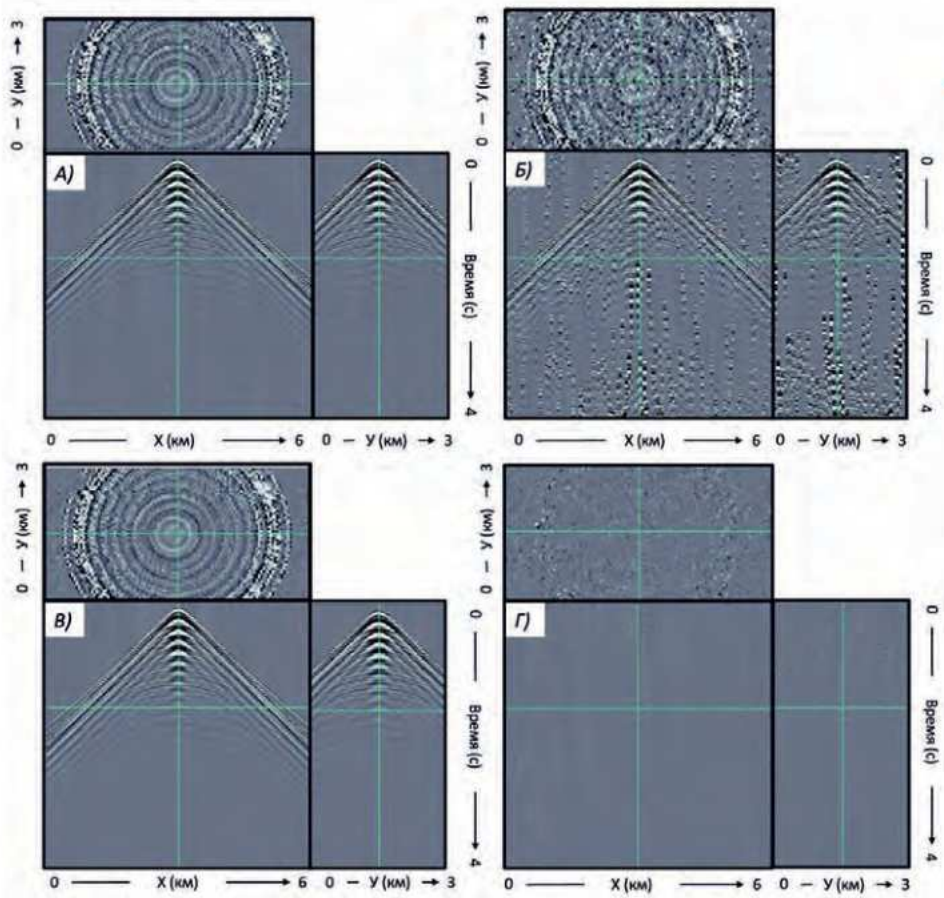


Рис. 5.
А) Исходная сейсмограмма ОПП.
Б) Сейсмограмма ОПП после смешивания согласно описанной выше геометрии отстрела.
В) Результаты после применения алгоритма.
Г) Разница между исходными данными и данными после применения алгоритма (А-В).

В целях оптимизации времени вычислений длина записи была сокращена с первоначальных 8 секунд до 4 секунд. Далее был смоделирован оператор смешивания данных *Г* таким образом, чтобы представить ситуацию, когда два судна выполняют одновременный проход по линиям возбуждения с интервалом между выстрелами 3 секунды со случайным колебанием между выстрелами равным $\pm$ 0.6 секунд взятым из распределения Гаусса. Введение колебания времен выстрелов относительно друг друга необходимо для того, чтобы шум от вторичного источника на сейсмограмме выглядел случайным [2]. Максимальная кратность выстрелов (количество смешанных возбуждений внутри одной сейсмограммы) достигает 4, что соответствует самым современным съемкам, проведенным с перекрывающимися источниками. На рисунке 5 (а) представлена исходная сейсмограмма, на рисунке 5 (б) сейсмограмма после смешивания сигнала от нескольких источников согласно вышеописанным параметрам, на которых выделяется сильный шум от смешивания выстрелов. Результаты применения алгоритма разделения сигнала от перекрывающихся источников и ошибка применения алгоритма приведены на рисунке 5 (в) и 5 (д) соответственно.

Анализ результатов показывает, что алгоритму удалось почти полностью подавить сильный шум, возникающий от перекрывающихся источников. Итоговое соотношение сигнал/шум по результатам применения метода составило 17 дБ. Динамика соотношения сигнал/шум в зависимости от количества итераций алгоритма показана на рисунке 6, из которого видно, что начиная с примерно 100-й итерации соотношение сигнал/шум выходит на плато.

Несмотря на успешное подавление



▲ *Рис. 6. График соотношения сигнал/шум в зависимости от количества итераций алгоритма.*

интерференции от перекрывающихся источников, можно наблюдать небольшие потери полезного сигнала (рис. 5 (г)), особенно в районе от 3 до 4 секунд, где полезный сигнал скрыт под очень сильным шумом. Данная ошибка связана с тем, что алгоритм минимизирует квадрат евклидовой нормы в процессе итераций, но не делает эту разницу равным нулю. Таким образом для получения финального результата для разделения сигнала может потребоваться несколько операций пост-обработки.

Заключение

Методика проведения сейсмической съемки с перекрывающимися источниками открывает большие возможности для уменьшения времени полевых работ и сокращения затрат на их проведение, что в условиях достаточно коротких полевых сезонов на шельфе Российской Федерации является крайне актуальной задачей. В данной работе авторами представлен алгоритм разделения сигналов от перекрывающихся источников на основе разреженной инверсии. Результат применения алгоритма на синтетических данных показывает, что существует возможность подавить шум от вторичных источников с высоким качеством и с минимальными потерями для полезного сигнала.

Литература

1. Ошкин А. Н. и др. Методы минимизации и подавления корреляционных шумов одновременно работающих источников в вибросейсморазведке //Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2019. – №. 1. – С. 98-106.

2. Abma R., Foster M. S. Simultaneous source seismic acquisition. – Society of Exploration Geophysicists, 2020, 205 с.

3. Blumensath T., Davies M. E. Iterative hard thresholding for compressed sensing //Applied and computational harmonic analysis. – 2009. – Т. 27. – №. 3. – С. 265-274.

4. Chen Y. Deblending using a space-varying median filter //Exploration Geophysics. – 2015. – Т. 46. – №. 4. – С. 332-341.

5. Chen Y., Sun Y. Deblending using normal moveout and median filtering in common midpoint gathers //Journal of Geophysics and Engineering. – 2014. – Т. 11. – №. 4. – С. 045012

6. Chen Y. Zhang D., Jin Z. et al. Simultaneous denoising and reconstruction of 5-D seismic data via damped rank-reduction method //Geophysical Journal International. – 2016. – Т. 206. – №. 3. – С. 1695-1717.

7. Gan S., Wang S., Chen Y. et al. Separation of simultaneous sources using a structural-oriented median filter in the flattened dimension //Computers & Geosciences. – 2016. – Т. 86. – С. 46-54.

8. Ibanez W., Hostetler J., Kumar R. et al. Deblending the High Point Broadband Towed-Streamer 3D Seismic Data Using the Multistage Iterative Separation of Simultaneous Sources //First EAGE Guyana-Suriname Basin Conference. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2022. – Т. 2022. – №. 1. – С. 1-5

9. Jeong, W., Tsingas, C. and Almubarak, M.S., 2022. Deblending and merging of 3D multi-sweep seismic blended data. Geophysical Prospecting, 70(2), pp.246-261.

10. Mahdad A. Deblending of seismic data. // Doctoral thesis, TU Delft, Delft University of Technology – 2012.

11. Mahmoudian F. Curtis J., Meersman K. et al. Deblending of simultaneous source data. //Geoconvention conference and exhibition, extended abstracts – 2023 – С. 1 – 8

12. Ravasi M., Seismic deblending with a hard data constraint, IMAGE exhibition abstracts, 2024 – С. 1 – 4

СГК

САМАРСКАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ

samgeo.ru

На рынке
с 2010 года

Оборудование в наличии в г. Самара

Полная
ответственность
за исправность
оборудования



НА СУШЕ
В СКВАЖИНЕ
НА МОРСКОМ ДНЕ
В МОРЕ

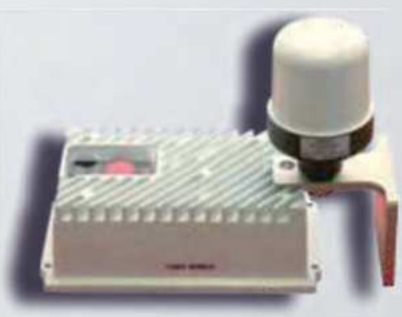


VE464
Электроника управления виброисточниками

// БЕСПИКЕТНЫЙ РЕЖИМ



// УЛУЧШЕННАЯ СВЯЗЬ



// УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ



Влияние допусков контроля качества на возможные изменения харектеристик регистрируемого сигнала при морских сейсмических работах 3D

Горбачев С. В.[1], Лопаткина Э.В.[2],
[1] Высшая школа инновационного бизнеса МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва.
[2] РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва.

Аннотация. *Морские сейсморазведочные работы 3D являются сложным технологическим процессом, в котором задействовано специализированное судно с большим комплексом сейсмического и вспомогательного оборудования. Важным условием получения качественных данных является соблюдение проектных параметров: глубины буксировки пневмоисточников и сейсмоприемников, сепарации между косами и линиями пневмоисточников, номинального рабочего давления компрессоров и других параметров. Помимо технических факторов, влияющих непосредственно на сейсмический сигнал, существенное воздействие на соблюдение проектной геометрии и стабильности работы оборудования оказывают поверхностно-гидрологические условия.*

В работе представлен анализ изменения характеристик сейсмического сигнала на модельных данных в пределах заданных допусков, указанных в Геолого-Технических заданиях, выделены ключевые отклонения, которые влияют на сигнал, а также подготовлены рекомендации по повышению контроля за стабильностью сейсмического оборудования в процессе выполнения полевых работ.

Ключевые слова: *морские сейсморазведочные работы, пневмоисточник, моделирование, контроль качества, характеристики сейсмического сигнала, сигнатура.*

Введение

Во время проведения морских сейсморазведочных работ осуществляется постоянный контроль качества получаемых данных на основании параметров и диапазонов, указанных в Геолого-Техническом задании (ГТЗ). Как уже было представлено в работе [Горбачев С.В., 2023] многие из этих величин подобраны исходя из опыта предыдущих проектов. У специалистов, отвечающих за полевые работы, как правило, нет детального анализа всех параметров и их влияния на качество получаемых сейсмических данных. Поэтому целью представленной работы является показать на модельных данных углубленный анализ влияния возможных изменений работы оборудования в установленных допусках и за их рамками. Рассмотрены параметры, связанные с изменениями работы пневмоисточника (ПИ): давление, синхронизация пневмопушек и задержка возбуждения импульса, а также связанные с влиянием гидрологической обстановки (морские течения и волнения) на характеристики регистрируемого сигнала.

Исходные данные

Для выполнения работы было выбрано специализированное программное обеспечение (ПО) для моделирования конфигурации морских пневмоисточников – Gundalf. Перед основными расчетами были проведены дополнительные исследования существующих иностранных программных пакетов, которые

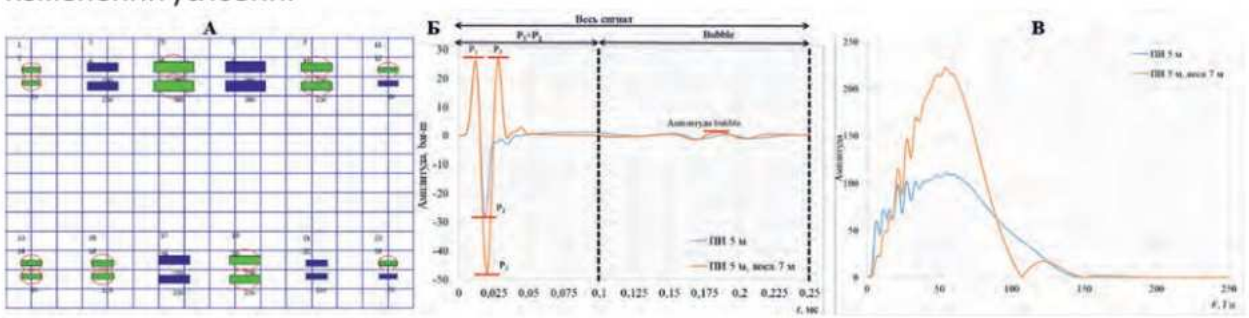
используются в отрасли: Gundalf и Nucleus. Анализ показал, что существуют различия в результатах моделирования характеристик источников (сигнатур) в разных ПО и даже их разных версий, но общий тренд и величины изменений схожи. К сожалению, российских аналогов работоспособного софта на текущий момент на рынке нет.

Анализ был выполнен на примере реальной конфигурации пневмоисточников, применяемой при проведении морских сейсморазведочных работ 3D (Рисунок 1). Она представляет собой две параллельные пневмолинии, каждая из которых состоит из 6 кластеров пневмопушек, по 2 пушки в каждом, объединенные между собой общей штангой и образующих конфигурацию из 14 основных и 10 запасных источников. Общий объем источника (без учета запасных пушек) – 2380 куб. дюйм (39 л). Основными параметрами являются: пиковые амплитуды (положительные (P1) и отрицательные (P2), при учете кратной волны (волны-спутника) со стороны приемника (P3)); отношение P1 к максимальной амплитуде энергии вторичной пульсации (bubble), а также энергии и отклонения функции взаимной корреляции (ФВК) между базовым модельным значением и характеристикой, рассчитанной при изменении условий.

Различия в форме сигнала и амплитудного спектра являются следствием исходных условий моделирования. В одном случае рассчитывается сигнатура только с учётом влияния волны-спутника со стороны источника, в другом с учетом влияния обоих волн-спутников и за источник, и за приемник, то есть накладывается второе кратное отражение от поверхности вода/воздух [Dundurur, 2018]. В работе представлены расчеты с учетом волны-спутника за источник, а при анализе изменения влияния глубины буксировки сейсмокос сигнатура представлена с обеими волнами-спутниками.

При анализе источника и его изменений чаще всего используют оценки всей формы сигнала. С учетом того, что характеристики основной энергии и вторичных пульсаций меняются нелинейно, лучше анализировать как весь сигнал, так и по зонам (Зона 1 – сигнал с волнами-спутниками, зона 2- зона вторичных пульсаций, зона 3 – весь сигнал). На рисунке 1Б и таблице 1 представлены основные характеристики базовых сигнатур.

Рассмотрим ключевые параметры, влияющие на характеристику сигнала, которые контролируются в процессе полевых работ и оцениваются моделированием. В таблице 2 представлены параметры и допуски в соответствии с ГТЗ.



▲ *Рис. 1. Характеристики пневмоисточника: А – схема, Б – сигнатура источника (рассчитанная с волной-спутником за источник (синий) и источника и приемника (красный)), В– амплитудно-частотный спектр сигнала.*

Параметры	При отсутствии волны-спутника, связанной с ПП	При наличии волны-спутника, связанной с ПП
P1, бар*м	26,1	
P2, бар*м	-28,2	-48,0
P3, бар*м	-	26,7
Bubble period (B), с	1,2	1,5
P/B	22,5	17,3
P/P	54,3	74,1
Энергия, Дж	170609,6	

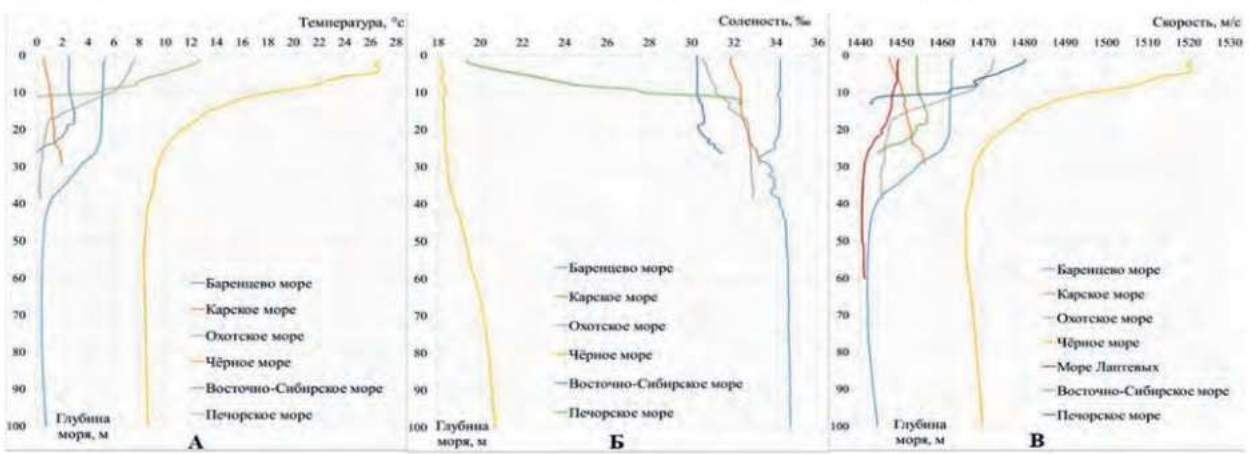
▲ *Табл. 1. Базовые характеристики анализируемого сигнала.*

Параметры возбуждения и регистрации		Допуски по ГТЗ
Глубина буксировки ПИ	5 м	+/-0,5 м
Сепарация между линиями ПИ	10 м	+/-1,25 м
Рабочее давление ПИ	2000 psi	+/-5_%
Синхронизация элементов ПИ	0 мс	<1 мс
Глубина буксировки кос	7 м	+/-1 м
P1	-	не более 10%
P\B	-	не более 15%
ФВК	-	0,9985 или 0,998 (в разных ГТЗ по-разному)

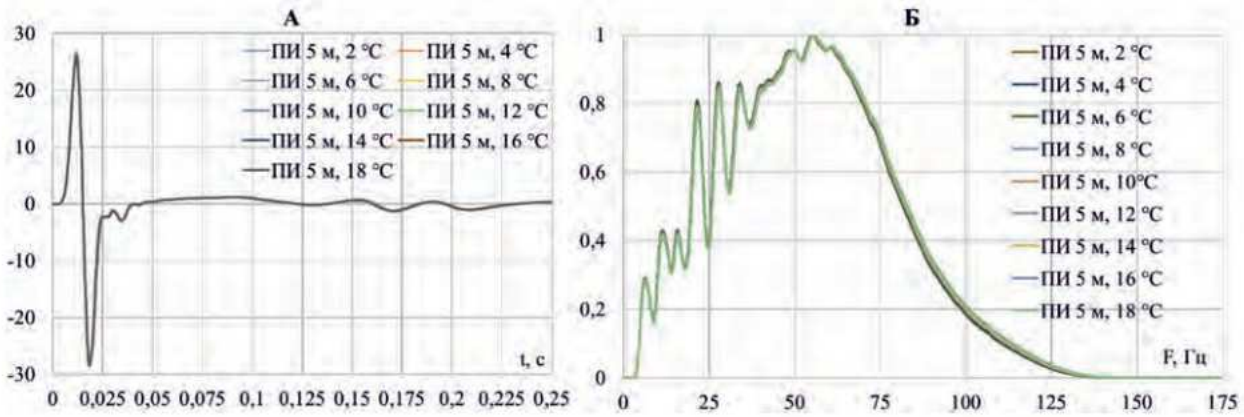
▲ *Табл. 2. Проектные параметры оборудования и допуски по ГТЗ.*

Условия среды

Одним из параметров моделирования является характеристика водного слоя, которая меняется в зависимости от региона, сезона и глубины. Поэтому на начальном этапе были проанализированы реальные результаты наблюдений при проведении морских сейсмических работ 2D, 3D и инженерных изысканий в Баренцевом, Печорском, Карском, Восточно-Сибирском, Охотском и Чёрном морях. Было определено их влияние на модельные сигнатуры. На рисунке 2 представлены графики изменения температуры, солености и скорости распространения упругих волн в водном



▲ *Рис. 2. Тренды изменения для различных морей: А – температуры, Б – солености, В – скорости в водном слое.*



▲ *Рис. 3. Сигнатуры при изменении температуры (скорости распространения волн) водного слоя: А – во временной области, Б – в частотной области.*

слое для анализируемых регионов.

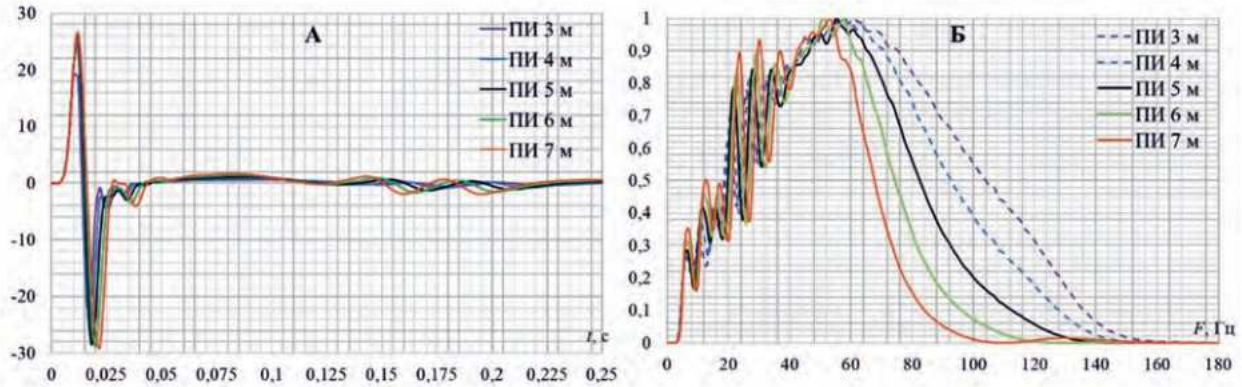
Результаты наглядно показывают, что для северных и южных морей есть существенные отличия, которые необходимо учитывать при работе.

Для моделирования и оценки влияния изменения параметров водного слоя был выбран температурный диапазон от 2°С до 18°С, что соответствует скоростям распространения волны от 1458 м/с до 1516 м/с. За базовое значение было взято 10°С (для условий Охотского моря). На рисунке 3 представлены результаты моделирования сигнатур и их амплитудно-частотные спектры. Стоит отметить, что при анализе учитывалось изменение только температуры и скорости распределения упругих волн, то есть значение солености было зафиксировано.

Как отмечалось ранее, все модельные сигнатуры необходимо анализировать по нескольким зонам. Все отклонения амплитуд были рассмотрены относительно базовой сигнатуры. В таблице 3 показаны отклонения, по которым можно сделать выводы, что при изменении температуры воды происходит изменение характеристик сигнала. Изменение приводит к искажению пиковых амплитуд и как следствие, энергии сигнала. При этом видно, что отклонение температуры в диапазоне 2х°С соответствует требованиям ГТЗ по отклонению значений ФВК. Из этого можно сделать вывод, что при проведении полевых работ необходимо детально контролировать и регистрировать характеристики водной толщи для последующего учета на уровне обработки. Если для проектов 2D и 3D это может быть не столь существенным, то для проектов 4D недоучет изменений скоростей в водном слое может вносить существенные искажения.

▼ *Табл. 2. Изменение основных рассматриваемых характеристик сигнатур в зависимости от температуры водного слоя.*

Отклонение	P1, %	P2, %	P/B, %	Энергия, %	ВКФ 0-0,25с	ВКФ 0-0,1с	ВКФ 0,1-0,25с
-8 °С	-1,1	1,1	3,1	-3,2	99,931	99,933	99,648
-6 °С	-0,8	0,7	2,2	-1,7	99,961	99,963	99,806
-4 °С	-0,4	0,0	1,3	-1,1	99,985	99,985	99,916
-2 °С	0,0	0,0	0,4	-0,5	99,996	99,996	99,979
+2 °С	0,4	-0,4	-0,9	0,5	99,997	99,997	99,979
+4 °С	0,8	-0,7	-1,3	1,1	99,987	99,987	99,913
+6 °С	1,1	-1,1	-1,8	1,5	99,973	99,974	99,801
+8 °С	1,1	-0,7	-2,2	1,3	99,954	99,956	99,644



▲ *Рис. 4. Примеры изменения сигнатуры источника при разных глубинах: А – во временной области, Б – в частотной области.*

Изменение характеристик сигнала в связи с изменениями условий возбуждения и приема

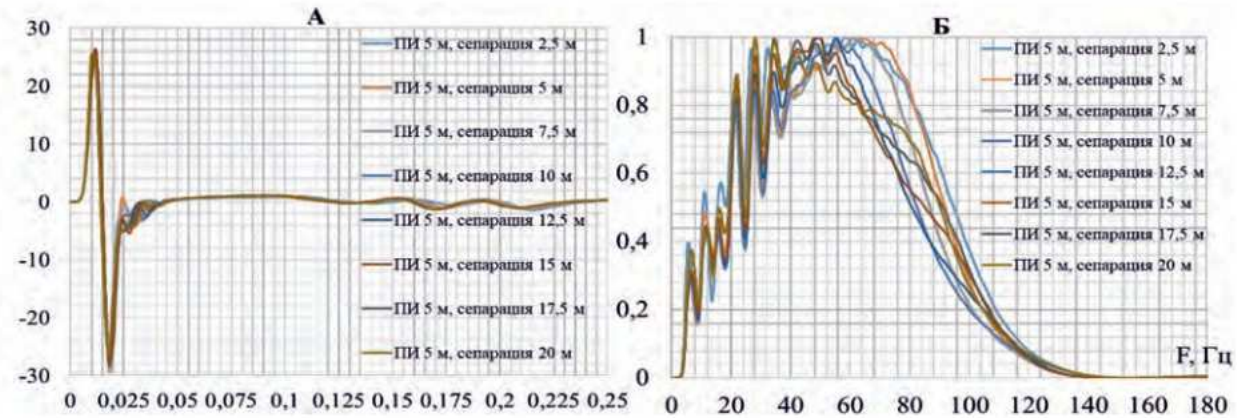
С учетом особенностей проведения морских сейсморазведочных работ при буксировке источников и приемников в водном слое, на них влияют гидрологические и метеорологические условия: ветра, шторма, течения и т.д. Это приводит к смещению положения оборудования в пространстве и, как следствие, к изменению характеристик генерируемого и впоследствии регистрируемого сигнала.

С учетом накопленной статистики по многим проектам, основные изменения источника связаны с отклонением глубины от заданной и изменением сепарации между пневмолиниями в связи с влиянием гидрологической модели. При проектном заглублении источника 5 м были проанализированы отклонения +/- 2 м с шагом 0,25 м. На рисунке 4 представлен результат моделирования 16-ти сигнатур с изменением заглубления (для удобства отображения графики отображены с шагом 1 м).

В таблице 4 представлено цифровое сравнение параметров и их отклонений. Цветом выделены допуски по параметру заглубления пневмоисточника, закреплённые в геолого-технических заданиях. Важно отметить, что уменьшение заглубления пневмоисточника влияет в разы больше, чем увеличение заглубления. Можно видеть, что амплитуда источника (P1) и критерий 10% выдерживается до уменьшения глубины чуть более 1 м, при

▼ *Табл. 4. Изменение параметров сигнатуры в связи с изменением глубины источника.*

Отклонение	P1, %	P2, %	P/B, %	Энергия, %	ВКФ 0-0,25с	ВКФ 0-0,1с	ВКФ 0,1-0,25с
-2	26,8	23,4	-37,8	39,0	84,189	84,490	36,514
-1,75	21,8	22,7	-30,7	28,1	87,358	87,631	44,818
-1,5	16,5	14,9	-32,4	21,7	90,309	90,543	54,765
-1,25	11,5	8,5	-31,6	17,0	92,987	93,173	65,465
-1	7,7	3,2	-28,0	9,1	95,343	95,479	75,963
-0,75	4,6	-0,4	-22,7	3,4	97,340	97,427	85,467
-0,5	2,3	-2,1	-15,1	11,7	98,802	98,845	93,144
-0,25	0,8	-2,1	-7,1	5,1	99,698	99,710	98,206
+0,25	-0,8	3,2	6,7	-5,5	99,713	99,726	98,235
+0,5	-1,5	3,2	11,6	-7,1	98,872	98,924	93,131
+0,75	-1,5	-0,7	14,7	-11,9	97,504	97,623	84,945
+1	-1,9	-2,1	18,2	-6,9	95,664	95,877	74,207
+1,25	-1,9	-2,1	22,2	-11,3	93,398	93,728	61,624
+1,5	-1,5	-0,7	31,1	-15,8	90,782	91,248	47,991
+1,75	-1,5	2,1	43,6	-20,1	87,907	88,517	34,124
+2	-1,1	-3,2	50,2	-22,5	84,836	85,595	20,704



▲ *Рис. 5. Примеры сигнатур при изменении сепарации между линиями пневмоисточников: А – во временной области, Б – в частотной области.*

этом P/B при критерии 15% выдерживается до глубин, соответствующих ГТЗ. Самые существенные изменения происходят с ФВК. Даже при минимальном изменении в 0,25 м, значение ФВК равно 99,7, что существенно меньше установленного в ГТЗ. Анализ показывает, что глубина буксировки ПИ существенно влияет на характеристики сигнала и ее стабильность, поэтому целевого значения необходимо максимально придерживаться.

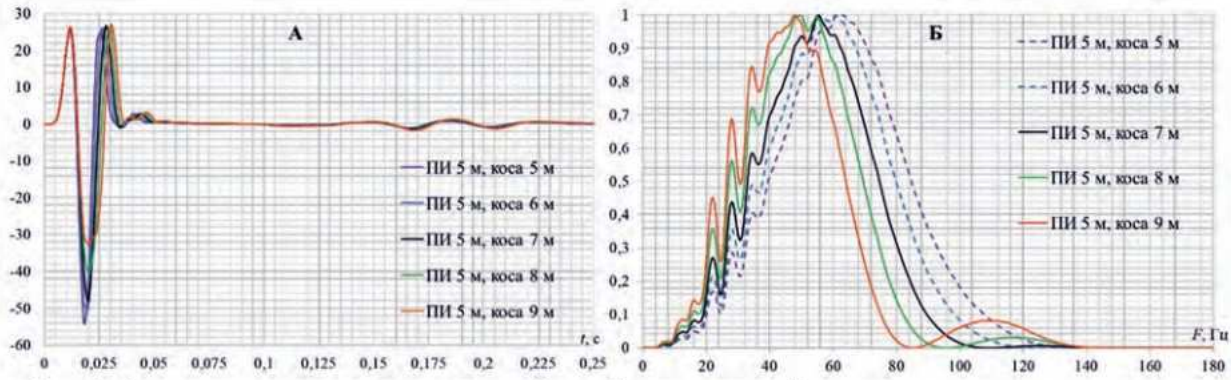
Помимо влияния на вертикальное положение пневмоисточников, гидрологическая обстановка, в том числе и кильватерная струя от винтов, воздействует на геометрию внутри группы источников, то есть положение линий пушек относительно друг друга. Для рассмотрения этого случая были смоделированы ситуации, когда меняется поперечное расстояние (crossline-сепарация). При базовом расстоянии 10 м, были смоделированы изменения от 2,5 до 20 м с шагом 2,5 м. На рисунке 5 представлены результаты моделирования и спектры сигналов.

В таблице 5 представлены сводные значения изменений. Видно, что при изменении расстояния между линиями происходи изменение P1, но даже при существенном изменении до 5 метров амплитуда меняется лишь на 1%. ФВК отличается от базовых значений, но не так существенно, как при изменении глубины.

Помимо изменения геометрической конфигурации источников, также в процессе полевых работ происходит отклонение забортного регистрирующего оборудования (сейсмокос). Это связано как с описанными выше причинами, так и с изменением плотности/солености воды при работе в прибрежных зонах, что приводит к изменению глубины

▼ *Табл. 5. Изменение характеристик сигнатур в зависимости от расстояния между линиями ПИ.*

Отклонение	P1, %	P2, %	P/B, %	Энергия, %	ВКФ 0-0,25с	ВКФ 0-0,1с	ВКФ 0,1-0,25с
-7,5	5,7	7,1	3,6	-18,1	94,387	94,624	67,074
-5	1,1	-3,2	-5,3	-7,6	99,262	99,329	90,786
-2,5	0,0	-2,1	-4,0	-1,3	99,790	99,797	98,858
-1,25	0,0	-1,1	-1,8	-2,4	99,948	99,949	99,798
+1,25	0,0	0,7	1,3	4,3	99,951	99,951	99,894
+2,5	0,0	1,1	2,2	4,9	99,822	99,823	99,682
+5	-0,4	1,4	3,6	6,6	99,484	99,486	99,241
+7,5	2,7	6,0	4,9	11,8	95,757	95,758	95,711
+10	2,7	6,0	4,4	12,5	95,749	94,624	67,074

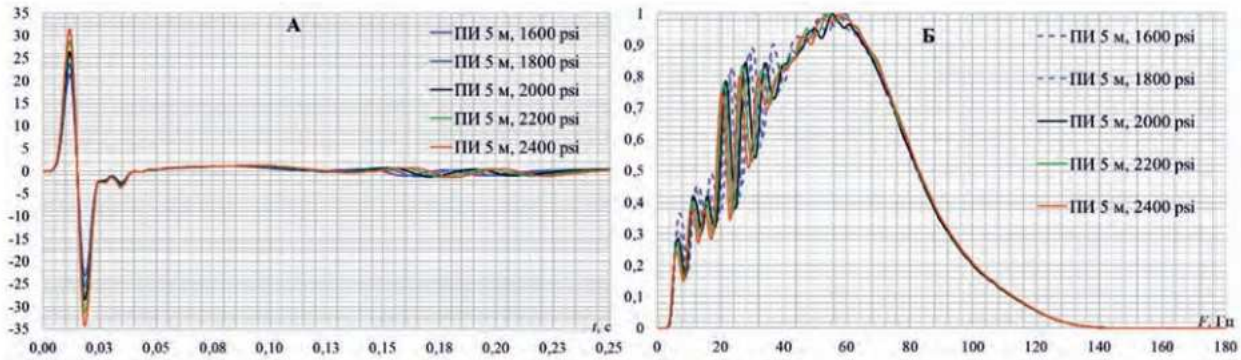


▲ *Рис. 6. Сигнатуры при изменении глубины буксировки сейсмокос: А – во временной области, Б – в частотной области*

буксировки. В работе проанализировано изменение глубины приема в +/-2 м с шагом 0,25 м относительно базового заглубления 7 м. На Рисунке 6 представлен результат моделирования, в таблице 6 представлены результаты анализа в цифровом виде в соответствии с принятыми параметрами контроля. Можно видеть, что при изменении глубины приема, амплитуда P1 не меняется (что логично), при этом амплитуда P2 и P3 существенно меняются. При уменьшении глубины они уменьшаются, а при увеличении увеличиваются, при этом не одинаково в разные стороны. Также можно видеть, что амплитудно-частотный спектр существенно меняется, при увеличении глубины смещается режекторная частота (провал в связи с наложением кратной волны от водного слоя) в сторону низких частот, уменьшая энергию высоких. Если рассмотреть изменения с точки зрения ГТЗ (Таблица 6), то при требовании +/-1м, можно видеть, что по P2 данные находятся в допустимых пределах, но по ФВК уже на 0,25 м не соответствуют. В реальных условиях, при работе в прибрежной зоне с выходом рек и выносом пресной воды, происходит существенное изменение характеристик водного слоя, что может приводить к локальным изменениям глубины сейсмических кос на 5-10 метров. Поэтому изменение глубины источника и приемников необходимо отслеживать и на этапе обработки, особое внимание уделять зонам, где есть существенные отклонения при процедурах подавления вторичных пульсаций газового пузыря, образованного пневмоис-

▼ *Табл. 6. Изменение характеристик сигнатур в зависимости от глубины буксировки сейсмокос.*

Отклонение	P1, %	P2, %	P3, %	P/B, %	Энергия,%	ВКФ 0-0,25с	ВКФ 0-0,1с	ВКФ 0,1-0,25с
-2	0,0	-12,7	5,6	-20,8	0,0	84,121	84,097	97,630
-1,75	0,0	-11,0	2,2	-18,5	0,0	87,574	87,555	98,185
-1,5	0,0	-8,5	0,4	-13,3	0,0	90,682	90,667	98,666
-1,25	0,0	-5,2	0,7	-9,2	0,0	93,405	93,394	99,074
-1	0,0	-4,6	2,6	-8,1	0,0	95,706	95,698	99,408
-0,75	0,0	-5,2	2,6	-9,8	0,0	97,547	97,543	99,667
-0,5	0,0	-4,4	2,2	-9,8	0,0	98,895	98,893	99,852
-0,25	0,0	-2,5	1,5	-4,0	0,0	99,721	99,720	99,963
+0,25	0,0	3,3	0,4	4,0	0,0	99,717	99,717	99,963
+0,5	0,0	7,1	2,2	6,9	0,0	98,866	98,864	99,854
+0,75	0,0	11,3	2,2	8,7	0,0	97,453	97,447	99,672
+1	0,0	15,4	1,9	15,6	0,0	95,496	95,485	99,420
+1,25	0,0	19,8	-1,9	19,7	0,0	93,026	93,009	99,097
+1,5	0,0	24,2	-3,7	23,7	0,0	90,091	90,064	98,705
+1,75	0,0	28,1	-3,4	26,6	0,0	86,748	86,711	98,245
+2	0,0	31,7	-0,4	29,5	0,0	83,070	83,020	97,718



▲ *Рис. 7. Сигнатуры при изменении давления в линиях пневмоисточника: А – во временной области, Б – в частотной области.*

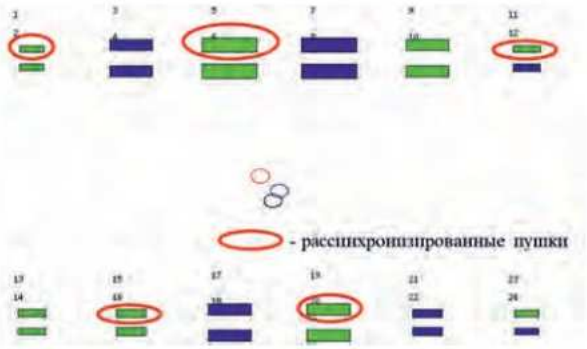
точником (debubbling) и подавления волн-спутников (deghosting).

Изменения технических характеристик работы оборудования

При проведении работ кроме влияния среды могут быть отклонения в технической работе оборудования, которые также описаны допусками и которые можно промоделировать. К ним относится изменение давления и синхронизация отдельных элементов группы пневмоисточников. Было прогнозировано изменение давления от 1600 до 2400 psi при базовом давлении 2000 psi и допусках ГТЗ +/-5% (+/- 100 psi). На рисунке 7 и в таблице 7 представлен результат анализа сигнатур, цветом выделены допуски по давлению, используемые в геолого-технических заданиях. Наибольшие изменения связаны с низкими частотами и энергией вторичных пульсаций. Поддержание давления в пределах допусков приводит к максимальному изменению положительной пиковой амплитуды (P1) на +/-5%, P/B меняется в пределах от -2,2% до 2,2%, функция взаимной корреляции находится в диапазоне 99,950-99,998 (для окна 0,25 с). Контроль давления и поддержание его в заданном коридоре наиболее простое средство для получения стабильных характеристики источника, так как это зависит от настройки оборудования. С учетом

▼ *Табл. 7. Изменение характеристик сигнатур в зависимости от давления в линиях пневмоисточника*

Отклонение	P1, %	P2, %	P/B, %	Энергия,%	ВКФ 0-0,25с	ВКФ 0-0,1с	ВКФ 0,1-0,25с
-400 psi	18,4	18,8	9,8	31,0	99,347	99,984	19,042
-300 psi	14,6	15,2	8,9	25,0	99,579	99,990	47,980
-200 psi	9,6	10,3	4,9	17,0	99,802	99,996	75,095
-150 psi	7,3	7,8	4,0	12,9	99,887	99,998	85,753
-100 psi	5,0	5,0	2,2	8,7	99,950	99,999	93,634
-80 psi	3,8	4,3	1,3	7,0	99,968	99,999	95,931
-60 psi	2,7	3,2	0,9	5,2	99,982	100,000	97,718
-40 psi	1,9	2,1	0,9	3,5	99,992	100,000	98,991
-20 psi	0,8	1,4	0,4	1,8	99,998	100,000	99,749
+20 psi	-1,1	-0,7	0,0	-1,8	99,998	100,000	99,756
+40 psi	-1,9	-2,1	-0,4	-3,5	99,992	100,000	99,031
+60 psi	-3,1	-2,8	-0,9	-5,3	99,983	100,000	97,846
+80 psi	-3,8	-3,9	-1,8	-7,2	99,971	99,999	96,225
+100 psi	-5,0	-5,0	-2,2	-9,0	99,955	99,999	94,196
+150 psi	-7,3	-7,4	-3,6	-13,6	99,904	99,998	87,543
+200 psi	-10,0	-9,9	-4,9	-17,9	99,838	99,997	79,043
+300 psi	-14,9	-14,9	-7,6	-27,9	99,682	99,992	58,671
+400 psi	-19,5	-20,2	-8,9	-37,8	99,516	99,987	37,211



▲ *Рис. 8. Выбор пушек для анализа.*

реального опыта проектов данный параметр можно уменьшать с 5% до 2% (40 psi) или 3% (60 psi).

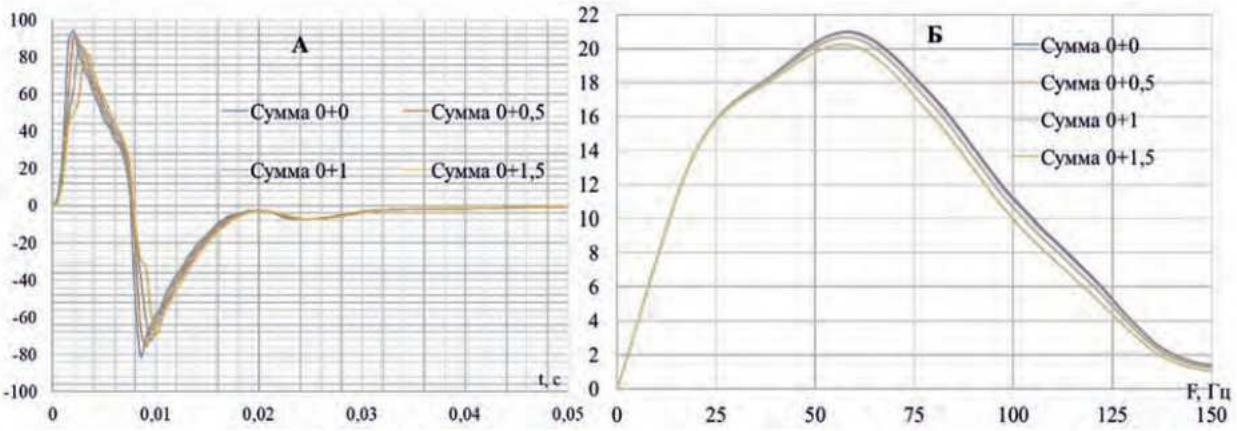
Следующий параметр, который необходимо контролировать, это синхронизация единичных пушек в группе пневмоисточников. Как отмечалось ранее, группа источников состоит из 14 основных пушек разных объемов. Если уточнять, то в кластерах представлены пушки объемом от 70 до 380 куб. дюйм. Все пушки должны срабатывать в определенный момент времени синхронно, но из-за аппаратурных неполадок или неисправности пушки может произойти рассинхронизация. Следовательно, необходимо рассмотреть описанную ситуацию на примере пушки каждого объема (Рисунок 8, Таблица 8). В соответствии с ГТЗ возможно допуск синхронизации не более 1 мс, поэтому была рассмотрена величина изменений на 0,5 мс, 1 мс и 1,5 мс для каждой пушки по-отдельности. Наибольшее влияние оказывает изменение синхронизации пушки с объемом 380 куб. дюйм. Пиковая амплитуда (P1) в этом случае меняется на 0,4-2,7%, параметр P/B на 0,9-4%, функция взаимной корреляции находится в пределах от 0,9987-0,9998. Наименьшее влияние оказывают пушки с меньшими объемами и с меньшими значениями рассинхронизации.

Помимо рассинхронизации отдельных пушек, возможна аппаратурная задержка при возбуждении колебаний. Чтобы смоделировать такую ситуацию, необходимо просуммировать сигнатуры без смещения и с заданным смещением. Максимальная задержка при срабатывании пневмопушки на пункте возбуждения равна 1 мс, но стандартный шаг дискретизации по времени для морских сейсморазведочных работ равен 2 мс. Следовательно, для более детального рассмотрения и ввода сдвига, сигнатуры были смоделированы с шагом 0,5 мс.

Далее производилось попарное суммирование без нормирования, то есть сигнал без сдвига складывался с

▼ *Табл. 8. Изменение характеристик сигнатур в зависимости от рассинхронизации и объема пушек.*

Объем пушки, куб.д	70					
Отклонение от базового параметра	P1, %	P2,%	P/B, %	ВКФ 0 - 0,25 с, %	ВКФ 0 - 0.05 с, %	ВКФ 0,05 - 0,25 с, %
0,5 мс	0,0	0,4	0,0	99,998	99,998	100,000
1 мс	0,0	0,7	0,0	99,995	99,995	99,999
1,5 мс	0,0	0,7	0,0	99,989	99,989	99,998
Объем пушки, куб.д	90					
0,5 мс	-0,4	0,7	0,0	99,994	99,980	99,958
1 мс	0,0	0,7	0,0	99,994	99,980	99,958
1,5 мс	0,0	1,8	0,4	99,996	99,983	99,960
Объем пушки, куб.д	110					
0,5 мс	0,0	0,7	0,0	99,993	99,993	99,999
1 мс	0,0	1,1	0,0	99,984	99,984	99,998
1,5 мс	0,0	1,4	0,0	99,970	99,969	99,995
Объем пушки, куб.д	230					
0,5 мс	0,0	1,1	0,4	99,988	99,988	99,997
1 мс	0,4	2,5	0,9	99,963	99,963	99,992
1,5 мс	1,1	3,5	1,8	99,928	99,927	99,981
Объем пушки, куб.д	380					
0,5 мс	0,4	1,8	0,9	99,978	99,977	99,995
1 мс	1,5	3,5	2,2	99,934	99,933	99,991
1,5 мс	2,7	5,7	4,0	99,873	99,871	99,981



▲ *Рис. 9. Модельные сигнатуры с результатами попарного суммирования: А – во временной области, Б – в частотной области.*

сигналом со сдвигом 0,5 мс, потом сигнал без сдвига суммировался с другими сигналами (сдвиг 1 мс и 1,5 мс). Результаты суммирования представлены на рисунке 9. Наибольшее искажение вносит рассинхронизация в 1,5 мс. Но искажение формы сигнала наблюдается и при сдвиге 1 мс и 1,5 мс. Для сдвига 0,5 мс функция взаимной корреляции в окне полезной составляющей равна 0,9857, в окне по всему сигналу – 0,9859. Для сдвига 1 мс функция взаимной корреляции в окне полезной составляющей равна 0,9547, в окне по всему сигналу – 0,9554. Для сдвига 1,5 мс функция взаимной корреляции в окне полезной составляющей равна 0,9201, в окне по всему сигналу – 0,9214. Из рисунка 9 следует вывод, что наибольшие искажения происходят в области полезной составляющей. Стоит отметить, что при сдвиге 1,5 мс на амплитудном спектре наибольшие искажения наблюдаются в области высоких частот.

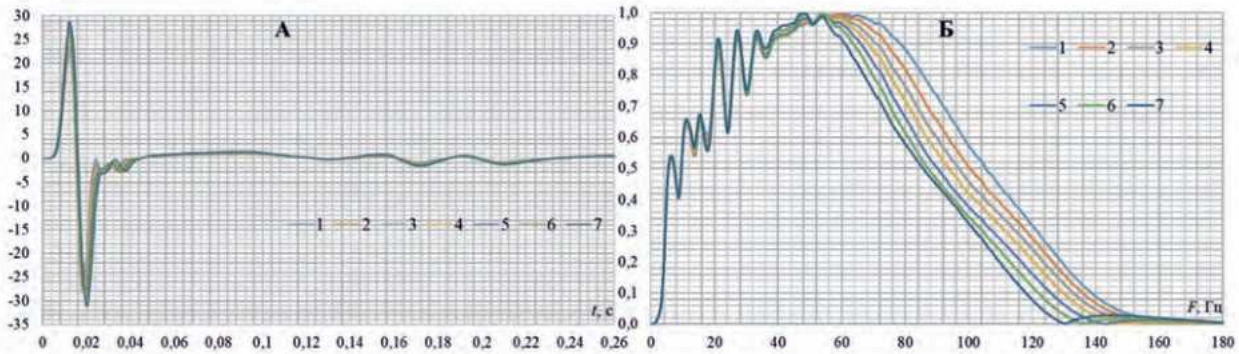
Комплексное влияние параметров

В реальных проектах все параметры, искажающие сигнал, могут действовать одновременно. Например, при изменении гидрологической обстановки может поменять как заглубление пневмоисточника и сейсмокосы, так и расстояние между линиями ПИ, возможны скачки давлений и рассинхронизация. Для комплексного анализа влияния всех характеристик были смоделированы ситуации, когда происходит одновременное изменение разных параметров (Таблица 9). Для каждого из вариантов были рассчитаны сигнатуры и проведено их сравнение. На рисунке 10 представлены модельные сигнатуры для случая отсутствия волны-спутника со стороны приёмника.

Варианты 2-6 описывают ситуацию, когда все изменения проектных параметров варьируются в пределах допусков из ГТЗ, базовое значение вариант 4. Случаи 1 и 7 описывают ситуацию, когда измене-

▼ *Табл. 9. Исходные данные для комплексного анализа изменений.*

Параметры / Варианты сигнатур	1	2	3	4	5	6	7
Глубина ПИ, м	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75
Давление, psi	1800	1900	1950	2000	2050	2100	2200
Сепарация ПИ, м	7,5	8,75	9,5	10	10,5	11,25	12,5
Синхронизация, мс	0,6	0,5	0,25	0	0,25	0,5	0,6



▲ *Рис. 10. Сигнатуры при комплексном влиянии разных факторов и амплитудно- частотные спектры.*

ния выходят за пределы допустимых критериев. В таблице 10 представлено сравнение относительно базового значения и оценено изменение в пределах допусков.

При комплексном рассмотрении влияния изменений некоторых параметров можно сделать выводы, что пиковая амплитуда P1 и параметр P/B меняются в пределах допусков 10% и 15% соответственно, при этом ФВК при граничных условиях допусков уже не соответствует требованиям ГТЗ. При совместном влиянии всех искажающих сигнал факторов степень искажения намного выше, чем при их влиянии поодиночке.

Заключение

С учетом особенностей технологии выполнения морских сейсморазведочных работ невозможно добиться идеального положения системы наблюдений, фиксированной на проектных значениях. За счет влияния как технических, так и гидрологических условий всегда при морских работах не будет идентичных характеристик возбуждения и регистрации сейсмического сигнала. То есть к данным морской сейсморазведки необходимо также применять поверхностно-согласованные процедуры обработки для стабилизации сигнала за пункт возбуждения и приема. Особенно детально подходить к процедурам deghosting, debubbling и подавления кратных волн с учетом изменения формы сигнала и возможных задержек.

Моделирование характеристик морских пневмоисточников и оценка вариантов их изменений в результате технологических или гидрологических изменений является важным элементом планирования работ и выработки корректных параметров полевого контроля качества.

Выполненный в работе детальный анализ изменения некоторых парамет-

▼ *Табл. 10. Отклонение параметров при комплексном влиянии разных факторов.*

Номер	P1, %	P/B, %	ВКФ 0-0,25 с	ВКФ 0-0,05с	ВКФ 0,05-0,25с
1	12,3	-19,6	0,9904	0,9904	0,9926
2	6,1	-11,6	0,9948	0,9948	1,000
3	2,7	-5,3	0,9989	0,9989	0,9997
4	0	0	1	1	1
5	-3,4	7,1	0,9874	0,9871	0,9997
6	-5,7	8,9	0,9510	0,9500	0,9992
7	-10,3	13,3	0,9133	0,9114	0,9938

ров контроля качества позволяет понять, как те или иные параметры и отклонения влияют на сейсмический сигнал, продумать в каком случае мы можем компенсировать эти отклонения на этапе обработки и тем самым оптимизировать дорогостоящие полевые морские работы без существенного влияния на решение геологических задач.

С учетом проделанного анализа можно сделать выводы, что некоторые указанные в ГТЗ параметры неоптимальны и по-разному влияют на характеристики возбуждаемого и регистрируемого сигнала. Рекомендуется перед каждым полевым сейсмическим проектом проводить комплекс аналитических оценок характеристик предлагаемых источников, стабильности работы оборудования по опыту предыдущих проектов этого судна, оценивать особенности гидрологической обстановки и на основании этого корректировать параметры и допуски в ГТЗ.

В данной работе проанализированы не все варианты возможного изменения характеристик сигнала, работа продолжается в направлении анализа «азиумальности» источника и регистрации данных, а также проработки алгоритмов обработки по корректному учету отклонений на уровне камеральных работ.

Литература

1. Горбачев С.В. Планирование уровневой системы контроля качества полевых сейсморазведочных работ на шельфе для повышения эффективности проектов // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, № 3 (78), 2023, с 6-14.

2. Горбачев С.В., Титов А.Б., Обметко В.В., Рейдик Ю.В. Особенности планирования и выполнения 3D сейсморазведочного проекта в условиях предельного мелководья шельфа Печорского моря// Нефтяное хозяйство, №06, 2021.

3. Гуленко В.И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки. Краснодар, 2003.

4. Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л. Потенциальная эффективность группирования источников в морской сейсморазведке // Прикладная геофизика. Вып. 82. М.: Недра, 1976.

5. Лопаткина Э.В. Горбачев С.В., Титов А.Б., Анализ и выбор оптимальных допусков работы пневмоисточника при морских сейсморазведочных работах с буксируемым оборудованием // Международная геолого-геофизическая конференция и выставка «ГеоЕвразия-2024», Москва, 12-14 марта 2024.

6. Титов А.Б., Горбачев С.В. Элементы контроля качества морских сейсморазведочных работ с буксируемым оборудованием // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, № 1 (555), 2016, с 32-34.

7. Dragoset W. H., Hargreaves N., Larner K. Air Gun Source Instabilities and Shot-by-Shot Signature Deconvolution, Geophysics, 2003.

8. Dundurur D., Acquisition and Processing of Marine Seismic Data //– Amsterdam: Elsevier, 2018. – 598 с.

9. Hopperstad J.F., Laws R. Source Signature Estimation - Attenuation of the Seafloor Reflection Error in Shallow Water, 2006.

10. Parkes G., Hatton L. The Marine Seismic Source // – Dordrecht: Springer Science + Business Media, 1986. – 114 с.

Влияние случайной задержки между возбуждением сигналов при перекрывающемся отстреле на характер наблюдаемого шума

Казанин Г.А.[1,2], Гайнанов В.Г.[2], Базилевич С.О.[1]
[1]АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция», Мурманск
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. *При выполнении сейсморазведочных работ с перекрывающимся отстрелом несколькими источниками изменение задержки от выстрела к выстрелу играет значительную роль. В данной работе представлены теоретические и практические аспекты влияния задержки на характер шума от перекрывающихся источников. Показаны результаты моделирования шума от перекрывающихся источников для разных значений случайной задержки. Проанализирован полевой материал опытно-методических работ, проведенных с перекрывающимися источниками и сделан вывод о том, что при полевых работах необходимо вводить аппаратную случайную задержку к временам выстрелов со значениями не менее ±0.25 с.*

Введение

На сегодняшний день данные сейсморазведочных работ остаются основным методом получения достоверной геолого-геофизической модели месторождений углеводородов. Помимо сейсморазведочных работ с буксируемыми косами, широкое применение получили методы сейсморазведки с донным оборудованием с использованием кабелей или донных автономных станций. По мере роста доли работ с донным оборудованием, совершенствуются и методики отработки, позволяющие получить увеличение производительности и уменьшающие потребляемые временные и денежные ресурсы. Одной из таких методик является отработка площади сейсморазведочных работ двумя и более источниками одновременно, буксируемыми одним или несколькими судами (с перекрывающимся возбуждением). В этом случае остро встает вопрос разделения волновых полей от каждого источника, в том числе и в зонах интенсивной интерференции сигнала.

В последние годы методика выполнения полевых сейсмических работ 3D с перекрывающимся возбуждением сигналов несколькими источниками стала все шире использоваться в морской сейсморазведке [4]. Однако при использовании перекрывающихся источников возникает интерференции от перекрывающихся взрывов на сейсмических записях, что приводит к необходимости разделения сигналов от разных источников на первичном этапе обработки данных. Стандартным методом [3] выполнения данной процедуры является применение разреженной инверсии. Данный метод разделения волновых полей от разных источников во многом основывается на том, что в сортировке сейсмограмм по общему пункту приема сигнал от вторичных источников представляется как случайный, некогерентный шум. Надежность и качество выполнения данной процедуры зависит от следующих факторов [7]:

а. количество источников, возбуждаемых в любой момент времени

б. временная задержка между разными источниками

в. степень случайности задержки между последовательными выстрелами

г. диаграмма направленности вол-

нового поля, регистрируемая приемником от всех источников, возбуждаемых одновременно

Данные факторы диктуют степень и характер шума возникающей интерференции. Наибольшее влияние оказывает случайность задержки между выстрелами [2].

В данной статье рассматриваются причины введения случайной задержки между последовательными выстрелами одного судна при выполнении работ с перекрывающимися источниками и оценивается влияние этой задержки на характер шума, возникающего при интерференции источников.

Теория

Согласно прямой сейсмической модели [5] матрица сейсмических данных P может быть представлена как умножение матрицы источников S, матрицы импульса земли X, и матрицы приемников D, при этом каждая из этих матриц относится к одному частотному компоненту:

$$P = DXS \qquad (1)$$

Процесс прямого смешивания сейсмических данных от разных источников может быть описан путем введения матрицы смешанных источников $S_{см.}$:

$$S_{см.} = SГ \qquad (2)$$

где, $Г$ является матрицей смешивания, показывающей как именно смешаны сигналы от перекрывающихся источников. Следовательно, данные $P_{см.}$ с сигналом от нескольких перекрывающихся источников можно представить следующим образом:

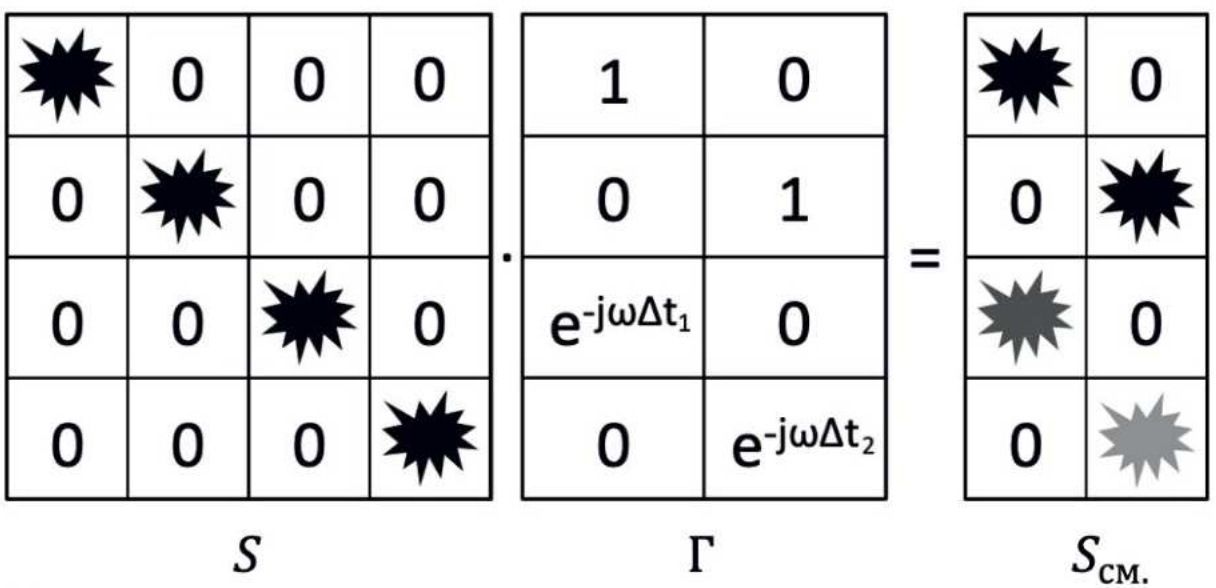
$$P_{см.} = DXS_{см.} = DXSГ = PГ \qquad (3)$$

Так как при проведении работ со смешанными источниками матрица приемника **D** никак не затрагивается, а методика съёмки никак не влияет на импульс земли **X,** можно переформулировать выражение (3):

$$P_{см.} = PГ \qquad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой прямую задачу смешивания сейсмических данных. Рассмотрим матрицу смешанных источников $S_{см.}$ (2) подробнее на рисунке 1.

Каждый ряд **Г** представляет собой позицию выстрела, а колонка каждое возбуждение сигнала с несколькими источниками. Таким образом процесс формирования матрицы $S_{см.}$ выглядит следующим образом: элемент γ_{Ij} матрицы смешивания **Г** включает в себя источник i и эксперимент j. Если источник i не



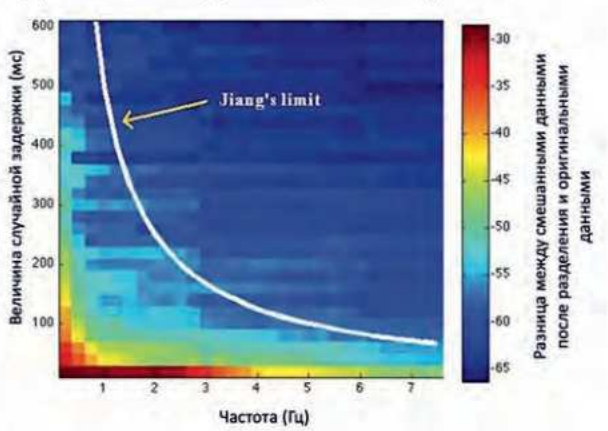
▲ *Рис. 1. Матрица смешанных источников Sсм [9].*

возбуждался, то j-тый эксперимент γ_{Ij} равен нулю. Если возбуждался, то источник i имеет амплитуду A_{Ij} и относительную временную задержку Δt_{Ij} относительно первого источника, задействованного в j-том опыте с несколькими источниками.

$$\gamma_{Ij} = A_{Ij} e^{-jw\Delta t_{Ij}} \qquad (5)$$

Следовательно элементы матрицы **Г** включают в себя фазовую составляющую $e^{-jw\Delta t_{Ij}}$. При использовании постоянной задержки во времени между излучением сигнала к матрице данных **Р** будет постоянно применяться один и тот же фазовый сдвиг. Если же задержка между выстрелами случайна, элементы матрицы **Г** имеют разную фазу, что приводит искажению фаз колонок матрицы данных **Р**. На реальные данные этот фазовый сдвиг будет оказывать следующее влияние: чем больше фазовый сдвиг и выше степень случайности задержки между последовательными выстрелами, тем более некогерентным шум будет выглядеть на сейсмограммах ОПП и тем легче его будет разделить.

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод о том, что случайная задержка между излучением сигнала источника является критически важным параметром при проведении полевых работ. Следовательно, встает вопрос о том, какая величина этой задержки необходима для успешного разделения сигналов от перекрывающихся источников. В своей работе [2] показал результаты моделирования смешанных данных с различной задержкой (Рис. 2), которые после разделены с применением алгоритма разреженной инверсии. Из этих результатов можно сделать вывод о том, что минимальная необходимая задержка для качественного разделения должна составлять минимум $\pm$ 0.250 с. В другой работе [1] авторам удалось успешно провести разделение данных от перекрывающихся источников с задержкой $\pm$ 0.150 с, что не умоляет прошлый вывод, так как большая задержка приводит к лучшему разделению шума.



▲ *Рис 2. Результаты опыта по разделению синтетически смешанных данных с различной задержкой. Цветом обозначена разница разделенных данных и оригинальных, чем темнее оттенок синего цвета, тем лучше разница [2].*

Источники случайной задержки при полевых работах

В теоретической части работы был сделан вывод о том, что минимально необходимая задержка должна составлять минимум $\pm$ 0.250 с. Рассмотрим основные причины возникновения случайных задержек, которые можно поделить на две группы: естественные и аппаратные. Естественные причины связаны с погодными условиями, подводными течениями, ветром, следствием которых является незначительная вариация скорости судна на профиле, что и ведет к возникновению смещения времен между выстрелами. Однако погодные условия не всегда могут обеспечить требуемую задержку, более того они могут быть вполне регулярны [3]. Следовательно, требуется вводить аппаратную задержку на основе таблицы случайных чисел (Рис 3.) в целях обес-

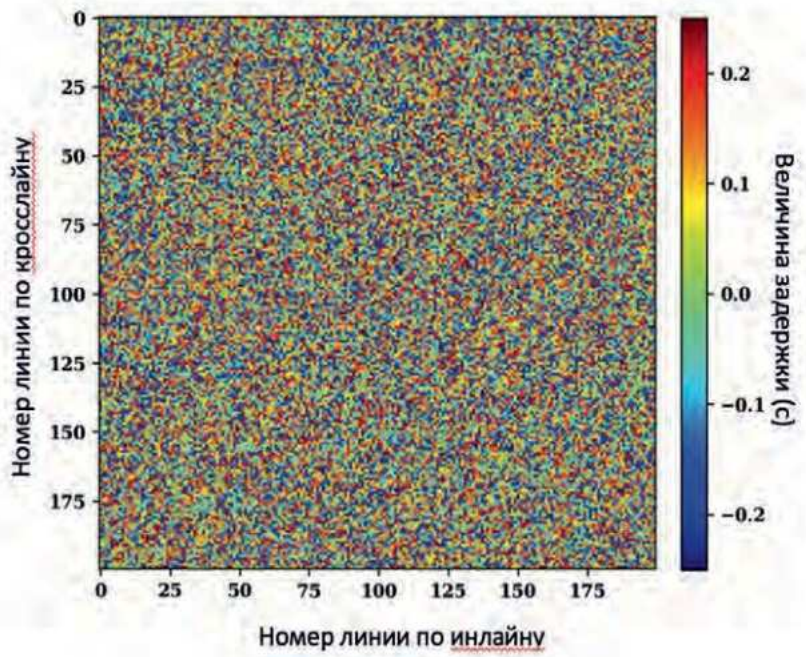


Рис 3. Таблица аппаратной задержки выстрелов для выполнения полевых работ с перекрывающимися источниками [2].

печения достаточной случайности времен возбуждений. Таким образом, для выполнения полевых работ с перекрывающимися источниками наилучшим образом подходит введение случайной задержки на основе комбинированных факторов: естественных и аппаратных [3].

Влияние случайной задержки на характер шума синтетически смешанных данных

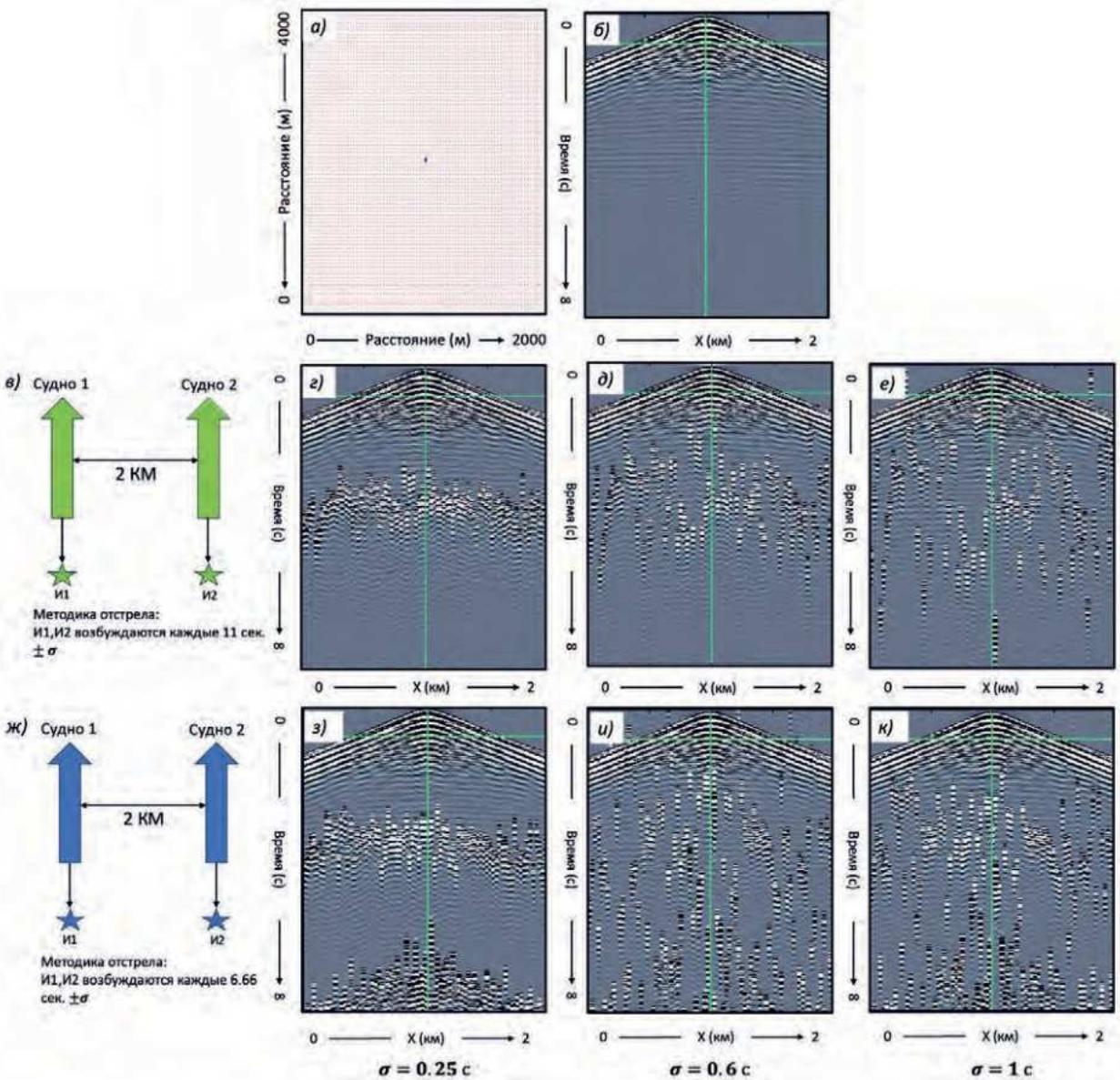
В целях демонстрации зависимости влияния случайной задержки на характер и степень шума, возникающего при интерференции нескольких источников, авторами проведено синтетическое моделирование шума на одной 3D сейсмограмме общего пункта приема. Массив данных состоит из 80 линий возбуждения сигнала с расстоянием между ПВ 25 метров по профилю (ось x) и 50 метров между профилями (ось y), длина записи составляет 8 секунд (рис 4, а). Сейсмограмма ОПВ без шума представлена на рисунке 4, б. Данные были смоделированы для двух конфигураций источника и для трех различных задержек между выстрелами.

Случай 1 (рис.4 в, г, д, е):

Два судна идут параллельным курсом, каждое буксирует один источник, интервал между выстрелами составляет 11 с. Второе судно начинает проход по профилям на три секунды позже первого. Расстояние между судами составляет 2 км (Рис. 4, в). Данный случай имитация методики выполнения работ с перекрывающимися источниками с двумя судами-источниками в режиме флип-флоп, то есть всего в работе 4 источника. В каждом варианте моделирования была добавлена случайная задержка путем добавления к временам выстрелов нормального распределения Гаусса с центром в нуле со среднеквадратичным отклонением 0.25 (Рис. 4, г), 0.6 (Рис. 4, д), 1 (Рис. 4, е) секунд соответственно. Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод о том, что величина задержки действительно напрямую влияет на распределение и характер случайности возникающего шума.

Случай 2 (рис.4 ж, з, и, к):

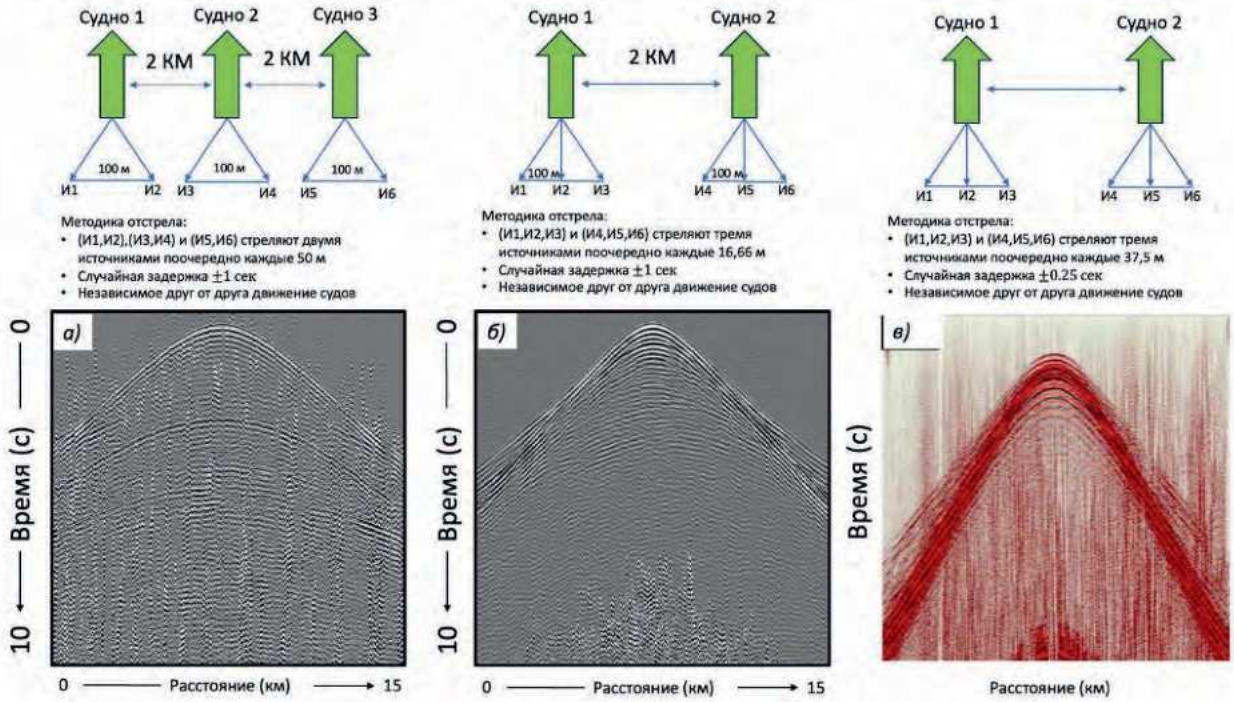
Данный случай полностью аналогичен случаю 1 (Рис. 4, ж), за исключени-



▲ *Рис. 4. Результаты моделирования съемки с перекрывающимися источниками для двух конфигураций источников и трех различных случайных задержек времен между выстрелами. а) геометрия съемки; б) исходная сейсмограмма ОПП; в) конфигурация судов-источников, имитирующая методику работ с двумя судами-источниками с 4-мя источниками в режиме флип-флоп; г, д, е - результат моделирования данных для конфигурации судов (в) с различной задержкой: 0.25 с., 0.6 с., 1 с. соответственно; ж) конфигурация судов-источников, имитирующая работу двух-судов источников в с тремя источниками каждое – так называемый флип-флоп-флап; з, и, к - результат моделирования данных для конфигурации судов (ж) с различной задержкой: 0.25 с., 0.6 с., 1 с. соответственно.*

ем того, что возбуждение сигнала судами происходит каждые 6.66 секунды, имитируя методику съемки с двумя судами-источниками, которые буксируют по 3 источника каждый. Аналогично случаю 1 хорошо заметен эффект увеличения степени случайности шума при увеличении среднего значения случайной задержки.

Результаты моделирования подтверждают предположение о том, что степень случайности задержки действи-



▲ *Рис. 5. Пример сейсмограмм ОПП, полученных по результатам полевых работ с перекрывающимися источниками на шельфе Норвегии. Случайная задержка составляла 1 с. а) три судна источника с двумя источниками каждое; б) два судна источника с тремя источниками каждое [7]; в) ОПП, полученная по результатам работ [6], где кроме ш ума от второго источника присутствует интерференция от двух других сейсмических полевых работ, проходящих рядом на двух других участках. Точное время записи, интервал ПВ и расстояние между судами не указано так как данная информация не п редставлена в исследуемой статье.*

тельно влияет на характер шума от перекрывающихся источников. В целях подтверждения данного вывода на рисунке 5 представлены результаты [7] полевых работ с перекрывающимися источниками в Северном море для двух различных конфигураций судов источников. Характер шума (Рис. 5, а) для трех судов-источников в режиме флип-флоп сильно напоминает шум на рисунке 4-е. Однако, для второй конфигурации источника (Рис. 5, б) два судна с тремя источниками, заметна только интерференция от того же судна. Вероятно, данная запись была сделана без участия второго судна. На рисунке 5, в показана еще одна сейсмограмма ОПП из работы [6], где суда работают в аналогичной конфигурации (но со случайной задержкой 0.25 с.), кроме интерференции внутри собственно района полевых работ, на записи имеется интерференция от выстрелов на двух соседних участках сейсмических работ, проводимых в тот момент времени в регионе. Несмотря на это результаты моделирования вполне сходятся с реальными полевыми данными, приводимыми в литературе.

Анализ характера шума в зависимости от размера случайной задержки на примере полевых данных

В 2022 году АО «МАГЭ» были проведены опытно-методические работы с перекрывающимися источниками в целях получения полевого материала и отработки алгоритма обработки данных с шумом от интерферирующих возбуждений. Было задействовано два сейс-



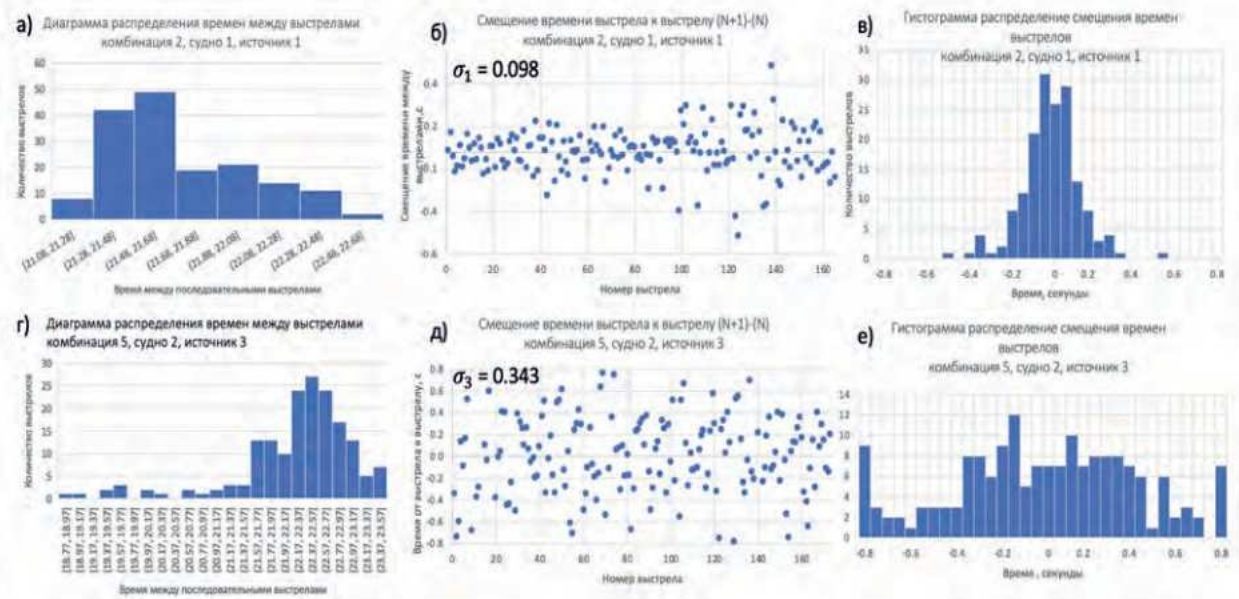
▲ *Рис. 6. Конфигурация судов-источников, использованная на опытно-методических работах.*

мических судна (Рис. 6), буксирующих за собой по два источника, которые возбуждались поочередно каждые 25 м, расстояние между источниками одного судна составляло 50 м. Всего было отработано всего 12 линий взрыва, каждое судно прошло по 6 линиям, расстояние между судами (линиями) составляло 4 км. В роли сейсмических приемников выступали донные станции. Важно обратить внимание на то, что при выполнении данных работ не вводилась приборная задержка между последовательными выстрелами, то есть источником случайности времен являлись исключительно естественные причины.

В таблице 1 представлены результаты расчетов среднего отклонения времен выстрелов относительно друг друга. Рассчитывалось время между двумя последовательными выстрелами одного источника и после вычислялось временное смещение между промежутками выстрелов, по массиву смещений рассчитывалось среднеквадратичное отклонение σ. Как видно из расчетов, σ времен выстрелов судна 1 сильно отличается от судна 2, что вероятно, вызвано разницей в определении координат источников для судна 1 и судна 2. Дело в том, что координата источника судна 2 определялась только по одному акустическому приемнику RGPS в начале линии ПВ, когда у судна 1 было два RGPS в начале линии пневмоисточников и в конце. Тем самым точность определения позиции выстрела была выше, что приводило к меньшему смещению времен между выстрелами.

▼ *Табл. 1. Результаты расчетов среднеквадратического отклонения времен выстрелов для выполненных опытно-методических работ.*

№ комбинации линий ПВ	Судно 1		Судно 2		
	№ Источника	σ, сек	№ Источника	σ, сек	Среднее σ по комбинации (среднее и1+и2+и3+и4)
1	И1	0.179	И3	0.221	0.218
	И2	0.190	И4	0.283	
2	И1	0.098	И3	0.203	0.155
	И2	0.106	И4	0.214	
3	И1	0.189	И3	0.284	0.244
	И2	0.178	И4	0.326	
4	И1	0.131	И3	0.195	0.160
	И2	0.125	И4	0.191	
5	И1	0.119	И3	0.343	0.222
	И2	0.105	И4	0.320	
6	И1	0.145	И3	0.188	0.149
	И2	0.156	И4	0.108	
	Среднее σ по судну 1	0.143	Среднее σ по судну 2	0.240	

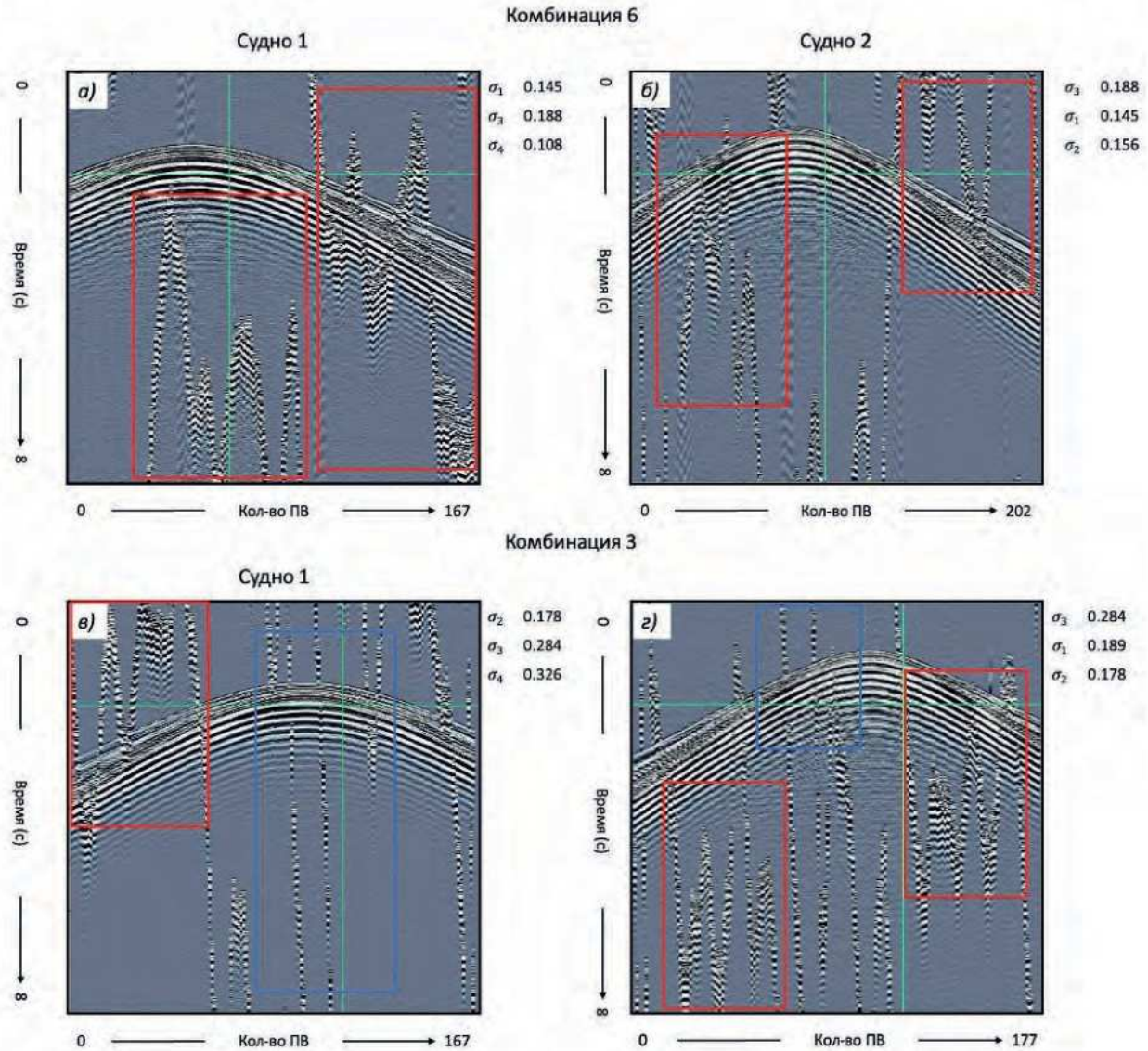


▲ *Рис. 7. а, г - распределение времен между выстрелами для комбинации 1, судна 1, И1, и комбинации 5, судна 2, И3 соответственно; б, д - смещение времен от выстрела к выстрелу; в, е - гистограммы распределения смещения времен выстрелов.*

Рассмотрим среднеквадратичное отклонение времен выстрелов более подробно на рисунке 7, где представлены гистограммы распределения времен выстрелов (Рис. 7, а, г), графики смещения времен выстрелов (Рис. 7, б, д) и гистограммы распределения смещения (рис. 7, в, е) для источника 1 комбинации 2 (как для минимального отклонения) и для источника 3 комбинации 5. Смещение времен второго судна намного более хаотично, и менее предсказуемо, именно такие графики смещения (Рис. 7, д, е) требуется получать при выполнение полевых работ с перекрывающимися источниками.

В продолжении дискуссии рассмотрим сейсмограммы ОПП и характер смешанного шума для двух комбинаций с наименьшим (комбинация 6) и наибольшим (комбинация 3) значением среднеквадратичного отклонения на рисунке 8. На сейсмограммах (а) и (б) отчетливо виден сильный шум от второго источника, причем характер шума можно в какой-то мере считать когерентным и прослеживаемым, данный шум выделен внутри красных окон. В свою очередь на сейсмограмме (в), где среднеквадратичное отклонение выше, уровень шума в разы меньше, как и случайность шума; более того внутри синего окна видны типичные для больших σ полосы шума (аналогично рис. 5, а). На сейсмограмме (г) снова появляются красные окна с когерентным шумом, что связано с меньшими значениями среднеквадратичного отклонения времен выстрелов первого судна. Считаем важным также отметить, что на характер шума влияет не только отклонение для второго судна, накладываемое на первое, но и случайность времен выстрела основного (первого) судна, что подтверждается синтетическими тестами.

На основании анализа смещения времен можно сделать вывод о том, что естественной вариации времени смещения достаточно для разделения данных с частотой более 4 Гц (согласно Рис. 2), что в будущем при обработке данных может существенно ухудшить результат процедуры разделения сигна-



▲ *Рис. 7. а, г - распределение времен между выстрелами для комбинации 1, судна 1, И1, и комбинации 5, судна 2, И3 соответственно; б, д - смещение времен от выстрела к выстрелу; в, е - гистограммы распределения смещения времен выстрелов.*

лов от перекрывающихся источников. Таким образом, результаты как синтетических тестов, так и анализа данных опытно-методических работ говорят о том, что величина смещения времени от выстрела к выстрелу критическим образом влияет на характер шума, и, следовательно, на качество сейсмического материала после проведения процедуры разделения сигналов от перекрывающихся источников. Анализ этих времен обязательно должен проводиться во время контроля качества полевого материала

Заключение

В работе авторами были рассмотрены теоретические и практические аспекты влияния случайной задержки между выстрелами на характер шума, возникающего при полевых работах с перекрывающимися источниками. Продемонстрированы синтетические и реальные примеры с различной задержкой. На основе анализа теории, литературы, полевого материала сделан вывод о том, что необходимо задавать задержку как минимум ±0.25 с и более в целях получения оптимального распре-

деления случайного (некогрентного) шума от перекрывающихся источников. Кроме того, выполнение опытно-методических работ в регионе показало, что естественных задержек недостаточно для получения необходимых времен смещения и в дальнейшем требуется вводить аппаратную задержку путем создания таблиц случайных задержек для каждого пункта взрыва. Таким образом, при полевых работах с перекрывающимися источниками необходимо включать контроль качества времен выстрелов в стандартный граф полевого контроля данных.

Литература

1. Aaron P., Byerley G., Monk D. Assessing marine 3D seismic acquisition with new technology: A case history from Suriname //SEG International Exposition and Annual Meeting. – SEG, 2016. – С. SEG-2016-13959846.

2. Abma R. Shot scheduling in simultaneous shooting //SEG International Exposition and Annual Meeting. – SEG, 2014. – С. SEG-2014-0812.

3. Abma R., Foster M. S. Simultaneous source seismic acquisition. – Society of Exploration Geophysicists, 2020.

4. Bekara M., Hodges E. Revisiting the Generation of Dither Times in the Context of Blended Marine Seismic Acquisition //85th EAGE Annual Conference & Exhibition (including the Workshop Programme). – European Association of Geoscientists & Engineers, 2024. – Т. 2024. – №. 1. – С. 1-5.

5. Berkhout A. J. Seismic Migration: Imaging of Acoustic Energy by Wave Field Extrapolation..: Imaging of Acoustic Energy by Wave Field Extrapolation. – Elsevier, 1982.

6. Brager D., Sonika S., Apeland G. et al. Joint seismic interference and simultaneous source separation in an OBN survey using multi-stage iterative source separation //84th EAGE Annual Conference & Exhibition. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2023. – Т. 2023. – №. 1. – С. 1-5.

7. Kumar R., Kamil Amin Y.I., Mahdad A. et al. Inherent Challenges of Randomized Shooting Strategies on Deblending and a Robust Multistage Prior Based Solution //82nd EAGE Annual Conference & Exhibition. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. – Т. 2021. – №. 1. – С. 1-5.

8. Mahdad A. Deblending of seismic data. Doctoral thesis, TU Delft, Delft University of Technology – 2012.

9. Reinicke Urruticoechea C. Seismic blending and deblending of crossline sources. Master's thesis, TU Delft, Delft University of Technology– 2015.

Технология БПЛА: перспективы интеграции в технологии ГРР

Жгенти Н.С., Группа компаний «Дельта», г. Самара

Тема роботов, беспилотных аппаратов настолько большая, что ее не возможно охватить не то, что одной публикацией, но и сотней статей. В данной публикации представлен ознакомительный подход к теме беспилотных аппаратов и только в области летательных аппаратов.

В последние годы, различные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) внедряются во все сферы хозяйственной деятельности человека, ранее им не свойственные. Несмотря на то, что упоминания об использовании БПЛА в невоенных целях встречается ещё в 70-х годах, настоящий бум, связанный с удешевлением и общедоступностью моделей (в первую очередь, вертолётного типа) начал отмечаться сравнительно недавно. Повсеместное использование нового типа устройств спровоцировало определённые процессы социального, культурного, экономического характера; выдвинуло на первый план вопросы, кажущиеся ранее не существенными. Технический прогресс вывел беспилотные летательные аппараты на новый уровень практического применения, как для обеспечения сферы безопасности, так и для реализации угроз или нанесения террористических или диверсионных атак.

Однако не все БПЛА одинаково устроены – от вложенных технологий, существенно зависят их возможности. Заглянув внутрь современных моделей, можно выделить тренды, обеспечивающие их преимущества: нейросетевые технологии (бортовой искусственный интеллект), защищенные каналы дальней связи, мультиспектральные сенсоры и инерциальные системы навигации.

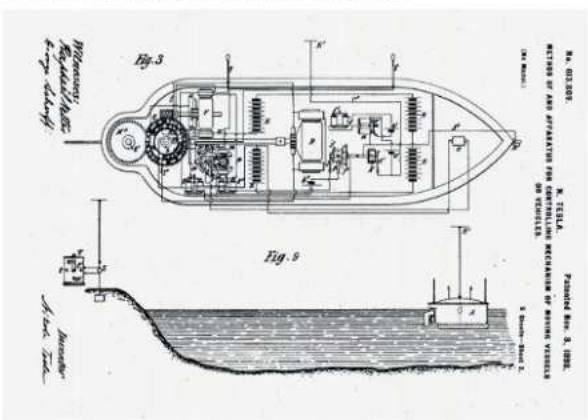
Несмотря на то, что, на российский рынок БПЛА существует санкционное давление, ограничивающее возможности применения ряда цифровых технологий и микроэлектроники, в нашей стране работает множество команд над созданием и внедрением этих технологий

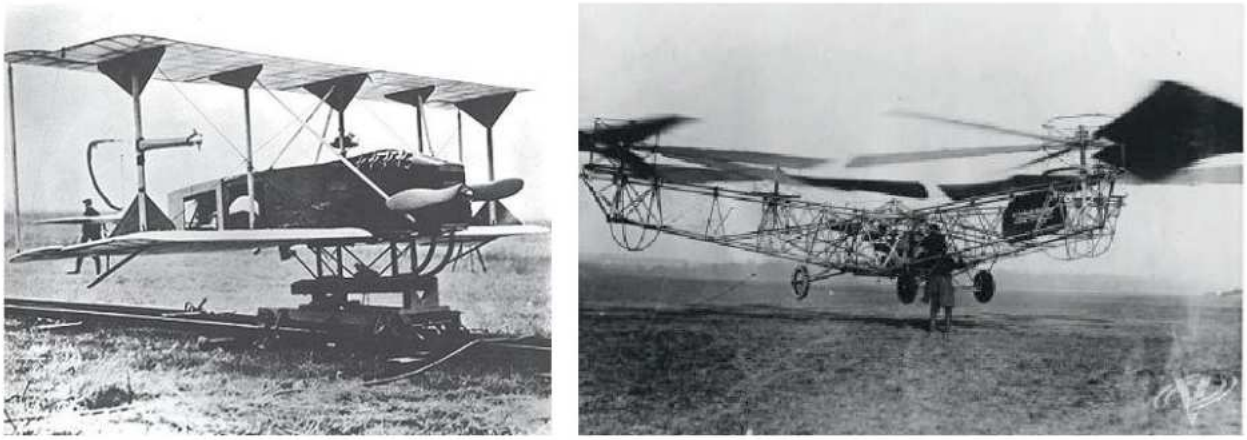
Из истории вопроса

Первую в своем роде радиоуправляемую беспилотную электромеханическую систему не только разработал, но и запатентовал Никола Тесла в 1898 году. В патенте описывалось транспортное средство, управляемое радиоволнами, и Тесла продемонстрировал его рабочую модель.

Дальнейшее развитие, беспилотные авиационные системы, получили в 1917 году в виде первого аппарата летящего по заданному курсу и без внешнего управления на основании показаний двух бортовых гироскопов, «Автоматического аэроплана Хьюитта-Сперри», и «воздушной торпеды Кеттеринга», представленной 1918 г. Также стоит упомянуть первый вариант квадрокоптера, созданный конструкторами Георгием Ботезатом и Этьеном Эмишеном а 20х годах прошлого века.

▼ *Рис. 1. «Дрон» Никола Тесла.*





▲ *Рис. 2. Радиоуправляемые БПЛА первой половины 20 в.*

Беспилотные системы множились и совершенствовались исключительно в военных целях вплоть до 2006 года. Именно в этом году Федеральная авиационная администрация США одобрила полеты первых небольших пользовательских БПЛА в гражданских целях. Миниатюризация вычислительных систем и развитие спутниковой навигации позволили сделать эту технологию максимально доступной и поставить ее в один ряд с другими бытовыми технологиями.

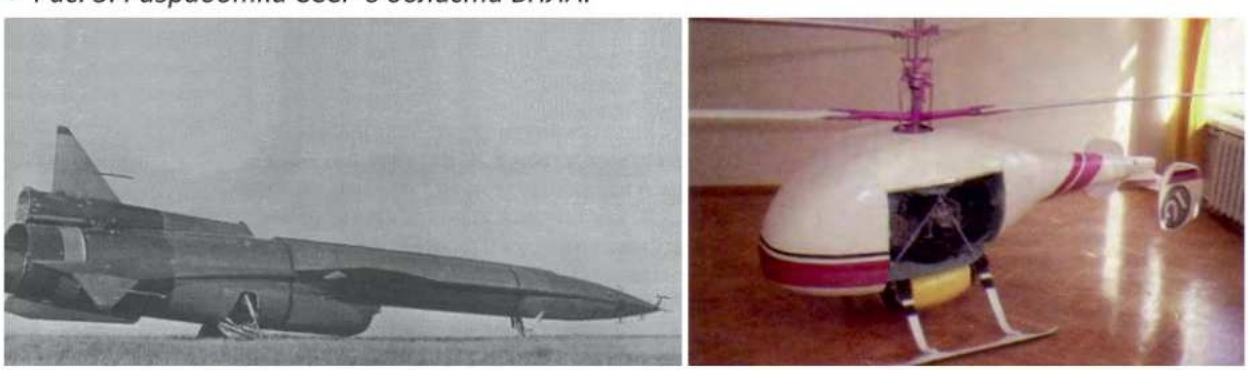
В советские времена исследования и разработки велись еще до начала Второй мировой войны, но первый успешный пуск «самолета-снаряда «С» (изделия 121, Ту-121) состоялся 25 августа 1959 года, а 2 марта 1993 года в небо поднялся первый экспериментальный российский винтокрылый БПЛА Ка-37. (Рис.3.) Это событие является точкой отсчёта истории беспилотной вертолётной техники нашей страны.

Современное состояние технологии БПЛА в РФ

К сожалению, начало взрывного роста беспилотных технологий в гражданском секторе и частично в военном, в нашей стране проспали, ограничиваясь покупкой готовых решений западных и китайских компаний. И если бы не введенные западные санкции и частые сложности с вывозом технологий двойного назначения из Китая, воз не сдвинулся бы с мертвой точки.

Распоряжение №1630-р от 21.06.2023 г. Правительства РФ, определяет «стратегию развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года». Согласно этому документу, В течение ближайших шести с половиной лет в России должна появиться новая отрасль экономики, связанная с созданием и использованием гражданских БПЛА. Стратегией определены пять ключевых

▼ *Рис. 3. Разработки СССР в области БПЛА.*



направлений развития беспилотной авиации.

• Первое касается стимулирования спроса на отечественные беспилотные авиационные системы.

• Второе – разработки и серийное производство таких систем, а также создание крупных производственных центров, обеспечивающих внедрение новых технологий.

• Третье подразумевает развитие инфраструктуры, включающее строительство аэродромов, вертодромов и перспективных дронопортов.

• Четвёртое – подготовку кадров для беспилотной авиации.

• Пятое – фундаментальные и перспективные исследования в сфере беспилотных авиационных систем.

При этом доля российских БАС в общем объеме таких машин должна вырасти с текущих 22% до 70% к 2030 году и до 80% к 2035-му как прокомментировал первый заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации Василий Осьмаков.

Финансирование национального проекта развития беспилотных авиационных систем (БАС) в России на 2024-2026 годы, по предварительным оценкам, превысит 300 млрд рублей. На 2024 год - 48 млрд рублей, на 2025 год - 117 млрд и на 2026 - 148 млрд рублей.

В последние годы растет количество компаний, занимающихся разработками и производством БПЛА и некоторые в скором времени смогут составить серьезную конкуренцию основным производителям.

В сентябре 2023г. Национальная Ассоциация участников рынка робототехники (https://robotunion.ru/bpla23) провела исследование рынка российских разработчиков и производителей беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения. В результате получился список из 81 организации, 8 из которых действуют на базе ВУЗов.

Законодательная база использования БПЛА в РФ

На сегодняшний момент, законы и нормативные акты, по факту, еще не до конца проработаны и не отвечают современным тенденциям, а также потребностям пилотов и разработчиков/производителей. Видно, что работа ведется, но слишком медленно и с постоянными остановками и перекурами.

Основополагающим регулирующим

▼ *Рис. 4. Рынок российских разработчиков и производителей БПЛА в России.*



документом являются «Действующие Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации» утвержденые Постановлением Правительства Российской Федерации № 138 от 11 марта 2010.

Значение для определения особенностей правового режима имеет максимальная взлетная масса БПЛА. С учетом этого законодательно все БПЛА разделяются на три категории в зависимости от веса:

1) весом до 150 г. - такие БПЛА не подлежат государственной регистрации или учету;

2) от 150 г. до 30 кг - подлежат государственному учету (в эту категорию попадают большинство «бытовых» и «коммерческих» БПЛА);

3) от 30 кг и более - подлежат государственной регистрации с занесением в специальный реестр воздушных судов. (в основном используются специализированными организациями, а также в армии).

На последние две категории БПЛА распространяется действие специальных авиационных правил по использованию воздушного пространства. В ст. 16 Воздушного кодекса РФ предусматривается два режима использования воздушного пространства - уведомительный и разрешительный.

Пунктом 116 Федеральных правил использования воздушного пространства для использования БПЛА установлен разрешительный порядок использования воздушного пространства.

Для получения разрешения подается сообщение о плане полета беспилотного воздушного судна независимо от класса воздушного пространства, в котором выполняется полет БПЛА, за исключением случаев, когда такое разрешение не требуется. Разрешение выдается региональным и зональными, районными центрами Единой системы организации воздушного движения РФ (ЕС ОрВД). Помимо получения разрешения от центра ЕС ОрВД согласно п. 49 Правил использования воздушного пространства полеты БПЛА (за исключением полетов БПЛА с максимальной взлетной массой менее 0,25 кг) над населенными пунктами выполняются при наличии у пользователей воздушного пространства разрешения соответствующего органа местного самоуправления.

Отдельный котел в «бюрократическом аду», отведен для разработчиков/производителей беспилотных авиационных систем (БАС) для получения сертификата типа БАС. Хоть и с 1 сентября 2023 года для упрощения процедур обязательной сертификации гражданской авиатехники, вступает в силу приказ Минтранса России №196, но по собственному опыту пока попытки получения заканчиваются неудачей.

Для примера. Сертифицированный В декабре 2022-го года БПЛА вертолетного типа БАС-200. Фактическая стоимость, потраченная на сертификацию БАС-200 вышла примерно в 142 млн рублей. Из них 109,5 млн рублей ушло на услуги экспертов при подтверждении соответствия конструкции всем требованиям, ещё 32,5 млн рублей потратили на создание опытных образцов, летные испытания, керосин (по данным открытых источников).

Основы технологии БПЛА

В настоящее время существует ряд типов БПЛЛ, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы, оптимальную область применения.

Мультироторный тип. Наиболее распространенный и популярный вид, оснащенный 3, 4, 6, 8, 12 пропеллерами.



▲ *Рис. 5. Модификации мультироторного типа БПЛА.*

Получил максимальное распространение ввиду широкого спектра летных качеств. В полете аппарат легко держит горизонтальное положение относительно поверхности земли и может зависать над определенным местом, перемещаться влево, вправо, вперед, назад, вверх и вниз, а также, поворачиваться вокруг своей оси. Все действия совершаются путем изменения тяги на каждом моторе. Из недостатков можно отметить низкую энергоэфективноть и связанное с этим малое время нахождения в воздухе.

БПЛА с неподвижным крылом

Эти аппараты работают по принципу самолета, для создания подъемной силы используется крыло. Данный тип позволяет экономно использовать двигательную энергию и способен к длительным беспосадочным полетам до 12 и более часов. Благодаря более высокому времени полета и энергоэкономности, БПЛА самолетного типа, идеально подходят для таких действий как картографирование, мониторинг, аэрофотосъемка. Из недостатков, не способность зависать в заданной точке и необходимость использования взлетной полосы или стартовой катапульты.

Одноротоpный. Вертолетный тип

В отличие от мультироторного, у одноготорного два больших ведущих винта расположены на одной оси, лидо присутствует один большой ведущий винт и малый на хвосте. Одноротоpные БПЛА значительно более энернгоэффективны чем мультироторные версии. имеют более долгое время полета и чаще всего, оснащаются двигателем внутреннего сгорания. Из недостатков очень сложная механика конструкции и высокие требования к уровню эксплуатирующего персонала.

▼ *Рис. 6. БПЛА с неподвижным крылом.*







▲ *Рис. 7. БПЛА вертолетного типа.*

Гибридный тип. Конвертоплан

Позволяет осуществлять вертикальные взлет и посадку и осуществляет полет опорой на фиксированное крыло. Это происходит за счет смены вектора тяги посредством изменения угла положения моторов или наличия фиксированных моторов направленных в вертикальную и горизонтальную плоскости. При этом, корпус БПЛА всегда остается в горизонтальном положении. Сочетает в себе плюсы мультироторного и самолетного типов, такие как способность вертикального взлета и посадки, экономичного горизонтального полета, способность зависать в заданной точке. Но имеет более сложную конструкцию, больший вес и сниженное время работы в воздухе при прочих равных, если сравнивать с самолетом с теми же двигателями и запасом энергии.

Энергообеспечение БПЛА

Для достижения высокой полезной грузоподъемности и более продолжительного времени полета необходимо определять баланс удельной энергии на массу и удельной энергии на объем.

Сведение этой задачи только к источнику энергии было бы неправильным, так как вся система (источник энергии + двигательный комплекс) влияет на летные характеристики. Источник с чрезвычайно высокой плотностью энергии (например, керосин или H2) не поможет, если двигательный комплекс (например, турбина или топливный элемент) очень тяжелый и перевешивает сэкономленную энергию. Коэффициенты эффективности двигательных комплексов также сильно различаются: в то время как система с питанием от батареи преобразует 73% энергии в движение,

▼ *Рис. 8. БПЛА гибридного типа.*







▲ *Рис. 9. Источники энергии БПЛА – баланс и взаимная зависимость характеристик.*

топливный элемент обеспечивает 44%, а двигатель внутреннего сгорания - только 39%.

Батареи

Основная и наиболее часто используемая система энергообеспечения - это электрическая на базе энергии батарей – литий-полимерных (Li-Po) или литий-ионных (Li-Ion), которые являются наиболее распространенными источниками энергии для дронов. Это обусловлено простотой в использовании, доступностью комплектующих, их низкой стоимостью и огромным количеством вариантов, а так же низким требованием к инфраструктуре и эксплуатирующему персоналу. Из возможного продолжения этой вида энергообеспечения БПЛА можно предположить появление литий-тионил-хлоридные батарей (Li-SOCl2), которые обещают в 2 раза более высокую плотность энергии на килограмм по сравнению с литий-полимерными батареями, а плотность энергии литий-оксидных батарей (Li-air) обещает быть почти в 7 раз выше. Литий-серные батареи (Li-S) могут заменить литий-ионные элементы по причине их более высокой плотности энергии (коэффициент 1,8).

Водородные топливные элементы

Химическая энергия атомов водорода превращается в электрическую. Топливный элемент представляет собой два электрода (анод и катод), разделенных мембраной. Водород реагирует с катализатором (обычно это напыленная на анод платина) и выгоняет свой электрон за пределы атома. «Осиротевшие» электроны притягиваются к аноду, превращаясь в электрический ток. Сравнивая плот-

ность энергии жидкого водорода с плотностью энергии Li-Po-батареи[Вт/кг] , мы видим, что разница составляет 150 раз в пользу водорода. К сожалению, хотя эта технология уже во всю применяется как источник питания БПЛА , все еще остаются достаточно экзотическими. К недостаткам следует отнести требования к частоте используемого газа, высокая стоимость его производства, проблемы хранения, взрывоопасность, а также высокая стоимость самого топливного элемента.

Бензин, Керосин, Метанол, Этанол, СНГ (пропан)

Привлекательность этого источника энергии заключается в сочетании высокой удельной энергии на массу [Вт/кг] и высокой удельной энергии на объем [Вт/л]. По сравнению с литий-полимерными батареями, бензин в 48 раз увеличивает массовую плотность и в 13 раз объемную плотность энергии. Но это также накладывает определенные ограничения весогабаритные характеристики БПЛА в сторону повышения минимального веса и размера, связанных с конструктивом ДВС и минимально необходимым размером топливного бака.

Гибрид

Кроме описанных выше, активно применяются гибридные установки где энергия сгорания топлива преобразуется в электрическую и подается на электродвигатели и системы управления БПЛА. Эта система имеет большинство плюсов батарейной энергоустановки, но и обладает теми же ограничениями, как и системы с ДВС. Из неоспоримых плюсов можно указать возможность работы в областях низких температур снижающих емкость батарей.

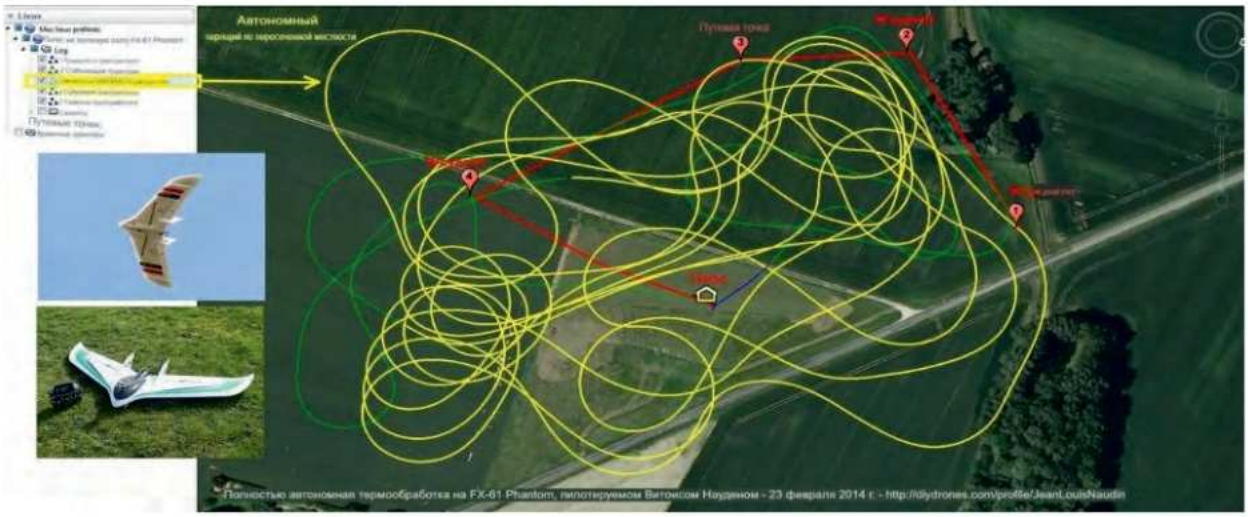
Перспективные разработки

Из перспективных разработок можно отметить газоэлектрические гибриды, солнечные, солнечно водородные гибриды, Супер/Ультра-конденсаторы, лазерные (оснащенные приемником-преобразователем лазерного пучка в энергию) и т.д. В направлении новых и повышения эффективности старых установок ведется огромная работа и каждый год появляются новые, часто революционные, решения.

Системы управления полетом

Большинство современные гражданских БПЛА просты в пилотировании и не требуют от оператора специальных летных навыков. Это достигается сочетанием современной электроники и программного обеспечения. Основная плата управления, обеспечивающая функционирование беспилотного летательного аппарата называется полётный контроллер. Его основные функции: сбор данных с датчиков; расчет собственного положения в пространстве; получение команд и внешних воздействий с пульта управления; отправка управляющих сигналов на регуляторы оборотов двигателей и рулевых машинок. Полетный контроллер — это мозг БПЛА в зависимости от его возможностей определяется функционал летательного аппарата и степень его автономности.

Полетные контроллеры оснащены базовыми датчиками. Наиболее продвинутые версии оснащены дополнительным процессор с возможностью сквозного доступа и дублирующими системами датчиков, для обеспечения отказоустойчивости. Сердцем ПК является микроконтроллер на базе STM32. В настоящее время используются 3 основных типа микроконтроллеров: F4, F7 и H7. Основные различия заключаются в скорости вычислений и объёме памяти



▲ *Рис. 10. Пример полета с автономным GPS трекером, не включенным в систему управления, относительно плана полета.*
Реальная траектория- желтый цвет, полетное задание- красный, коррекция – зеленый.

Стандартный набор датчиков:

• Акселерометры: измеряют линейное ускорение БПЛА в трех измерениях (ось X, Y и Z). Это позволяет определить вектор ускорения и покрыть траекторию движения.

• Гироскопы: измеряют угловую скорость вращения БПЛА вокруг трех осей (тангаж, крен и рыскание). Они используются для обеспечения стабильности полета и компенсации внешних возмущений.

• Магнитометры: измеряют магнитный вектор вокруг БПЛА, который используется для определения азимутального угла (направление магнитного севера) и ориентации аппарата относительно земного магнитного поля.

• Барометры: измеряют атмосферное давление для определения абсолютной высоты БПЛА над уровнем моря. Эти данные используются для поддержания определенной высоты полета и предотвращения столкновений с препятствиями.

К дополнительным (опциональным) относятся:

• Лидары, радары и ультразвуковые датчики расстояния: используются для измерения расстояния до ближайших объектов и предотвращения столкновений с ними.

• Оптические потоковые датчики: анализируют движение текстуры поверхности земли или других объектов, на основе чего определяют линейную и угловую скорость БПЛА относительно земной поверхности. Используются для стабилизации полета и поддержания плавной траектории.

• Датчики скорости воздушного потока: предназначены для определения фактической скорости воздушного судна.

Необходимо отметить, что гражданские версии беспилотных летательных аппаратов рассчитаны на полет и навигацию исключительно при поддержке спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС. Бортовые датчики необходимы для стабилизации положения в полете и на поддержании заданного курса в краткий период потери спутникового навигационного сигнала. GPS GNSS модуль: предоставляет точные данные о географическом положении БПЛА, высоте над уровнем моря и скорости полета. Эти

данные используются для навигации и ориентации аппарата в пространстве с точностью до нескольких сантиметров.

В дополнение необходимо отметить появление вспомогательные навигационные системы, такие как **«Дополненная реальность»** - использование камеры и сенсоров, для обнаружения и распознавания физических объектов и местности в режиме реального времени. И **«Система оптической навигации»**, которые используют камеры или специальные видеосистемы, для определения положения и ориентации БПЛА путем обработки изображений окружающей среды.

Наземная станция управления (НСУ)

В составе комплекса входит ноутбук/планшетный компьютер с предустановленным программным обеспечением, обеспечивает командно-телеметрическое взаимодействие с бортовой частью а именно, обеспечивает ручное управления в реальном времени; предоставляет возможность программирования и управления БПЛА, представляет телеметрическую информацию в графическом виде, информирует о результатах функционирования полезной нагрузки, манипулятор (джойстик) для непосредственного управления бортом в реальном времени и система связи.

Программных комплексов в мире существует много. Например, самый популярный ArduPilot Mission Planner с открытым кодом, или коммерческий DJIFlightPlanner. В России многие компании активно работают над написанием и внедрением собственных приложений, как пример Geoscan Planner компании Геоскан или программный комплекс ZUAV GCS, группы компаний ZALA.

Функционал, например, ПО Mission Planner от ArduPilot демонстрирует



▲ *Рис. 11. Наземные станции управления БПЛА.*

возможности программного обеспечения с открытым исходным кодом, предназначенного для планирования, мониторинга и анализа данных автономных полетов. Оно предлагает набор инструментов для создания миссий, включая планирование путевых точек, автоматизированный полет и мониторинг в реальном времени (высота, скорость, время работы). Поддерживаются различные картографические источники, такие как Google Maps и Bing Maps.

Создание полетного задания осуществляется просто: для каждой контрольной точки указываются GPS-координаты, параметры движения и действия с полезной нагрузкой. Существуют скрипты для построения траекторий, включая задачи для сельскохозяйственных работ или аэрофотосъемки. Для автоматической съемки достаточно выделить область на карте, задать скорость и параметры наложения снимков, после чего план можно загрузить в полетный контроллер.

Связь с БПЛА

Является ключевым элементом, обеспечивающим эффективность и безопасность эксплуатации БЛА. Система связи позволяет осуществлять дистанционное управление аппаратами, сбор и передачу полученной информации в реальном времени, что является крити-

чески важным для четкого и безопасного выполнения задач для БПЛА за счет возможности оперативного обмена данными.

В текущих условиях требования к обмену данными становится все более строгим, требуется максимально возможное расстояние, минимальная задержка при передаче, высокая пропускная способность, надежность и помехоустойчивость.

Современные системы наземной связи разработаны и в России, они позволяют устанавливать дуплексную модемную связь для передачи команд и телеметрии на расстоянии до 100 км и высокоскоростную, 6–24 Мбит/с, с возможностью передачи еще и HD видео сигнала на расстоянии до 60 км.

При необходимости кратно увеличить дальность, используются дополнительные борта как ретрансляторы. В зонах уверенного приема GSM сигнала, задача серьезно упрощается, используются стандартные GSM модемы. С появлением спутниковых терминалов StarLink, становится доступной и гражданская спутниковая связь.

Взгляд в наступившее будущее

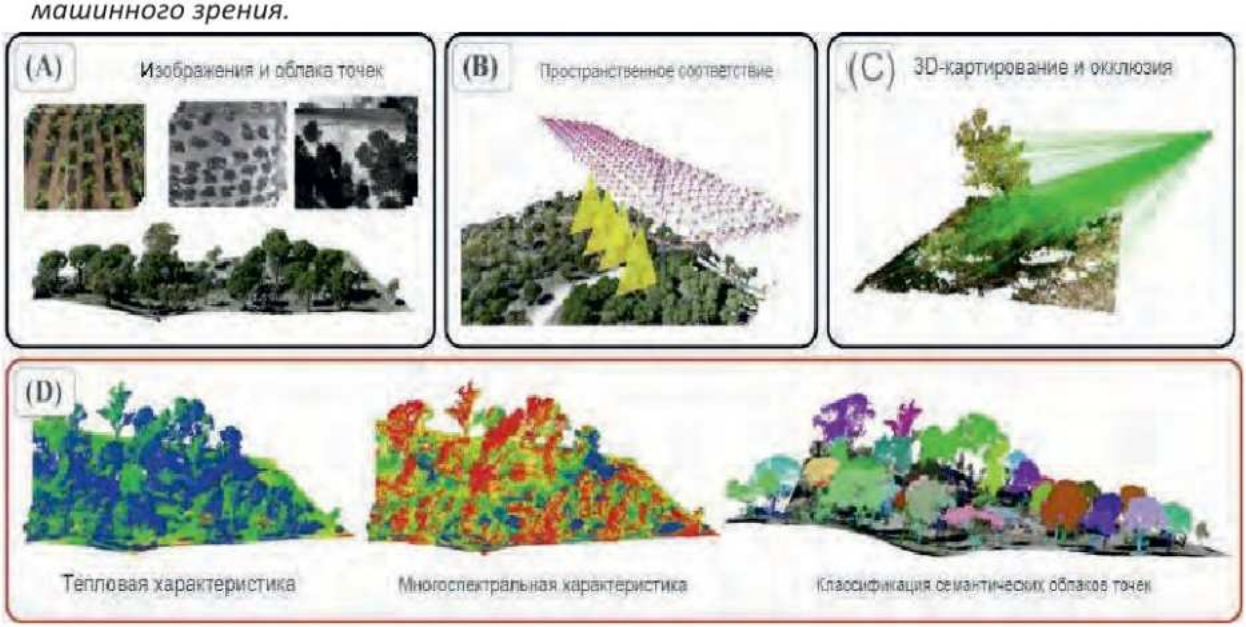
Прогресс стремительно влияет на развитие робототехники и беспилотных технологий. Миниатюризация компьютерных систем повышает вычислительные возможности бортовых комплексов, увеличивая автономность аппаратов.

Ключевой технологией для БПЛА является машинное зрение — направление искусственного интеллекта, позволяющее обрабатывать и анализировать изображения и видео с помощью компьютерных алгоритмов. Системы машинного зрения помогают БПЛА ориентироваться в пространстве, распознавать объекты и выполнять посадку.

Машинное зрение использует следующие компоненты:

- Видеокамеры для получения видео в видимом и инфракрасном диапазонах.
- Бортовые микрокомпьютеры для реализации алгоритмов на основе нейросетей или традиционных методов.
- Программное обеспечение, такое как библиотеки OpenCV и ArduPilot, для стыковки с бортовыми системами.
- Дополнительные датчики, включая GPS, IMU и лидары.

▼ *Рис. 12. Алгоритмы распознавания местности и рельефа на основании машинного зрения.*



Автономный полет

ИИ наделяет БПЛА способностью к автономному полёту, обрабатывая данные с бортовых датчиков, таких как камеры и инерциальные измерительные блоки и тд. Это позволяет ориентироваться в пространстве, избегать препятствий и следовать маршруту без участия человека на основании распознавания картинки рельефа. Усовершенствованные алгоритмы позволяют в режиме реального времени принимать решения о траектории полёта, оптимизируя маршруты для повышения эффективности и безопасности в режимах полета с подавленными системами спутниковой навигации.

ИИ расширяет возможности в сфере безопасности и наблюдения, автоматизируя патрулирование, распознавая подозрительные действия и предоставляя прямую трансляцию командам службы безопасности.

Система может распознавать и оповещать сотрудников службы безопасности о необычных действиях или несанкционированных проникновениях в режиме реального времени. Это не только повышает эффективность и оперативность работы службы безопасности, но и сокращает количество сотрудников, необходимых для непрерывного наблюдения (Рис.13).

Инспекция инфраструктуры

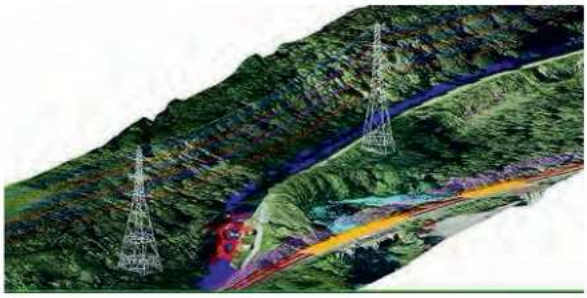
ИИ повышает эффективность БПЛА при обследовании критически важной инфраструктуры, такой как мосты, железные дороги и энергетические установки и тд. Эти беспилотники могут проникать в труднодоступные места и собирать подробные данные о целостности конструкций, износе и потенциальных опасностях. А при дооснащении дополнительными сенсоров, производить локализацию места утечек на трубопроводах.

ИИ позволяет БПЛА отслеживать изменения в окружающей среде, наблюдать за дикой природой и оценивать уровень загрязнения, предоставляя ценные данные для природоохранных и регулирующих мероприятий.

БПЛА с искусственным интеллектом могут быстро и точно оценивать ущерб, находить выживших и составлять карты районов стихийных бедствий, предоставляя критически важную информацию для спасательных операций. Появляется возможность быстро охватывать большие территории, предоставляя критически важную информацию, которая спасает жизни и ресурсы.

▼ *Рис. 13. Безопасность, наблюдение, обнаружение и отслеживание объектов с помощью БПЛА и ИИ.*





▲ *Рис. 14. Инспекция критической инфраструктуры с помощью БПЛА и ИИ.*

Заключение

В данном обзоре рассматриваются лишь ключевые аспекты этой обширной темы, чтобы обеспечить понимание основных отправных точек. Каждый пункт можно развернуть в десятки страниц мелким шрифтом, и при этом не будет представлено всеобъемлющее описание. В перспективе предполагается раскрыть некоторые темы с акцентом на детали. Одно очевидно: беспилотные технологии могут и будут внедряться во все сферы человеческой деятельности, приобретая все больше новых функций и возможностей.

Что касается нефтегазовой отрасли, то здесь открываются широкие возможности как для давно используемых методов, таких как аэрофотосъемка и создание 3D-карт, так и для совершенно новых, включая автоматическую расстановку оборудования с помощью наземных и воздушных автоматизированных систем, а также сбор данных с удаленных площадок. Также можно рассматривать мониторинг инфраструктуры, поиск и спасение сотрудников в чрезвычайных ситуациях, радиоретрансляцию, проведение магнитной и гравитационной разведки.

В России, при сохранении текущей государственной политики и санкционного режима, существует шанс частично восстановить утраченные позиции и достичь большей локализации как программного обеспечения, так и технических решений.

Литература

1. Александров Виктор Иванович, Шайдуров Владимир Ильич, Салихов Изиль Исхакович, Соколова Евгения Сергеевна, Источник энергии к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), Журнал «Актуальные исследования» #36 (115), сентябрь 2022

2. Источники Энергии Дронов - Раздвигая Границы Электрического Полета, Источник: https://russiandrone.ru/publications/istochniki-energii-dronov-razdvigaya-granitsy-elektricheskogo-poleta-/

3. БПЛА в гражданских областях хозяйства, https://www.ixbt.com/live/offtopic/bpla-v-grazhdanskih-oblastyah-hozyaystva.html

4. Эволюция систем управления беспилотных летательных аппаратов: от появления до наших дней. Источник: https://russiandrone.ru/ publications/evolyutsiya-sistem-upravleniya-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-ot-poyavleniya-do-nashikh-dney-aerogeo/

5. Урок 9. Полетный контроллер, https://fpv-club.ru/2023/10/08/урок-9-полетный-контроллер/

6. Drone Flight Controllers Explained: F1, F3, F4, F7, H7-Latest Version 2024 https://www.mepsking.com/blog/fpv-drone-flight-controllers-explained-f1-f3-f4-f7-h7-latest-version-2024.html

7. УДК 004.93 Использование компьютерного зрения для распознавания техники

https://na-journal.ru/5-2023-informacionnye-tekhnologii/5535-ispolzovanie-kompyuternogo-zreniya-dlya-raspoznavaniya-tekhniki

https://yenra.com/ai-tech/drone-technology/

Материалы с сайтов

- www.topwar.ru,
- https://paperswithcode.com
- https://www.tadviser.ru
- https://www.ixbt.com
- https://uav-siberia.com
- https://electrobattery.ru
- https://iopscience.iop.org

Эффективные решения компании ВЕГА в геофизических (несейсмических) работах

Самсонов Б.В., Самсонов М.Б.,
ООО «ВЕГА», г. Санкт-Петербург.

Компания «ВЕГА» обладает многолетним опытом в выполнении сервисных геофизических (несейсмических) и геохимических работ. Одним из основных направлений деятельности является разработка современных электроразведочных приборов и технологий, что способствует повышению точности исследований.

Инвестиции в обновление оборудования и ПО позволяют компании предлагать клиентам самые современные решения на рынке. Парк оборудования гарантирует выполнение проектов любого масштаба и объема в различных климатических условиях как в России, так и за рубежом.

Квалифицированный персонал с глубокими знаниями и практическим опытом способен разрабатывать новые методики и обеспечивать высокое качество услуг. Инновационный подход и стремление к поиску новых решений делают «ВЕГА» надежным партнером в сферах геофизики и геохимии.



Рис.1. Основатели компании Самсонов Б.В. и Копытенко Е.А. В руках – индукционный магнитный датчик IMS – 008. На заднем плане – стационарная система проверки и калибровки магнитных датчиков.

Основателями компании «ВЕГА» являются к.г.-м.н. Самсонов Борис Владимирович и Копытенко Евгений Анатольевич.

Самсонов Б.В. является главным геологом компании, ранее занимал должности зам. директора по научной работе ВНИГРИ, зам. по производству ЗАО «Петербургская геофизическая компания».

Он автор более 40 научных публикаций и ответственный исполнитель более 60 производственных работ.



Историю компании ВЕГА можно разделить на несколько этапов:

Этап 1: 1998 – 2007 годы

На первом этапе сотрудники компании объединились в творческий коллектив для выполнения заказов с целью зонального и локального прогноза нефтегазоносности крупных территорий и лицензионных участков (далее - ЛУ). Основой рекомендаций по направлению геологоразведочных работ (далее - ГРР) на ЛУ послужила комплексная переобработка и переинтерпретация данных, полученных в предыдущие годы, включая:

- Гравиметрию;
- Магнитометрию;
- Сейсмические работы;
- Электроразведочные работы;
- Геохимические исследования;
- Глубокое бурение.

В ходе работы отрабатывались методические приемы раздельной и комплексной обработки материалов по разным видам работ, а также определялась эффективность различных программных продуктов для повышения информативности и разрешающей способности геофизических и геохимических методов.

Географические объекты исследований:

- Калининградская область (Балтийская синеклиза);
- Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ (Енисей-Хатангский прогиб);
- Волгоградская область (северный борт Прикаспийской впадины);
- Республика Коми (Денисовская впадина);
- Ненецкий автономный округ (Колвинский вал);
- Исламская Республика Иран (провинция Загрос).

На всех объектах были выполнены картосоставление по потенциальным полям и комплексная интерпретация геолого-геофизических данных, что позволило выделить перспективные зоны для детальных полевых геофизических и геохимических работ с целью локального прогноза нефтегазоносности.

На тех участках, где был выполнен полный комплекс полевых работ (гравиметрия, электроразведка и геохимия), были рекомендованы наиболее благоприятные места для заложения поисковых скважин.

Результаты бурения подтвердили достоверность прогнозов, тогда как на участках с одним методом полевых работ прогноз оказался неоднозначным.

Этап 2: 2008 – 2016 годы

Следующий этап характеризуется разработкой высокотехнологичной аппаратуры для электроразведки. К компании присоединились специалисты Нижегородского университета. Среди достижений этого периода:

- Разработка индукционных датчиков серии IMS, которые являются одними из лучших на мировом рынке. По своим техническим параметрам они превосходят продукцию таких известных компаний, как «Phoenix geophysics», «Metronix», «Geometrics», «Zonge».
- Создание магнитотеллурической станции VMTU-10 для выполнения электроразведочных работ.
- Разработка станции магнитного мониторинга СММ-009.



▲ *Рис. 2. Испытания VMTU-10 и датчиков серии IMS на озере Байкал.*

Эти инновации открыли новые горизонты для геофизических исследований и увеличили потенциал компании в области прогноза нефтегазоносности.

Индукционные магнитные датчики и созданные на их основе аппаратно-программные комплексы поставлялись в этот период в США, КНР, а также российским производственным и научным организациям. В этот период были разработаны принципы и технологии проверки и калибровки магнитометров как средств измерения. Компания продолжала выполнять сервисные геофизические и геохимические работы для крупных нефтяных компаний, наши ми заказчиками выступали: ОАО «ЛУКОЙЛ», ОАО «Газпром нефть», НПО «Недра», ОАО «Башнефть», ОАО «Якутскгеофизика» и др.

Этап 3: 2017 – настоящее время

На третьем этапе, который охватывает период с 2017 года до настоящего времени, инновационное направление развития компании стало основным приоритетом. В рамках этого этапа были достигнуты значительные успехи в следующих областях:

• Разработка специализированных индукционных датчиков: Созданы датчики для донных исследований и для аудио магнитотеллурического зондирования (АМТЗ), что позволяет проводить более точные и эффективные геофизические исследования.

• Создание систем проверки и калибровки: были разработаны и изготовлены как стационарные, так и мобильные системы для проверки работоспособности и калибровки индукционных датчиков, что обеспечивает надежность и высокую точность получаемых данных.

• Производство датчиков: Общее количество различных по наименованию индукционных датчиков, изготовленных согласно стандартам компании и поставленных потребителям, близится к 1000 штук. Это подтверждает растущий интерес и спрос на продукцию компании.

• Развитие гравиметрического направления: Компания также активно развивает гравиметрическое направление, включая высокоточные съемки и мониторинг, а также геохимические исследования как на участках, перспективных на углеводороды (далее - УВ), так и на твердые полезные ископаемые (далее - ТПИ).

Перспективные разработки

В настоящее время в компании осуществляется разработка специальной АМТЗ-станции, предназначенной для изучения верхней части разреза (далее -



▲ *Рис.3. Датчики серии IMS, производство компании «ВЕГА».*

ВЧР) и поисков ТПИ. Параллельно с этим в ближайшей перспективе запланирована разработка экранированных систем, полностью изолированных от внешнего электромагнитного воздействия, что позволит проводить различные научные эксперименты.

Кроме того, на стадии проектирования находится современная станция для донных магнитотеллурических зондирований (далее - МТЗ), аналоги на сегодняшний день в России не производятся. Эти инициативы подчеркивают стремление компании к технологическим новшествам и ее роль в дальнейшей разработке и вкладе в геофизику и геохимию.

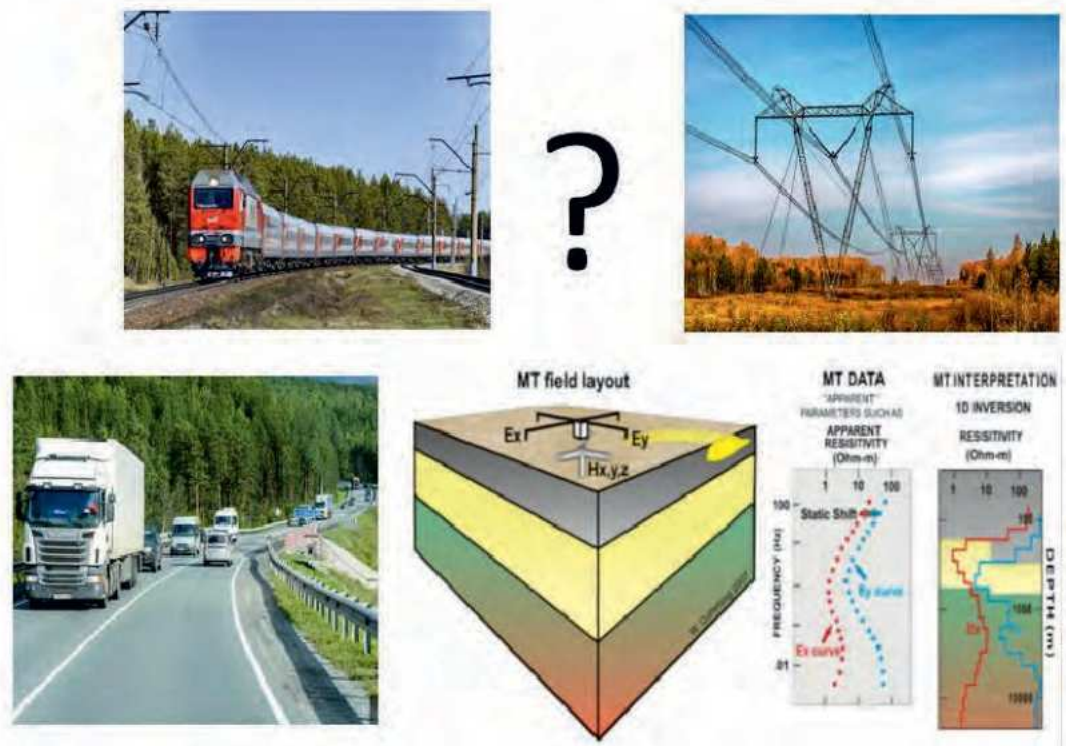
Работы на ТПИ. Опыт и технологии компании «ВЕГА»

С 2016 года коллектив компании активно работает на месторождениях твердых полезных ископаемых. Одним из недавних проектов стало проведение ГРР в сложных условиях, где использовался комплекс геофизических методов.

Перед командой была поставлена задача определить глубину залегания кристаллического фундамента и особенности строения ВЧР на глубину до 800 метров. В процессе анализа выяснилось, что выполнение работ осложняется влиянием индустриальных электромагнитных помех: на севере находилась железная дорога, на юге — автомобильная трасса, а в центре — система линий электропередач (далее - ЛЭП) (Рис.4.). Несмотря на эти трудности, удалось успешно выполнить проект в минимально возможные сроки, что подтвердило высокую эффективность применяемых технологий.

Руководил проектом главный геофизик компании, канд. техн. наук Петрищев М.С. На данный момент это один из ведущих специалистов отрасли, автор и соавтор целого арсенала технических средств и геофизических технологий с богатым опытом обработки и интерпретации данных электро-, магнито- и гравиразведки. Автор более 120 научных работ и 4 патентов на изобретения. Победитель конкурсов «Геофизика-2009», «Геофизика-2013». Член НМС ГГТ МПР РФ.





▲ *Рис. 4. Технологии компании «ВЕГА» работают в сложных условиях промышленных шумов.*

Решение задачи выполнялось методами АМТЗ и гравиразведкой. При выполнении опытно-методических работ (далее – ОМР) использовали несколько разных типов индукционных магнитометров, а именно стандартные высокочастотные датчики для метода АМТЗ IMS-050, а также IMS-150 – широкополосные индукционные магнитометры, с проведенной специально для этих работ технической модификацией: расширенным динамическим диапазоном.

Впервые проблема серьезных перегрузок магнитометров возникла при работе партнеров в экваториальной зоне. Во время проведения исследований методом МТЗ в Колумбии они столкнулись с высокой грозовой активностью, в результате которой магнитометры "уходили в зашкал", не предоставляя качественных данных.

Инженеры компании разработали новую схему усиления сигнала для магнитометров, обеспечивающую максимально расширенный динамический диапазон с минимальной потерей чувствительности прибора в экваториальных широтах.

Для работы в Колумбии была произведена специальная партия приборов, что позволило партнерам успешно завершить проект.

После этого у компании остались несколько датчиков на складе, и возникла идея протестировать их в условиях высокого уровня техногенных помех на определенном участке. Исследования подтвердили, что разработанная теория работает и на практике: магнитометры с расширенным диапазоном смогли эффективно функционировать даже вблизи линий ЛЭП.

По результатам успешных испытаний на ОМР, для этого участка была изготовлена специальная партия приборов IMS-050 с улучшенными характеристиками, что обеспечило возможность выполнения промышленных работ в сложных условиях.

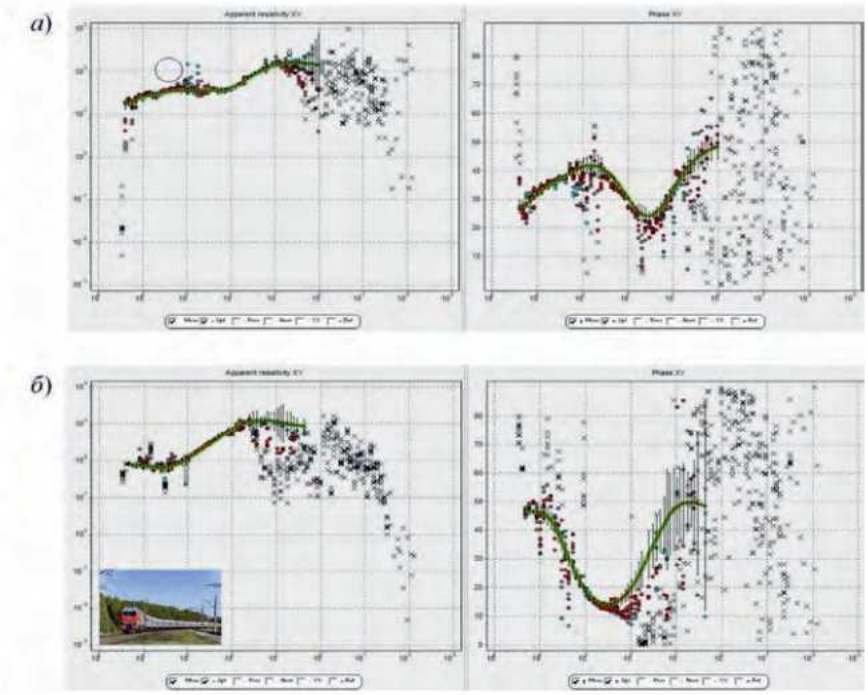


Рис. 5. Пример обработки главной компоненты модуля кажущегося сопротивления (слева) и фазы импеданса (справа) в «спокойном» месте (а) и рядом с электрифицированной железной дорогой (б). Зелеными линиями показаны «сплайны», крестиками – исключенные из построения «сплайнов» оценки.

Применение уникальных инженерных решений – сильная сторона компании «ВЕГА»

При выполнении работ на участке с повышенным уровнем индустриальных помех полевым специалистам компании удалось получить 97% кондиционных данных при помощи специальной серии датчиков магнитного поля. Для получения максимальной информативности электроразведочных данных были применены специальные алгоритмы обработки данных и построения инверсии.

Разработанное экспертами компании программное обеспечение для промышленных работ отлично подходит для решения большинства стандартных задач. Но для решения нестандартных геологических задач при уникальных обстоятельствах необходимо применение уникальных методик измерений и технологий обработки данных МТЗ/АМТЗ. Рис.5.

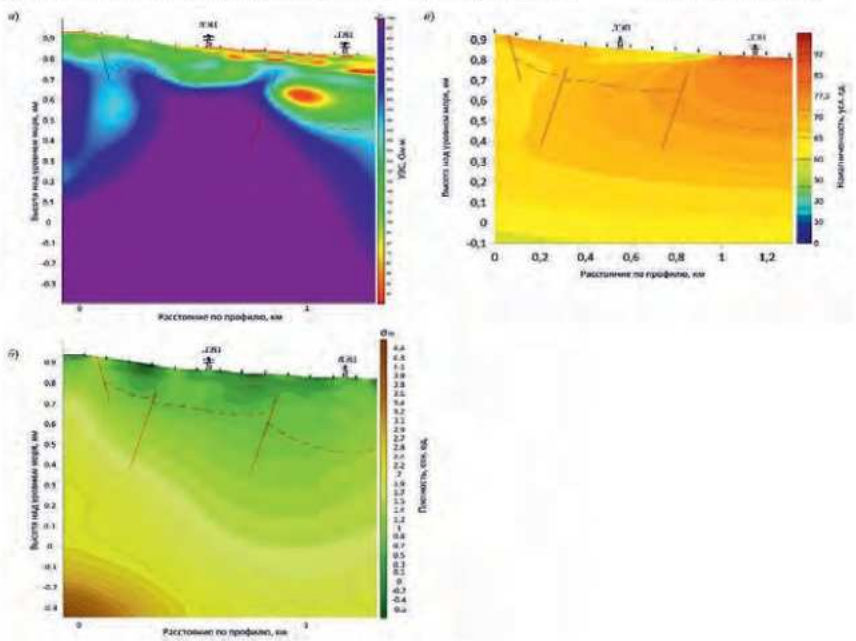


Рис.6 . Изучение особенностей ВЧР по материалам интерпретации элекро- (а), грави- (б) и магниторазведки (в)

Сроки проекта были сжаты, и за рекордные 2,5 месяца выполнены все необходимые работы и подготовлен отчет. Реализован объем полевых и камеральных работ, включающий 800 точек АМТЗ и 1500 точек гравиметрии. Проведена обработка данных и построены геоэлектрические и геоплотностные модели, а также составлен отчет с указанием мест заложения скважин разведочного бурения. Кроме того, была осуществлена общая геологическая интерпретация всех методов исследования, включая дополнительные материалы заказчика по магнитометрии.

Понимание тонкой грани между геофизикой и геологией — ключ к успеху

В последние годы недропользователи ТПИ все чаще стараются увеличить глубину поисков, детально исследуя горизонты до глубин 600 м и более. Изучение этих глубин с помощью традиционных, гальванических методов сталкивается с серьезными ограничениями, такими как потребление больших электрических мощностей и необходимость привлечения множества техники и персонала. Это не только увеличивает затраты, но и делает выполнение работ затруднительным, особенно в отдаленных и труднодоступных районах.

В таких условиях метод АМТЗ предлагает новое решение, обеспечивая оптимальное сочетание информативности, мобильности и скорости при разумных расходах. Этот мобильный способ электроразведки позволяет осуществлять вертолетную заброску небольшой группы из пяти человек, охватывающей значительные площади за короткий срок.

В сочетании с гравиразведкой и магнитометрией АМТЗ предоставляет полный комплект геофизических параметров для дальнейшего моделирования.

Современное оборудование от компании ВЕГА в сочетании с программным обеспечением для обработки данных позволяет достигать высокой разрешающей способности, сопоставимой с ЗСБ (метод зондирования становлением поля в ближней зоне), но при значительно меньших затратах. Привлечение для комплексной интерпретации данных гравиметрии, магнитометрии и др. существенно повышает достоверность выводов и рекомендаций. Этот подход делает АМТЗ удобным и экономически эффективным инструментом для геофизических изысканий.

Выполнение сервисных геофизических работ ООО «ВЕГА»

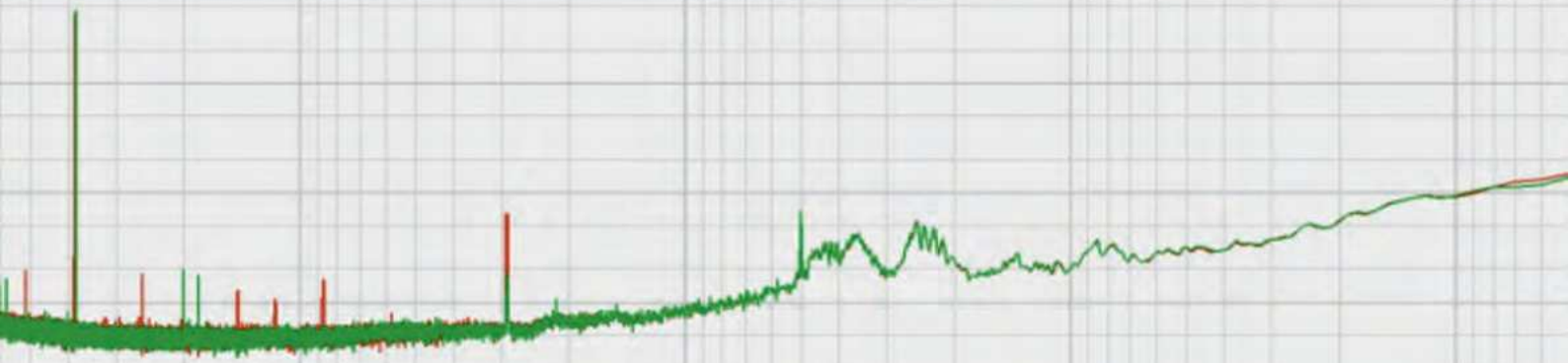
- Электроразведка методами магнитотеллурического и аудиомагнитотеллурического зондирования (МТЗ и АМТЗ);
- Гравиметрическая разведка;
- Геохимическая разведка методом адсорбции почвенных газов;
- Обработка и интерпретация результатов геофизических измерений;
- Составление геологических отчётов.

Эффективность без лишних затрат — основа успеха !

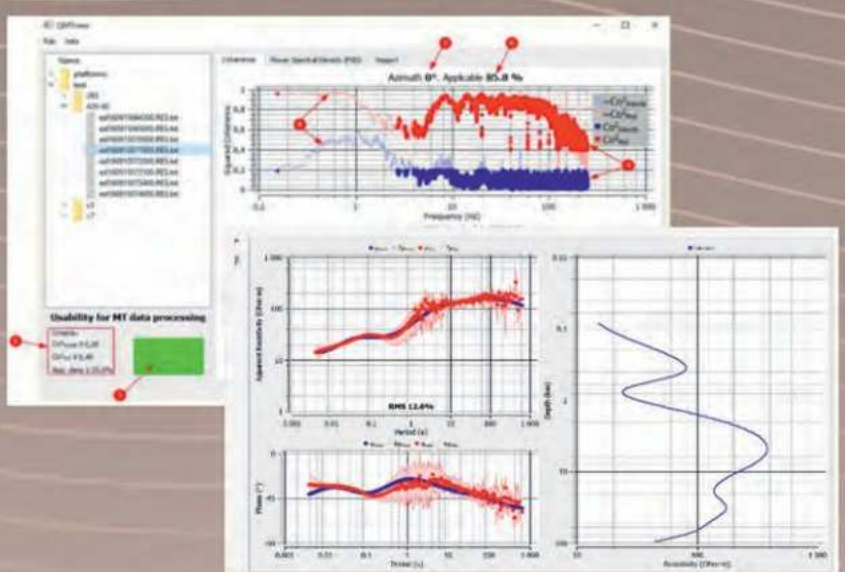
Разрабатываем,
производим и применяем
электроразведочное оборудование
для магнитотеллурических зондирований

Vega

ВОСТОЧНО
ЕВРОПЕЙСКАЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ
АССОЦИАЦИЯ



Программное обеспечение **для МТЗ/АМТЗ**



Компания разрабатывает и использует в сервисных работах программное обеспечение, основанное на передовых достижениях в алгоритмах обработки данных

Контакты:

Общество с ограниченной ответственностью «ВЕГА»

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, Московское шоссе, 25 к1, офис 717

8 812 380-84-54

info@vega-geo.net

vega-geo.net

Опыт изучения малоамплитудных тектонических нарушений с помощью атрибутов сейсмической томографии

- Молдаков В.В., Индивидуальный предприниматель Молдаков В.В., г. Краснодар.
- Романов В.В., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва.
- Латышев К. А., ЗАО «Моделирование и мониторинг геологических объектов им. В. А. Двуреченского», г. Москва.



Аннотация: *в практике инженерно-геологических изысканий изучение геологического строения по латерали, т.е. в межскважинном пространстве, возложено на инженерно-геофизические исследования. В нормативных документах приводится целый перечень геофизических методов, рекомендуемых к использованию в зависимости от условий, требований и постановки задачи. Широкое и массовое применение геофизических методов в инженерно-геологических изысканиях способствует развитию аппаратурного комплекса и программного обеспечения, что, в свою очередь, увеличивает возможности пользователей данного продукта. В настоящей работе приводятся примеры использования программного комплекса ZONDst2D для решения задачи поиска и оконтуривания малоамплитудных тектонических нарушений с помощью двумерной инверсии на преломленно-рефрагированных волнах. По результатам инверсии были построены скоростные разрезы двух типов волн Vp и Vs, а также использовались результаты электроразведочных работ методом электротомографии. Для выделения малоамплитудных тектонических нарушений на скоростных разрезах были применены трансформанты в виде разреза полного градиента скорости, на которых выделялись границы первого и второго рода, а также вертикальные контакты. Скоростные разрезы Vp и Vs пересчитывались в разрез коэффициента Пуассона. Используя возможности программного обеспечения, по тем же сейсмическим данным, были построены разрезы декремента поглощения Q для продольных и поперечных волн и разрезы анизотропии скорости в плоскости Vx/Vz для продольных и поперечных волн. Благодаря многофакторной оценке геологического строения и применения атрибутов сейсмической разведки получилось с высокой детальностью выделить субвертикальные малоамплитудные тектонические нарушения IV и V порядков. Условия проведения работ осложнялись толщей дисперсных грунтов мощностью до 7 м, перекрывающих скальный массив. Благодаря геофизическим методам удалось объяснить природу мощного слоя глин в массиве скального грунта и оценить риски влияния аномалии на проектируемые сооружения.*

Ключевые слова: *геофизические методы; разрывные нарушения; сейсмические атрибуты; анизотропия скорости; декремент затухания; коэффициент Пуассона; границы первого и второго рода; полный градиент скорости.*

Введение

Применение сейсмической томографии на преломленных и рефрагированных волнах в процессе инженерно-геологических изысканий в настоящее время имеет широкое распространение и массово используется на всей территории страны для решения геологических и строительных задач, что обеспечивается доступным и качественным оборудованием отечественного производства. На рынке имеется широкий выбор сейсморазведочных приборов, различающихся по ценовой категории, надежности, техническим характеристикам, производительности и т.п.

Современное программное обеспечение по обработке наземной сейсмической томографии находится сейчас на стадии активного развития, совершенствуется каждый год и даже чаще. Все теоретические наработки, математические и физические идеи, описанные в прошлом веке, в настоящее время моментально реализуются в виде модулей в готовых программах или в виде отдельных продуктов коммерческого использования. Одной из современных и массово используемых в нашей стране программ для двумерной обработки и интерпретации данных сейсмической томографии является программа ZONDst2D. Она позволяет получать скоростные двумерные разрезы по годографам преломленных продольных и поперечных волн, производить расчет анизотропии сейсмических скоростей, выполнять амплитудную инверсию и многое другое. На практике большинство пользователей ограничиваются получением и анализом только скоростных разрезов для решения поставленных задач, что чаще всего достаточно, но для более широкого и детального анализа следует использовать полный комплекс атрибутов сейсморазведки. Конечно, полный анализ всех сейсмических свойств среды требует дополнительных затрат сил, времени и дополнительного финансирования, но в исключительных случаях позволяет раскрыть детали и особенности структурного строения разреза. В качестве примера таких исследований хотелось бы привести результаты сейсморазведочных работ в рамках инженерно-геологических изысканий на территории проектируемого строительства гостиничного комплекса в с. Варваровка, Анапского района, Краснодарского края.

Геологическое строение участка работ

По данным бурения инженерно-геологических скважин до разведанной глубины 20,0 м принимают участие верхнемеловые отложения (K_2), четвертичные делювиальные отложения (dQ_h), перекрытые с поверхности элювиальными отложениями (eQ_h) и современными техногенными отложениями (tQ_h).

Современные техногенные отложения(tQ_h).

Слой 1 Насыпной грунт: дресвяно-щебенистый грунт с суглинистым твердым заполнителем до 40-50%. Мощность слоя 0,4-1,0м.

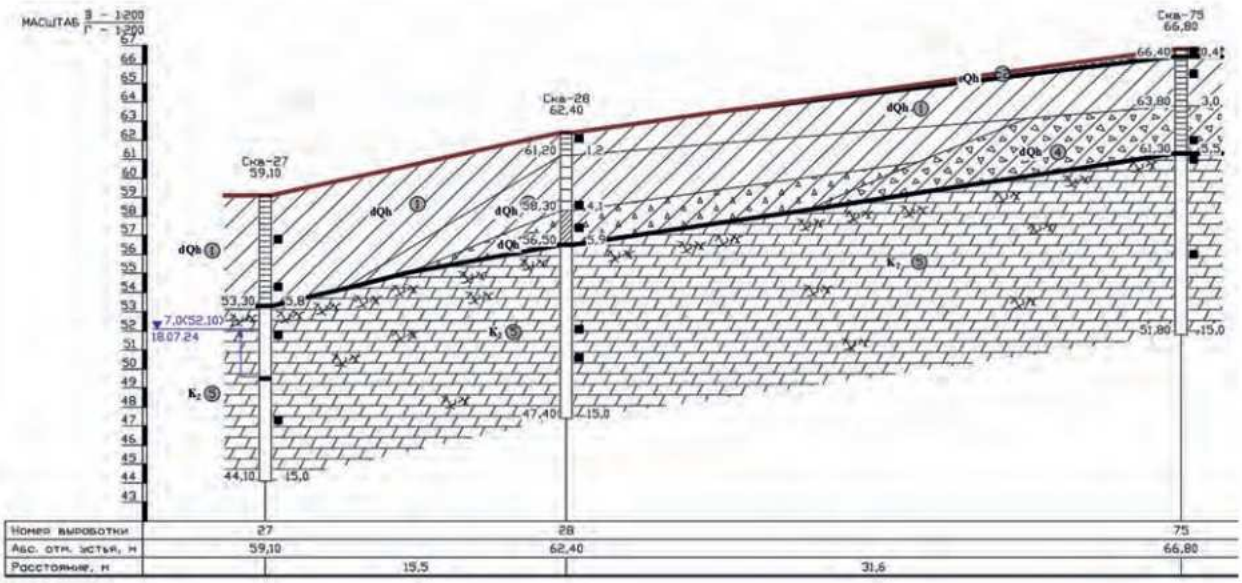
Элювиальные отложения (eQ_h).

Слой 2 Почвенно-растительный слой (суглинок темно-бурый тяжелый полутвердый с остатками корней растений и с включением дресвы до 10-15%). Мощность слоя 0,2-0,4м.

Четвертичные делювиальные отложения(dQ_h).

Слой 3 Суглинок бурый твердый с включением дресвы и щебня до 5-20% с редким прослоем глыб песчаника серого. Мощность слоя 0,4-7,0м.

Слой 4 Суглинок бурый, светло-бурый полутвердый с включением дресвы и



▲ *Рис. 1. Типовой инженерно-геологический разрез участка работ.*

щебня до 5-10% с редким прослоем глыб песчаника серого. Прослежен с поверхности и с глубины 2,2м до глубины 2,0-7,5м. Мощность слоя 1,3-7,3м.

Слой 5 Дресвяный грунт с суглинистым бурым, серовато-бурым твердым заполнителем до 35-45%. Прослежен с поверхности и с глубины 7,5 м до глубины 1,0-12,5 м. Мощность слоя 0,5-5,7 м.

Слой 6 Суглинок бурый, светло-бурый твердый с включением дресвы и щебня до 35-45%. Прослежен с поверхности и с глубины 6,0 м до глубины 0,7-7,9 м. Мощность слоя 0,7-2,6 м.

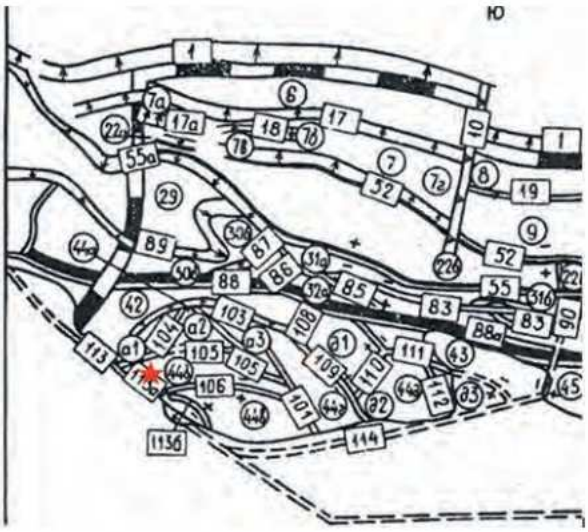
Верхнемеловые отложения (K_2)

Слой 7 Мергель серый, темно-серый, серовато-бурый средней прочности трещиноватый в кровле сильнотрещиноватый с прослойками мергеля малопрочного и песчаника прочного до 0,2-0,7м, в кровле сильно трещиноватый выветрелый до состояния щебня и отдельных блоков. Установлен во всех скважинах. Прослежен с глубины 0,5-12,5м до разведанной глубины 15,0-20,0м. Вскрытая мощность слоя 6,8-14,5м.

На рисунке 1 приводится типовой инженерно-геологический разрез участка работ.

Подземные воды на момент изысканий имеют спорадическое распространение и вскрыты на глубине от 6,5 м до 17,5 м. Зафиксирован установившейся уровень грунтовых вод на глубине от 5,1м до 15,0м. По условиям залегания подземные воды приурочены к верхнемеловым отложениям (К2), имеют трещинно-жильный характер. Основное питание водоносный горизонт получает за счет инфильтрации в грунты атмосферных осадков.

В тектоническом отношении согласно схеме неотектонического районирования, участок изысканий расположен в пределах новейших блоковых и складчатых структур западной части Большого Кавказа. По материалам Несмеянова С.А. (1992 г) (рис. 2) участок исследования относится к юго-западной части Абрауского поднятия. Абрауское поднятие ограничено на севере Супсехской флексурой (103) и Северогузокским сбросом (108), а на северо-востоке – Борисовским сбросом (111). Поднятие осложнено двумя грабенами. Абраудюрсинский грабен: (44г) субмеридионален и ограничен на западе Дюрсинским (107), а на востоке Большехуторским (109) сброса-



▲ *Рис. 2. Схема новейших структур западной части мегасвода Большого Кавказа. Звездочкой обозначен участок работ.*

ми. С северо-запада к нему торцово причленяется Суккинский грабен (44б), который отделен от соседних структур с севера Марковским (105), а с юга — Суккинским (106) сбросами. Грабен дугообразный, меняет простирание с северо-западного на субширотное. На западе Абрауский свод ограничен Западноутришским сбросом (113), в поднятом крыле которого наблюдаются крупные блоки отседания.

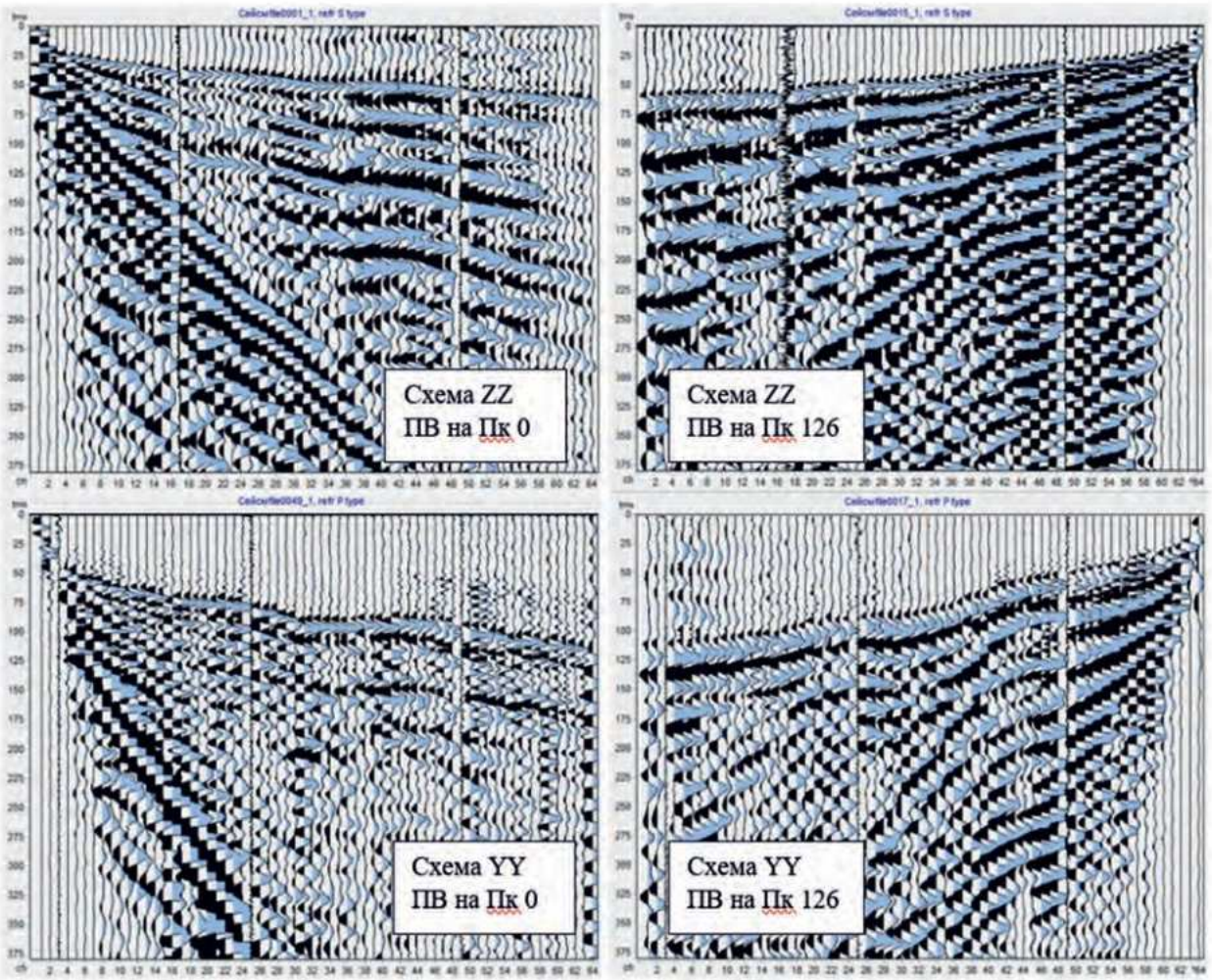
Участок исследования непосредственно располагается в юго-западной части Суккинского грабена (44б), на границе перехода в Варваринскую флексуру (дугообразную) (113а).

В результате проходки инженерно-геологических скважин на одной из них было встречено аномальное геологическое строение, которое вызывало ряд вопросов у геологов. В этом месте в верхней части разреза от дневной поверхности и до 6,5 метров наблюдались суглинистые грунты, перекрывающие скальное основание, как и на всей территории участка. Ниже кровли скальных грунтов на глубинах с 11 до 16 метров были вскрыты глинистые грунты мощностью 5 метров, а после до 19 метров продолжались скальные грунты. Для определения причины и формирования столь мощного слоя глин в массиве скального основания были выполнены комплексные геофизические исследования, состоящие из электроразведочных и сейсморазведочных работ.

Методика выполнения работ

Электроразведочные работы выполнялись методом электротомографии с помощью аппаратурно-программного комплекса Скала 48-К12 (КБ «Электрометрии»). Использовались три типа установки зондирования: Шлюмберже, Диполь-Дипольная и Трехэлектродная встречная. Число электродов - 48 шт., шаг между электродами - 3 метра, длина профиля - 141 метр, заземление электродов не превышало 0,6 КОм, измеряемый сигнал не опускался ниже 5 мВ. Обработка полученных данных осуществлялась в программе ZONDRes2D. Применялась инверсия Occam с подбором фактора гладкости и фокусирующего параметра.

Сейсморазведочные работы выполнялись методом сейсмической томографии с помощью телеметрической сейсморазведочной аппаратуры IS-128 (ООО НПП "Интромаг"). Использовалось 4 удаленных модуля по 16 каналов на каждый, всего на приемной расстановке использовалось 64 канала. Шаг между пунктами приема – 2 метра, шаг между пунктами возбуждения – 10 метров, общая длина приемной линии 126 метров. В качестве сейсмоприемников служили вертикальные и горизонтальные геофоны GS20-DX и GS-20-DX-2B. Наблюдения проводились по схемам ZZ (вертикально направленные удары и прием на вертикальных сейсмоприемниках) и YY (горизонтально направленные перпендикулярно линии профиля удары и прием на горизонтальных сейсмоприемниках). Частота дискре-



▲ *Рис. 3. Пример сейсмограмм МПВ, зарегистрированных на профиле Ст 1.*

тизации при регистрации составляла 2000 Гц и длина записи 1.024 сек, усиление 32 Дб. Обработка полученных данных осуществлялась в программе ZONDSt2D. Применялась инверсия Occam с подбором фактора гладкости и фокусирующего параметра. Пример полевых сейсмограмм приведен на рисунке 3.

Планово-высотная привязка профилей осуществлялась с помощью спутниковой геодезической аппаратуры EFT-V1-Plus. Мульти-системный и мульти-частотный спутниковый приемник с поддержкой приема сигналов спутниковых навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, Beidou, Galileo. Точность позиционирования не превышала 10 см.

Положение сейсмических и электрических профилей выбиралось исходя из рельефа местности. Было выполнено два комплексных геофизических профиля, располагающихся перпендикулярно друг к другу. Один профиль располагался поперек склона, а второй вдоль склона, в месте пересечения профилей располагалась скважина с аномальным геологическим строением.

Результаты исследований

Обычно, из практики, полученные в результате инверсии скоростные разрезы продольных и поперечных волн довольно сложно интерпретировать и особенно выделять на них границы раздела, так как скорости распределены по разрезу непрерывно и характеризуются лишь изменением градиента скорости. Для оценки структурных особенностей ско-

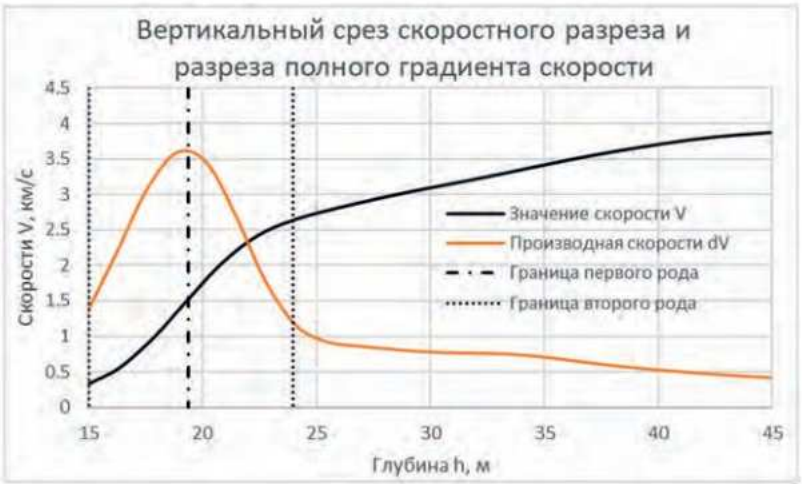


Рис. 4. Пример построения границ первого и второго рода по разрезу полного градиента скорости.

ростного разреза в программе ZONDSt2D реализована возможность построения разреза полного градиента скорости – это результат суммирования вертикальной и горизонтальной производной скорости. Полученный разрез позволяет выделить на скоростном разрезе границы первого и второго рода [6]. Граница первого рода характеризуется скачком скорости на границе двух слоев, граница второго рода характеризуется ростом градиента скорости (рис. 4).

Пример выделения границ по разрезам полного градиента скорости продольных и поперечных волн по профилю Ст 1 приведен на рисунке 5. По максимуму градиента выделялись границы первого рода – сплошной линией, по участкам начала роста и конец спада градиента выделялись границы второго рода. Вертикальные контакты выделялись по участкам разрыва границ первого рода и структурным особенностям разреза.

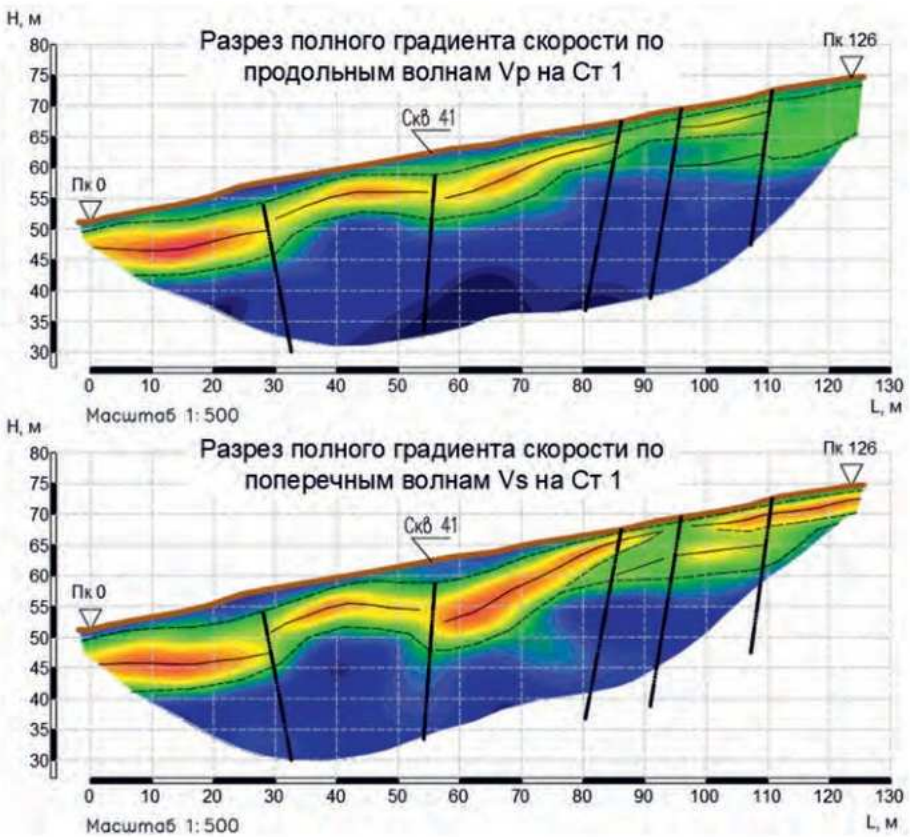


Рис. 5. Разрезы полного градиента скорости Vp и Vs волн по профилю Ст 1. Сплошными линиями показаны границы первого рода, пунктиром – второго рода, жирным штрих-пунктиром вертикальные границы.

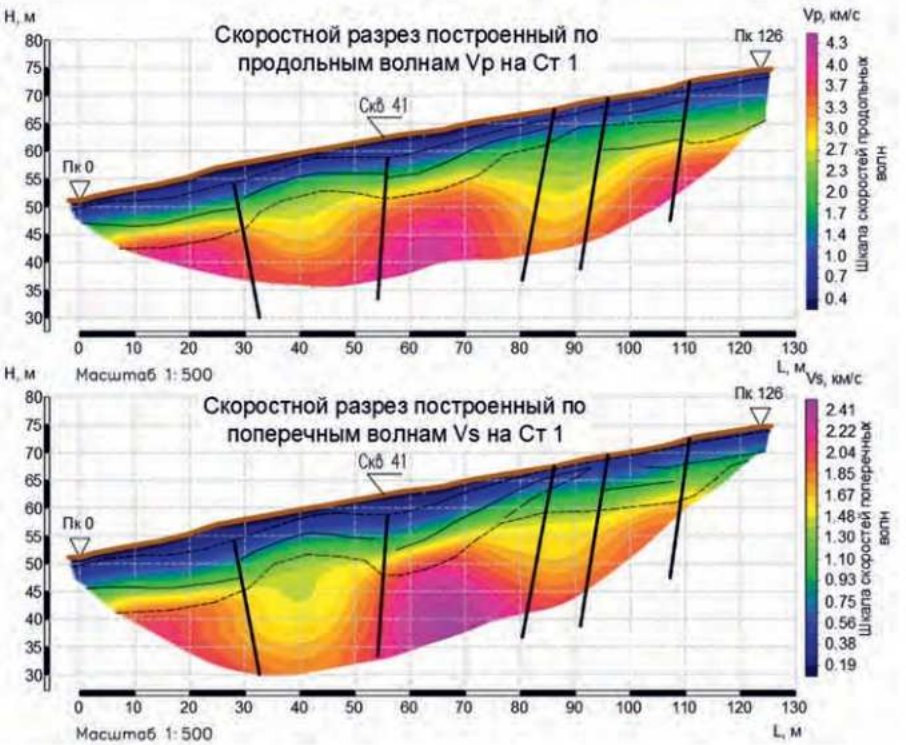


Рис. 6. Скоростные разрезы Vp и Vs по профилю Ст 1.

Полученные границы были нанесены на разрезы скоростей продольных и поперечных волн (рис. 6). Результатом такого построения является разрез, характеризующийся структурными особенностями, где приводятся границы слоев и контактов, а также определены сейсмические свойства этих слоев в виде скоростей Vp и Vs.

Ценность информации о скоростях продольных Vp и поперечных Vs волн в грунтах и связь их с важнейшими физико-механическими характеристиками хорошо описана в [1]. Используя зависимость между скоростями распространения упругих волн и модулями упругости можно построить разрез коэффициента Пуассона по формуле:

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad [1].$$

Как можно наблюдать на рисунке 7, разрез коэффициента Пуассона хорошо согласуется с геоэлектрическим разрезом, полученным по данным электротомографии.

Коэффициент Пуассона μ для горных пород варьирует в диапазоне от 0,0 до 0,5, где для большинства горных пород составляет 0,20-0,35 достигая в пластичных влажных породах значений, близких к 0,5 [2]. По результатам наземных и скважинных сейсмоакустических измерений в консолидированных осадочных породах установлено понижение μ от 0,4 до 0,15-0,25 [4]. Таким образом, к минимальным значениям μ приближаются упругие свойства жестких кристаллических пород, к максимальным значениям – мягкие пластичные отложения.

Параметр удельного электрического сопротивления широко используется в инженерных изысканиях, применение электроразведки в целом в составе изысканий хорошо описано [5]. На рисунке 7 очевидно сходство двух этих разрезов. Верхняя часть разреза по данным бурения скважины №41 до 6.5 метров представлена суглинками твердыми с включениями дресвы, которые соответствует УЭС грунтов ρ=20-30 Омм и коэффициенту Пуассона μ=0,34-0,38. Далее по

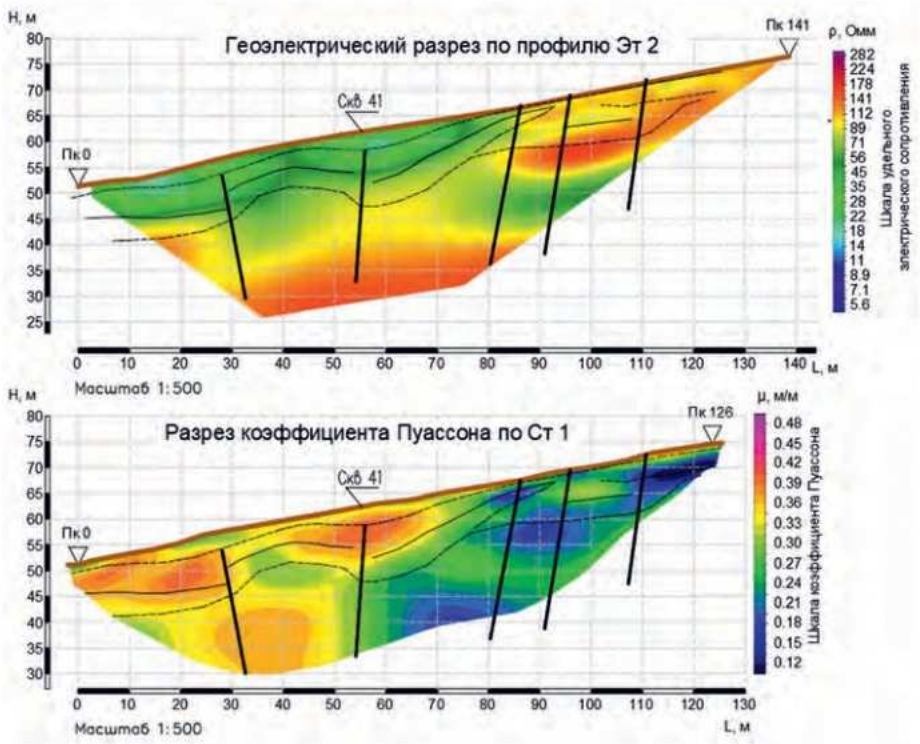


Рис. 7. Геоэлектрический разрез и разрез коэффициента Пуассона по профилю Ст 1.

разрезу наблюдается мергель трещиноватый. В месте расположения скважины №41 проходит вертикальный контакт разделяющий левую и правую части разреза по значению коэффициента Пуассона – слева низкие значения 0,18-0,28; справа высокие значения 0,33-0,36. На геоэлектрическом разрезе в этом месте наблюдается излом кровли высокоомного слоя, слева наблюдается наклон границы влево, а справа наклон границы вправо. Сопротивление с глубиной повышается от 70 до 150 Омм, что может свидетельствовать об уменьшении трещиноватости и повышении целостности массива скальных грунтов с глубиной. Выделенные вертикальные контакты, вероятнее всего, соответствуют признакам тектонического нарушения, малой амплитуды и ширины, которое вероятно вскрыла скважина №41.

Скорости волн и коэффициент Пуассона характеризуют упругие свойства пород, а неупругие свойства пород характеризуют коэффициент α (декремент Q) поглощения (затухания), т.е. степень отличия от идеально упругой модели. В отличие от скоростей, коэффициенты поглощения волн прямо зависят от частоты колебаний. Чтобы избежать неопределенности, связанной с зависимостью коэффициента поглощения от частоты, применяют декремент поглощения Q (обратная величина добротности). Декремент поглощения определяют как поглощение энергии упругих колебаний α на участке пути длиной в одну волну волны λ, т.е. $Q=\alpha\lambda$. В первом приближении декременты поглощения продольных и поперечных волн не зависят от частоты и является безразмерным параметром [1]. Параметры поглощения являются наиболее важными физическими константами после скоростей распространения волн, так как они в сильной степени зависят от литологического состава, пористости, давления и температуры горных пород [6]. Наиболее резкие изменения декремента поглощения (затухания) продольных волн Qp наблюдается в верхней части разреза (Qp=0,01-1,90), где с увеличением водо-

насыщенности, поглощение быстро убывает с глубиной. В газоносных пластах поглощение может быть в несколько раз больше, чем в пласте того же состава, заполненного водой [2]. Затухание колебаний увеличивается в раздробленных и неоднородных средах. Поэтому обычно повышенным затуханием сейсмических колебаний отмечаются зоны тектонических нарушений и повышенной трещиноватости горных пород. Декремент поглощения (затухания) поперечных волн Qs увеличивается с понижением скорости в кристаллических породах, но при этом степень его увеличения в значительной мере определяется уровнем трещиноватости и неоднородности пород [4]. Имеющиеся данные показывают, что в песчано-глинистых отложениях Qs быстро возрастает с увеличением водонасыщенности пород. Это может быть связано с тем, что в таких средах, приближающихся по своим свойствам к жидким, поперечные волны не могут распространяться [2]. В способах определения коэффициента поглощения (затухания) сейсмических волн влияние поглощения за счет неидеальной упругости и рассеяния энергии на мелких неоднородностях не разделяются [3]. Существенную роль в уменьшении амплитуд сейсмических колебаний принадлежит их рассеянию на неоднородностях. В интерпретации данных следует учитывать эти особенности.

Для расчета параметра затухания в программе ZONDSt2d были пропикированы и сняты значения амплитуд преломленных волн Vp и Vs; по спектрам сейсмограмм были определены их частоты (Fp=70 Гц; Fs=35 Гц), это необходимо для расчета длины волны λ=V/F, где V – скорость волны; F – частота сигнала; лучевое покрытие определено по данным построения скоростных разрезов. Результатом инверсии амплитуд являются разрезы декрементов затухания (поглощения) для продольных и поперечных волн (рис. 8). По разрезу Qp видно, что верхняя часть разреза до двух метров обладает низкими значениями Qp=0.5-0.7. Ниже по разрезу, где выделя-

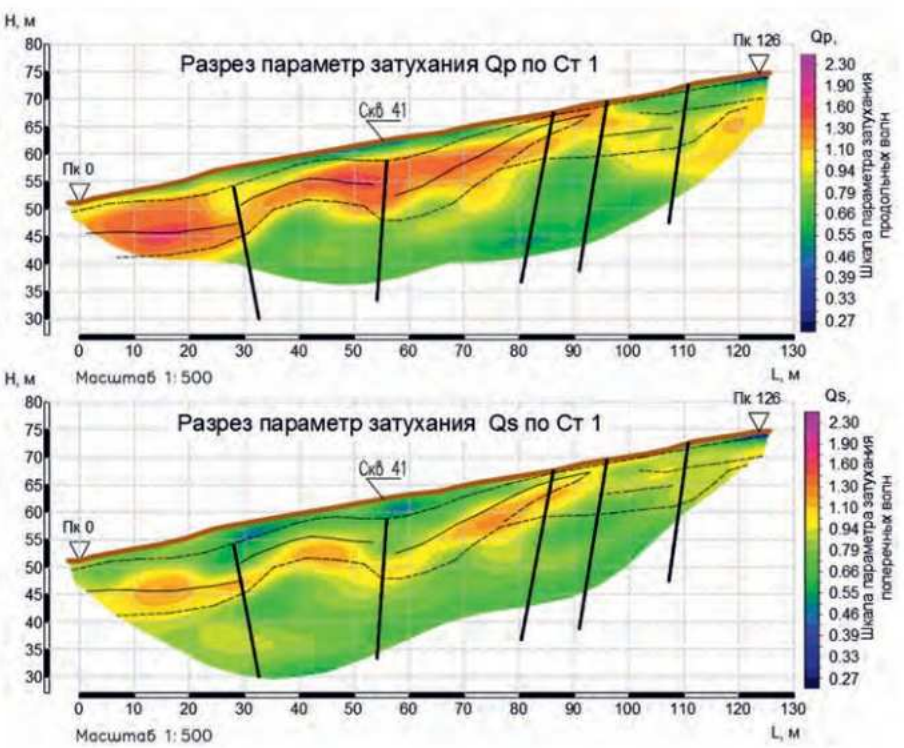


Рис. 8. Разрезы декрементов затухания Qp и Qs по профилю Ст 1.

ются глинистые грунты с дресвой и кровля трещиноватых скальных грунтов, до границы второго рода, наблюдаются высокие значения Qp=0.9-1.3 с максимумом на кровле скальных грунтов (граница первого рода). Ниже, там, где наблюдается массив скалы, значения падают до Qp=0.5-0.8. По разрезам Qp глинистые грунты и кровля выветрелых скальных грунтов практически не разделяется, хорошо и контрастно прослеживается массив скального основания. Более контрастных зон не наблюдается, так как разрез в данном месте по данным бурения сухой, без грунтовых вод.

Разрез Qs более дифференцирован, глинистые грунты до кровли скального основания обладают пониженными значениями Qs=0.4-0.7, что отличается от Qp. Максимальными значениями обладает зона выветривания скальных грунтов, вероятнее всего, сильно трещиноватая Qs=0.9-1.2. Массив скального основания обладает средними значениями Qs=0.5-0.8. Таким образом, глинистые грунты для продольных волн обладают высокими поглощающими свойствами, а для поперечных вол низкими, в остальных случаях закономерности Qs и Qp совпадают. Вероятные тектонические нарушения не проявляются в явном виде на разрезах параметров затухания, скорее всего, из-за их малой ширины.

Еще одним важным свойством, которое часто обнаруживается в массиве пород, является коэффициент анизотропии – это зависимость свойств среды от направления распространения сейсмических волн. Отношение скоростей вдоль слоистости V=, к скорости вкрест слоистости V+ называют коэффициентом анизотропии(V=/V+). Причинами анизотропии могут быть: тонкослоистая среда, строение кристаллической решетки минералов, упорядоченность внутренней структуры геологического массива, напряженное состояние и трещиноватость пород при складкообразовании или тектонических нарушениях. Коэффициент анизотропии скорости в реальных средах редко превышает 1.10-1.15. Глинистые отложения, которые отличаются упорядоченной чешуйчатой текстурой, обладают высокими значениями коэффициента анизотропии продольных волн до 1.5. Песчаные грунты редко превышают значения 1.1-1.2, карбонатные отложения имеют слабую анизотропию. Для поперечных волн анизотропия обычно выше, чем для продольных вол в тех же разрезах [2, 4].

Программа ZONDSt2d при расчете анизотропии использует разные значения скорости элемента (ячейки) разреза в вертикальном и горизонтальном направлении. Программа восстанавливает среднее значение скорости и отношение Vx/Vz в режиме с постоянной скоростью в ячейке. Следуют быть осторожным при одновременном подборе средней скорости и параметра анизотропии, т.к. он дает дополнительную степень свободы (усиливает эквивалентность) решения. Лучше всего использовать данный режим в том случае, если вы уверены, что в разрезе присутствуют породы, характеризующиеся анизотропией.

Так как массив скального грунта представляет из себя флиш – многократное закономерное чередование слоев, то эти грунты должны характеризоваться анизотропией скорости, в данных условиях уместно использование и оценка параметра анизотропии. Коэффициент анизотропии будет зависеть от азимута и угла падения слоистости пород. Т.е. в случае смены направления слоистости пачки, коэффициент анизотропии будет меняться и по разрезам Vx/Vz можно

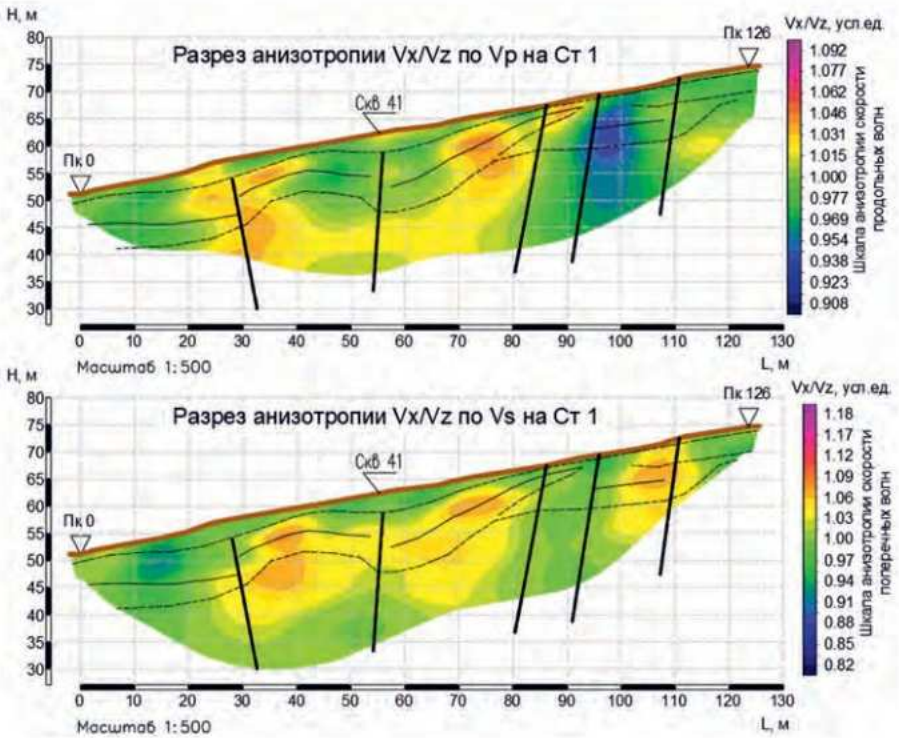


Рис. 9. Разрезы анизотропии скорости в плоскости Vx/Vz для продольных и поперечных волн по профилю Ст 1.

оценить изменение элементов залегания – разделять блоки, крылья и ядра складок и т.п. На рисунке 9 приводятся разрезы анизотропии скоростей продольных и поперечных волн. Как и ожидалось, все изменения наклонов границ сопровождаются вертикальным контактом на разрезе анизотропии и сменой значения этого параметра. Т.е. при тектоническом разломе происходит смещение одной части относительно другой со сменой элементов залегания, что приводит к разным коэффициентам анизотропии в двух этих блоках и в зоне дробления.

Фактор анизотропии, связанный с пространственной ориентацией трещиноватости в данных условиях, вероятнее всего, будет незаметен, так как доминирующим будет анизотропия слоистости. Таким образом, разрезы анизотропии хорошо отображают структурную изменчивость разреза. Можно наблюдать, что все вертикальные контакты хорошо согласуются со структурными особенностями разрезов анизотропии.

По данным комплексной интерпретации геосейсмических и геоэлектрических данных были построены разрезы и дана оценка тектонического строения участка работ. В районе аномального строения разреза скважины №41 было обнаружено тектоническое нарушение с крутым субвертикальным залеганием. Таким образом, вероятнее всего, при бурении скважины, была вскрыта плоскость этого нарушения под острым углом. Аналогичный тип тектонического нарушения был обнаружен в 140 метрах от объекта исследования на обнажении склона. Фото приводится на рисунке 10. Как видно по фото, тектоническое нарушение расширяется к поверхности и имеет ширину до 1,5 м вверху и сужается до 0,5 метров в основании склона. Наблюдается смещение одного крыла относительно другого. Вероятнее всего левое крыло опущено относительно правого. Фиксируется смена элементов залегания после разлома, левое крыло с пологими углами наклона, правое крыло с более крутыми. Угол наклона разлома составляет порядка 60 градусов, близкое к вертикальному.



▲ *Рис. 10. Фото тектонического нарушения вблизи участка исследования. Синим - границы прослоев мергеля; красным - тектоническое нарушение.*

Выводы

В результате детальных инженерно-геофизическим исследований на участке были обнаружены тектонические нарушения малых порядков. В районе скважины №41 одно из таких нарушений было подтверждено бурением. По классификации характера нарушения сплошности массива, все приведенные нарушения близки к разломам IV порядка или крупным трещинам V порядка.

Предложены способы обнаружения и изучения малоамплитудных тектонических нарушений, которые не проявляются в явном виде на геоэлектрических и скоростных разрезах. Использование разреза полного градиента скорости наиболее эффективно на контрастных разрезах, где значения на границах увеличиваются на порядок. В настоящей работе приводятся способы изучения строения среды по сейсморазведочным атрибутам: декремента затухания, коэффициенту Пуассона и коэффициенту анизотропии продольных и поперечных волн. Применения атрибутного анализа среды возможно только при высоком качестве сейсмических данных.

Для детального изучения строения разрезов, использование дополнительных независимых параметров (сейсморазведочных атрибутов) среды является хорошим подспорьем.

Литература

1. Богоявленский В. И., А. В. Кишанков, А. Г. Казанин, 2023. Распространение субаквальной мерзлоты в море Лаптевых по данным сейсморазведки методом преломленных волн. Артика: Экология и экономика, с. 501-515

2. Бобров В. Ю., Герасимова И. Ю., 2021. Применение метода преломлённых волн при условии сложной конфигурации преломляющей границы. Инженерная и рудная геофизика 2021: Материалы 17-й научно-практической конференции и выставки, Геленджик, 26–30 апреля 2021 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ", с 53

3. Герасимова И. Ю. 2024. Мониторинговые исследования свойств верхней части разреза в пределах потенциально-опасных участков методом преломлённых волн. Горное эхо. – 2024. – №. 2, с. 38-44

4. Горяинов Н.Н., 1992. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. Недра, Москва

5. Гурвич И.И., Боганик Г.Н., 1980. Сейсмическая разведка. Недра, Москва

6. Епинатьева А.М., Голошубин Г.М., 1990. Метод преломленных волн. Недра, Москва

7. Караев Н.А., Рабинович Г.Я., 2000. Рудная сейсморазведка. ЗАО Геоинформатика

8. Нерадовский Л. Г. 2021. Точность метода преломленных волн при изучении глубины залегания коренных пород в криолитозоне центральной Якутии (долина реки Лены Туймаада). Геофизика №2. с. 44-53

9. Огильви А.А., 1990. Основы инженерной геофизики. Недра, Москва

10. Романов В.В., 2015. Инженерная сейсморазведка. ООО «ЕАГЕ Геомодель»

11. Романов В. В., Иванов А. А., Широбоков М. П. Тематическая сессия: "Современное состояние и перспективы развития инженерной геофизики" : Материалы международной научно-практической конференции, Сочи, 27-29 апреля 2022 г. Тверь. ПолиПРЕСС, 2022. с. 93-98

12. Романов, В. В., Сергеев К. С., Рыжков В. И. 2020. Оценка физических свойств четвертичных грунтов по данным сейсморазведки в центральной части Восточно-Европейской равнины Инженерная и рудная геофизика 2020: 16-я научно-практическая конференция совместно с семинаром «Инженерная и рудная геология 2020», Пермь, 14–18 сентября 2020 года. – Пермь: Общество с ограниченной ответственностью "ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ", с. 12

13. Стакина Е. И., Романов В.В. 2021. Комплексные инженерно-геофизические исследования площадки строительства Билибинской АЭС с целью сейсмического микрорайонирования. Разведочная геофизика и геоинформатика: Материалы 2-ой всероссийской научно-практической конференции, Москва, 02 марта 2021 года. Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе. с. 89-90

14. Уаров В.Ф., 2016. Сейсмическая разведка. Москва

15. Яскевич С. В. и др. 2021. Изучение анизотропии ВЧР на полигоне Ключи методом преломлённых волн. Интерэкспо Гео-Сибирь, с. 90-97

Подробнее об авторах



Молдаков
Владимир Викторович
Индивидуальный предприниматель
Молдаков В.В.,
г. Краснодар,
moldakov@geophysical.pro



Романов
Виктор Валерьевич

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, кандидат технических наук, доцент



Латышев
Кирилл Алексеевич
геофизик,
ЗАО «Моделирование и мониторинг геологических объектов им. В. А. Двуреченского»,
kilat_2002@rambler.ru

Система ПАНГЕЯ – эффективная альтернатива иностранному ПО в сейсморазведке

Введение

Запрет на использование иностранного программного обеспечения в России ставит перед недропользователями сложную задачу перехода на отечественные решения. На протяжении многих лет большинство российских компаний полагались на зарубежные программные продукты для проведения геологоразведочных и геофизических работ. В результате процесс замены этих систем требует значительных усилий, включая перестройку внутренних процессов, переобучение специалистов и адаптацию к новым инструментам.

Тем не менее, решение данных задач становится возможным благодаря отечественным разработкам, которые способны обеспечить стабильность работы и соответствовать современным требованиям отрасли. ПАНГЕЯ активно развивает свои программные решения, не только совершенствуя технологии, но и расширяя маркетинговые усилия для замещения импортного ПО. Это связано с тем, что в ближайшем будущем иностранное программное обеспечение окончательно вытеснят из-за законодательства, что делает переход на отечественные продукты неизбежным. Одним из надежных решений в этой сфере является система ПАНГЕЯ, предлагающая комплексный подход к осуществлению поисковых работ.

Проблемы перехода на отечественное ПО

Недропользователи, сталкиваясь с необходимостью перехода на отечественное программное обеспечение, формулируют потребности в интегрированных решениях, способных обеспечить эффективное управление геологоразведочными процессами.

К таким потребностям относятся:

- Автоматизация процессов: предприятия нуждаются в ПО, которое автоматизирует сбор, обработку и анализ данных, что значительно ускоряет исследовательские работы и повышает их точность.
- Интеграция данных: важна возможность объединения различных источников информации и различных форматов данных, включая данные сейсмических исследований, бурения и

▼ *Рис. 1. Архитектура системы «Пангея».*



геофизики, для формирования комплексной картины месторождений.

- Поддержка работы с несколькими этапами геологоразведки в рамках одного программного обеспечения: решение должно обеспечивать комплексное покрытие большинства этапов рабочего цикла, начиная с предварительных исследований и заканчивая оценкой экономической эффективности добычи.

Отсутствие интегрированных решений создает для недропользователей ряд проблем:

- Фрагментация процессов: использование разных программ для отдельных этапов работы затрудняет обработку и интерпретацию данных, что может приводить к ошибкам и задержкам в принятии решений.
- Отсутствие поддержки и обновлений: зарубежные программные продукты могут не обеспечивать необходимую локализацию и техническую поддержку, что критично в условиях специфики российской геологии и законодательства.
- Высокие затраты на программное обеспечение: приобретение нескольких программных продуктов для работы на различных этапах у разных производителей значительно превышает стоимость инвестиций в одно отечественное интегрированное решение, которое охватывает все необходимые этапы геологоразведки.

Переход на отечественное ПО представляет собой не только вызов, но и стратегическую возможность для недропользователей. В условиях новых реалий компании должны активно внедрять российские программные решения, тем самым способствуя развитию рынка отечественного программного обеспечения, которые удовлетворяют их потребности и повышают эффективность работы.

Интегрированная система ПАНГЕЯ

Система ПАНГЕЯ была разработана для создания интегрированной платформы, отвечающей специфическим требованиям российского рынка в области геолого-геофизических исследований. История ее разработки насчитывает более трех десятилетий, а регистрация в Российском агентстве по патентам и

▼ *Рис. 2. Система «Пангея» обеспечивает единое информационное пространство для эффективной геологоразведки.*





▲ *Рис. 3. Система «Пангея» обеспечивает коммуникации всех участников проекта ГРР.*

товарным знакам (Роспатент) подтверждает ее надежность. Система включает алгоритмы, обеспечивающие многомерную интерпретацию геофизических данных, что позволяет значительно повысить точность геологических моделей и объективно оценить их надежность.

ПАНГЕЯ обладает клиент-серверной архитектурой, что позволяет специалистам работать в едином информационном пространстве без необходимости копирования массивных данных на локальные компьютеры. Это значительно облегчает совместную работу и экономит время и ресурсы.

Ключевые компоненты системы включают пакеты программ, предлагающие решения для комплексной многомерной интерпретации данных сейсморазведки и ГИС, анализа картографической информации и данных бурения, а также интерпретации данных исследований керна.

Эти решения позволяют прогнозировать структурные поверхности и коллекторские свойства пластов, а также обеспечивают многоскважинный анализ и корреляцию данных.

Основные этапы ГРР и существующие решения на рынке ПО

Использование единого решения, которое предлагает ПАНГЕЯ, позволяет существенно сэкономить на затратах, исключив необходимость работы с несколькими программными продуктами сразу. Кроме того, применение отечественной экосистемы ПО существенно дешевле зарубежных аналогов.

Поддержка недропользователей в новых условиях

В условиях перехода на отечественное программное обеспечение и изменений в экономической среде система ПАНГЕЯ предлагает недропользователям комплексную поддержку, ориентированную на создание эффективной экосистемы. Это позволяет пользователям не только адаптироваться к новым условиям, но и максимально использовать преимущества отечественных технологий.

Этап работы	Зарубежные аналоги	Функциональный модуль Системы ПАНГЕЯ
Работа с архивными материалами	HampsonRussel, Omega, Geovation	Mapmaker
Препроцессинг	ArcGIS, MapInfo, Surfer, QGis, ArcView	MDM
Обработка	Landmark, Oasis montaj, HampsonRussel, Omega, Geovation	PROSpect
Интерпретация	GeoGraphix, Techlog, Petrel, HampsonRussell	ReView
Моделирование	Geolog, GMS, HGS, HampsonRussell	Certainty
Оценка запасов	GeoFrame, Reserves Management	PetroExpert
Формирование рекомендаций к бурению	GeoSoftware, WellFlo	В разработке
Сопровождение бурения	Drillinginfo, Landmark	В разработке
Управление разработкой месторождения	SAP, Oracle, IHS Markit	В разработке

▲ *Табл. 1.*

1. Стратегия PANGEA ULTIMA: разработка и внедрение стратегии PANGEA ULTIMA сосредоточены на создании экосистемы, охватывающей весь цикл работы пользователей — от работы с архивными данными до формирования автоматизированных инвестиционных рекомендаций с использованием искусственного интеллекта. Эта экосистема интегрирует различные компоненты, обеспечивая пользователей необходимыми инструментами для принятия обоснованных решений и оптимизации процессов.

2. Клиент-ориентированный подход: ПАНГЕЯ акцентирует внимание на индивидуальном подходе и активном взаимодействии с недропользователями. Понимание специфических потребностей клиентов, оперативное решение их запросов и предоставление персонализированных услуг способствуют повышению уровня эффективность проделанных работ. Регулярные консультации и обратная связь помогают адаптировать систему к изменяющимся требованиям рынка.

3. Перспективы и экспортный потенциал: в условиях глобальных изменений система ПАНГЕЯ открывает новые возможности для выхода на рынки Азии и Африки. Компания уже имеет опыт работы в международных проектах, что подтверждает готовность компании адаптироваться к локальным условиям и потребностям

4. Сотрудничество с юниорными компаниями: ПАНГЕЯ активно взаимодействует с молодыми юниорными компаниями через Ассоциацию юниорных геологоразведочных компаний. Это

сотрудничество открывает возможности для совместного использования ресурсов, обмена опытом и технологий, что способствует созданию инновационных решений и повышению конкурентоспособности на рынке. Партнерство с юниорными компаниями позволяет внедрять новые идеи и подходы, актуальные в условиях динамично меняющегося рынка.

Система ПАНГЕЯ не только обеспечивает поддержку недропользователей, но и создает все необходимые условия для их успешной работы, способствуя развитию отрасли в новых условиях.

Заключение

Переход на отечественное программное обеспечение является важным шагом для недропользователей в России и требует коллективных усилий для успешной реализации. Система ПАНГЕЯ предлагает интегрированные решения, охватывающие все этапы геологоразведочных работ, что позволяет снизить затраты и повысить эффективность.

С учетом неизбежности замещения иностранного ПО в результате законодательных изменений, компания ПАНГЕЯ ведет целенаправленную работу в двух ключевых направлениях: совершенствует технологии программного обеспечения и активно развивает маркетинговую стратегию. Развитие ПО направлено на создание полноценной альтернативы импортным системам, в то время как маркетинговая активность обеспечивает осведомленность целевой аудитории и адаптацию к новым условиям. Всесторонний подход к развитию позволяет компании эффективно поддерживать недропользователей, обеспечивая их необходимыми инструментами для работы в новых экономических реалиях.

Развитие отечественного ПО — это общее дело, которое требует активного сотрудничества всех участников отрасли, включая юниорные компании и крупные предприятия. Система ПАНГЕЯ не только удовлетворяет текущие потребности рынка, но и способствует созданию экосистемы, которая поддерживает инновации и расширяет возможности для выхода на международные рынки.

Подробнее об авторах



Камнев
Павел Петрович

Генеральный директор
АО «ПАНГЕЯ»



Качан
Макарий Александрович



Каргинов
Давид Заурович

Миграция данных георадиолокации с целью увеличения разрешающей способности

- Романов В.В., Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, г. Москва.
- Кауркин М.Д., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва.
- Андреев Д.О., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва.
- Матюшенко А. А., Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, г. Москва.

Аннотация: *Статья посвящена проблеме использования миграции для увеличения разрешающей способности георадиолокации. Для оценки применения алгоритма миграции по Кирхгофу была создана установка в виде пластикового стола с профилем для перемещения высокочастотного антенного блока георадара. Доказана эффективность миграции для повышения горизонтальной разрешающей способности георадиолокации.*

Ключевые слова: *георадиолокация, миграция, повышение разрешающей способности.*

Введение

Георадиолокация — это высокочастотный волновой метод электроразведки, основанный на исследовании верхней части геологического разреза электромагнитными волнами. В процессе выполнения георадиолокации по поверхности изучаемого объекта перемещается антенный блок (АБ), где на жёсткой базе совмещены излучатель и приёмное устройство с общей центральной частотой[Романов, Кауркин, 2021]. При высоком контрасте геологических и техногенных тел по относительной диэлектрической проницаемости на их границах образуются отражённые и дифрагированные волны с интенсивностью, достаточной для проявления на радарограммах [Капустин, Синицын, 2014].

В последнее время существует устойчивая отрицательная тенденция позиционировать георадары как полупрофесси-

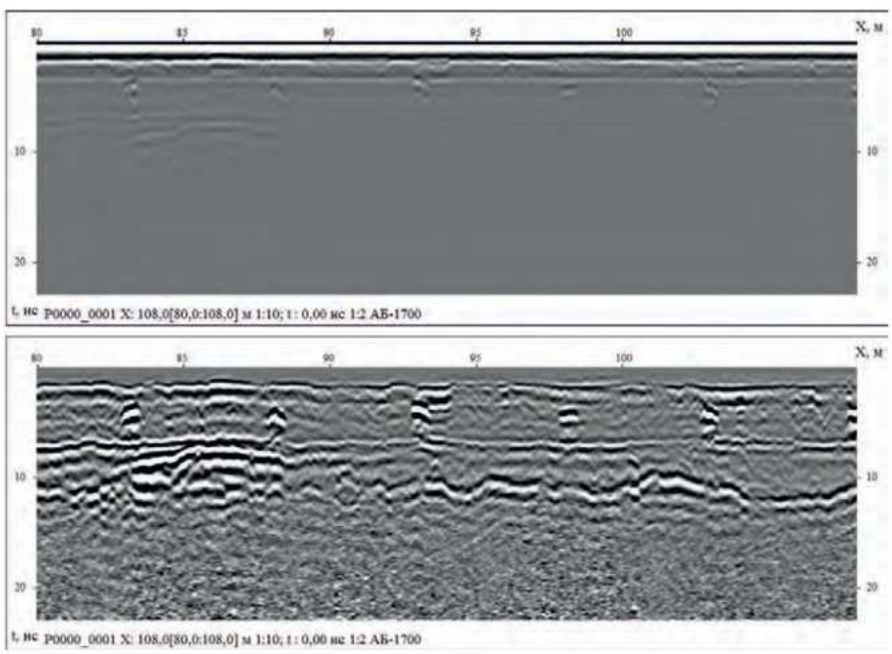
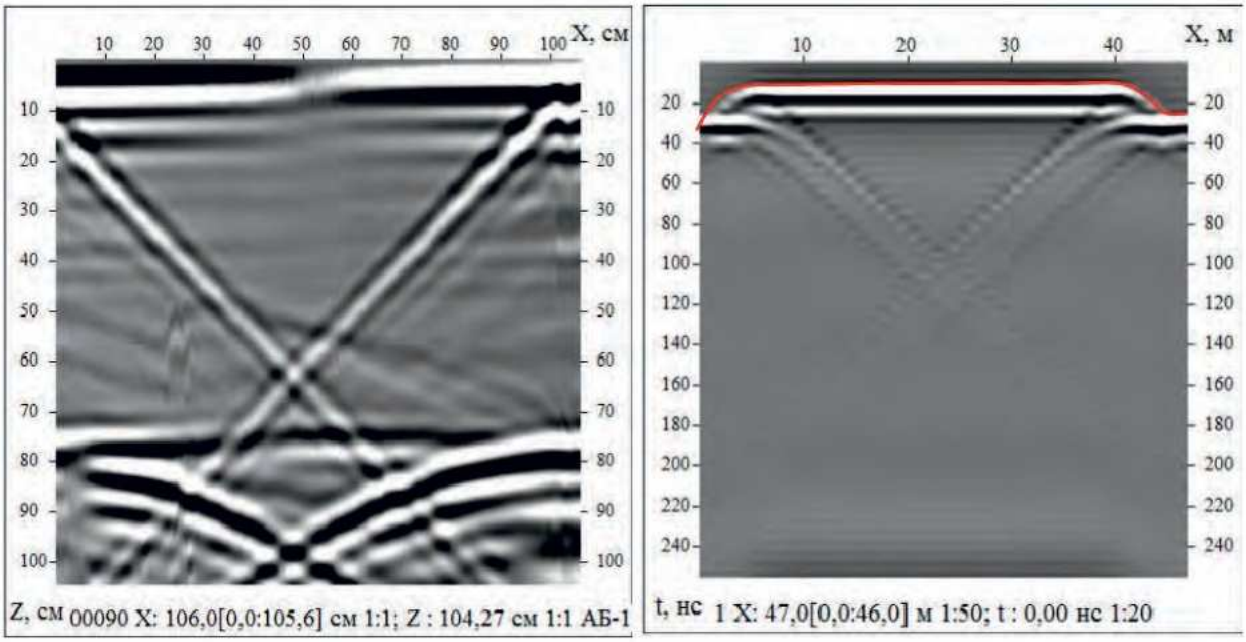


Рис. 1. Сравнение радарограммы до и после обработки. Применена поправка за сигнал прямого прохождения, вычитание среднего и коррекция амплитуд по степенному закону.



▲ *Рис. 2. Сравнение расчётной и измеренной радарограмм. Справа— синтезированное изображение, полученное для тонкой горизонтальной пластины с выступом, слева — реальная радарограмма, измеренная перемещением АБ–1700 МГц о пластиковому столу. Выделяются гиперболические "усы" дифрагированных волн на краях объектов, а также общее сглаживание резких контуров.*

ональные приборы, которые без специальной подготовки может использовать практически любой — от кладоискателя до рыболова [Рассолько, 2019]. Однако, простое сопоставление исходной и обработанной радарограмм (Рисунок 1) показывает, что это является заблуждением [Зыков, 2019]. Зачастую, из-за значительного затухания и большой длительности сигнала прямого прохождения без коррекции амплитуд и вычитания среднего на радарограммах практически не различима полезная информация.

Кроме того, иногда при интерпретации радарограмм игнорируется волновая природа метода, то есть не оценивается вероятный отклик поля на влияние наклонных и субвертикальных границ неоднородностей. В волновом поле отображается только верхняя кромка аномалиеобразующего объекта, а контур её значительно сглаживается и размывается (Рисунок 2).

Центральная частота излучателя в георадиолокации изменяется от 50 до 1700 Гц. С увеличением этого параметра растёт разрешающая способность и уменьшается глубинность [Айтимова, Ивченко, 2021]. Начиная с размера в половину длины волны и менее, локальные неоднородности и выступы отражающих границ становятся дифракторами, с увеличением центральной частоты доля дифракторов в волновом поле падает, они проявляются как небольшие локальные отражающие площадки (Рисунок 3).

Дифрагированные волны, с одной стороны, являются яркими признаками локальных неоднородностей и служат для определения скорости электромагнитных волн по наклону годографа, а с другой — мешают выделению других объектов поиска и приводят к падению разрешающей способности по горизонтали. В работе рассмотрен опыт увеличения разрешающей способности георади-

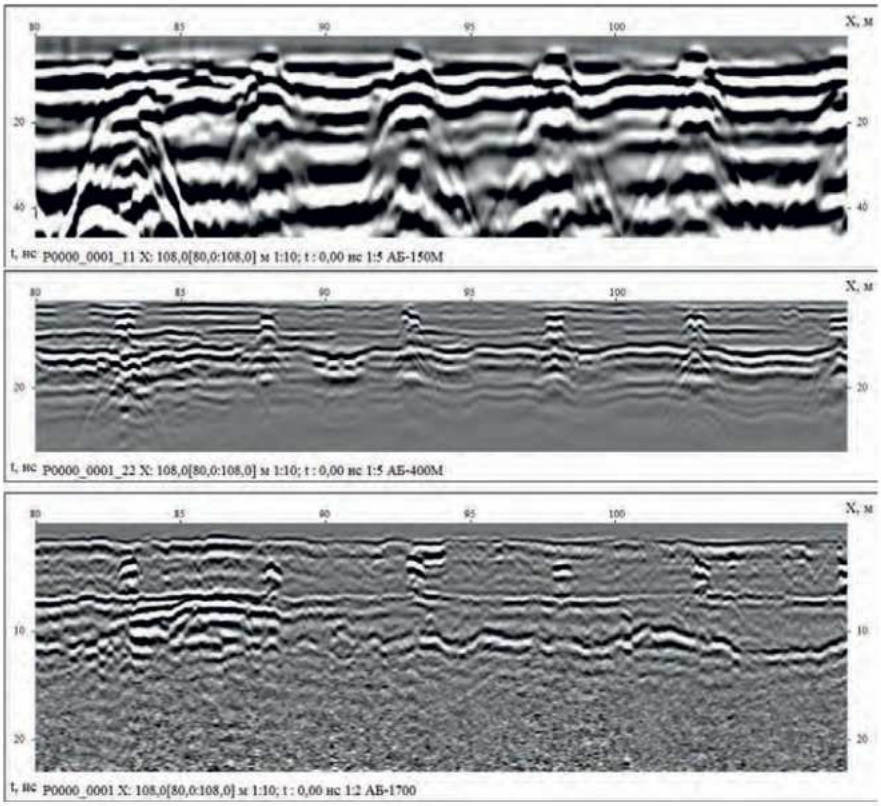


Рис. 3. Выделение локальных неоднородностей (стыков бетонных плит) антенными блоками АБ–150, 400 и 1700.

олокации при помощи включения в граф обработки миграции по Кирхгофу.

Методика эксперимента и граф обработки

Для тестирования была создана установка в виде пластикового стола, на прозрачной поверхности которого была размечен профиль для перемещения георадара с АБ-1700 (ОКО–3, бетоноскоп). В пространстве под столом на разной высоте поочерёдно располагались: металлический полый цилиндр, пластиковый и металлический ящики, мобильный телефон, подкова и монета. Все они отобразились в волновом поле как дифракторы, независимо от формы и размера. По наклону осей синфазности дифрагированных волн была найдена скорость, используемая для реализации миграции. Каждый отсчёт радарограммы принимался за вершину гиперболы, вычисляемой по уравнению (1) и выполнялось направленное суммирование вдоль её ветвей. С увеличением апертуры контуры объектов выполаживались, поэтому её значение выбиралась в диапазоне 20–30 трасс относительно трассы суммирования.

$$t = 2\sqrt{\frac{l^2 + z^2}{v}} = 2\sqrt{t_{min}^2 + 4\left(\frac{l}{V}\right)^2} \qquad (1)$$

В результате удалось добиться существенного подавления дифрагированных волн и, в ряде случаев, выделения, идентификации и определения размеров малых объектов. Подавлялись как волны, порождённые объектами поиска, так и ножками и углами стола (Рисунок 4,5).

Выводы

Таким образом, процедура миграции при обработке данных георадиолокации доказано эффективна, за счёт широких возможностей по увеличению разрешающей способности метода по горизонтали. За счёт правильного выбора апертуры удаётся сохранить баланс между степенью подавления дифрагированных

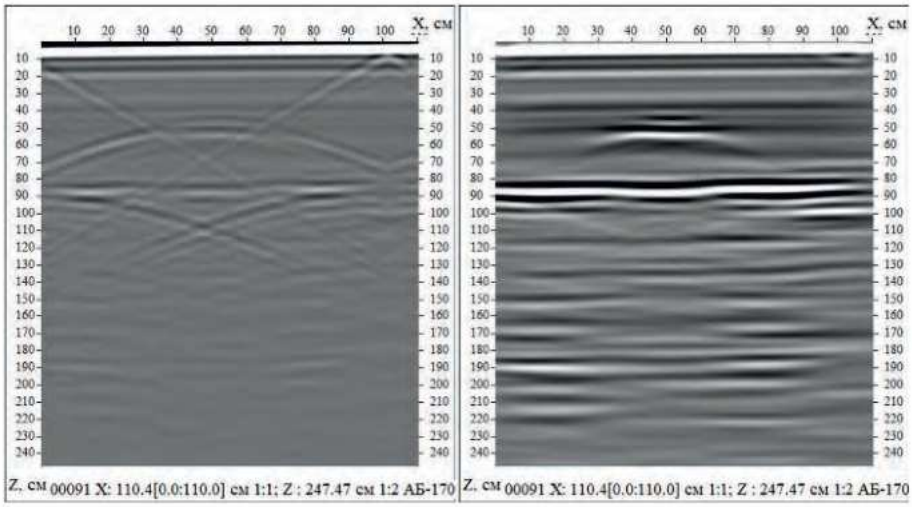


Рис. 4. Выделение верхней кромки полого металлического цилиндра георадиолокацией (АБ-1700) . Слева немигрированная запись, справа — результат обработки.

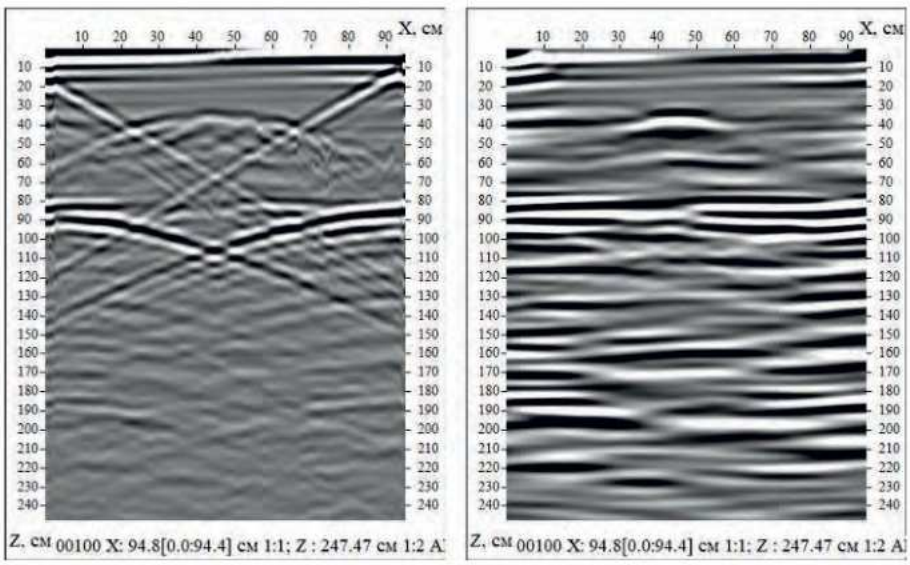


Рис. 5. Выделение металлической подковы георадиолокацией (АБ-1700). Слева немигрированная запись, справа — результат обработки.

волн и сглаживающего эффекта направленного суммирования.

Литература

1. Айтимова Б., Ивченко О. А. Выбор характеристик антенных блоков георадара для исследования профилей ледовых переправ // Нанотехнологии. Информация. Радиотехника (НИР-21). – 2021. – С. 3-5.

2. Зыков А. А. Выбор количества накоплений в зависимости от скорости движения георадара / А. А. Зыков // Инженерные изыскания в строительстве : материалы третьей Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов, Москва, 26 апреля 2019 года. – Москва: Геомаркетинг, 2019. – С. 84-93. – EDN LJCOJW.

3. Расолько А. И. Особенности использования георадара / А. И. Расолько // Предварительное расследование. – 2019. – № 1(5). – С. 70-71. – EDN YGNUYJ.

4. Романов В.В., Иванов А.А., Кауркин М.Д. Оценка мощности глыбового грунта по данным георадиолокации на примере гранитного карьера //В книге: Георадар 2021. Сборник тезисов научно-практической конференций в смешанном онлайн-оффлайн формате. Под редакцией М.С. Судаковой, М.Р. Садуртдинова. Москва, 2022. С. 95-97.

5. Капустин В. В., Синицын А. В. Применение способов автоматизированного определения диэлектрической проницаемости среды при решении прикладных задач георадиолокации //Геофизика. – 2014. – №. 6. – С. 39-45.

Накопленный опыт обработки и интерпретации сейсмики высокого разрешения. Технология «nSeis»

Хромова И.Ю.[1], Архипов А.А.[2]
[1] ИП Хромова И.Ю. Россия, г. Москва.
[2] ООО «Геошельф-Сервис». Россия, г. Геленджик.

Развёрнутое описание технологии расширения спектра «nSeis»

Существуют различные способы оценки разрешающей способности материалов сейсморазведки, но несмотря на их отличия, нет сомнений в том, что вертикальная и латеральная разрешающая способности напрямую зависят от информативной высокочастотной границы спектра разреза.

Спектры сейсмической записи реальных и модельных сред, при условии наличия в них контрастных границ, обогащены гармоническими пакетами (рисунок 1). Если в зарегистрированный диапазон частот попадает от двух и более пакетов, то возможно путём нелинейного анализа продолжить спектр вправо (в область высоких частот, ВЧ).

Алгоритм нелинейного анализа продолжения спектра в общем виде выражается как:

$$\|K_s^{-1}(t)*T_{2,n}(H_{pri}(t)*K_s(t)*a(t)) - H_{sec}(t)*K_s^{-1}(t)*a(t)\|_M \rightarrow \min \quad (1)$$

где где $K_s(t)$ – ФНЧ, H_{pri} – фильтр первой частотной группы, H_{sec} – фильтр второй частотной группы, T2,n – преобразование Тейлора, a(t) – сейсмотрасса, M – метрика.

В частном случае характеристика H_{pri} и H_{sec} – неизвестны, положим их дельта импульсом, тогда:

$$\|K_s^{-1}(t)*T_{2,n}(K_s(t)*a(t)) - *K_s^{-1}(t)*a(t)\|_M \rightarrow \min \quad (2)$$

Частота среза фильтра $K_s(t)$ – вариативна (и неизвестна), ограничена шириной спектра зарегистрированного сигнала и окном временной выборки.

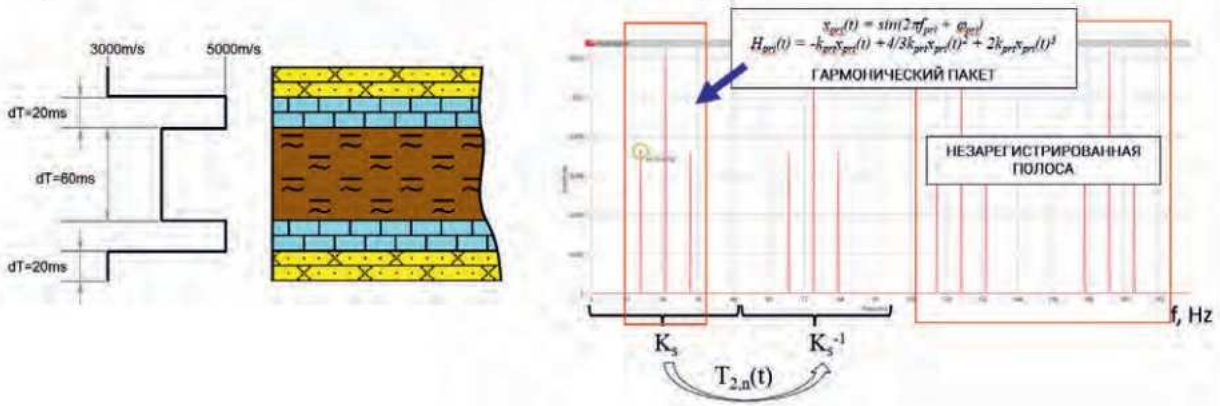
Таким образом для определения коэффициентов $T_{2,n}$ решается задача:

$$\sum_i \left(\|K_{s_i}^{-1}(t)*T_{2,n}(K_{s_i}(t)*a(t)) - *K_{s_i}^{-1}(t)*a(t)\|_M \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

С другой стороны, вариативность частоты среза $K_{si}(t)$ позволяет повысить устойчивость определения функции $T_{2,n}(t)$ (коэффициентов), единой для всех частотных разбиений зарегистрированной полосы (рисунок 2).

В случае рассматриваемой модели, применение $T_{2,n}(t)$ ко всей исходной

Рис. 1. Пластовая модель и спектр соответствующей ей синтетической сейсмотрассы с частотными пакетами и описанием их формы.



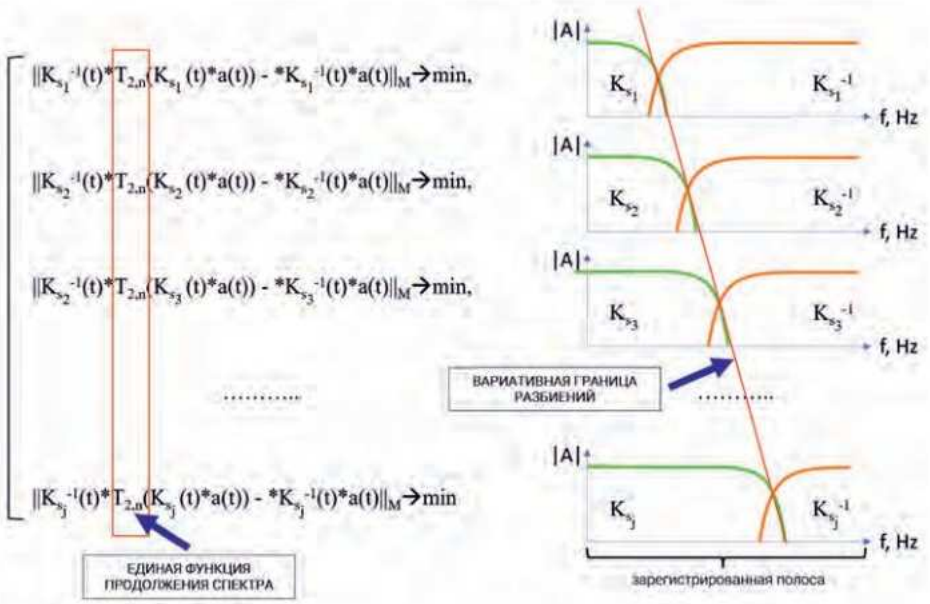


Рис. 2. Частотные разбиения и единственность функции $T_{2,n}(t)$.

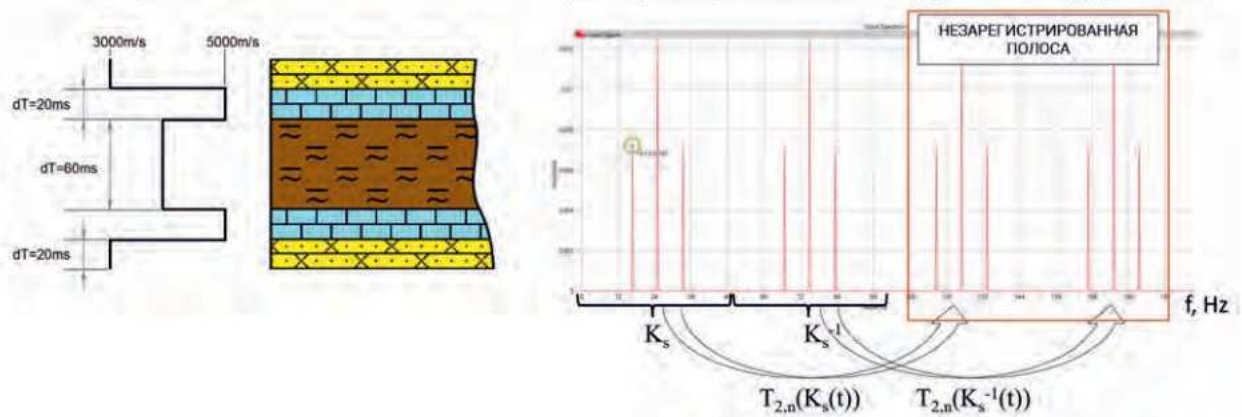
полосе зарегистрированного сигнала позволяет продолжить частотный спектр вправо (в незарегистрированную в исходной записи полосу) (рисунок 3).

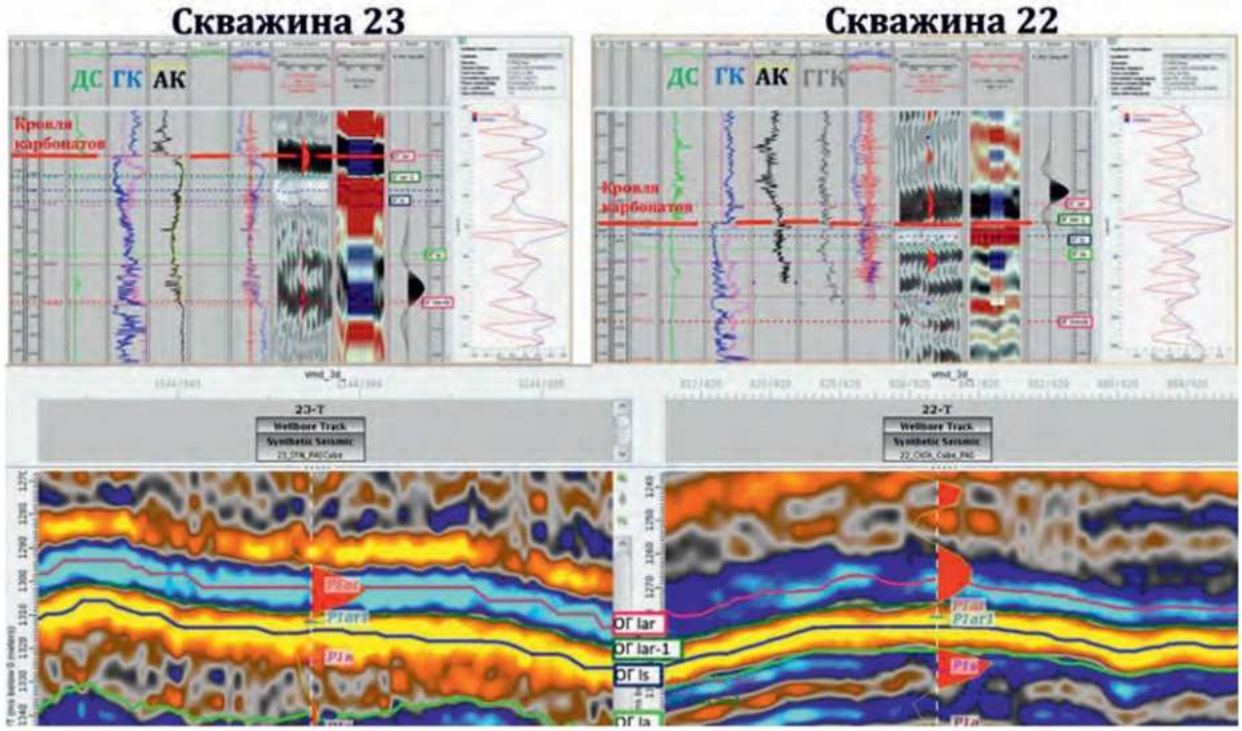
Интерпретация результатов «nSeis»

Особенность интерпретации высокоразрешенных сейсмических данных заключается в кратном повышении сложности и трудоемкости такой работы: возрастает не только количество фаз внутри целевого интервала, но и видимое количество неоднородностей типа малоамплитудных тектонических нарушений или малоразмерных геологических тел. Волновая картина с одной стороны обогащается геологической информацией, а с другой стороны атомизируется до пестроты, затрудняющей визуальное восприятие. Имея насущное желание увидеть на разрезах отражения от более тонких пластов-коллекторов, интерпретаторы не задумываются о том, что вместе с ростом разрешенности возрастает и количество фаз от пластов-неколлекторов. А значит и возрастает роль детальной привязки в целевом интервале.

В ходе привязки к стандартным данным является привычным неполное соответствие сейсмических отражений скважинным реперам. Устоявшееся выражение «Отражающий горизонт вблизи кровли отложений…» указывает на смиренное осознание объективной неточности привязки в условиях интер-

Рис. 3. Продолжение частотного спектра вправо (в область ВЧ) функцией $T_{2,n}(t)$.

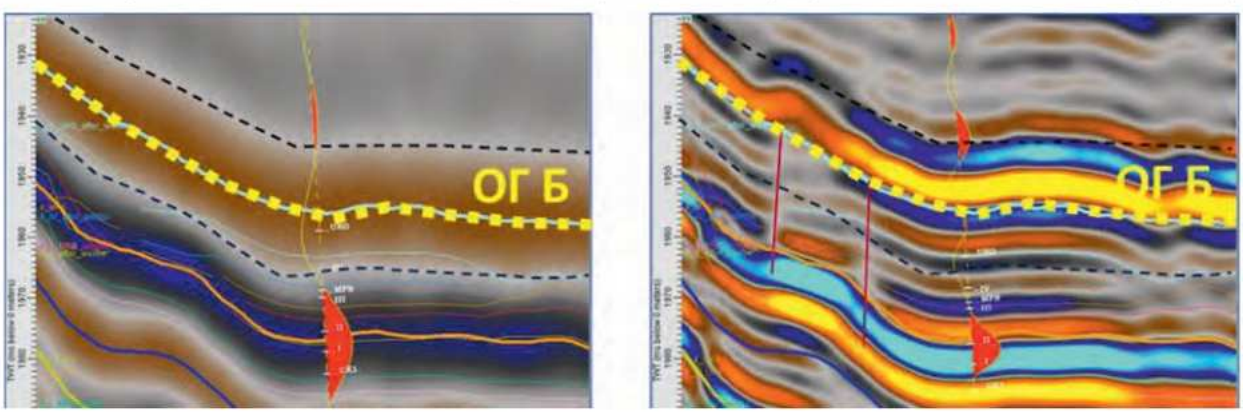




▲ *Рис. 4. Смещение ГИС-репера P1ar от положения ОГ P_1ar за счет интерференции в высокоскоростном низкочастотном разрезе.*

ференции и низкой разрешенности. Считается нормальным, что экстремум опорного отражающего горизонта может отстоять от ГИС-репера на несколько миллисекунд. Это эффект учитывается в формулах оценки точности структурных построений, как интервал погрешности корреляции отражающего горизонта и зависит от четверти периода отражения или половина ширины коррелируемой фазы [1]. За счет интерференции в низкочастотном и высокоскоростном разрезе отклонение пикировки горизонта от реальной границы может достигать 8 мс или 15 м. Пример такого случая показан на рисунке 4. Кровля пермских карбонатов в скважине 23 (и в остальных скважинах этого месторождения в Тимано-Печорском НГБ) по результатам привязки соответствует экстремуму положительной фазы, а в скважине 22 – 0-переходу от положительной к отрицательной фазе. При пикировании ОГ P1ar по положительному экстремуму в районе скв. 22

▼ *Рис. 5. Сравнение количества полупериодов в одинаковом временном окне на стандартных сейсмических данных (слева) и на высокоразрешенных данных nSeis (справа).*



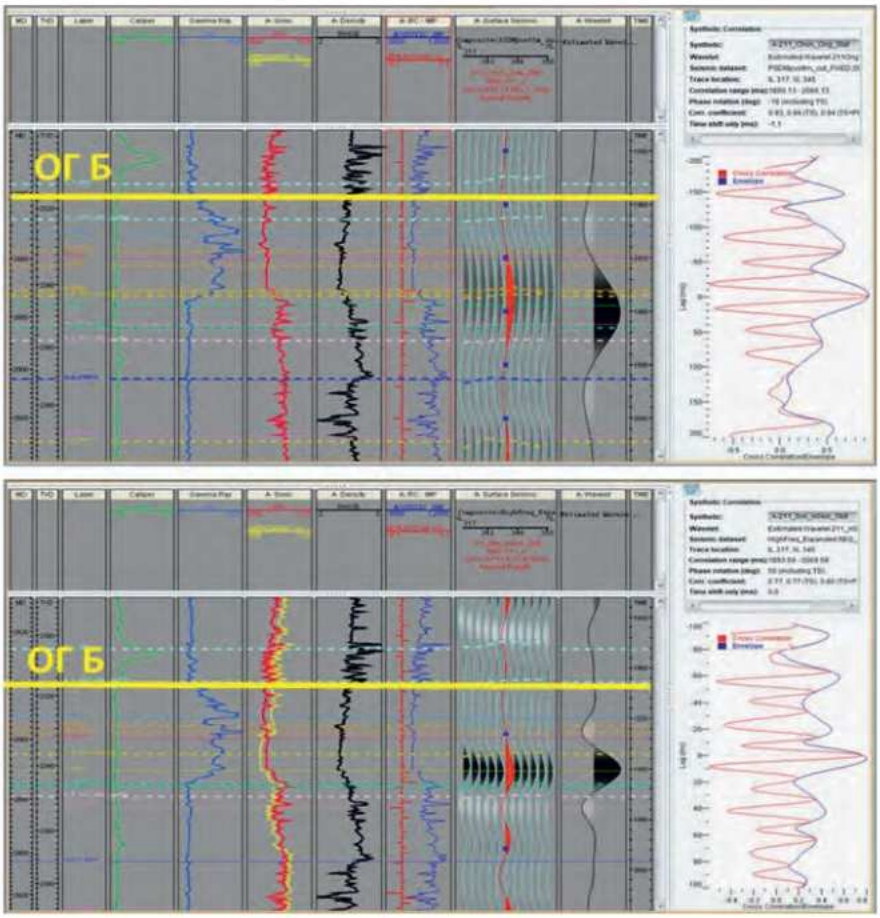


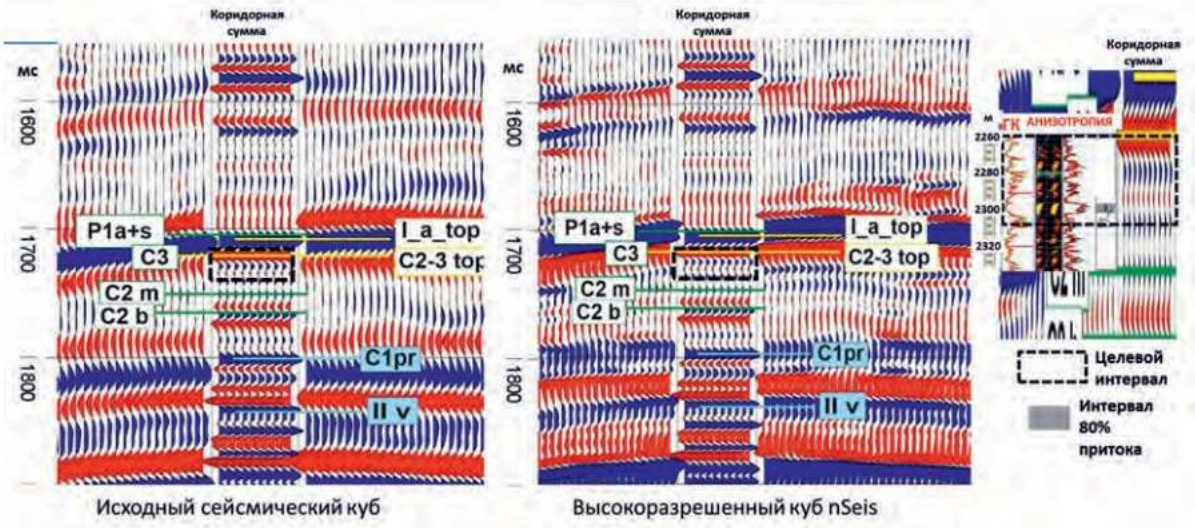
Рис. 6. Сравнение волновых полей в интервале баженовских отложений на планшетах привязки к стандартным сейсмическим данным (вверху) и к высокоразрешенным данным nSeis (внизу).

неизбежно отклонение пикировки от реального положения физической границы на 8-10 мс, или 12-18 м.

При повышении частоты волнового разреза часто случается, что высокочастотная волновая картина не соответствует ожиданиям. С одной стороны, закономерно увеличивается количество фаз на единицу времени. Так в интервале одного отрицательного полупериода шириной 20 мс, с экстремумом которого ассоциируется опорный отражающий горизонт Б в Западной Сибири (рисунок 5 слева, рисунок 6 вверху), за счет расширения спектра в 3 раза образуется до 4-5 полупериодов шириной от 3 до 6 мс (рисунок 5 справа).

С другой стороны, самый большой по амплитуде отрицательный экстремум, против ожиданий, соответствует не кровле баженовских отложений, а расположенному выше отрицательному коэффициенту отражения в подошве тонкого плотного прослоя (рисунок 6 внизу). А кровля отложений с высоким содержанием урановой составляющей (высокие значения ГК) [2], т.е. непосредственно кровля баженовских отложений на высокоразрешенных данных оказывается 10 мс ниже на 0-переходе от положительной к отрицательной фазе.

Отдельно нужно остановиться на оценке качества привязки с помощью коэффициента корреляции. При упоминании этой величины в тени остается такой немаловажный параметр, как окно корреляции, который в реальности является ключевым. Огромным заблуждением является считать корректным сопоставление коэффициентов корреляции синтетической и наблюденной сейсмических трасс в одинаковом окне для сейсмических данных разной частоты. С повышением частоты волнового



▲ *Рис. 7. Сопоставление трассы коридорного суммирования со стандартными сейсмическими данными (слева), с высокоразрешенными данными nSeis (посередине), с данными ГИС (справа).*

поля величина окна для расчета коэффициентов корреляции должна сокращаться пропорционально повышению частоты. Другими словами, в окне для расчета коэффициентов корреляции при сравнении разночастотных данных неизменным должно оставаться количество фаз. При сравнении коэффициентов корреляции в одинаковом окне значение коэффициента корреляции для высокочастотных данных закономерно будет ниже, чем для низкочастных.

Привлечение трассы коридорного суммирования ВСП существенно облегчает задачу привязки. На рисунок 7 на панели справа в пунктирной рамке серым прямоугольником выделен интервал суперколлектора из которого получено 80% высокодебитного притока. На трассе коридорного суммирования кровле суперколлектора соответствует слабое отрицательное отражение. Та же трасса коридорного суммирования сопоставлена со стандартным сейсмическим разрезом (рисунок 7 слева) и с разрезом высокоразрешенных данных nSeis (рисунок 7 посередине). На стандартном разрезе слабое отражение от суперколлектора отсутствует, но проявляется на разрезе nSeis. Более того, видно, что это отражение, во-первых, неконформно опорному отражающему горизонту ОГ С2-3_top, а во-вторых, сильно латерально изменчиво. А значит, что прослеживание отражения непосредственно от кровли суперколлектора по высокоразрешенному разрезу позволит не только существенно повысить точность структурных построений, но и проследить характер изменения свойств этого пласта на площади.

Повышение точности структурных построений при перекорреляция опорного отражающего горизонта по высокоразрешенному кубу происходит за счет того, что экстремум коррелируемой фазы в высокочастотном разрезе лучше соответствует физической границе, чем в низкочастотном.

Это объективный эффект можно проиллюстрировать на синтетической сейсмограмме, рассчитанной с импульсом разной частоты. На рис. 5 показана опорная граница ОГ nD3fm (подошва карбонатного фамена, поверхность эрозионного срезания) в 3 скважинах, вскрывающих данную границу в различных условиях. При постоянных свойствах

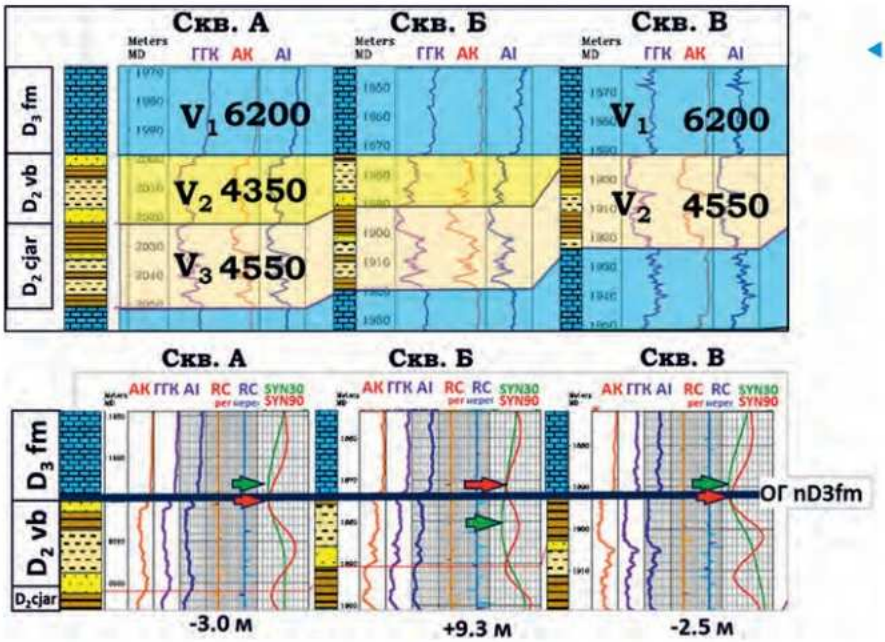


Рис. 8. Сравнение положения отрицательного экстремума синтетических трасс, рассчитанных с импульсами Рикера на разной частоте, с положением физической границы на примере трех скважин (внизу). Пластовые скорости и толщины граничащих пластов (вверху).

вышележащего пласта (плотные высокоскоростные карбонаты) свойства нижележащего слоя отличаются: в скважинах А и Б изменяется толщина высокопористых песчаников, в скважине В снижается пористость песчаников (рисунок 8 вверху).

В скважине «А» отрицательный экстремум от этой границы на синтетической сейсмограмме, рассчитанной с импульсом Риккера 30Гц, выше на 3 м, чем отрицательный экстремум от этой же границы на синтетической сейсмограмме, рассчитанной с импульсом Риккера 90Гц (рисунок 8 внизу).

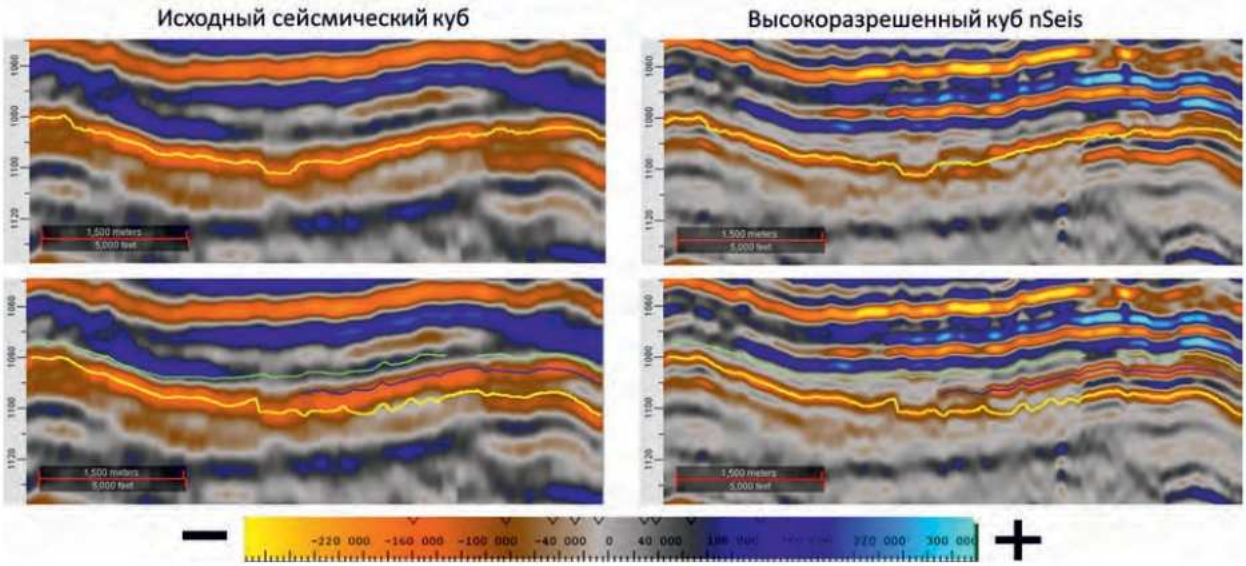
В скважине «Б» низкочастотный экстремум расположен на 9.3 м ниже высокочастотного, и в скважине «В» низкочастотный экстремум вновь выше высокочастотного. Но во всех скважинах физической границе лучше соответствует высокочастотный экстремум, что закономерно. Экспериментально проверено, что перекорреляция опорного отражающего горизонта по высокоразрешенному кубу позволяет повысить точность структурных построений на 20%: стандартное отклонение погрешности построений уменьшается с 10.5 м до 8.3 м, возрастает коэффициент корреляции время/глубина.

Перекорреляция отражающего горизонта по высокоразрешенным данным позволяет не только уточнить геометрию поверхности, но и существенно уточнить модель напластования. Пикировка горизонта на исходном разрезе выглядит, бесспорно, и однозначно (рис. 6, слева вверху), однако на высокоразрешенном разрезе та же пикировка явно противоречит волновой картине и нуждается в корректировке (рис. 6, справа вверху).

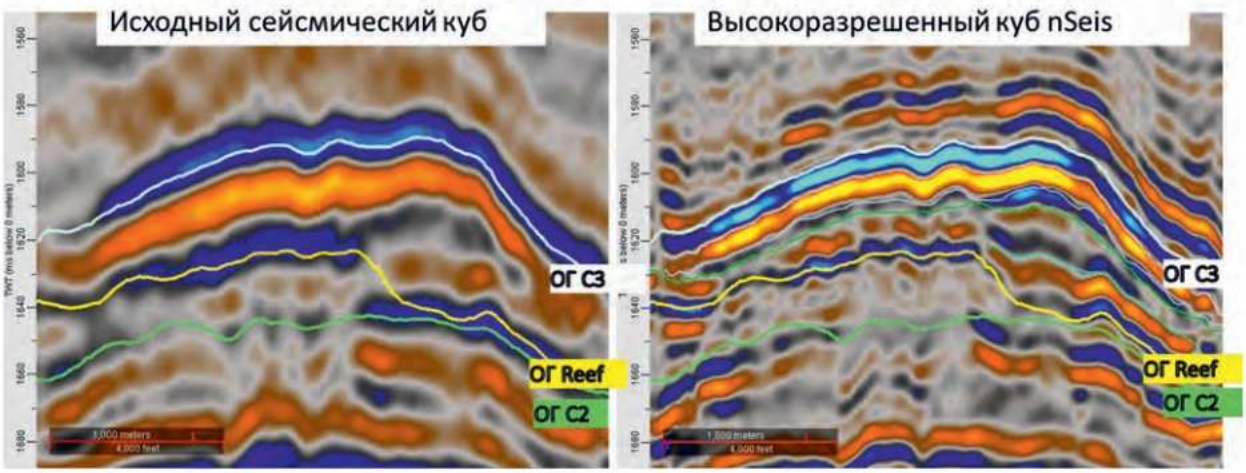
При перекорреляции горизонта по высокоразрешенному кубу проясняется картина эрозионной поверхности с налегающими отражениями (рисунок 9, справа снизу).

Возвращение новой пикировки на исходный разрез (рисунок 9, слева снизу) свидетельствует о необходимости перехода на другую фазу. Но на исходном разрезе совершенно не очевидно в каком месте и как перейти на другую фазу.

Повышение детальности волновых разрезов позволяет разобраться со строением сложных резервуаров, стано-



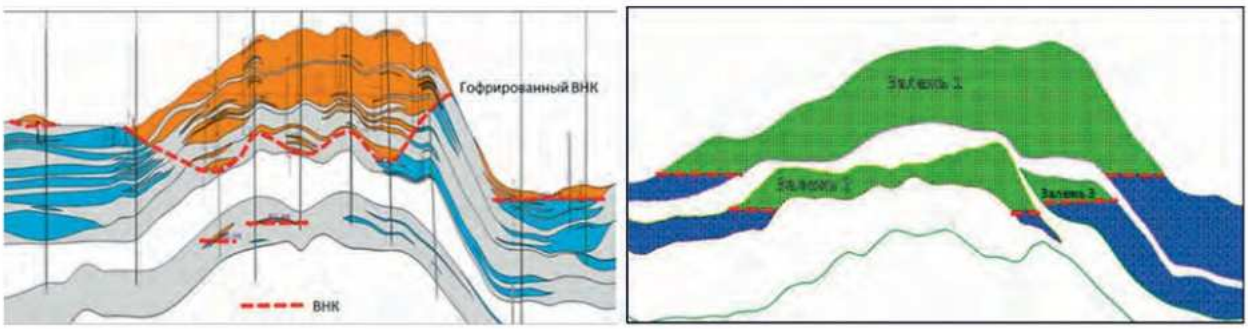
▲ *Рис. 9. Сравнение двух вариантов пикировки горизонтов на стандартном кубе (слева) и высокоразрешенном кубе (справа). Вверху на оба разреза наложена пикировка, проведенная по исходному кубу. В нижнем ряду на разрезы наложена пикировка, проведенная по высокоразрешенному кубу.*



▲ *Рис. 10. Неоднозначная пикировка кровли рифогенной постройки (ОГ Reef) на стандартных сейсмических данных (слева), бесспорная пикировка кровли рифогенной постройки (ОГ Reef) на высокоразрешенных сейсмических данных (справа).*

вится возможным проследить отражения от кровли локальных покрышек. Так, на рисунке 10 показан пример прослеживания ОГ Reef, разделяющего считавшийся ранее массивную рифогенную постройку на месторождении «А» на несколько циклов рифостроения.

Десятилетиями на месторождении «А» лучшие умы индустрии пытались построить геологическую модель, объясняющую скачки ВНК в соседних скважинах амплитудой 65-70 м, при том, что стандартные сейсмические данные не давали оснований проводить разломы или разделять единый резервуар на части. В результате детальной корреляции по высокоразрешенную кубу единый резервуар месторождения был непротиворечиво разделен на несколько гидродинамически разобщенных залежей с самостоятельными горизонтальными уровнями ВНК. Месторождение «А»,

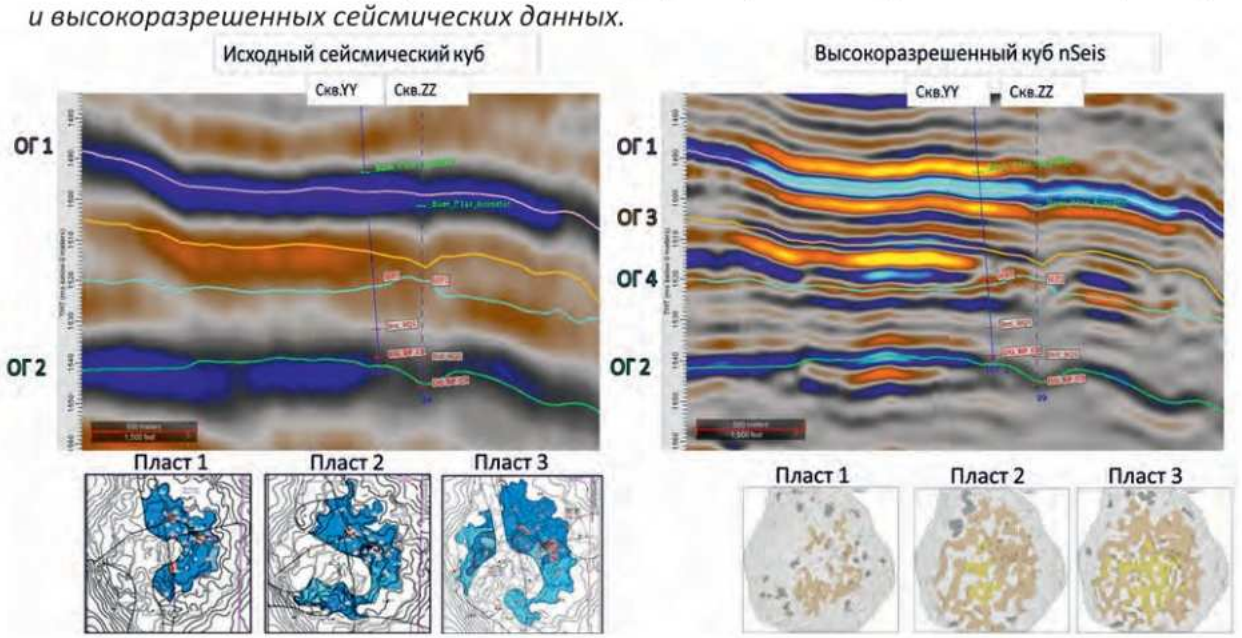


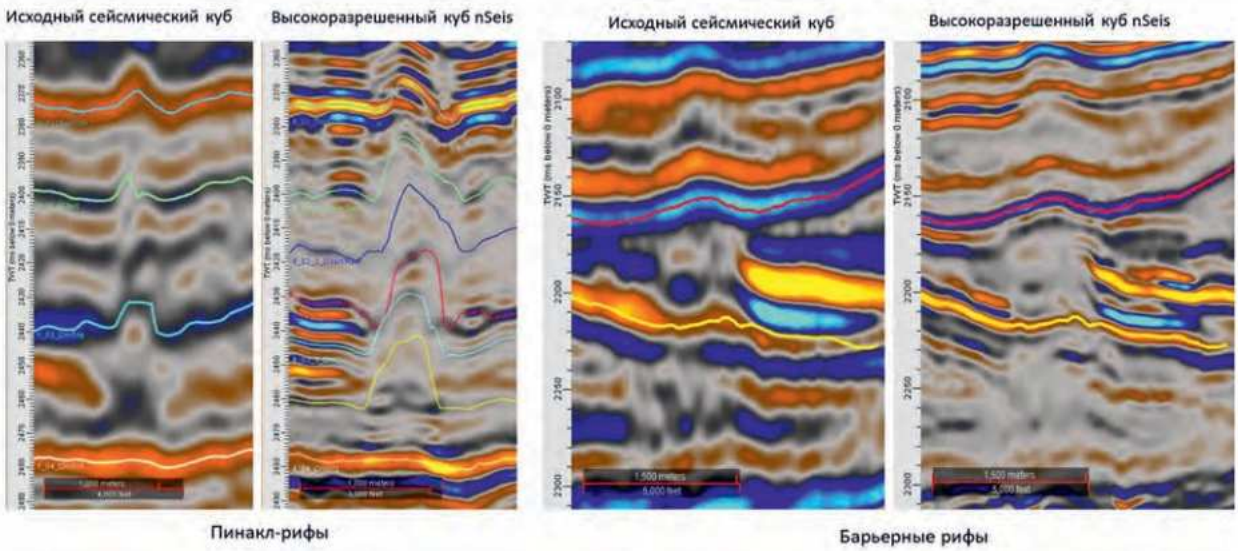
▲ *Рис. 11. Сравнение геологических моделей месторождения А, построенных на основе стандартных сейсмических данных (слева) и на основе высокоразрешенного куба (справа).*

пережившее модель с «гофрированным» ВНК (рисунок 11, слева), модель «блокового строения» (не показано), обрело наконец непротиворечивую модель многослойного резервуара (рисунок 11, справа).

Карбонатные породы обладают более высокими скоростными и плотностными характеристиками, чем терригенные породы. Это влечет за собой объективно более низкую частоту волновой записи в интервалах карбонатного разреза. Зачастую на временных разрезах карбонатные отложения представляют собой широкие интерференционные отражения, не поддающиеся детальной интерпретации. Как, например, ассельско-сакмарские нижнепермские отложения Тимано-Печорского бассейна. По данным ГИС в разрезе скважин выделено 3 продуктивных пласта, на временном же разрезе доступно к пикировке только два отражения – в кровле и подошве всего комплекса (рисунок 12, слева). При повышении разрешенности могут быть прослежены границы всех трёх пластов, причем границы между пластами не являются конформными кровле и подошве всего комплекса (рисунок 12, справа), каждый слой обладает индивидуаль-

▼ *Рис. 12. Вверху: Сравнение волновых картин стандартного разрешения (слева) и с расширением спектра (справа) в интервале ассельско-сакмарских карбонатных отложений Тимано-Печорского НГБ. Внизу: подсчетные планы трех нефтегазовых пластов, полученные по результатам интерпретации стандартной сейсмики (слева) и высокоразрешенных сейсмических данных.*





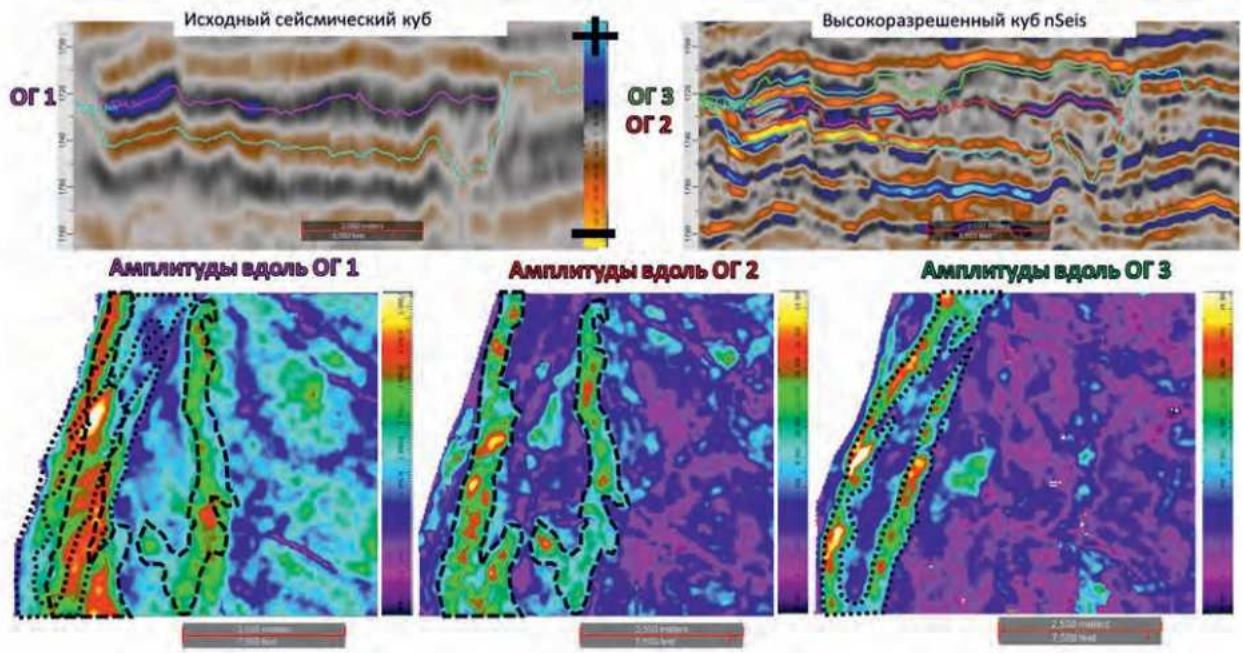
▲ *Рис. 13. Изображение органогенных построек, замещающихся терригенными породами, на стандартных сейсмических разрезах (пинакл-риф А и барьерный риф В) и на высокоразрешенных сейсмических разрезах (пинакл-риф Б и барьерный риф Г).*

ным строением, от слоя к слою изменяется положение малоразмерных рифовых построек. В результате расширения спектра удалось перейти от условных литологических границ «по середине расстояния между скважинами с коллекторами и без коллекторов» к обоснованным сейсмическими данными границам фаций.

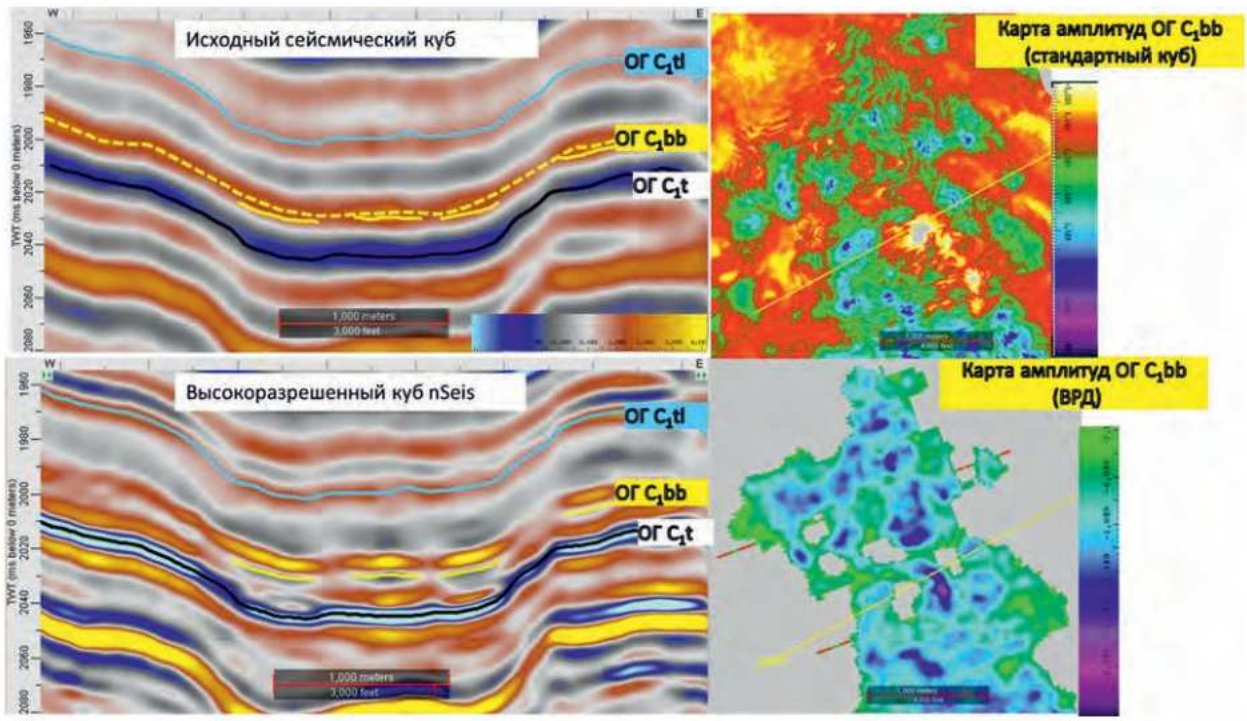
Неожиданным преимуществом расширения спектра сейсмической записи оказалась различная степень повышения частоты изображения в зависимости от исходного частотного состава, присущего породам разной литологии. Так, волновая картина в интервале высокоскоростных карбонатных пород в результате применения процедуры расширения спектра разрешается меньше, чем сопредельные низкоскоростные терригенные породы. Особенно убедительно это проявляется для рифогенных построек, вмещенных в терригенные толщи. На рисунке 13 показаны примеры таких ситуаций: для одиночного пинакл-рифа (А и Б) и для барьерной постройки (В и Г).

Из наблюдения, сделанного выше, следует, что для терригенных пород процедура расширения спектра существенно эффективней, чем для карбонатных. Хотя точнее было бы сказать, что эффективность процедуры расширения спектра тем более эффективна, чем выше слоистость (или тонкослоистость) изучаемого геологического разреза, вне зависимости от того карбонатными или терригенными породами представлены эти слои.

При сопоставлении стандартных и высокоразрешенных сейсмических данных (особенно для терригенных пород) важно понимать, что амплитуды отражения от горизонта, прослеженного по низкоразрешенному кубу, являются интегральной характеристикой всех тонких слоев, которые можно проследить по высокоразрешенному кубу внутри того же временного интервала. Большим заблуждением является мнение, что доверять амплитудам высокоразрешенных кубов нельзя, потому что они не похожи на амплитуды низкоразрешенных данных. Они именно потому не похожи, что являются отражением характеристики только одного тонкого слоя из пачки слоев, неразделяемых на



▲ *Рис. 14. Пример картирования русловых тел викуловской свиты.*



▲ *Рис. 15. Пропущенная литологически экранированная ловушка в песчаниках континентального (руслового) генезиса бобриковского возраста, закартировать которую стало возможно только на высокоразрешенных сейсмических данных.*

стандартном кубе. Так на рисунке 14 показано сравнение волновых картин в интервале речного вреза. На левом разрезе во врезе возможно проследить только одно интерференционное отражение ОГ 1, в то время как на правом можно проследить существенно больше (прослежено два: ОГ 2 и ОГ 3). Ниже представлены карты мгновенных амплитуд вдоль единственного отражения ОГ 1 и от пары отражений ОГ 2 и ОГ 3. Видно, что на картах амплитуд ОГ 2 и ОГ 3 про-

сматриваются линейные аномалии типа «песчаные отмели» с различной конфигурацией. Наложение границ этих линейных аномалий на карту ОГ 1 демонстрирует то, что амплитуды ОГ 1 являются суммарным откликом от отдельных амплитудных аномалий двух отражений ОГ2 и ОГ3.

Именно возможность анализировать амплитуды тонких слоев по-отдельности – несомненное преимущество высокоразрешенных данных. Ниже на рисунке 15 (справа) показано какие четкие границы и выраженные меандрирующие формы геологических тел континентального (руслового, левийного и т.д.) генезиса проявляются на карте мгновенных амплитуд вдоль ОГ C1bb, прослеженного по высокоразрешенному кубу. При том, что на стандартном кубе эти тонкие неоднородности проявлены очень слабо и были пропущены при стандартной интерпретации.

Накопленный опыт работ с высокоразрешенными сейсмическими данными, полученными по результатам их дополнительной спец. обработки, убедительно свидетельствует о новых возможностях детализации сейсмогеологических моделей объектов в целевых интервалах разреза и выхода на построение более обоснованных и достоверных геологических моделей как под цели подсчета запасов, так и для оптимизации разработки.

Литература:

1. Куркин А.А. Оценка пространственного распределения погрешности структурных построений. // Нефть и газ. №1 2016, с. 18-21.

2. Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.И., Борташевич О.В. Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири. Советская геология. 1980. № 10. С. 94–105.

АО «ГЕОСВИП» сегодня

Интервью
с Генеральным директором компании
Онгемах Эдмундом Гарриевичем



Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», постоянно поднимает тему импортозамещения в российском приборостроении. И освещение этого важного вопроса будет, конечно, неполным без рассказа о российском предприятии, которое с 1995 года занимается разработкой и производством отечественных виброисточников. За это время произведено более 250 ед. виброисточников 7-ми моделей с пиковым усилием от 5 до 30 т. Предлагаем интервью главного редактора журнала Слонова Д. Н. и генерального директора АО «ГЕОСВИП» Онгемаха Э.Г.

Дмитрий Слонов. Уважаемый, Эдмунд Гарриевич, виброисточник, сделанный на вашем предприятии демонстрировался на выставке «Нефтегаз-2022» в г. Москве (Рис. 1.). Есть чем гордится. В то же время, общаясь с разными геофизическими компаниями неоднократно приходится слышать, что «Геосвип сегодня уже не тот». В декабре 2023 г. Вы пригласили меня посетить завод, показали, чем сейчас занимается производство. Предлагаю рассказать аудитории журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» о текущих задачах и планах компании.

Эдмунд Онгемах. На сегодняшний день у завода заказы есть. Портфель заказчиков диверсифицирован и это позволяет заниматься планомерным и системным развитием, реализуя наши идеи, занимаясь реализацией усовершенствований. Мы стараемся рассказывать



Рис. 1. Виброисточник СВ-30Б-М3 на московской выставке Нефтегаз-2022.

об этом нашим партнерам и заказчикам на регулярно проводимых днях технологий и встречах.

Однако, мы продолжаем сталкиваться с негативными комментариями в отношении АО «ГЕОСВИП». Предлагаю поговорить в формате: «миф – опровержение», чтобы показать истинное положение дел в компании.

ДС. *Думаю, один «миф» я уже упомянул – «Геосвип – уже не тот».*

ЭО. Да, приходится слышать буквально следующее – **«в 2016 году АО «ГЕОСВИП» прекратил своё существование».** Безусловно, 2016 год оказался крайне непростым для АО «ГЕОСВИП» и предприятие действительно испытало большие потрясения. Прежде всего, смена директоров, увольнение ключевых специалистов, прежде всего ведущих конструкторов, и, пожалуй, самое главное, – отсутствие заказов. Недоброжелатели оказались крайне осведомлёнными и были близки к истине. Тем не менее, предприятие не только выжило, но и оказалось способно создать новый продукт в невероятно сложных экономических условиях. Признаюсь, 2016-2017 годы были наиболее сложными для нас. Однако, именно этот кризис оказался для завода импульсом к переменам и развитию. Был предпринят целый комплекс кризисных мер для сохранения компетенций и развития контрактной базы.

Как результат – к 2023 году объемы выручки увеличились практически в 5 раз.

ДС. *Какие технологические и организационные решения обеспечили этот рост?*

ЭО. Второй устойчивый миф заключается во мнении, что АО «ГЕОСВИП» производит неконкурентные технологии.

Это было правдиво применительно к технологиям 2016 года и ранее. Осознавая серьезное технологическое отставание основной продукции предприятия, а именно сейсмических виброисточников, первое что требовалось сделать – это оценить масштаб этого отставания, определить приоритеты в НИОКР и инженерных доработках, учесть текущие финансовые возможности. Задачи были разбиты по срокам исполнения на 3 категории: быстровыполнимые (до года), средней скорости реализации (1-2 года) и долгосрочные (более 2х лет). Была построена дорожная карта развития, как мотивационный и приоритетный вектор развития (Рис. 2.), которая актуальна и по сегодняшний день.



▲ *Рис. 2. Дорожная карта развития АО «ГЕОСВИП».*

Технологии 2016 года и ранее мы формально отнесли к технологиям поколения М0. Технологиями поколения М1, в рамках исполнения коммерческих заказов, мы наверстали упущенные конкурентные позиции. А с технологиями поколения М3 – занимаем лидирующие позиции по ряду характеристик. Мы перестали быть догоняющими.

В 2023 году выпущена первая партия виброисточников поколения М3, успешно отработавшая в сезоне 2023/2024 гг. для ПАО «Роснефть».

Процесс совершенствования технологий не стоит на месте, в 2024 году мы продолжили работу и создали улучшенную модификацию виброисточника М3+, где реализованы следующие основные задачи:

1. Дальнейшее улучшение частотных характеристик в низкочастотном диапазоне;
2. Внедрение системы управления виброисточником VibMaster™ второго поколения в импортозамещенной конфигурации;
3. Реализация ряда задач импортозамещения.

Приглашаем всех желающих в АО «ГЕОСВИП» на день технологий с демонстрацией СВ-30Б-М3+ на полигоне.

ДС. *Сколько времени занимает новая разработка и сколько необходимо для выпуска группы новых виброисточников? Ведь это аксиома производственного планирования – любые разовые разработки ведутся дольше, чем ритмичное конвейерное производство.*

ЭО. Миф №3: В АО «ГЕОСВИП» производство виброисточников слишком длительное, и компания неспособна оперативно исполнять большие заказы или несколько заказов сразу.

Если говорить рамками размещения заказа без резервов материалов и комплектующих, без производственных заделов, то производство однозначно может быть растянуто во времени. Цикл производства можно условно разбить на следующие задачи: закупки материалов и комплектующих, изготовление деталей и компонентов, сборка узлов, конструкций и шасси, в целом, и в последующем наладка и испытания. За последние несколько лет АО «ГЕОСВИП» предприняло целый комплекс мер по ускорению исполнения заказов.

Показателен был 2023 год, где мы параллельно выполняли несколько заказов разной степени сложности: один заказ – партия новых виброисточников СВ-30Б-М3, второй заказ – партия новых виброисточников с давальческими узлами СВ-30Б-М1, третий заказ – узловой ремонт партии виброисточников старой модификации СВ-30/150Б (поколение М0) с учётом сроков и установленного бюджета заказчика. Все заказы выполнены в срок и качественно.

АО «ГЕОСВИП» полностью осознает, что сроки изготовления виброисточников является серьёзным конкурентным преимуществом и ставит себе целью выпуск партии виброисточников в максимально сжатые сроки. Выпуск партии виброисточников в срок к полевому сезону заказчика – наш ключевой приоритет!

В 2023 году мы доказали себе, что 6 месяцев вполне осуществимо и не является пределом. При этом, задачи снижения сроков производства сводятся к повышению производительности, снижению любых видов потерь в производстве, качественному управлению ресурсами, созданию резервов, равномерной загрузки всех производственных участков. Чем мы планомерно занимаемся и совершенствуемся.

ДС. *Вы уже сказали, что портфель заказчиков диверсифицирован. А ведь бытует мнение, что «ГЕОСВИП работает только на свой Холдинг».*

ЭО. Еще один устойчивый миф: АО «ГЕОСВИП» запрещены продажи за пределы АО «Росгео».

Все потенциальные заказчики задают мне подобный вопрос. Здесь я, пожалуй, отвечу коротко. Совсем наоборот, руководство АО «Росгео» всегда ставит нам в приоритеты развивать внешний рынок продаж и наращивать долю рынка. АО «ГЕОСВИП» осознаёт свою ответственность перед всеми участниками отечественного рынка полевой сейсморазведки и дорожит своей репутацией. Мы готовы работать со всеми. Наши двери открыты для любого заказчика!

Что касается работ в периметре Холдинга АО «Росгео», то это как раз обеспечивает стабильность компании АО «ГЕОСВИП», поскольку гарантирует постоянную загрузку производства и финансирование.

ДС. *Сегодня во многих геофизических организациях продолжают использоваться сейсмические виброисточники, произведённые АО «ГЕОСВИП». Может ли это являться индикатором качества производимой у вас продукции?*

ЭО. На сегодня мы освоили производство более надежных виброисточников поколений М1 и М3. И это также опровергает еще один миф: «Виброисточники АО «ГЕОСВИП» плохого качества и ненадёжны».

Качество и надёжность продукции для АО «ГЕОСВИП» остаётся нашим самым важным приоритетом. В этом направлении ведётся планомерная работа. Эта работа в последние пару лет несколько осложнена особенностями импортозамещения.

Мониторинг рынка показывает, что у всех производителей узлов и комплектующих практически однотипные проблемы и задачи. При этом, не всё, что доступно в условиях импортозамещения достигло нужного уровня качества. Соответственно, требуется планомерная работа с новыми производителями в целях достижения ими требуемого уровня надёжности изготавливаемой для нас продукции.

По части повышения надёжности продукции важно сравнивать себя с собой и двигаться вперёд! Так вот, сравнивая технологии старого поколения М0 с последующими М1 и М3 можно с полной уверенностью сказать, что виброисточники поколений М1 и М3 — проявили себя гораздо лучше как по характеристикам, так и по надёжности.

При этом, виброисточники поколения М3 более приспособлены к работе в условиях низких температур, здесь внедрен целый комплекс модификаций для утепления, прогрева критичных узлов и агрегатов и т.п., кроме того, впервые в истории отечественного производства виброисточников реализована цифровая система управления VibMaster™ (взамен аналоговой панели), которая в сезоне 2023/2024 гг. проявила себя надёжно и стабильно.

Мы активно мониторим работу своей техники, обеспечиваем обучение специалистов, оказываем техническую поддержку по телефону и электронной почте 24/7, обеспечиваем оперативную замену комплектующих и выезд специалистов, при необходимости.

ДС. *Думаю, систематизированная информация об опыте эксплуатации в текущем сезоне вашей продукции, прошедшей заводское техническое обслуживание к сезону, будет важней-*

шим конкурентным фактором. И по итогам сезона предлагаем рассказать об опыте практической эксплуатации сейсмических виброисточников АО «ГЕОСВИП».

Посетив ваше производство в декабре 2023 года, я своими глазами увидел цех, в котором идет работа с двумя группами виброисточников.

ЭО. В настоящее время завод успешно реализует программу обновления сейсмических виброисточников, имеющих значительный срок эксплуатации. Причем, это не просто капитальный ремонт техники – идет полноценная модернизация оборудования, улучшающая технические характеристики, повышающая надёжность работы узлов, заменяется устаревшее оборудование и, что немаловажно, выдаются документы нового образца – электронные паспорта самоходной машины (ЭПСМ). В 2023 году мы выпустили группу виброисточников СВ-30Б-М1 на основе устаревших СВ-30/150Б. На очереди, в 2024-2025 гг. аналогичная работа с группой виброисточников старого образца СВС24РС27, которые будут преобразованы в СВС-30-М1.

ДС. *Вы осуществляете реновацию только машин собственного производства?*

ЭО. Мы готовы проводить ремонты сейсмических виброисточников других производителей, обновляя и ремонтируя основные узлы. Правда, выдачу ЭПСМ для такой техники мы не осуществляем.

ДС. *Эдмунд Гарриевич, спасибо за наглядную демонстрацию актуального состояния АО «ГЕОСВИП». Надеюсь, эта публикация привлечет внимание нашей аудитории к возможностям российского предприятия, продолжающего производить сейсмические виброисточники мирового класса.*

ЭО. Спасибо! Приглашаем Вас продолжить этот разговор на Дне технологий на нашем предприятии.

▼ *Рис. 3. Фото сейсмических виброисточников СВ-30/150Б (М0) до ремонта и СВ-30Б-М1 (М1) перед отгрузкой заказчику.*



«Восток» - название, вдохновляющее на открытия

Первый в России практический опыт эксплуатации виброисточников нового поколения «Восток 62Т/62».



«Восток» —военный шлюп Первой русской кругосветной экспедиции 1819–1821 годов под командованием Ф. Ф. Беллинсгаузена, открывшей Антарктиду.



«Восток» - российская антарктическая научная станция, основанная в 1957 году, «полюс холода» нашей планеты, место научных исследований и открытий.



«Восток» —первый в мире космический аппарат, поднявший на своём борту человека на околоземную орбиту, открывший путь в Космос в 1961 году.



«Восток» – компания «Геотек» начинает в 2024 году промышленную эксплуатацию виброисточников нового поколения.

Колесный вибрационный источник сейсмических сигналов тяжелого класса

Сейсморазведочная партия 477 компании АО «Геотек» начала реализацию проекта в Оренбургской области, используя две группы новых виброисточников «Восток 62». Хотя проект еще в процессе выполнения, уже сейчас отмечается высокая надежность этих машин и их значительный потенциал для применения в геологоразведке. Прогнозируемый успех выполнения данного проекта во многом будет обеспечен использованием новых виброустановок.

Колесная модификация флагманской модели гусеничного вибрационного источника «Восток 62Т» предназначена для генерации упругих продольных волн, имеет пиковое усилие до 30 тонн. Этот источник выделяется широкий частотным диапазоном, характеризуется высоким стабильностью, особенно в низкочастотной области спектра. Минимальная паспортная частота в режиме полной мощности составляет менее 5 Гц, что позволяет эффективно выполнять задачи геологоразведки на современном технологическом уровне в самых различных условиях.

Параметр	Значение
Статический вес (тонн)	31,6 тонн
Пиковое усилие (кН)	300
Частотный диапазон, Гц	1-250
Стартовая частота выхода на полную мощность, Гц	Менее 5 Гц
Ход поршня, мм	203,2
Вес реактивной массы, кг	5400
Вес опорной плиты, кг	1850
Отношение веса реактивной массы к весу опорной плиты	2,92
Аккумулятор высокого и низкого давления, л	2 x 2 x 25
Вес, кг	34 400
Габариты Д x Ш x В, мм	10 600 x 3 530 x 3 640

◀ *Табл. 1. Технические характеристики «Восток 62».*

Данная модель предназначена для непрерывной работы в любых климатических условиях. Она установлена на шасси внедорожного типа с шарнирно-сочлененной рамой, что обеспечивает отличную маневренность. Возможность замены колес на гусеницы значительно увеличивает универсальность применения машины, позволяя ей эффективно функционировать на разнообразном рельефе в разных сезонах и условиях. Это делает «Восток 62Т» идеальным решением для геофизических исследований в сложных условиях.

До выхода техники на производственную эксплуатацию, специалисты официального дилера* провели подготовку персонала для работы с высокотехнологичными машинами. Программа подготовки заняла несколько дней, во время которых операторы и механики изучали регламенты по обслуживанию и эксплуатации техники. Обучение завершилось проверкой полученных знаний и выдачей сертификатов от завода-производителя BASV.

▼ *Рис. 1. Инструктор Поповиченко С.Н. - главный инженер ООО ТД «Олимп-ойл» (первый слева) с группой сертифицированных специалистов по работе с виброустановками «Восток62/62Т».*



Табл. 2. Производственные параметры работы виброисточников на проекте.

Количество групп вибрационных установок	1-2
Количество вибрационных установок в группе	4
Частотный диапазон свип-сигнала, Гц	7 – 110
Тип свипа	ЛЧМ
Длина свипа, с	12
Тэйперинг, мс	500
Количество накоплений	2-4
Мощность воздействия	60%
Система синхронизации	GDS-II

Допустимые пределы отклонений параметров возбуждения:

- среднее фазовое отклонение (Average Phase) - 3 град;
- пиковое фазовое отклонение (Peak Phase) - 10 град;
- средняя мощность ±5% от установленной мощности;
- нелинейные искажения: средние -25 %;
- пиковое значение нелинейных искажений - 50%.

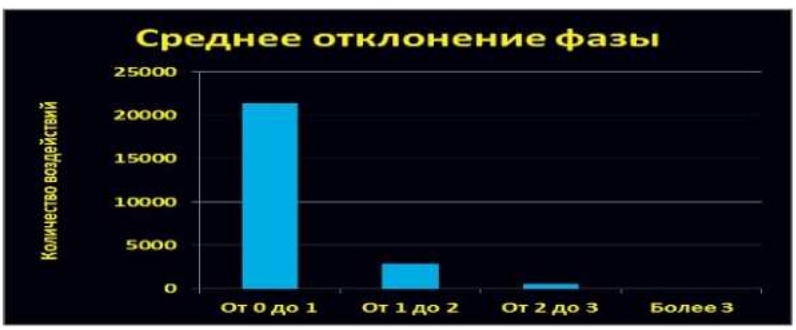
Анализ параметров работы виброустановок по результатам первого опыта эксплуатации.

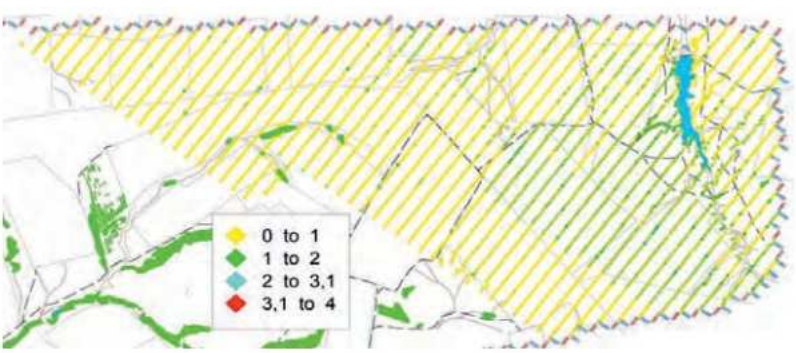
Отработано 3031 физическое наблюде-

Табл. 3. Среднее отклонение фазы.

Среднее отклонение фазы		
Отклонение фазы	**Количество воздействий**	**%**
От 0 до 1	**21395**	**86.2**
От 1 до 2	**2829**	**11.4**
От 2 до 3	**596**	**2.4**
Более 3	**0**	**0**

Рис. 2. Карта средних значений отклонения фазы.

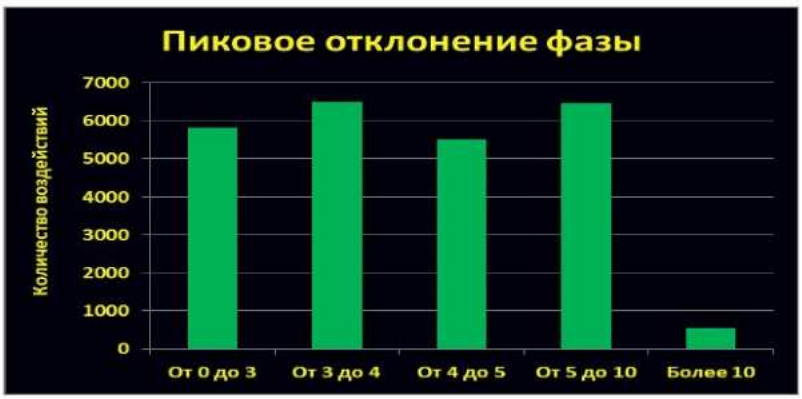


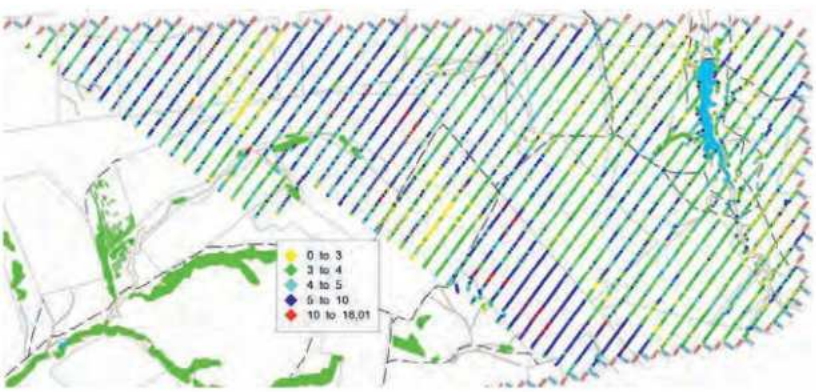


Пиковое отклонение фазы		
Отклонение фазы	Количество воздействий	%
От 0 до 3	5826	23.5
От 3 до 4	6471	26.1
От 4 до 5	5502	22.2
От 5 до 10	6466	26.1
Более 10	555	2.1

Табл. 4. Пиковое отклонение фазы.

Рис. 3. Карта пиковых значений отклонения фазы.





ние, при этом произведено 74 820 одиночных воздействий (накоплений). В работе было задействовано девять виброустановок (две группы).

Площадь характеризуется различными типами грунтов – от небольших заболоченных участков, полей пашни и полей озимых культур и до твердой степной целины.

По результатам оценки проведенных воздействий установлено следующее:

Средние отклонения фазы:

- Подавляющее большинство воздействий (86.2%) имело отклонение до одного градуса;
- Небольшое количество воздействий (11.4%) имело отклонение 1-2 градуса;
- Мизерное количество воздействий (2.4%) имело

Средние нелинейные искажения		
	Количество воздействий	%
От 1 до 9	5906	23.8
От 9 до 11	8967	36.1
От 11 до 15	8379	33.8
От 15 до 25	1564	6.3
Более 25	4	0

Табл. 5. Средние нелинейные искажения.й



Рис. 4. Карта средних значений нелинейных искажений.

Пиковые нелинейные искажения		
	Количество воздействий	%
От 8 до 15	4674	18.8
От 5 до 18	6225	25.5
От 18 до 25	9223	37.2
От 25 до 50	4557	18.3
Более 50	41	0.2

Табл. 6. Пиковые нелинейные искажения.



Рис. 5. Карта пиковых значений нелинейных искажений.

отклонение 2-3 градуса;

• Отклонений более 3 градусов не наблюдалось.

Пиковые отклонения фазы:

• Подавляющее большинство воздействий (71.7%) имело отклонение до пяти градусов;

• Часть воздействий (26.1%) имела отклонение 5 -10 градусов;

• Малая часть (2.1%) воздействий имела «выбросы» более 10 градусов.

Средние нелинейные искажения:

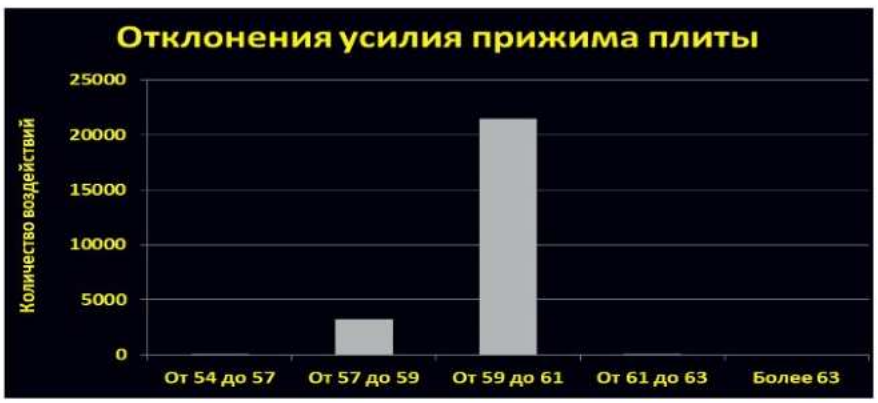
• Подавляющее большинство воздействий (93.7%) имело уровень нелинейных искажений ниже 15%.

• Небольшое количество воздействий (6.3%) имело уровень нелинейных искажений от 15 до 25

• Воздействий с уровнем нелинейных искажений более 25% практически не наблюдалось

Табл. 7. Среднее усилие прижима плиты.

Среднее усилие прижима плиты		
	Количество воздействий	%
От 54 до 57	28	0.1
От 57 до 59	3273	13.2
От 59 до 61	21491	86.6
От 61 до 63	28	0.1
Более 63	0	0



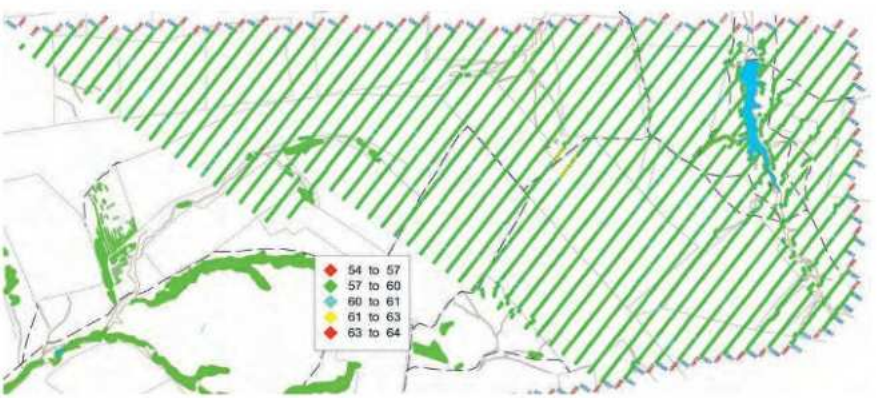


Рис. 6. Карта средних значений мощности излучений.

Пиковые нелинейные искажения:

• Подавляющее большинство воздействий (81.5%) имело уровень пиковых нелинейные искажения до 25%.

• Небольшая часть воздействий (18.3%) имела уровень пиковых нелинейные искажения 25-50%.

• Мизерная часть воздействий (0.2%) воздействий имела «выбросы» более 50%.

Средняя мощность излучения:

• Подавляющее большинство воздействий (86.6%) имело уровень мощности 59-61%.

• Небольшая часть воздействий (13.2%) имела уровень мощности 57-59%.

• Мизерная часть воздействий (0.2%) выходила за указанные выше диапазоны.

По проведенному анализу можно сделать следующие выводы:

• Установки очень хорошо держат требуемые параметры возбуждения.

• Установки стабильны на разных видах грунта. Так при заезде установок на мягкий грунт (например, на пашню) реального ухудшения параметров излучения не наблюдалось. Можно отметить, что в установках других производителей при переходе на мягкий грунт параметры (в первую очередь уровень нелинейных искажений) сильно ухудшаются, что требует снижения уровня мощности при возбуждении.

• Установки могут стабильно работать (с блоками GDS-II) с начальной частотой свипа 2 Гц.

Вибросейсмические установки «Восток 62» (в колёсной модификации)/ «Восток 62Т» (в гусеничной модификации) практически ни в чем не уступают, а в некоторых позициях и превосходят имеющиеся в России аналоги виброисточников.

Перспективы и широкие возможности виброустановок «Восток»

• Виброустановки «Восток» открывают новую страницу вибросейсморазведки с использованием сложно построенных свип-сигналов, обеспечиваемых современной системой управления типа GDS-II (разработка фирмы ООО «Геофизические системы данных»). В частности, указанная система позволяет реализовать использование:

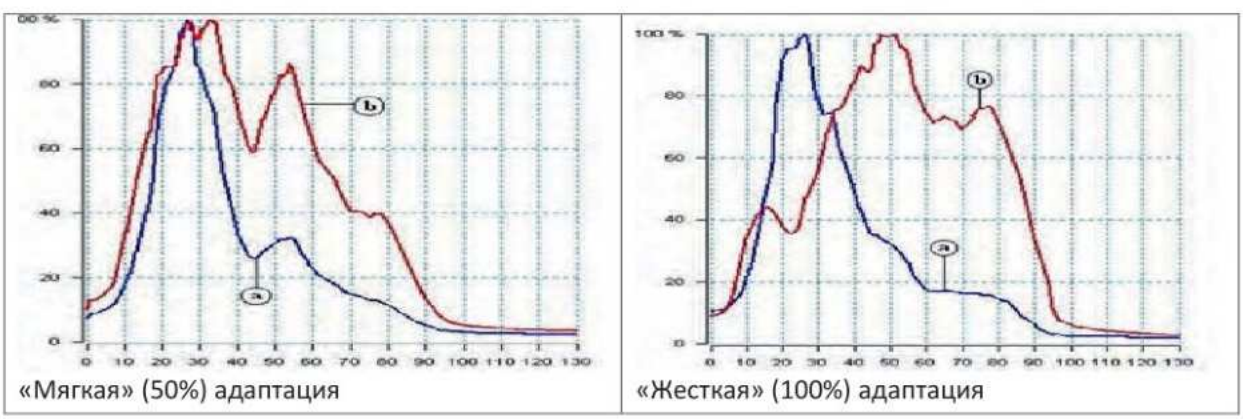
• низкочастотного свип-сигнала;

• широкополосного свип-сигналом;

• адаптивного свип-сигнала.

Адаптивная вибрационная сейсморазведка - это технология построена на использовании нелинейных свип-сигналов, адаптированных к сейсмогеологическим условиям каждой площадки возбуждения на профиле, в отличие от стандартного метода, в котором для всего профиля и всей изучаемой площади используется единая форма сигнала возбуждения (свип-сигнал). Недостатком стандартного метода является невозможность гибкого учёта меняющихся вдоль профиля поверхностных и глубинных сейсмогеологических условий района работ. Адаптация сигнала к каждой площадке возбуждения осуществляется в автоматическом режиме на основе анализа АЧХ сейсмической записи в целевом интервале и её инвертирования на уровне

▼ *Рис. 7. АЧХ коррелограмм линейного (синий цвет) и адаптивного (красный) свипов.*



«Мягкая» (50%) адаптация

«Жесткая» (100%) адаптация

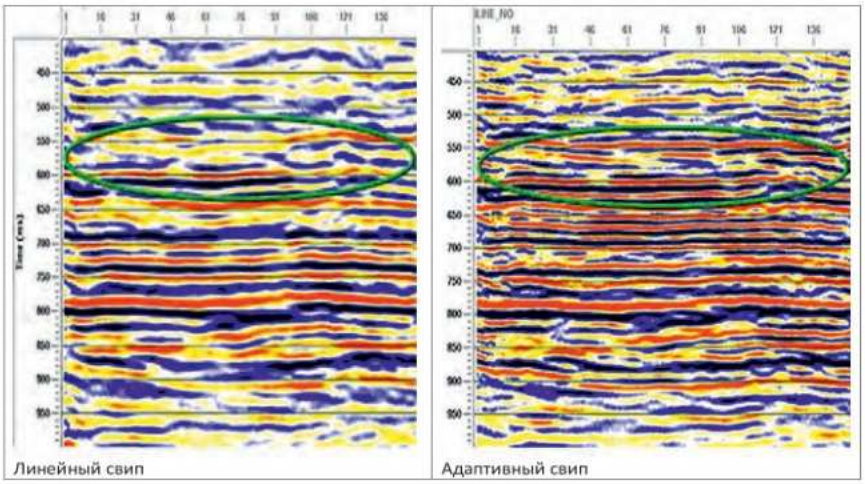


Рис. 8. Фрагменты разреза опытного профиля. Презентационные материалы компании НПФ «Спецгеофизика».

адаптированного свипа. В результате применения этой технологии достигается эффект расширения спектра сигнала, повышения разрешенности отраженных волн, стабилизируются динамические характеристики записи на площади работ.

На приведенных выше графиках амплитудно-частотных характеристик видно насколько частотный спектр адаптивного свипа богаче. И расширения спектра происходит в обе стороны:

- В сторону низких частот на 1-2Гц;
- В сторону высоких частот на 20-30Гц.

Это в свою очередь существенно повышает разрешающую способность сейсмической записи. И это прекрасно видно на приведенных ниже фрагментах временных разрезов одной и той же части профиля.

На приведенных фрагментах хорошо видно, насколько увеличилась информативность временного разреза при применении адаптивного свипа:

- В выделенной зеленым области с адаптивным свипом начал просматриваться косослой, а с линейным свипом его не видно.
- На времени 650мсек с линейным свипом наблюдаем «кашу», а с адаптивным свипом все выстроилось в отражающие горизонты.
- На времени 680мсек с линейным свипом наблюдаем однофазное отражение, а с адаптивным свипом оно становится двухфазным.

Приведенный пример показывает, что иметь хорошие установки недостаточно для получения геологической информации значительно более высокого качества по сравнению с традиционными подходами. Требуются еще хорошие системы управления источниками, позволяющие использовать возможности установок «Восток 62»/ «Восток 62Т» для существенного повышения геологической информативности вибросейсморазведки.

Вибросейсмические установки «Восток 62» (в колёсной модификации)/ «Восток 62Т» (в гусеничной модификации) с блоками управления GDS-II составят очень хороший комплекс для проведения сейсморазведочных работ с получением сейсмической информации очень высокого качества.



Главный редактор журнала «Приборы и системы разведочной геофизики»

Слонов Д. Н.

Комплекс донной сейсморазведки транзитных зон "Катран". Конструкция и результаты испытаний

- Зиборов А. В., ООО «МТЦ», СПбГУ, г. Санкт-Петербург.
- Попов Д. А., ООО «МТЦ», г. Санкт-Петербург.
- Потемка А. К., МГУ имени Ломоносова, г. Москва.
- Кудинов А. А., Половков В. В., Долотказин О. И., СПбГУ, г. Санкт-Петербург.

Аннотация. *В работе описывается новый отечественный сейсмический комплекс «Катран» на основе автономных донных станций. Комплекс предназначен для проведения сейсмических исследований в области малых глубин (до 200 м) и решения задач как нефтяной (методы МОВ-ОГТ 2/3/4D 4C), так и инженерной сейсморазведки (методы МПВ, MASW, SWT).*

Основные отличия разработанных донных станций от предшественников – это меньшие размеры и вес, а также расширенный частотный диапазон регистрируемых сигналов (перечень доступных интервалов дискретизации, помимо стандартных значений 250 мкс - 4 мс, включает значения в 62.5 и 125 мкс).

В июне 2024 года проведены натурные испытания комплекса в акватории Белого моря, получен и обработан массив высококачественных сейсмических данных.

Ключевые слова: *сейсморазведка, донные станции, нодальные системы, МОВ ОГТ, сейсмический мониторинг, 4C, инженерная сейсморазведка, MASW, транзитная зона*

Современная морская сейсморазведка немыслима без автономных донных регистрирующих систем. Уровень сложности решаемых задач растет из года в год, на уже исследованных ранее месторождениях проводятся работы большей плотности и детальности, обеспечивающие, после соответствующей обработки, существенный прирост информативности. Для решения актуальных вопросов от полевого оборудования и технологии исследований требуется высокая гибкость в создании разнообразных полноазимутальных систем наблюдений, возможность регистрации многокомпонентных сейсмических данных и решения задач 4D сейсморазведки – все это обеспечивается использованием донных регистраторов, прежде всего в формате автономных донных станций (далее - ДС).

Сейсмические комплексы на основе ДС прошли долгий эволюционный путь от штучных изделий, применявшихся для региональных работ (ГСЗ-КМПВ, разреженные расстановки регистраторов для дополнения данных с коротких буксируемых кос) до законченных систем, оптимизированных для производственных работ методами 3/4D МОВ ОГТ с несколькими тысячами станций. Концептуально, структура и принцип работы ДС не претерпели значительных изменений (в любом случае мы имеем дело с автономным регистратором сигналов с четырех датчиков - трех геофонов и одного гидрофона, а также системой, обеспечивающей привязку событий к точному времени), однако с точки зрения надежности, предсказуемости, технологичности и предоставляемых возможностей, современное оборудование имеет мало общего с предшественниками.

На сегодняшний день ситуация в отрасли такова, что все больше внимания уделяется исследованию и разработке морских месторождений, расположенных на участках с небольшими глубинами



▲ *Рис. 1. Донные станции «Калкан», «Коралл» и «Катран» (слева-направо).*

(в районе 100-150 метров) и в транзитной зоне. При этом от сейсморазведки зачастую требуется комплексное решение, включающее как проведение работ методами МОВ-ОГТ 3D 1/4С для поиска и уточнения строения месторождений, так и решение сугубо инженерных задач, связанных с вопросами строительства морских/прибрежных сооружений и разработки месторождения.

Комплекс донной сейсморазведки «Катран» разработан именно для решения подобного рода задач в условиях глубин до 200 метров. Он включает в себя весь спектр оборудования и средств для регистрации сейсмических сигналов – одноименные автономные донные станции, контейнер-лабораторию и мобильный блок управления для работы с ними, а также программное обеспечение для управления, тестирования ДС, предварительной обработки и контроля качества сейсмического материала.

Разработанная ООО «Морской Технический Центр» (г. Санкт-Петербург) в 2024 году, донная станция «Катран» является самой компактной ДС в линейке продукции компании (ДС «Калкан» / «Коралл» / «Катран», рисунок 1). Основа разработки, от которой «Катран» перенял многие черты – это хорошо зарекомендовавшая себя и широко используемая российскими сервисными компаниями ДС «Коралл» (глубинность – до 1км, масса на воздухе 20 кг, автономность 50 суток) [2]. Сохранив основные преимущества отработанной конструкции и аппаратно-программного ядра, новая станция стала легче и компактней. Ее параметры – 200 метров, 12 кг и 30 суток соответственно. Таким образом, новая ДС занимает нишу наиболее компактного регистратора для решения задач в условиях малых глубин.

Конструкция донной станции и других компонент комплекса

Разработанная донная станция имеет следующие технические характеристики (Таблица 1).

Корпус ДС выполнен из алюминиевого коррозионностойкого сплава АМг6 и рассчитан на работу на глубинах до 200 м (каждая ДС при производстве проверяется в гидробаке под давлением, соответствующем максимальной глубине погружения). Ударопрочная пластиковая защита корпуса делает станцию комфортной для ручной переноски и защищает ее от повреждений, а специальная конструкция нижних и верхних накладок улучшает механический контакт регистратора с грунтом и позволяет удобно штабелировать станции при хранении и перевозке. Прямоугольная

Время автономной работы по питанию, суток	30
Максимальная рабочая глубина, м	200
Диапазон рабочих температур, °С	-10 … +50
Количество регистрирующих каналов	4
Разрядность АЦП, бит	24
Периоды дискретизации, мс	0,0625; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2, 4
Усиление, дБ	0…36, с шагом 6
Динамический диапазон для усиления 0 дБ (для каналов геофонов), дБ	126
Устройство хранения информации	microSD карта 512 Гб
Тип внутренних часов	Термостатированный кварцевый генератор
Температурная нестабильность кварцевого генератора	5×10^{-10}
Вес на воздухе, кг	12
Размеры, мм	320х 220 х 121
Чувствительность геофонов, В/м/с	69,7
Собственная частота геофонов, Гц	15
Чувствительность гидрофона, мкВ/Па (-дБ отн. 1 В/мкПа)	60 (-204)

▲ *Табл. 1. Основные характеристики «Катран».*

форма корпуса практична как с точки зрения размещения внутренних блоков, так и компактности массива станций.

Внутренняя конструкция ДС спроектирована исходя, прежде всего, из наиболее полного использования свободного пространства и критериев модульности. Все важные подсистемы станции (модуль питания, модуль регистрации, датчики и т.д.) выполнены конструктивно независимыми, т.е. для доступа к произвольному модулю нет необходимости производить демонтаж других. Минимизировано число гибких межмодульных соединений, что положительно сказывается на надежности устройства.

Соотношение объема и массы станции оптимально - ДС компактна, но обладает достаточной массой для хорошего механического контакта с грунтом.

«Сердце» станции – это регистратор, он в «Катране» имеет существенные отличия от всех остальных ДС, имеющихся на рынке.

Нормой в сейсморазведке является сетка частот дискретизации сигнала в 0.25, 0.5, 1, 2 и 4 кГц. Однако новая станция обладает уникальной и действительно не имеющей аналогов возможностью работы на частотах 8 и 16 кГц, что позволяет оцифровывать сигналы с частотами до 6.5 кГц.

В ДС «Катран» используются традиционные геофоны GS-ONE OMNI - высококачественные всенаправленные датчики, производящиеся в России, своеобразный стандарт морского сейсмического оборудования. Имеется также возможность установки датчиков другой конструкции, например молекулярно-электронных [1].

На канале гидрофона необходимо остановиться отдельно. По сути, все выпускаемые в настоящее время зарубежные ДС оснащены гидрофонами производства High Tech и Geospace (США). Также, как и в случае с геофонами, производство кажущихся на первый взгляд простыми датчиков сопряжено с огромным количеством трудностей, и наиболее оптимальным является закупка готовых проверенных изделий.

К сожалению, продукция данных фирм недоступна в РФ, что вынуждает ориентироваться на их альтернативы. В процессе разработки и выпуска коммерческих партий ДС в числе прочих модулей был разработан гидрофон собственной конструкции. Был выполнен большой объем опытно-конструкторских работ, в результате чего все производимые компанией ДС последние 2 года комплектуются датчиками собственного производства. Основные характеристики каждого гидрофона (емкость, чувствительность) многократно проверяются в процессе производства на специальном автоматизированном стенде, в том числе после гидростатических испытаний под давлением. Все это позволило снизить процент отказа гидрофонов практически до нуля и обеспечить разброс характеристик не более 10%.

Один из важнейших модулей – термостатированный кварцевый задающий генератор (проще говоря – внутренние часы) отечественного производства ДС также заслуживает отдельного внимания. В станциях возможно использование либо атомных, либо высокоточных термостатированных кварцевых генераторов. Первые обеспечивают более высокую точность, однако крайне дороги и малодоступны. Вторые, при правильном подходе к работе с генератором, оказываются сопоставимы по итоговой точности, уверенно выигрывая по остальным характеристикам. Две основные проблемы, которые необходимо решать при работе с данным типом генераторов — это стабильность частоты при изменении температуры окружающей среды (нелинейность ухода при резком охлаждении или нагреве) и быстрая настройка генератора перед запуском ДС на регистрацию. И если первая лежит на производителе модуля часов, то его настройка решается уже аппаратно-программными средствами сейсмического комплекса.

Другая важная составляющая любой современной донной станции — это модуль тестирования ДС и регистрации широкого спектра метаданных. Несмотря на использование надежных компонентов и технических решений, контроль всех отдельных модулей по отдельности и после сборки ДС, существует вероятность нарушения корректного функционирования какой-либо части станции. Для того, чтобы оперативно обнаружить этот факт, ДС должна иметь в своем составе инструментарий тестирования внутренних систем. В станции «Катран» это сделано в полном объеме — в ней реализован полный перечень стандартных тестов (таких как точность коэффициентов усиления, уровень собственных шумов, определение характеристик датчиков и т.д.), также ДС в процессе работы регистрирует широкий спектр внутренних параметров — температуру, давление, ориентацию в пространстве, напряжение аккумуляторных батарей и т.д. Все это вкупе с удобной реализацией пакетного тестирования позволяет оперативно проверять весь парк станций перед каждой постановкой.

Для связи с внешним оборудованием, станция оснащена герморазъемом собственной разработки ООО «МТЦ», полностью идентичным тому, который

используется в других ДС линейки. Также в составе ДС имеется магнитный сенсор с модулем световой индикации для оперативного контроля статуса на палубе, предусмотрена возможность установки RFID меток для автоматизации работ по раскладке регистраторов.

Отступая от особенностей конструкции отдельной станции, следует обратиться к другим составляющем комплекса. Наличие качественного и надежного регистрирующего модуля, не является достаточным для проведения производственных работ. Необходимо разработать и создать всю инфраструктуру для работы, обеспечить технологичные и удобные инструменты для конвейерной работы с ДС – зарядки, тестирования, запуска и остановки, скачивания, хранения и экспресс-анализа данных. Причем все составляющие должны быть удобны для транспортировки, развертывания на базе различного вида используемых судов и масштабируемы.

Для непосредственной работы со станциями на борту судна используются контейнеры-лаборатории на базе стандартных 10-ти и 20-ти футовых морских контейнеров. Каждый из них вмещает, соответственно, 120 и 240 ДС. Станции располагаются в индивидуальных ячейках, предусмотрены специальные штормовые фиксаторы. Подключение производится удобными эргономичными жгутами. Контейнеры теплоизолированы и оснащены системами кондиционирования и вентиляции, комфортны для работы оператора.

В каждом контейнере располагается массив серверов, организующих параллельную работу со всеми размещенными ДС. При этом отдельные контейнеры легко объединяются в сеть с централизованным управлением и доступом к зарегистрированным данным. Управляющее программное обеспечение (ПО) постоянно модифицируется и показало свою стабильность и высокую эффективность в процессе выполненных с использованием комплекса работ. Также разработано ПО для предварительной обработки и автоматизированного анализа сейсмических данных, реализующее такие нужные и сложные для выполнения функции, как уточнение положения и ориентации модулей с учетом их возможного сноса, выявление отклонений в линейном характере ухода внутренних часов и формирование пакетов отчетной документации.

Испытания комплекса на акватории Белого моря

В июне 2024 года разработанный комплекс прошел всестороннее тестирование в рамках полноценных полевых работ, программа которых была разработана с учетом специфики проведения инженерных исследований.

Задачи испытаний были следующими:

- Тестирование ДС и контейнера-лаборатории (рисунок 2) в реальных условиях с точки зрения надежности оборудования и удобства работы с ним;
- Сравнение зарегистрированных сейсмических данных с материалами, полученными с референсной системы (в качестве нее выступали ДС «Коралл»);
- Регистрация сейсмических данных в расширенном частотном диапазоне (с частотой дискретизации 16 кГц), сравнение с материалами, полученными при регистрации с частотой 4 кГц;
- Реализация полноценных систем наблюдения, характерных для решения инженерных задач с их отработкой и последующей обработкой данных по традиционным для отрасли и нестандартным методикам.

Полигон, на котором проводились



▲ *Рис. 2. Контейнер-лаборатория и донные станции. Разгрузка во время проведения испытаний.*

работы, располагался в акватории Ругозерской губы (Кандалакшский залив Белого моря) вблизи ББС (беломорской биологической станции) МГУ.

Исследования производились на двух участках – малоглубинном вблизи острова Высокий (глубины моря от 10 до 25 м) и литоральном вблизи острова Оленевский (глубины – от 0 до 18 м). В качестве источников сейсмического сигнала использовались пневмоисточник Sleeve Gun I объемом 20 куб. дюймов и электроискровой источник (спаркер) с максимальной энергией 2.4 кДж.

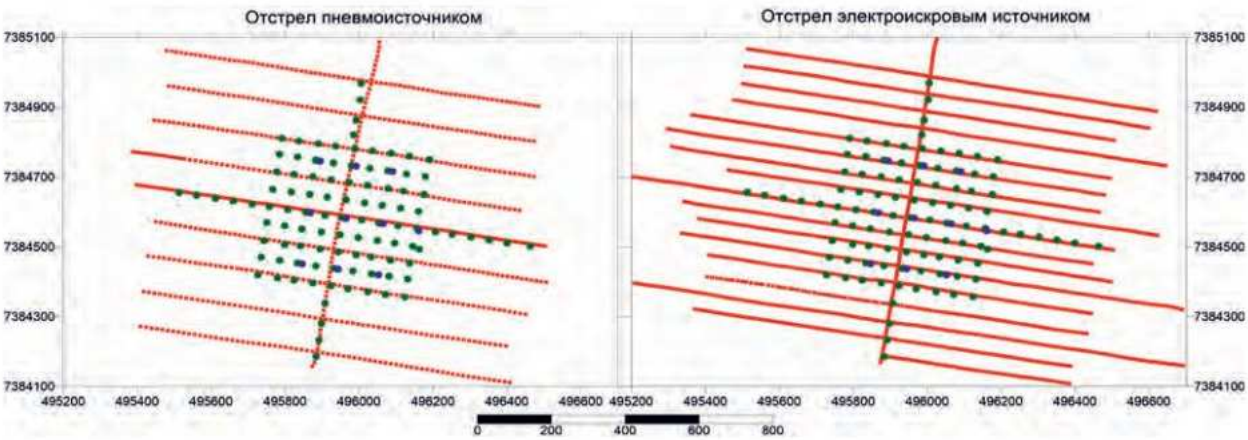
Методически работы были разбиты на три этапа:

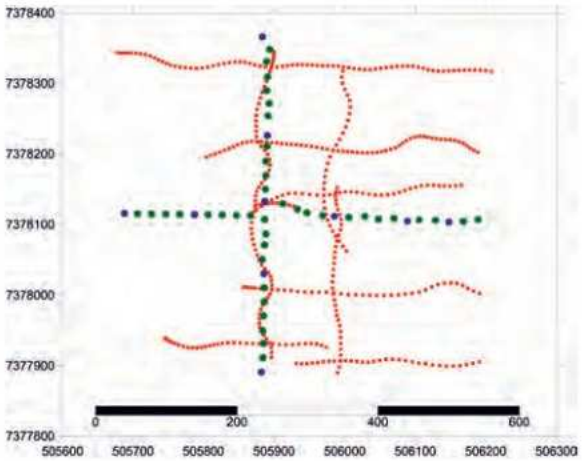
1. Отработка пространственной расстановки ДС на малоглубинном полигоне (станции расставлены по сети 50х50м с равномерным покрытием площадки 400х400м и выходом части ДС за пределы площадки; всего задействовано 114 станций – 104 ДС «Катран» и 10 контрольных ДС «Коралл»). Отстрел двумя типами источников (10 и 18 профилей соответственно), попутная регистрация сигнала на буксируемую сейсмическую косу (Рисунок 3);

2. Отработка 2D профиля на малоглубинном полигоне (24 ДС, шаг ПП 50м) с использованием технологии широкополосной синхронной сейсморазведки и отстрелом при помощи двух независимых электроискровых источников с различным заглублением и энергией;

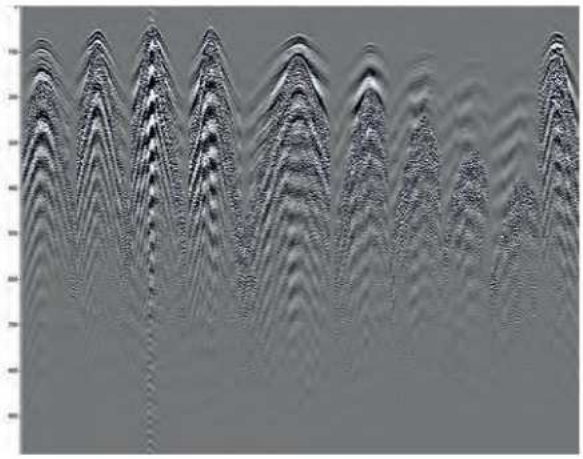
3. Отработка крестообразной расстановки на литоральном полигоне (станции расположены на двух перпендику-

▼ *Рис. 3. Система наблюдений на мелководном полигоне. Зеленым цветом обозначены ДС «Катран», синим – ДС «Коралл», красным – положение ПВ.*





▲ *Рис. 4. Система наблюдений на литоральном полигоне. Зеленым цветом обозначены ДС «Катран», синим – ДС «Коралл», красным – положение ПВ.*



▲ *Рис. 5. Пример сейсмограммы ОПП с малолубинного полигона (Отстрел пневмоисточником, ДС «Катран» №118, Н компонента).*

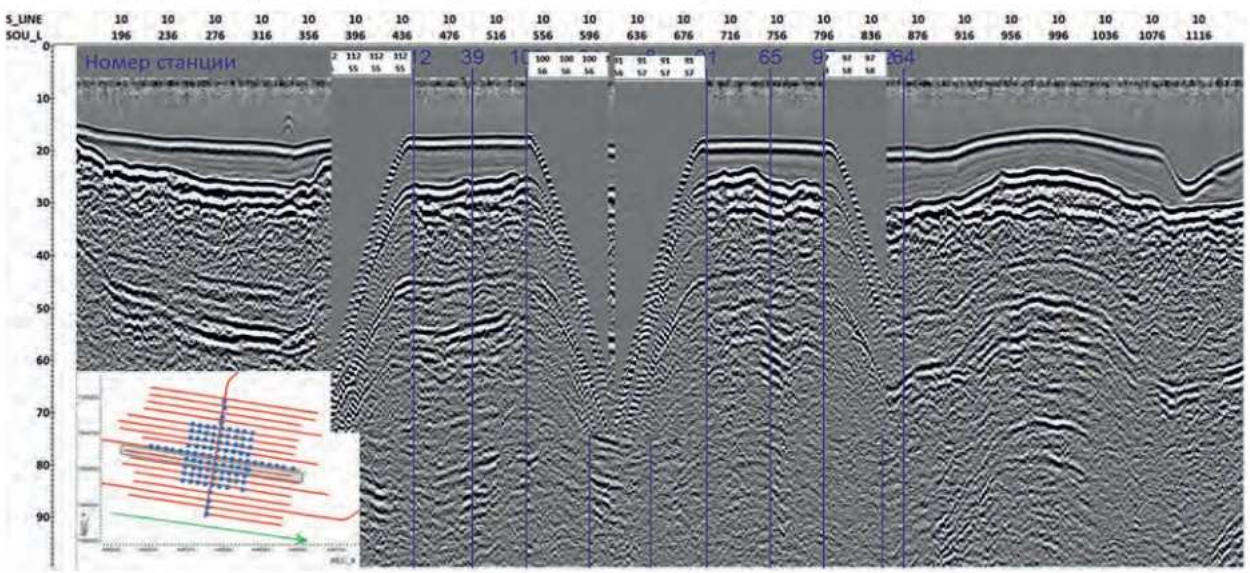
лярных профилях с шагом между ПП 20м, всего задействовано 60 станций – 50 ДС «Катран» и 10 контрольных ДС «Коралл») с отстрелом пневмоисточником по 7 профилям (Рисунок 4).

В результате выполнения полевых работ были зарегистрированы высококачественные сейсмические материалы, за время исследований не произошло ни одного отказа оборудования и данные были получены в полном объеме. Материалы, полученные с использованием ДС разного типа идентичны.

Сейсмограммы, полученные на малоглубинном полигоне характеризуются высоким соотношением сигнал/шум, прослеживаемостью преломленных волн на всем диапазоне удалений (при отстреле пневмоисточником, рисунок 5). Сейсмограммы ОПП с ДС после ввода соответствующих поправок за различие в глубине ПП уверенно коррелируют с разрезами, полученными при помощи буксируемой сейсмической косы (рисунок 6).

Сравнение сейсмограмм, зарегистри-

▼ *Рис. 6. Временной разрез метода ССВР по линии ПВ №10. Врезками показаны сейсмограмм ОПП с ДС (Отстрел электроискровым источником, Н компонента).*



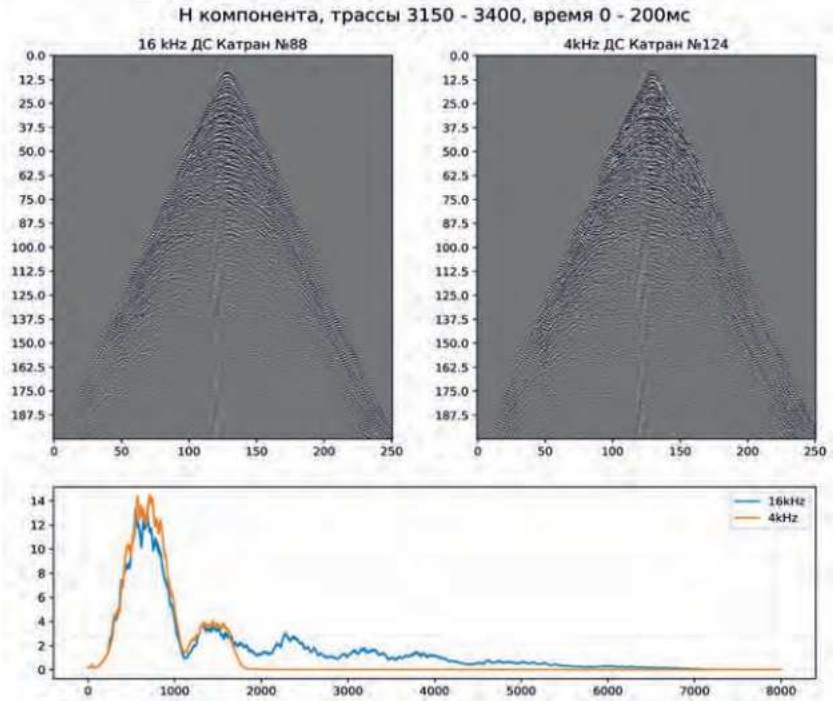


Рис. 7. Фрагменты сейсмограмм ОПП с двух ДС, относящихся к одному ПП, зарегистрированных с разными значениями частоты дискретизации и частотные спектры сигналов. Компонента H.

рованных при частотах дискретизации 4 и 16 кГц (при отстреле высокочастотным электроискровым источником) показывает высокую идентичность записей в общем для сравниваемых станций частотном диапазоне частот (до 1700 Гц) и наличие высокочастотных компонент сигнала, лежащих за пределами данной частоты (рисунки 7-8).

Материалы, полученные с литорального полигона идентичны по качеству, и также характеризуются прослеживанием преломленных волн на всем диапазоне удалений. На них выделяются достаточно хорошо выраженные поверхностные волны.

Сейсмические данные, зарегистрированные в полном объеме расстановок, после предварительного анализа были переданы на обработку с использованием методов MASW, SWT, МПВ (методы t_0, 2D/3D томографии). В настоящий момент основной объем обработки еще не выполнен, однако уже получены такие

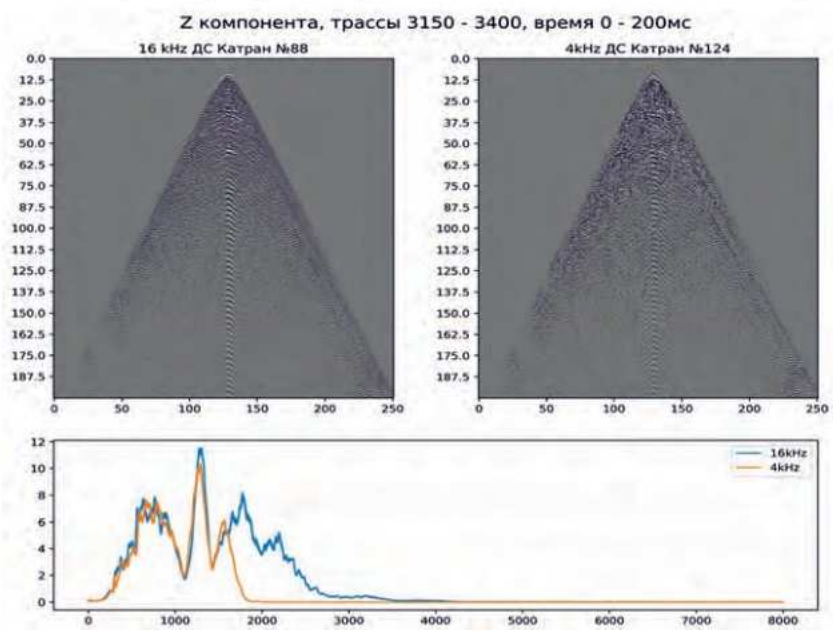
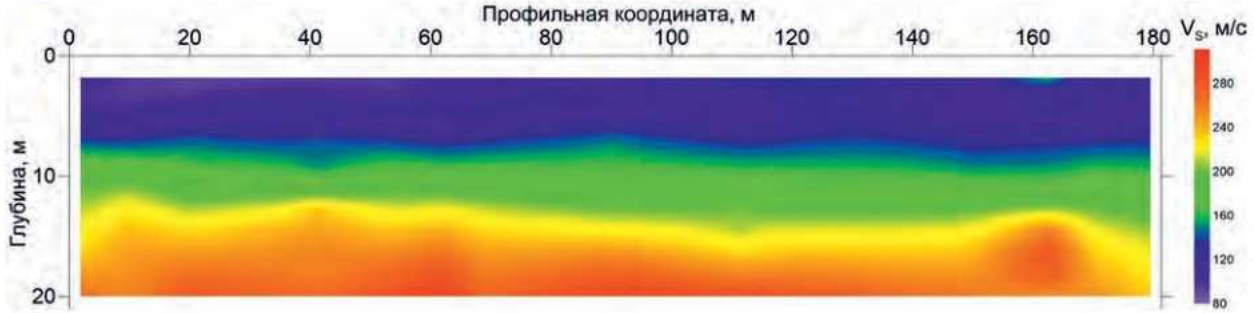


Рис. 8. Фрагменты сейсмограмм ОПП с двух ДС, относящихся к одному ПП, зарегистрированных с разными значениями частоты дискретизации и частотные спектры сигналов. Компонента Z.



▲ *Рис. 9. Разрез скоростей поперечных волн, полученный по методике MASW (субмеридиональный профиль, литоральный полигон).*

результаты, как разрез скоростей поперечных волн по данным MASW (рисунок 9) и карта кровли фундамента по данным МПВ (рисунок 10).

Заключение

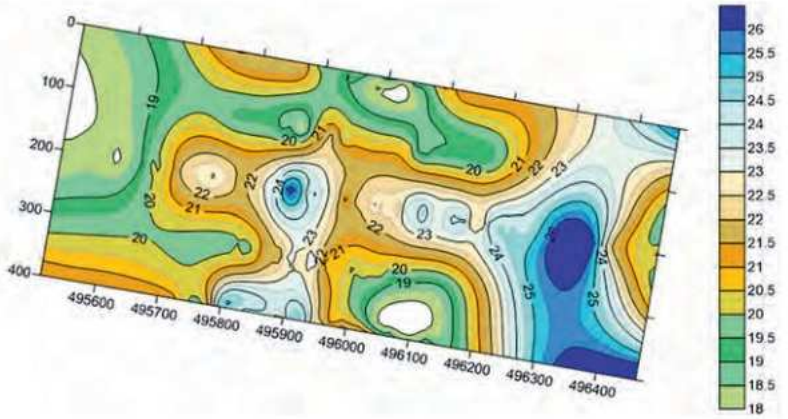
Разработанный в 2024 комплекс донной сейсморазведки транзитных зон "Катран" основан на наиболее компактной и легкой отечественной донной станции, способной работать на глубинах до 200 метров. Обладая схожим аппаратно-программным ядром с ДС «Коралл», успешно используемой в отрасли, «Катран» обеспечивает большую гибкость при проведении исследований в условиях малых и средних глубин. Также немаловажным отличием станции является расширенная возможность регистрации высокочастотных сигналов (с частотой дискретизации до 16 кГц).

Разработанный комплекс успешно прошел полевые испытания, в ходе которых показал свою надежность, высокие эксплуатационные характеристики и идентичность зарегистрированных данных в сравнении с референсной системой «Коралл» и буксируемой косой.

Литература

1. Казанин А. Г. и др. Инновационный цифровой сейсмический комплекс морской сейсморазведки «Краб». Разработка, внедрение и перспективы развития отечественных донных станций / Казанин А.Г., Базилевич С.О., Куома Д.Г., Зиборов А.В., Долотказин И.Н., Кошелев Е.А., Ерофеев Ю.Г., Агафонов В.М., Гладилин А.В., Петров Б.Е. // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – Т. 12. – №. 253. – С. 28-35.

2. Попов Д.А. и др. Результаты испытаний донных сейсмических станций «Коралл» на акватории белого моря в 2022 году / Попов Д.А., Зиборов А.В., Долотказин И.Н., Половков В.В., Кудинов А.А. // Геоевразия – 2023: сборник материалов конференции – Москва, 2023. – С. 77-80.



▶ *Рис. 10. Карта глубин кровли фундамента, полученная по результатам сейсморазведки МПВ (малоглубинный полигон, отстрел пневмоисточником).*

Алгоритм расчёта временных невязок часов для автономных донных сейсмических станций и способ определения их позиций

Станюлис А.Л-А., Пальцев И.О., ФГБУ "ВНИИОкеангеология", г. Санкт-Петербург.

Аннотация. *Синхронизация по времени при использовании глобальной спутниковой системы позиционирования один из самых надежных и точных вариантов для сейсмических систем при наземном их развертывании, но не для подводных исследований с автономными донными сейсмическими станциями, поскольку электромагнитные сигналы не распространяются в воде. Если дрейф внутренних часов донной станции носит линейный характер, то временные поправки для зарегистрированных сейсмических данных могут быть определены с помощью глобальной спутниковой системы позиционирования при ее спуске и подъёме. Но для некоторых модулей в активной расстановке этого недостаточно, поскольку их нелинейная составляющая дрейфа часов может превышать технические допуски работ. Так же сейсмические данные не могут быть синхронизированы данным методом при разряде батареи донной станции или по причине нарушения условий эксплуатации их внутренних часов из-за ударов, вибрации и других факторов при развертывании и подъёме донных модулей. Мы представляем корреляционный метод получения временных невязок для автономных донных станций по зарегистрированным сейсмическим данным. При расчетах временной невязки за уход внутренних часов мы используем пикировки первых вступлений для водной волны. При этом мы предполагаем, что средства синхронизации обеспечивают требуемую точность для одной из двух станций при проведении корреляции данных между ними и такую станцию мы называем опорной станцией. На первом этапе расчета для каждой из станций, для исключения невязки, связанной с ошибками позиционирования донных станций, мы выполняем дифференцирование временных отметок времени для пикировок первых вступлений водной волны в направлениях по фиксированным азимутам на пункты возбуждений сейсмических сигналов. Мы считаем, что ошибки за позиционирование для донного оборудования присутствуют всегда в навигационных данных при производстве работ и поэтому на первом этапе их необходимо исключить из дальнейших расчетов. На втором этапе мы проводим вычитание полученных продифференцированных данных между опорной станцией и станцией рядовой сети. На финальном этапе, после проведения статистической обработки полученных данных, мы проводим операцию суммирования для получения невязки за уход часов для каждого момента регистрации сейсмических данных для рядовой станции. В статье мы показываем, что невязка за смещения донной станции по данным пикировок первых вступлений водной волны с достаточной точностью может быть представлена простой тригонометрической функцией, что дает возможность сделать независимыми алгоритмы вычислений ошибки за синхронизацию донной станции, и пространственной ошибки за положение донной станции в любой момент времени регистрации. Мы представляем в статье результаты расчетов по предложенному алгоритму при использовании модельных и реальных сейсмических данных.*

Ключевые слова. *синхронизация, автономная донная сейсмическая станция, пикировки первых вступлений водной волны, корреляция, невязка часов автономной донной сейсмической станции, опорная станция.*

Введение

Точная синхронизация сейсмических записей имеет решающее значение для современных высокоразрешающих методов обработки при использовании полного азимута [Maver, 2011]. Синхронизация по времени при использовании глобальной спутниковой системы позиционирования (GPS) – это один из самых надежных и точных вариантов для синхронизации сейсмических систем при наземном их развертывании, но не для подводных исследований с автономными донными станциями, поскольку электромагнитные сигналы не распространяются в воде. Если дрейф внутренних часов носит линейный характер, то временные поправки для автономных донных сейсмических станций (АДСС) могут быть оценены с помощью GPS-синхронизации, проводимой до и после их развертывания, но для некоторых модулей из общего числа регистраторов в активной расстановке этого недостаточно, поскольку их нелинейная составляющая дрейфа часов может не обеспечивать технических требований при проведении работ большой продолжительности [Boissy, 2020]. Так же сейсмические данные не могут быть синхронизированы данным методом при разряде батареи питания донной станции или по причине нарушения условий эксплуатации ее внутренних часов из-за ударов, вибрации, нарушении их герметичности и прочее. Другой особенностью современного донного оборудования является то, что длительность работы станции за счет внедрения Производителями оборудования собственных технических реше-

Survey name	AX19200
NPDID for survey	8973
Factmaps in new window	link
Status	Ferdig
Area	Nordsjøen
Marked available	Ja
Category	Seismisk undersøkelse
Main type	Havbunnseismisk undersøkelse
Sub type	3D
Company - responsible	Axxis Geo Solutions AS
Source type	Seismisk kilde
Number of sources	9
Source size	2320 cuin
Source pressure	2000 psi
Sensor type	Noder
Numbers of sensors	opp til 9000
Sensor length [m]	Nodene er ca 46 cm plassert i streng med 50 m avstand
Start date - planned	27.06.2019
Start date	01.07.2019
Completed date - planned	31.10.2019
Completed date	18.10.2019
Total length - planned [cdp km]	51000
Total length [cdp km]	58002
Total length - planned [boat km]	17000
Total length [boat km]	19334
Net area - planned 3D/4D [km2]	1939.00
Net area - actual 3D/4D [km2]	1730.00

Рис. 1. Пример продолжительности работ при выполнении объёма в 1730 км.кв. МОВ ОГТ 3D-4C компанией Axxis Geo Solution AS на участке AX19200 в Норвежском море (продолжительность работ - 80 дней).

ний в последние годы резко возросла. Стремление Производителей увеличить продолжительность работы АДСС и в то же время уменьшить их размерность связано с условием максимально адоптировать свои продукты для новых технологий производства сейсмических работ при использовании группы одновременно работающих судов-источников, за рубежом такая методика работ называется «Simultaneous sources». Сегодня при использовании большого количества донного оборудования и нескольких судов-источников Исполнитель работ может за один короткий полевой период в Арктике (2-3 месяца) проводить сейсмические работы МОВ ОГТ 3D\4D-4C на площади исследования в несколько тысяч квадратных километров (рис. 1). В последние годы ряд зарубежных сейсмических компаний таких как: «Geospace», «Shearwater», «InApril», «Seisnode», отвечая современным запросам сервисных сейсмических компаний представили на рынке свои новые автономные донные сейсмические станции, которые могут работать без перезарядки до 150-200 дней и более.

Мы прогнозируем, что в будущем этот тренд сохранится, а стоимость самих станций будет снижаться за счет использования программно-аппаратных решений [Boissy, 2020; Hoogeveen, 2019], поэтому вопрос выработки независимого алгоритма контроля за синхронизацией АДСС по зарегистрированным сейсмическим данным сегодня становится все более актуальным. Представляемые сегодня за рубежом алгоритмы контроля синхронизации по сейсмическим данным используют пикировки времени первых вступлений сейсмической волны (FB), которые позволяют при правильном выборе модели для водного слоя рассчитать ошибки за синхронизацию [Hoogeveen, 2019]. Условием корректного проведения таких математических вычислений является хорошее знание параметров такой модели [Zinn N, 1999]. Наиболее сложной будет такая математическая модель для мелководных морей или транзитных зон, где влияние на нее таких факторов как: изменения средней скорости в водном слое по времени, и по площади работ из-за перемещения и смешивания водных масс разной плотности; интерференция в области первых вступлений водной волны в следствии явления многолучевости, являются наиболее значимыми. И если при этих условиях учесть так же, что донная станция под действием внешних факторов может изменить свое положение в процессе регистрации то решение такой задачи становится вовсе не однозначным.

Мы представляем алгоритм получения временных невязок часов АДСС, который лишён вышеуказанных недостатков. При этом мы предполагаем, что средства синхронизации при использовании GPS систем при развертывании и подъеме обеспечивают высокую точность для одной из станций и такие станции мы называем опорными, а тестируемые станции называем станциями рядовой сети. Для расчетов мы используем сейсмограммы в сортировках по общему пункту приема (ОПП). Каждый такой набор сейсмических данных сформирован из одинаковых шаблонов, в которых проектное положения пунктов возбуждения (ПВ) являются идентичными. К каждой сейсмограмме ОПП мы применяем кинематическую линейную поправку (LMO) при использовании имеющихся начальных априорных данных о средней скорости в водном слое; глубине водного слоя в пункте приема (ПП); координатах источника

сейсмического сигнала; координате приемника. После применения временной линейной кинематической поправки (LMO) к сейсмическим данным мы проводим пикировку FB водной волны и этот массив данных будет включать в себя все ошибки при используемой нами априорной модели. Часть таких ошибок будут общими для всех пунктов приема (ПП) в активной расстановке, а часть ошибок являться «индивидуальными» для каждого донного модуля. К общим ошибка можно отнести в первую очередь ошибки в выборе значений средней скорости в водном слое; систематические ошибки в пикировки первых вступлений водной волны из-за явлений интерференции; ошибки в положении центра группы источника сигнала и другие. К «индивидуальным» ошибкам для каждого донному модуля мы относим: ошибку за определение положения при его позиционировании и ошибку синхронизации при сейсмической записи. Предлагаемый нами алгоритм дает возможность сделать независимыми вычисления ошибки за синхронизацию донной станции, и ошибки за положение донной станции в любой момент времени регистрации. Поэтому становится возможным проведение расчета синхронизации с достаточной точностью для АДСС рядовой сети при использовании эталонной станции - опорной сети. Для верификации и повышения точности результатов вычислений для тестируемой станции они могут быть повторены при выборе нескольких опорных станций. При использовании предлагаемого нами решения возможно проведение позиционирования для станций рядовой и опорной сети для любого момента времени, в том числе и при многократном смещении станций.

Представляемое решение

После ввода поправки LMO к сейсмическим данным решение задачи по определению ошибки за смещение и синхронизацию для донного модуля можно ограничить двухмерным случаем. Согласно схеме расчета, представленной на рис. 2, ошибка за смещение АДСС может быть определена для двухмерного случая по следующей формуле:

$$(R_2^2 - R_1^2) = [(x_s - x_\delta)^2 + (y_s - y_\delta)^2] - (x_s^2 + y_s^2) = \\ = \Delta\delta^2 - 2R_1(x_\delta \cos(v) + y_\delta \sin(v))$$

$$(R_2 - R_1) = \Delta R = (\Delta\delta^2/(R_1 + R_2)) - \\ - (2R_1/(R_1 + R_2)) * (\Delta\delta \cos(\theta - v)) \qquad (1)$$

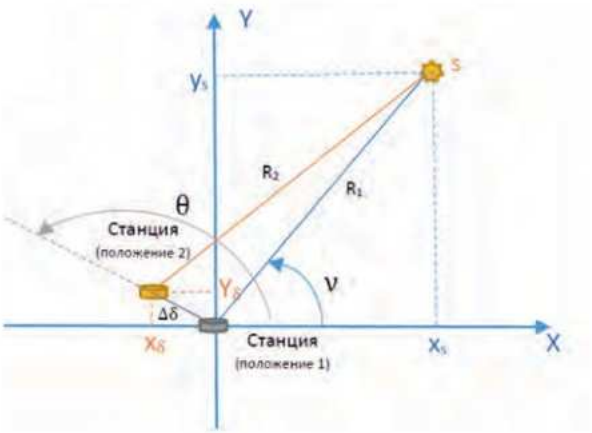
где $\Delta\delta$ – величина смещения АДСС, θ – азимут смещения, v – азимут видимости ПВ с ПП.

Тогда при выполнении условия

$$R_1 \gg \Delta\delta$$

$$\Delta R = \Delta\delta \cos(\theta - v) \qquad (2)$$

▼ *Рис. 2. Схема расчета. Положения донной автономной станции до смещения (положение 1) и после ее смещения (положение2) и источника сейсмических сигналов, расположенного в точке S. R_1 и R_2 на схеме расстояние от точки S соответственно до донной станции для положения 1 и 2. Ось X ориентирована вдоль линии расстановки донных автономных сейсмических станций.*



Это условие выполнимо для большинства удалений между ПП и ПВ при производстве работ с АДСС.

Тогда выражение для «индивидуальной» невязки по времени для донной станции с учетом (2) можно записать как:

$$\Delta t(V, v, t) = (\Delta\delta / V) * cos(\theta - v) + \delta(t) \quad (3)$$

где $\delta(t)$ – неизвестная функция, связанная с уходом внутренних часов регистратора, а V – средняя скорость в водном слое.

Задав в (3) среднюю скорость в водном слое «V» и азимут «v» постоянным получим:

$$\Delta t(t) = C + \delta(t) \quad (4)$$

Таким образом из (4) следует, что на фиксированных азимутах расчета, если значение средней скорости определено верно и отсутствует влияние других факторов на вычисление то невязка по времени для отдельно стоящей станции определяется только уходом ее внутренних часов с постоянной составляющей C. При использовании (4) можно предложить различные приемы расчета для неизвестной функции ухода часов $\delta(t)$. В статье мы приводим способ, основанный на проведении дифференцирования отметок момента, полученных по FB вдоль фиксированных азимутов «v». Проведение таких вычислений возможно и без опорных станций при глубоководных сейсмических исследованиях, где акустическая модель для водного слоя со временем не изменяется и возникающие ошибки связаны только с позиционированием донного модуля и нарушением синхронизации при сейсмической записи.

Для мелководных морей и транзитных зон, члены уравнения (4) будут входить как слагаемые к сумме общих ошибок для всех станций в активной расстановке (рядовых и опорных). Таким образом алгоритм расчетов невязки за синхронизацию может быть сведен к следующей последовательности: на первой стадии вычислений проводится дифференцирование пикировок FB вдоль азимута видимости ПВ для каждой станции за счет чего мы получаем массив данных в котором отсутствует составляющая в невязки за позиционирование; на второй стадии расчетов при разности полученных значений между рядовыми и опорными станциями учитываются «общие» ошибки (учет изменения средней скорости, искажений пикировок FB из-за интерференции, смещения центра группы ПИ в зависимости от азимута его видимости и др.). Остаточные значения разности вычислений для рядовой станции при использовании опорных будут соответствовать ошибкам ухода часов для тестируемой станции. При статистической обработке мы выбираем временное окно для получения осредненных данных из предположения, что за данный интервал времени изменений в синхронизации не происходило, это легко обеспечить при расчете так как возбуждение сигналов проводится с высокой скоростью (обычно около 5 узлов =5*1,85=9,25 км\час), а плотность сети отстрела очень высокая (обычно 25 метров). После интегрирования этих осреднённых ошибок можно получить значение функции за уход внутренних часов для всего времени регистрации. Таким образом высокая точность и помехоустойчивость алгоритма обеспечивается большим набором исходных данных и широкими окнами для осреднения сигнала перед интегрированием.

Так как современные АДСС имеют высокоточные внутренние часы и боль-

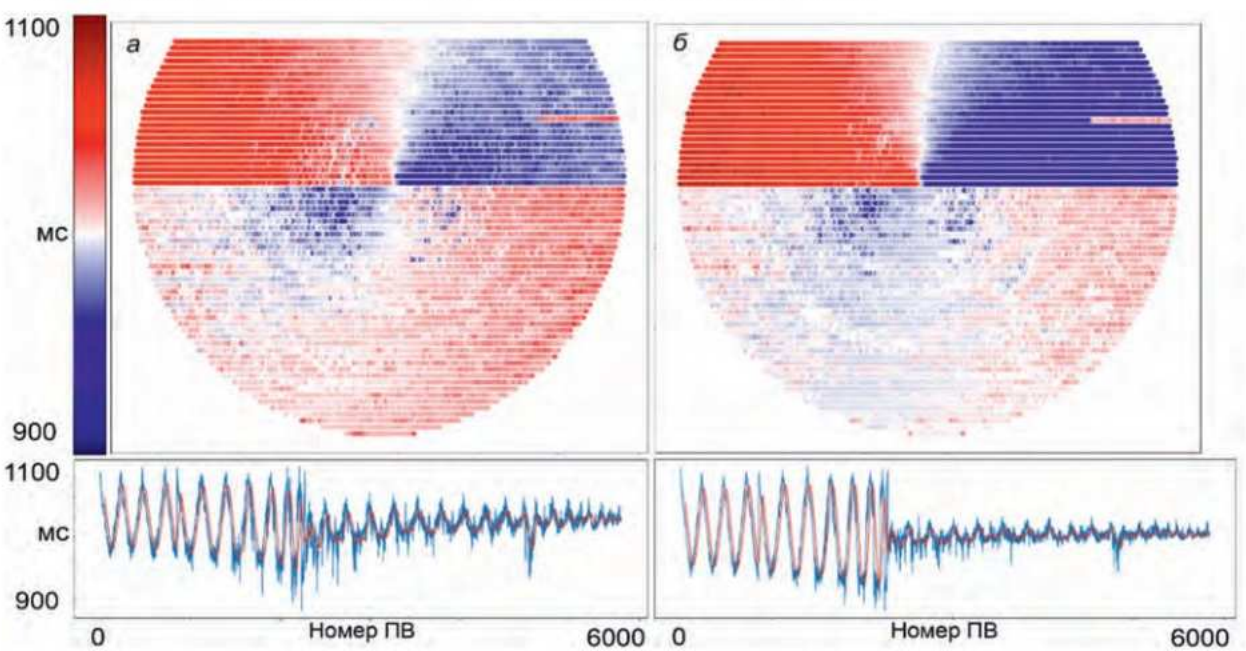
шинство модулей при недолговременных (обычно до 15-20 дней) измерениях сегодня в активной расстановке обеспечивают техническую точность по синхронизации, поэтому возможно использование данного алгоритма для проведения Контроля Качества (QC) синхронизации сейсмических данных при последовательном проведении расчетов для каждой пары регистраторов вдоль линии ПП. Правомерность такого подход обусловлена тем, что вероятность того, что обе станции при таком расчете будут иметь ошибку в синхронизации весьма мала. Так же с учетом того, что полученный результат в уравнении (2) для dR представляет собой элементарную функцию косинуса от одной переменной - азимута расчета с известной частотой равной 1 Гц и неизвестными: амплитудой равной $\Delta\delta$ и фазой, соответствующему азимуту смещения θ, то представляется также возможным про-ведения вычислений с высокой точностью положения регистратора для любого момента времени (любой линии ПВ или ее интервала).

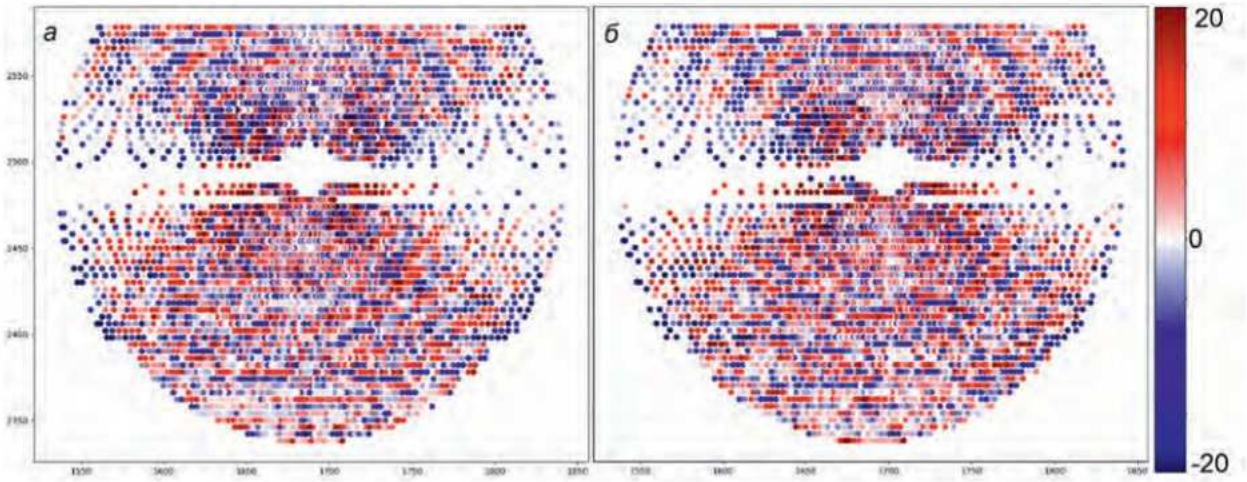
Результаты

Для расчёта величины ухода часов АДСС были взяты реальные полевые данные пикировок первых вступлений водной волны для двух станций, имеющих смещения от своих позиций более чем на 50 метров (рис. 3). Изменение их позиции происходило многократно во время проведения регистрации. Расчеты показали, что станции не имеют ухода часов и в дальнейшем, с целью оценки точности вычислений по предложенному алгоритму, расчеты были повторены при заданном уходе часов для станции «А» по линейному закону от 0 до –10 мс.

Согласно алгоритму, изложенному выше, были отсортированы невязки по азимутам для каждого пункта возбуждения и произведено осреднение этих значений, лежащих на одном профиле для окна ширина которого определяется сектором для угла видимости ПВ с ПП в 1 градус. После дифференцирования по

▼ *Рис. 3. Пример значений FB после ввода поправки LMO для двух анализируемых станций. Радиус используемых данных при расчете ограничен удалением в 3000 метров. Нулевой уровень LMO смещен на 1000 мс. Нижний рисунок: графики LMO, ось ординат – время регистрации. Вертикальная шкала в мс.*





▲ *Рис. 4. Результаты дифференцирования по азимутам для каждой из станции в мс.*

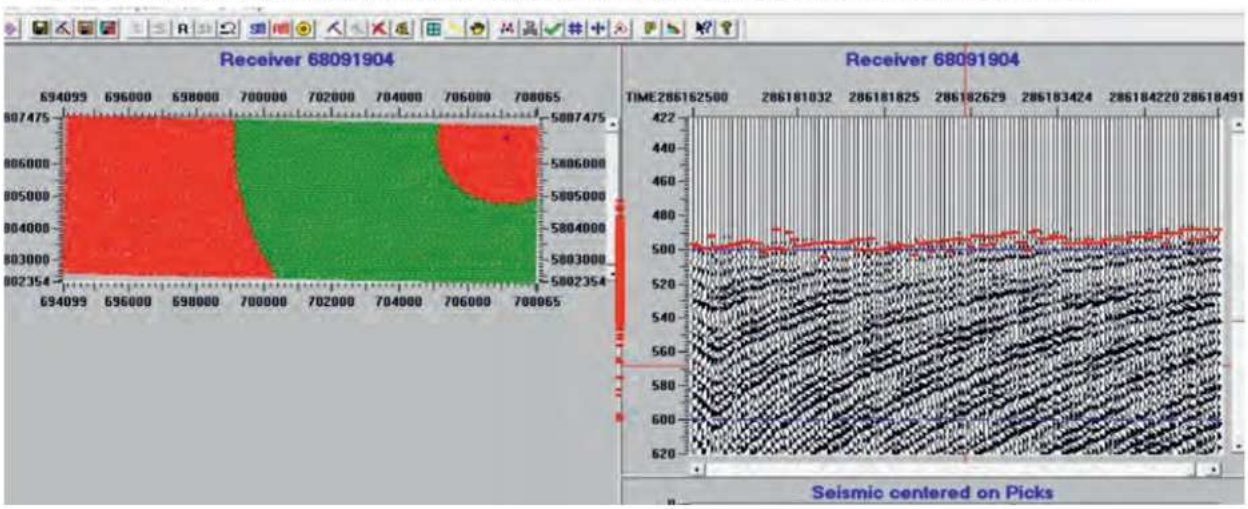
азимутам были получены расчетные данные для каждой из станций, в которых отсутствует составляющая за смещение модулей (рис. 4).

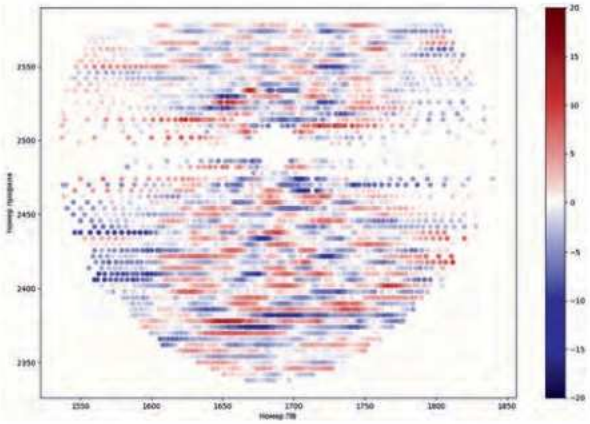
Как видно на рис.4 мы получили хорошо коррелируемые наборы продифференцированных данных для двух станций, имеющих выраженное радиальное распределение. Эти данные имеют высокую корреляцию, так как регистрация для них была проведена синхронно и все операции по пикированию первых вступлений были идентичными. Выраженная радиальная зависимость в данных обусловлена структурой пикировок первых вступлений водной волны из-за многолучевости, возникающей в ограниченном водном слое (волноводе). Пояснение этого эффекта показано на рис. 5.

Поскольку все вносимые искажения в данные расчетов для станций А и Б являются общими (пикирование, выбор скорости, и прочее), на следующем шаге производится вычитание набора данных станции Б, являющейся опорной, из набора данных станции А - рядовой. Итоговая разность представлена на рис. 6.

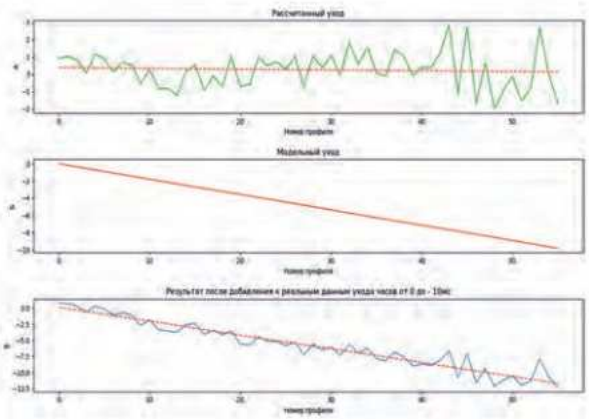
Как видно на рис. 6 мы получили значения расчетов близкие к случайному распределению. В дальнейшем мы провели интегрирование данных при использовании временного окна, равного продолжительности времени отработки вдоль каждой линии ПВ. Мы предполагали при этом, что за время отработки вдоль линии возбуждения (это в среднем

▼ *Рис. 5. Результаты пикирования первых вступлений в области волновода в мс.*





▲ *Рис. 6. Результат вычитания (Б – А) в мсек.*



▲ *Рис. 7. Результат вычислений полевых данных – верхний рисунок, Заданный модельный уход часов – средний график, Результат вычислений с введённым уходом часов – нижний график. Вертикальная шкала в мс, горизонтальная шкала соответствует номеру линии ПВ по времени их отработки.*

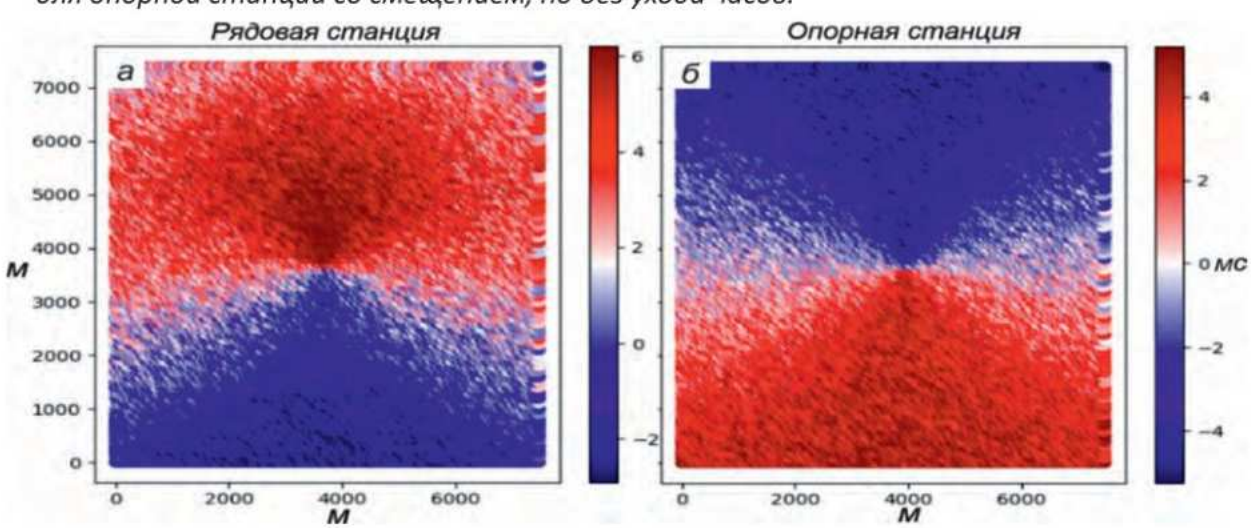
2 часа) уход внутренних часов для АДСС пренебрежимо мал и не сопоставим с погрешностью вычислений. Результаты окончательных расчетов ухода внутренних часов АДСС «А» за все время работ представлены на рис. 7 (верхний график). Так как мы получили нулевой уход часов, мы повторили расчеты после ввода невязки по линейному закону от 0 до – 10 мс. и эти результаты повторных расчетов представлены на нижнем графике рис. 7.

Мы не проводили уточнения позиций АДСС, т. к. это не являлось основной целью данных вычислений.

На следующем этапе для тестирования алгоритма были использованы модельные данные для прямоугольной системы координат с количеством линий возбуждения равным 75. Рядовая станция находилась в центре планшета, а опорная была смещена на +300 метров по оси абсцисс. Расстояние между соседними профилями составило 100 м, а шаг между пунктами возбуждения равнялся 25 м.

В модельных данных для каждой станции были заданы смещения относительно нулевого положения координат (x, y, h): (0; -6; -2) для первой и (0;6;2) для

▼ *Рис. 8. Карта отклонений времен первых вступлений водной волны для смещённых станций, где (а) – значения для станции со смещением и уходом часов, (б) – значения для опорной станции со смещением, но без ухода часов.*



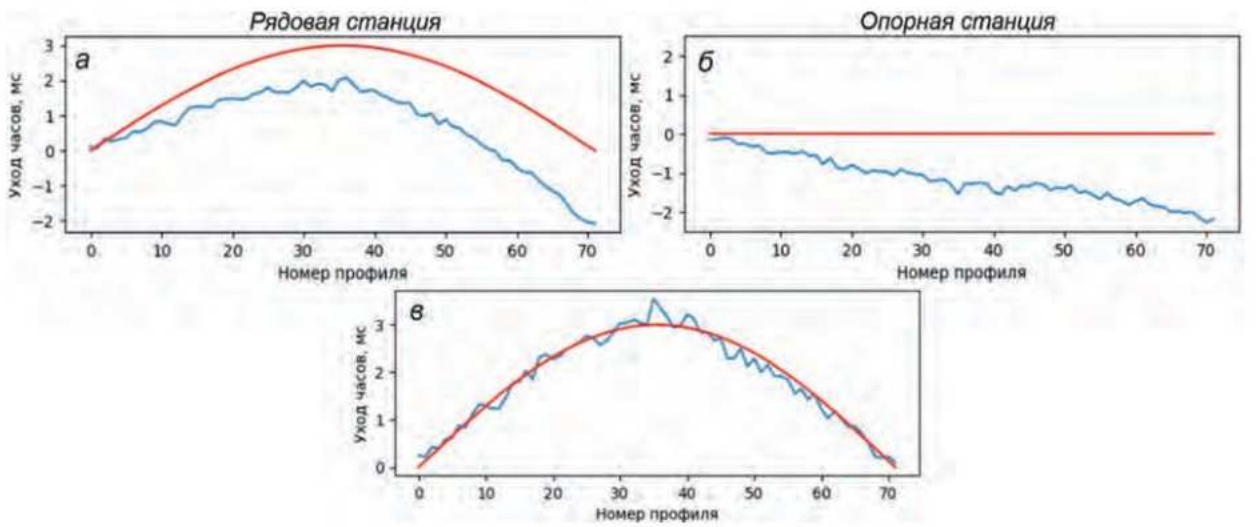
второй. Для первой станции также задан уход внутренних часов, описываемый половиной периода синусоиды с максимумом в 3 мс. В оба набора данных для каждой трассы была введена случайная помеха в диапазоне максимальных значений от -2 до 2 мс. Для обеих станций было задано изменение скорости в водном слое во времени по линейному закону от 1499,5 до 1500,5 м/с. Карта модели отклонений времен первых вступлений водной волны для набора данных реальных координат от нулевых представлена на рис. 8.

После обработки данных для опорной и рядовой станции были получены свободные от ошибок позиционирования графики ухода часов. Для освобождения данных от ошибок, связанных с изменением скорости в водном слое, производилось вычитание значений ухода опорной (рис.9б) станции из значений рядовой станции (рис.9а). итоговый график ухода внутренних часов для рядовой станции представлен на рис. 9в.

Анализируя графики (рис. 9) можно отметить влияние скорости в водном слое на уход часов на двух станциях. Первые два графика (рис. 9, а, б) сравнивают рассчитанный уход часов, полученный на основе обработки модельных данных, с реальным уходом, представленным красной линией. Наблюдается тенденция к увеличению расхождения между рассчитанным и реальным уходом с течением времени. Это связано с заданным линейным изменением скорости в водном слое во времени от 1499,5 до 1500,5 м/с, которое моделирует реальный физический процесс, влияющий на определение ухода часов. В результате, наблюдается систематическое отклонение расчетного ухода от фактического. Вычитая значения рассчитанного ухода для опорной станции из значений для рядовой станции, мы устраняем влияние линейной зависимости скорости, поскольку она вносит одинаковые искажения для двух станций. В результате, на третьем графике (рис. 9, в) представлен фактический уход часов для рядовой станции в сравнении с заданными модельными значениями.

Отметим, что заданные ошибки являются вполне типичными при производстве сейсморазведочных работ, а часть из них (например, изменение скорости в 1м\с) вовсе не могут быть обеспечены по точности инструментальными средствами.

▼ *Рис. 9. Результат расчёта ухода часов по модельным данным, где (а) – рядовая станция, (б) – опорная станция, (в) – результат вычитания значений опорной станции из рядовой. Красный график – заданный для модели уход внутренних часов станции.*



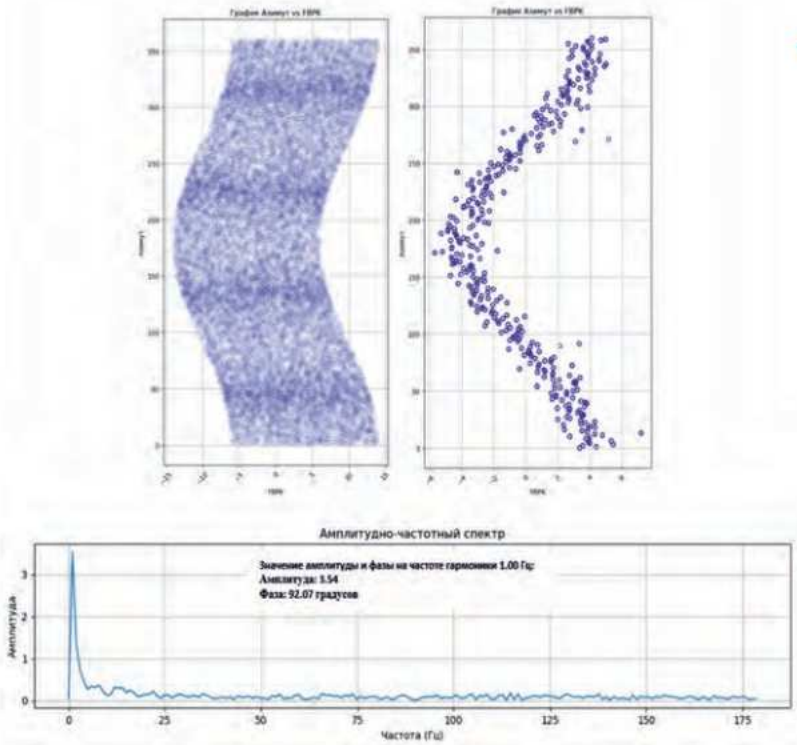


Рис. 10. Результат расчёта по позиционированию донной станции при использовании модельных данных. Верхние рисунки – точечные диаграммы отклонений значений FB в мсек при полно-азимутальной регистрации после применения к сейсмическим данным функции LMO: слева данные до осреднения; справа после осреднения в секторе в 1 град. Нижний график – график амплитудно-частотного спектра для осредненных данных. Значение амплитуды и фазы для спектров детектированы для гармоники частотой 1 Гц.

На рис.10, и рис.11 мы приводим пример расчетов по позиционированию донных регистрирующих систем. Мы проводили наши расчеты по данным для математической модели со следующими параметрами: смещение станции 6 метров; азимут смещения 90°; скорость в водном слое 1500 м\сек; соотношение для пикировок FB сигнал\noise = 1\2. В первом варианте (рис.10) расчет проведен по полному азимуту, во втором случае (рис.11) мы ограничили азимут регистрации до 180°. Тем самым мы хотели показать возможности проведения «непрерывного» позиционирования для донных систем, при ограничении

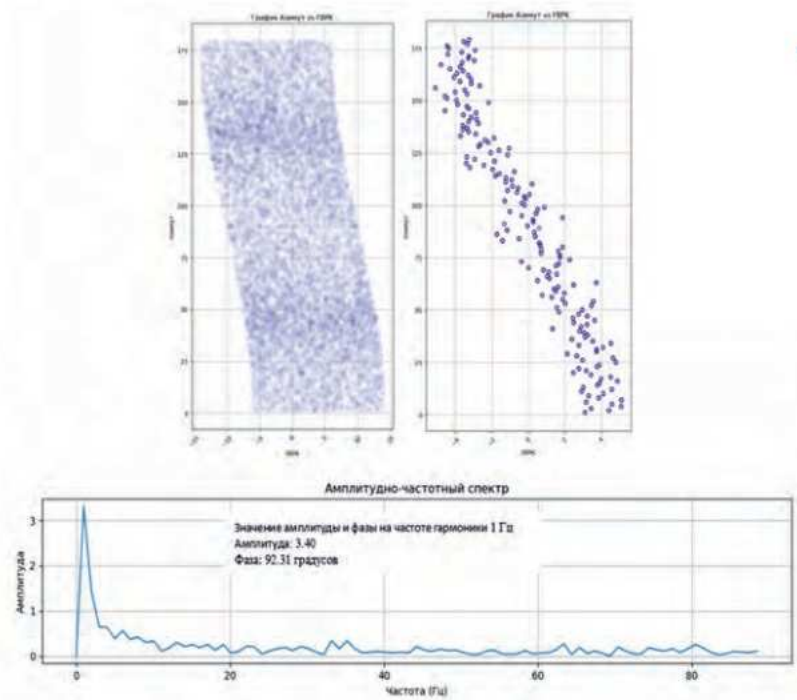
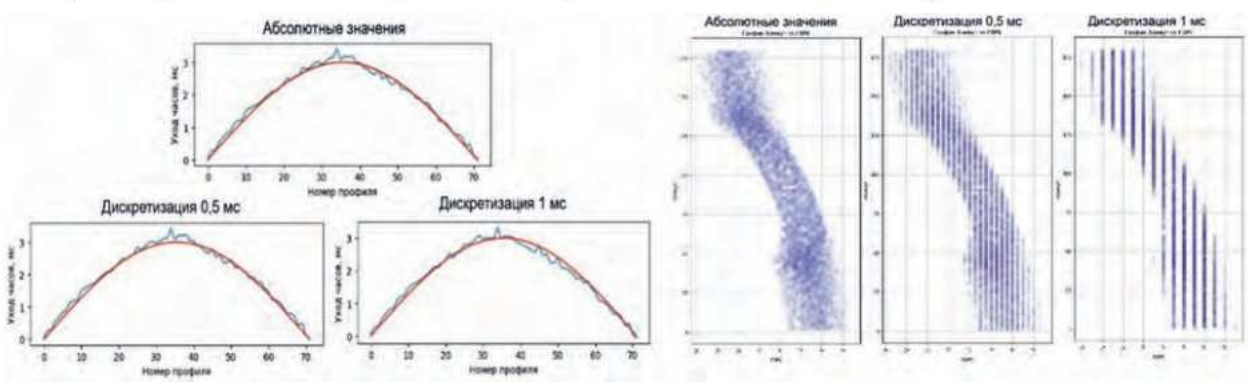


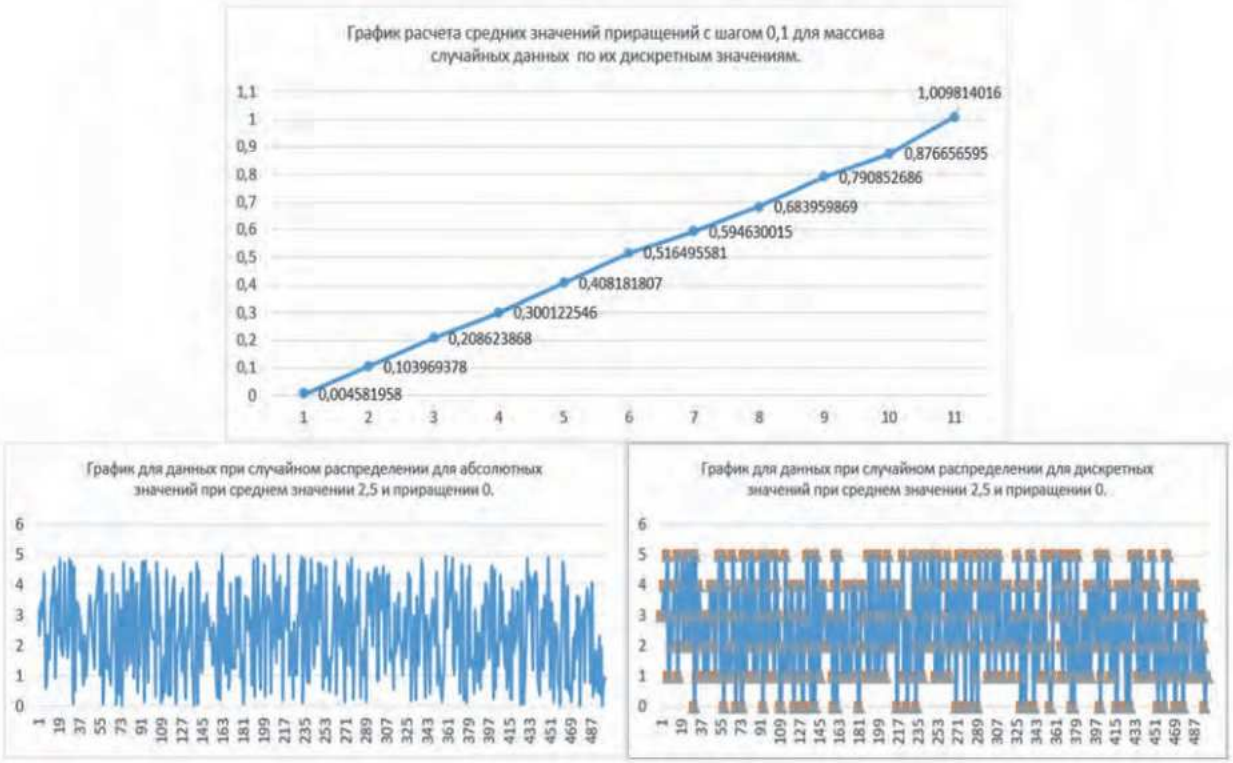
Рис. 11. Результат расчёта по позиционированию донной станции при использовании модельных данных. Верхние рисунки – точечные диаграммы отклонений значений FB в мсек при широко-азимутальной регистрации после применения к сейсмическим данным функции LMO: слева данные до осреднения; справа после осреднения в секторе в 1 град. Нижний график – график амплитудно-частотного спектра для осредненных данных. Значение амплитуды и фазы для спектров детектированы для гармоники частотой 1 Гц.

массива зарегистрированных сейсмических данных. Как видно из рис.10 и рис.11 расчеты при обработке данных в спектральной области дали следующие результаты: для модуля смещения 3,54*1.5=5,31 метра и 5,1 метра; и для азимута 92,07° и 92,31°; ошибка в расчетах по позиционированию для донного регистратора составила 0.69 и 0,9 метра соответственно. При совершенствовании алгоритма расчета точность вычислений может быть существенно повышена.

В завершении, при обсуждении вопроса точности расчета для сейсмических данных, в зависимости от интервала их дискретизации, мы представляем на рис.12 результаты вычислений для тех же данных, что и на рис.9 с дискретизацией 0,5 мсек и 1 мсек. Полное совпадение результатов расчетов не зависимо от интервала дискретизации данных на рис. 12 мы объясняем тем, что создаваемый при дискретизации шум является просто аддитивной помехой к данным с нормальным распределением, который имеет свое среднее значение равное нулю для каждого окна осреднения и он не оказывает влияния на конечный результат расчета. Т.е. при большом массиве данных вычислений среднего значения мы получаем ту же точность не зависит от того имеют данные дискретизацию или нет. Данный подход при анализе расчётов является вполне правомерным так как по мере усложнения сигнала в окне расчета корреляция между сигналом и шумом на выходе линейной системы (системы квантования) из-за ошибки квантования уменьшается [Оппенгейм 1979]. Если учесть, что мы всегда будем иметь в расчетах из-за качества пикирования выборок FB ошибку в не менее 2-5 отсчетов, а сам сигнал будет представлен суммой «общих» и «индивидуальных» регистрируемых ошибок для АДСС в активной расстановке, то тогда при дискретной регистрации сейсмических данных в 1 мсек, согласно нашим предварительным модельным расчетам, алгоритм может дать точность расчета невязки за уход внутренних часов АДСС в первые сотни мксек. Т.е. точность таких вычислений может оказаться выше чем при использовании стандартных на сегодня инструментальных средств для синхронизации АДСС при вводе линейной поправки, формируемой при развертывании и подъеме АДСС с использованием GPS систем и быть на уровне телеметрических сейсмических систем. Основным фактором, определяющим точность при таком алгоритме вычисле-

▼ *Рис. 12. Результат расчёта ухода часов по модельным данным для абсолютных по точности регистрации данных, с дискретизацией 0,5 мсек и 1 мсек. Красный график – заданный для модели уход внутренних часов станции. Параметры модели те же, что и для представленных данных на рис.9.*





▲ *Рис. 13. Пример результата расчёта по дискретным данным среднего значения приращений с шагом 0,1 мсек для массива случайных данных. Среднеквадратическое значение ошибки при расчете составило 11,5 мксек.*

ний, является, по нашему мнению, точность синхронизации, которая может быть обеспечена для опорной станции и большой объем используемых данных для вычислений. С получением большого объема данных при работах с АДСС, как уже ранее отмечалось, проблем нет, а задача точности синхронизации для опорных станций может быть решена при использовании различных методов: буев с GPS системой с прямой связью или при использовании цифровых акустических модемов, использование атомных часов, а сами такие опорные станции могут быть отличными по конструкции от рядовых АДСС и являться вспомогательной системой для получения сейсмических данных. Такой вывод по точности расчетов при использовании дискретизированных по времени сейсмических данных мы также подтверждаем простыми расчётами приращения среднего значения, выполненного в Excel и представленного на рис.13. При этих расчетах к массиву случайных данных мы последовательно добавляли приращение с шагом 0,1 мсек, затем проводили их дискретизацию и затем расчет среднего значения. Формула (5) поясняет используемую нами при анализе результатов статистическую модель шума квантования сигнала.

$$X(n) = x(n) + e(n) \qquad (5)$$

где $x(n)$ - «абсолютное» значение выборки и $e(n)$ - ошибка квантования; $X(n)$ - сигнал после проведения квантования.

$$\left(-\frac{\Delta}{2}\right) < e(n) \ll \left(\frac{\Delta}{2}\right) \qquad (6)$$

где Δ - ширина шага квантования ;

$$(\sigma e)^2 = \Delta^2/12, \qquad (7)$$

где $(\sigma e)^2$ - дисперсия шума квантования.

Заключение

В работе рассмотрен алгоритм, позволяющий получить из зарегистрированных сейсмических данных значение невязки за уход внутренних часов АДСС и провести позиционирование донных систем при использовании сейсмических данных. Продемонстрировано на примере реальных и модельных сейсмических данных, когда обе станции имеют смещения и данные пикировок FB искажены интерференцией из-за многолучевости и других факторов, что алгоритм обеспечивает требуемую точность расчета для контроля синхронизации сейсмических данных и ее коррекции. Дана качественная и предварительная количественная оценка точности вычислений для дискретных сейсмических данных. Показано на моделях, что точность синхронизации при использовании данного алгоритма может достигать первых сотен мксек, т.е. быть сопоставима с точностью при работах с телеметрическим сейсмическим оборудованием. Метод может быть использован при обработке и регистрации сейсмических данных. С целью повышения точности вычислений данный алгоритм может быть построен на вычислении невязки для рядовой станции при использовании группы независимых расчетов от нескольких опорных станций. Планируется дальнейшая разработка алгоритма и программного кода для расширения области его применения для контроля и коррекции сейсмических данных за ошибки в синхронизации и позиционировании.

Литература

1. Башилов И. П., Волосов С. Г., Королёв С. А. Средства синхронизации автономных сейсмостанций в сейсмических группах // Сейсмические приборы, 2012, т. 48 (4), с. 27–39.

2. Попов Д. А. и др. " Программа для первичной обработки материалов автономных донных станций"("OBS MANAGER"). – 2019.

3. Boissy C. Boosting global OBN performances with predictive software adapted to precision clocks based on low-power OCXOs // First Break, Volume 38, Issue 12, Dec 2020, p. 57 – 59.

4. Xiao F., Yang J., Liang B., Zhang M., Li R., Li F., Xiao H., Lei X., Liu Q., Heesom T. High-density 3D point receiver seismic acquisition and processing – a case study from the Sichuan Basin, China // First Break, 2014, т. 32 (1), с. 41–46. doi: 10.3997/1365-2397. 32.1.72598

5. Hoogeveen J.: Method for establishing position and timing of seismic recording devices that are deployed on a seafloor // 2019-11-28 Publication of WO2019224354A1

6. Maver K. Ocean bottom seismic: Strategic technology for the oil industry // First Break. – 2011. – т. 29. – №. 12.

7. Zinn N. ResearchGate [электронный ресурс]. 1999: https://www.hydrometronics.com/ downloads/GEOL%207333%20Term%20Paper.pdf (Дата обращения 01.08.2024)

8. Оппенгейм А.В., Шафер Р.В. Цифровая обработка сигналов. Москва, «Связь». 1979.

Подробнее об авторах



Станюлис
Александр
Леонас-Альгирдасович

Начальник сектора
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»



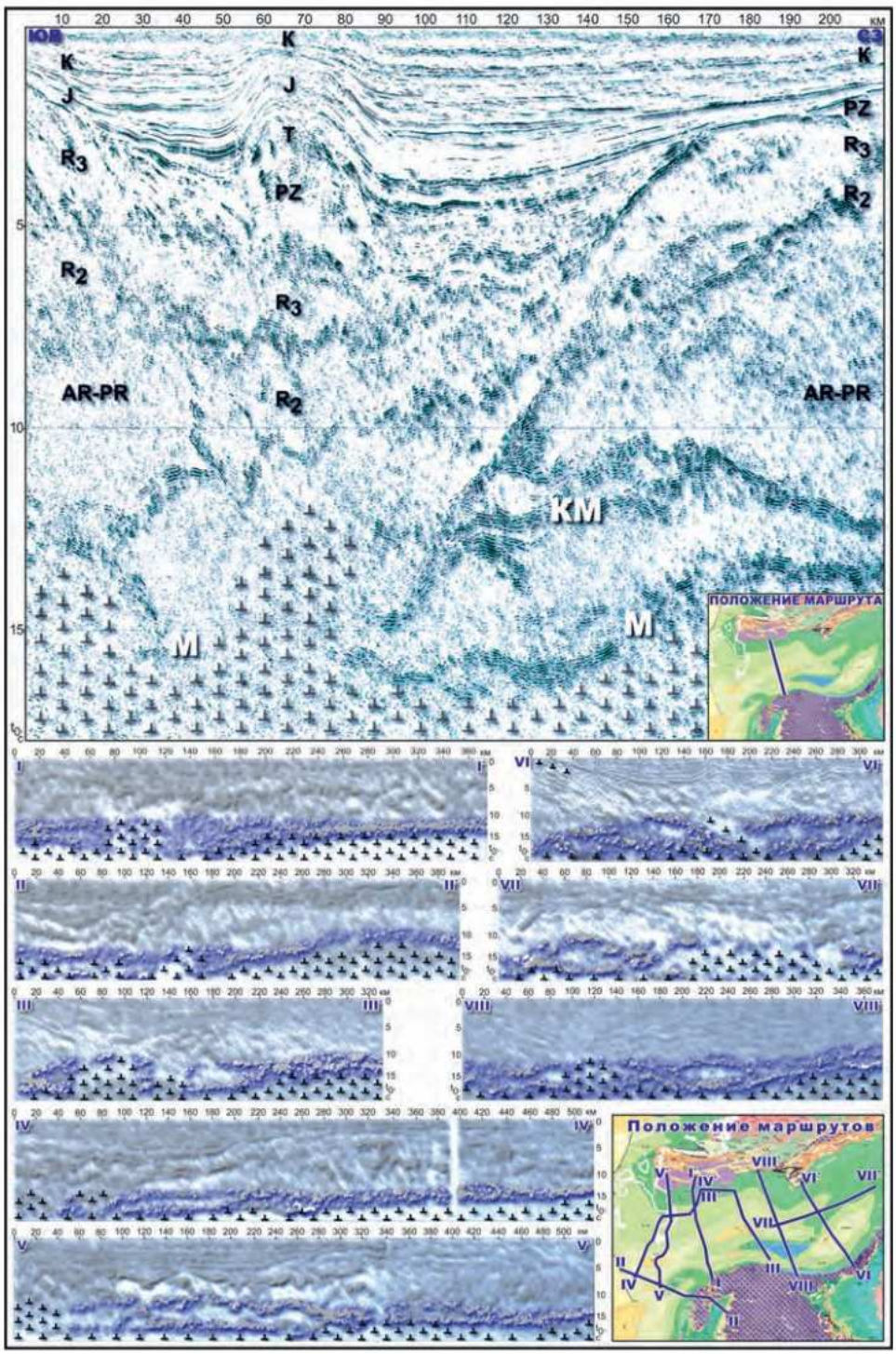
Пальцев
Илья Олегович

Инженер 1 категории
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Новая глобальная геология

■ Кушнир Д.Г., АО “Таймыргеофизика”, группа компаний АО “Башнефтегеофизика”, г. Дудинка.

Аннотация: Полученные на полуострове Таймыр уникальные геофизические данные позволяют на новом уровне изучать геодинамическую природу крупнейших тектонических структур. Совокупность выявленных фактов и вытекающих из них выводов открывают принципиально новый взгляд на глобальную геологию, определяя изменение представлений о фундаментальных основах всех её разделов.



▲ *Рис. 1. Высокоплотный слой в основании земной коры по данным сейсморазведки МОГТ.*

Введение

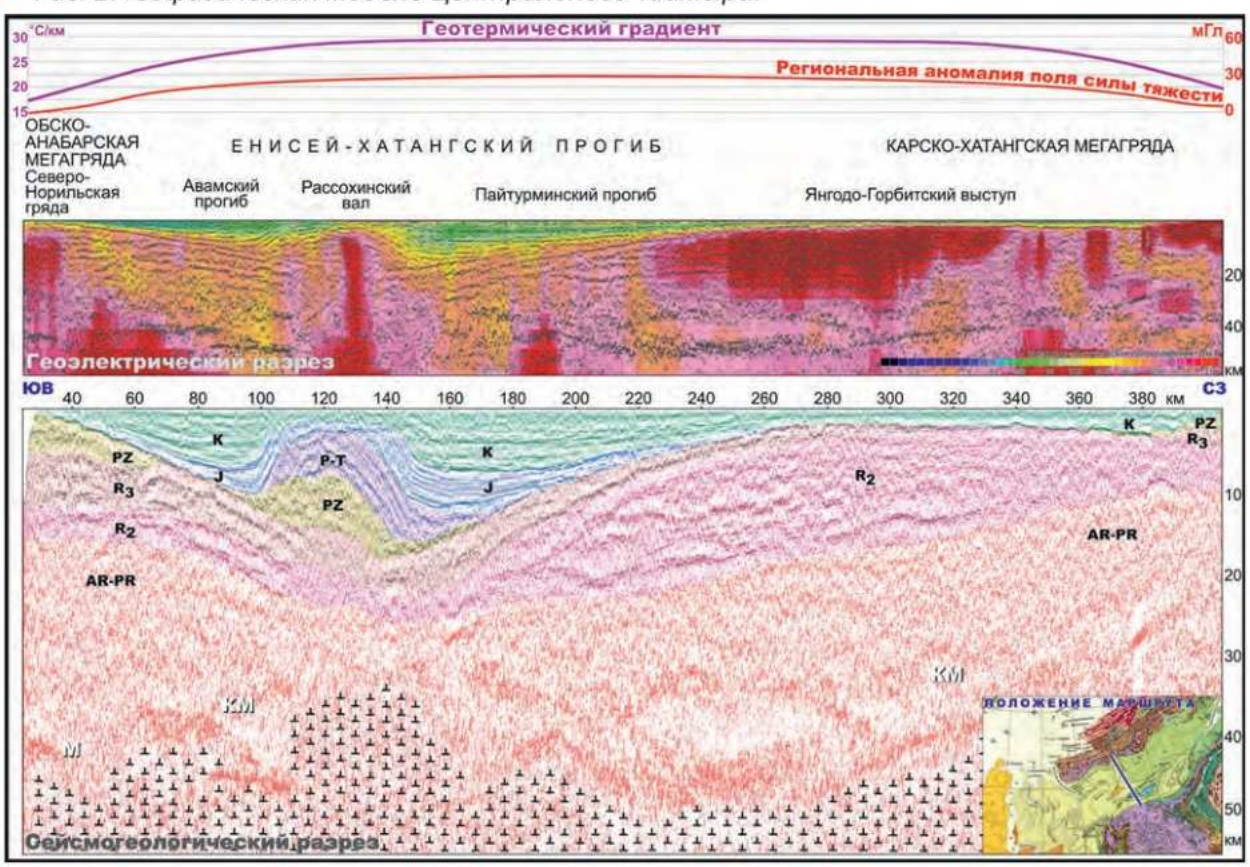
В Таймырском секторе Арктики в ходе региональных нефтегазопоисковых исследований создан уникальный геофизический полигон на базе сейсморазведки МОГТ и электроразведки методом МТЗ, которые с небывалой детальностью освещают строение глубоких горизонтов земной коры и верхней мантии при одновременном детальном картировании осадочного чехла на территории площадью в несколько сот тысяч километров квадратных. Таймырский геофизический полигон позволяет изучать взаимосвязь истории становления крупнейших геоструктур с геодинамикой – впервые на уровне реальных геологических тел, надёжно прослеживаемых как в плане, так и в разрезе.

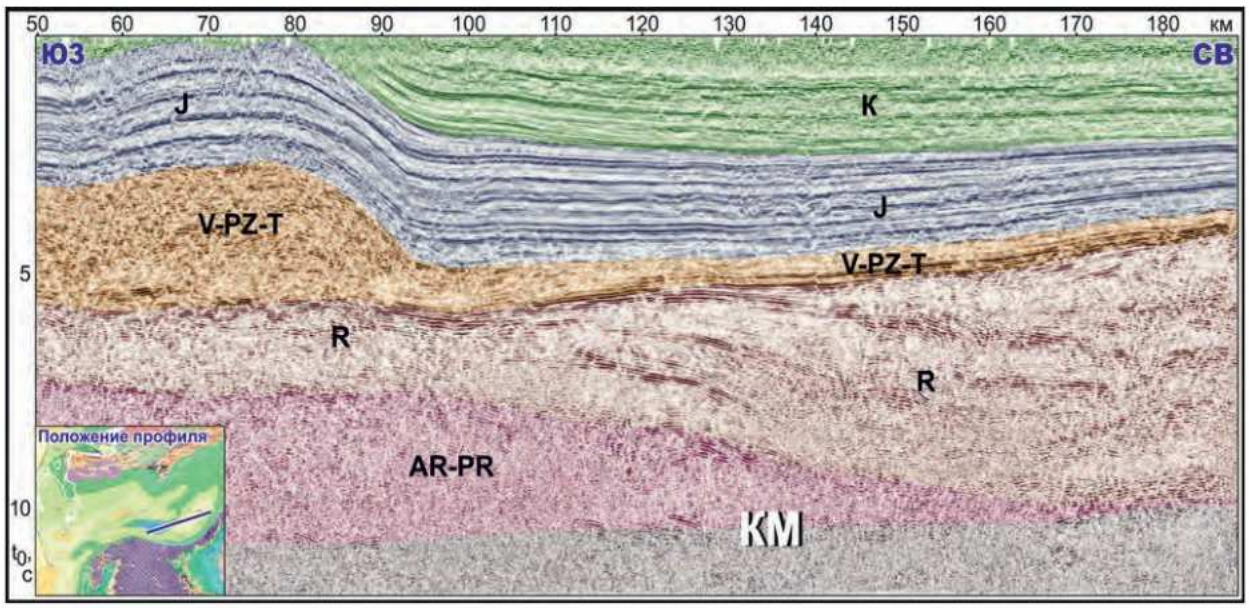
Аномалии строения раздела Мохоровичича сочетаются с запечатлёнными в осадках тектоническими процессами, во многом объясняя их природу [13, 17]. Крупнейшие мезозойско-кайнозойские впадины Центральной и Западной Сибири соотносятся с распространением высокоплотного слоя в низах земной коры, в то время как участки деструкции этого уплотнения отвечают инверсионным антиклинальным структурам, унаследовавшим положение древних депоцентров прогибания (рис. 1-2). Тем самым, фиксируются вертикальные колебательные тектонические движения литосферы, дополняющие её горизонтальное перемещение [15, 18, 20].

Тектонические колебания

В общей сложности на Таймыре можно наблюдать до пяти высокоамплитудных инверсионных циклов, когда и накопление осадков, и их размыв измерялись километрами. Наиболее раннее прогибание, оставившее региональный след в осадочном чехле, имеет рифейский возраст, а мощность накопившихся

▼ *Рис. 2. Геофизическая модель Центрального Таймыра.*





▲ *Рис. 3. Тектонические инверсии в осадочном чехле Енисей-Хатангского прогиба.*

за этот период осадков достигает 10 км и более (рис. 3). По итогам первой отчётливой инверсии рифейские отложения оказались размыты, местами почти полностью. Вторая инверсия обусловила новое прогибание и привела к накоплению на выровненной поверхности рифея вендско-палеозойского осадочного комплекса, который в результате третьей инверсии оказался размыт, местами также полностью, несмотря на свою тоже весьма значительную мощность, приближающуюся к 10 км (рис. 2). Четвёртая инверсия обеспечила накопление многокилометровых толщ пермско-триасового возраста, а пятая – его размыв. Шестая и седьмая обусловили накопление и частичный размыв осадков юры и мела. Начавшиеся на данном этапе воздымание осевой части седиментационного бассейна и становление новых депоцентров на периферии взамен инверсировавшего продолжились в кайнозое, когда периодически возобновляют свой рост мегавалы, продолжается и прогибание, о чём свидетельствуют новейшие тектонические движения [10, 12].

Тектонические колебания, подобные описанным, традиционно назывались геосинклинальными циклами [9]. Однако, согласно полученным на Таймыре новым данным, они охватывают не только подвижные области, но и всё пространство континентов [15]. При этом наиболее молодые, мезозойско-кайнозойские, тектонические движения, зафиксированные в осадочном чехле, совпадают с аномальным строением нижней части земной коры и верхней мантии, что позволяет полагать их генетическую взаимосвязь.

Наличие чётко выраженной и однозначно картируемой системы отражающих сейсмических площадок, как на верхней, так и на нижней границе наблюдаемого в основании коры уплотнённого слоя (раздвоение границы Мохоровичича, облекающее уплотнение – рис. 1-2), исключает поступление высокоплотного вещества со стороны мантии. Соответственно, становится нереализуемой одна из двух основных схем формирования земной коры [2], связанная с конвективными мантийными потоками, когда они, создавая растягивающие усилия, приводят к утонению крупных геоблоков и образованию впадин, а, сталкиваясь, обуславливают их утолщение и орогенез

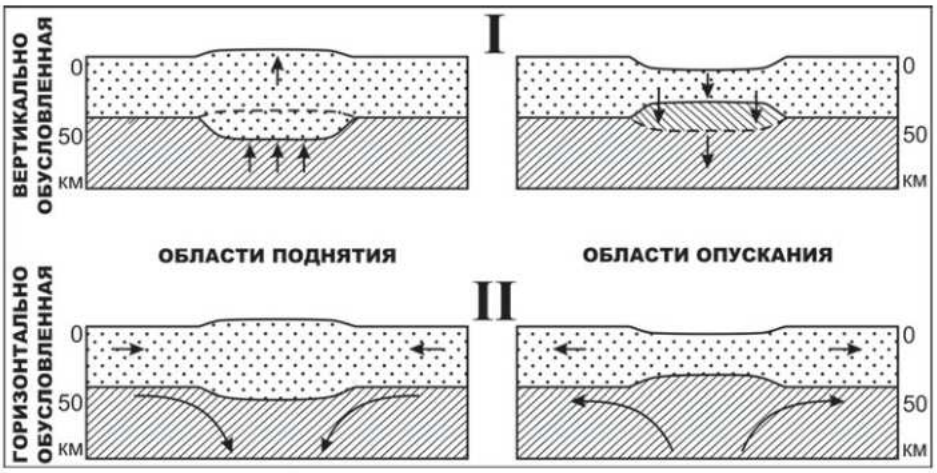


Рис. 4. Первая (I) и вторая (II) схемы деформации земной коры по М.В. Гзовскому [2].

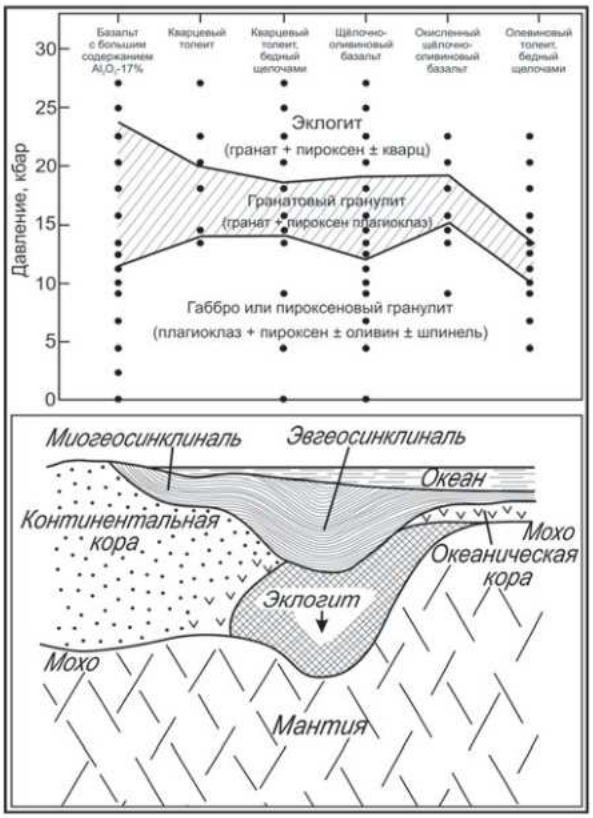
(рис. 4). Исходя из этого, приходится считать и опускание, и воздымание следствием изостатического выравнивания, то есть, как показали полученные данные, земная кора опускается при уплотнении и воздымается при разуплотнении.

Одновременно, прослеживание на сейсмических разрезах МОГТ границы Мохо в подошве высокоплотного слоя, объединяющее его с земной корой, предполагает уплотнение коровых базальтов (рис. 1-2), которое, согласно лабораторным экспериментам [22], всегда соотносится с их фазовым переходом в эклогит, объясняемым ужесточением термобарических условий или увеличением флюидонасыщения. Эклогит превосходит по плотности не только образования земной коры, но и перидотиты верхней мантии, что и создаёт условия для изостатического опускания крупных геоблоков и появления соответствующих впадин (рис. 5).

Инверсионное воздымание также объясняется изостазией и связано с разрушением высокоплотного слоя внедрениями перидотитов верхней мантии, которые уступая по плотности и располагаясь ниже в разрезе, вынуждены всплывать, вытесняя эклогиты (рис. 6). Полное исключение из разреза высокоплотного эклогитизированного основания, когда оно уже захватило и преобразовало большую часть кристаллической коры, приводит к существенному дефициту массы депрессионного геоблока, состоящего преимущественно из осадочных толщ (в той или иной степени изменённых) и его воздыманию с образованием орогена [3-4].

Становление горной системы приводит к смене эклогитизации базификацией и к магматической активизации.

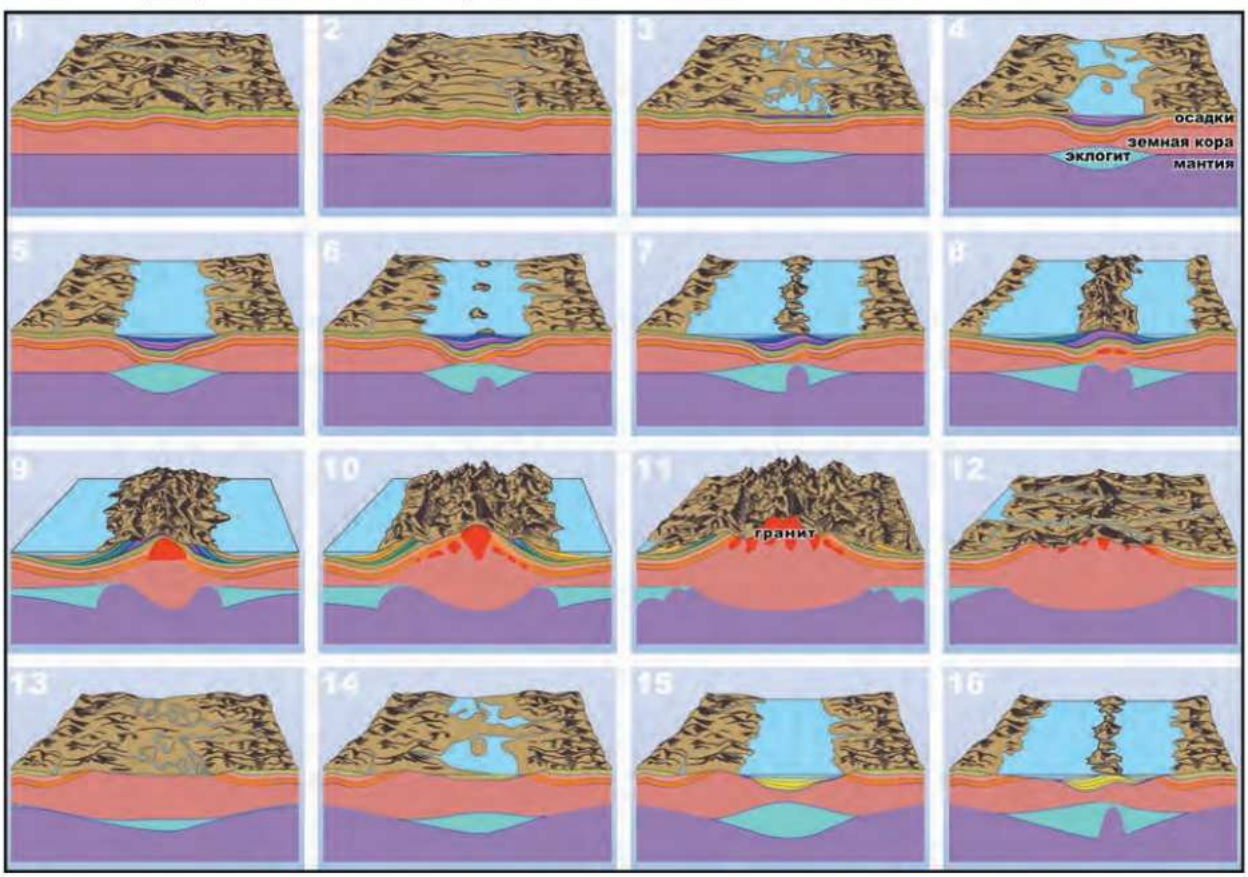
Рис. 5. Эклогитизация и ее связь с прогибанием [22].

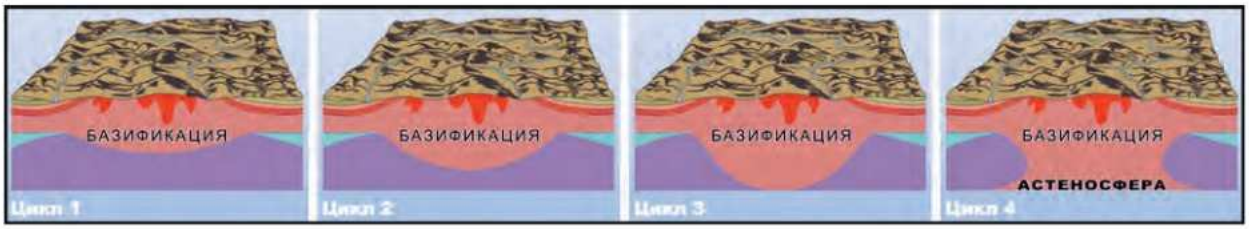


Вызванное снижением давления в недрах декомпрессионное выплавление базальтов из эклогитов и перидотитов, связанный с этим рост температуры запускают метаморфизм и гранитизацию осадочного чехла (рис. 6). При этом, в результате инверсии в краевых частях воздымающегося бассейна, на дневную поверхность выводятся в разной степени изменённые осадки, которые до этого, в депоцентре прогибания непосредственно соприкасались с эклогитами, перидотитами и выплавляющимися из них базальтами. В ассоциации с ними осадочные толщи традиционно определяются как офиолитовые комплексы, ошибочно относимые сегодня большинством исследователей к обнажению древней океанической коры [1], являясь, согласно новым данным, результатом максимальной концентрации континентальной коры.

Неоднократное повторение циклов опускания и воздымания объясняется пластичностью высокоплотного эклогитизированного вещества, которая, помимо раздвоения границы М на сейсморазрезах МОГТ, демонстрирующего продвижение коры и по кровле, и по подошве уплотнённого слоя [23], проявляется увеличенным флюидонасыщением и соответствующим геоэлектрическим минимумом (рис. 2). Вытеснение и перемещение этого вещества вследствие внедрения перидотитов верхней мантии обеспечивает его постоянное перетекание вдоль тектонически расслоенной границы Мохоровичича [5, 20] и концентрацию в синклинальных ловушках, какие представляют собой участки опускания раздела коры и мантии под инверсировавшими и испытавшими орогенез седиментационными бассейнами (рис. 6).

▼ *Рис. 6. Принципиальная схема вертикальных колебательных тектонических движений.*





▲ *Рис. 7. Принципиальная схема деградации литосферы при углублении базификации в ходе серии геосинклинальных циклов.*

Каждый новый цикл эклогитизации углубляет базификацию и приводит к распространению разуплотнения вглубь литосферы, которая, обладая конечной мощностью, после чреды подобных геосинклинальных циклов может полностью деградировать (рис. 7). При попадании эклогитов в сформировавшуюся ранее впадину, они, увеличивая давление, запускают там механизм уплотнения базальтов и эклогитизацию, расширяя прогибание на уровне границы Мохоровичича, которое после вытеснения эклогитов перидотитами, инверсии тектонических движений и декомпрессионного плавления, заполняется базальтами.

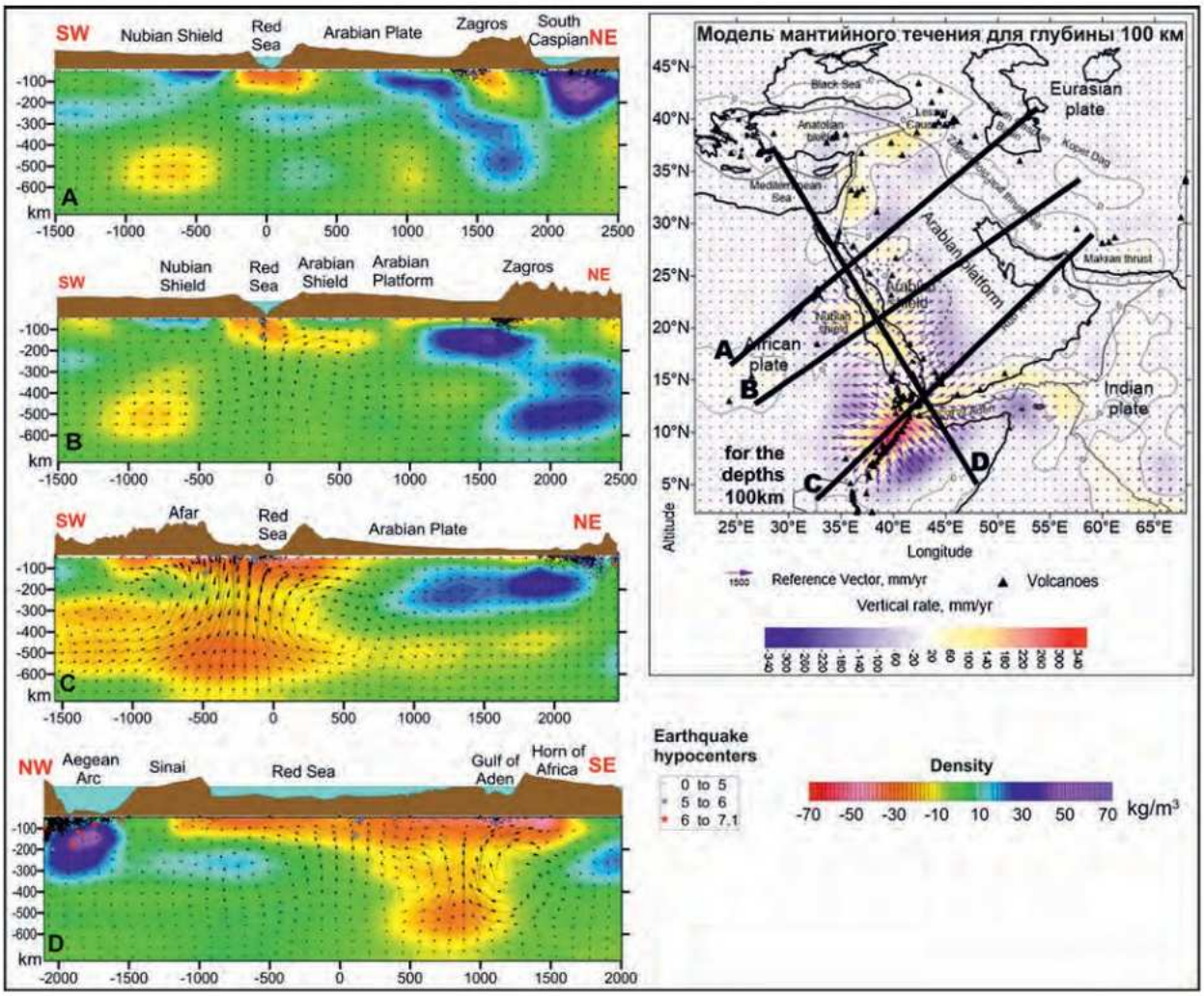
Таким образом, и опускание, и воздымание земной коры на начальном этапе определяются термобарическими изменениями в её основании и нарушением равновесия между базальтами и эклогитами, в то время как горизонтальные перемещения литосферных плит осложняют глубинное геологическое строение, формируя преимущественно дизъюнктивно-пликативные надвиговые системы [18]. Тем самым, на стыке представлений фиксизма и мобилизма возникает новая геодинамическая концепция – геосинклинальная тектоника плит [7].

Рифтогенез и рифтогенные бассейны седиментации

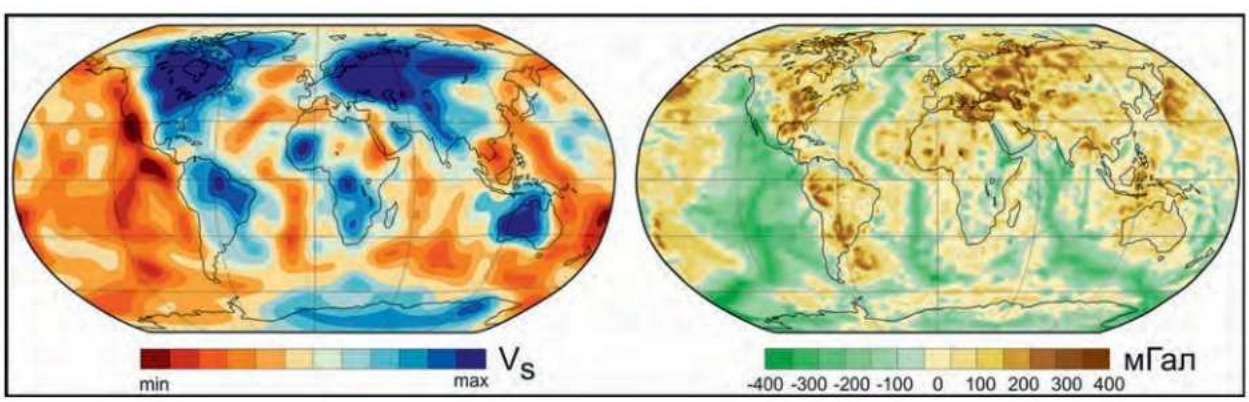
Базификация, представляя собой декомпрессионное выплавление базальтов из эклогитов и перидотитов, в итоге обуславливает избыточное давление, образующееся благодаря резкому увеличению объёма вещества внутри литосферы и направленное преимущественно по латерали и вверх. Углубляясь в ходе геосинклинальных циклов и достигая менее плотной астеносферы, плавление закономерным образом интенсифицируется и инициирует конвекцию – постоянный поток вещества, воздымание разуплотнённого и опускание уплотнённого (рис. 8). В случае превосходства растягивающих напряжений над внешним горизонтальным сжатием, конвекция приводит к рифтогенезу, то есть к полному разрушению земной коры и верхней мантии.

Будучи связан с базификацией литосферы и снижением её плотности, рифтогенез проявляется диаметрально противоположно прогибанию, вызываемому уплотнением. Если маркирующие депрессионный режим эклогитизация и консолидация земной коры повсеместно соотносятся с максимумами силы тяжести и скорости распространения упругих колебаний, то рифтогенная деструкция – с высокоинтенсивными минимумами этих параметров (рис. 9).

С опорой на максимумы гравитационного поля и скорости распространения упругих колебаний можно прогнозировать распространение консолидации в основании всех крупнейших осадочных бассейнов мира. Такому уплотнению литосферы, характерному для континентов, противостоит её разуплотнение, маркируемое минимумами поля силы



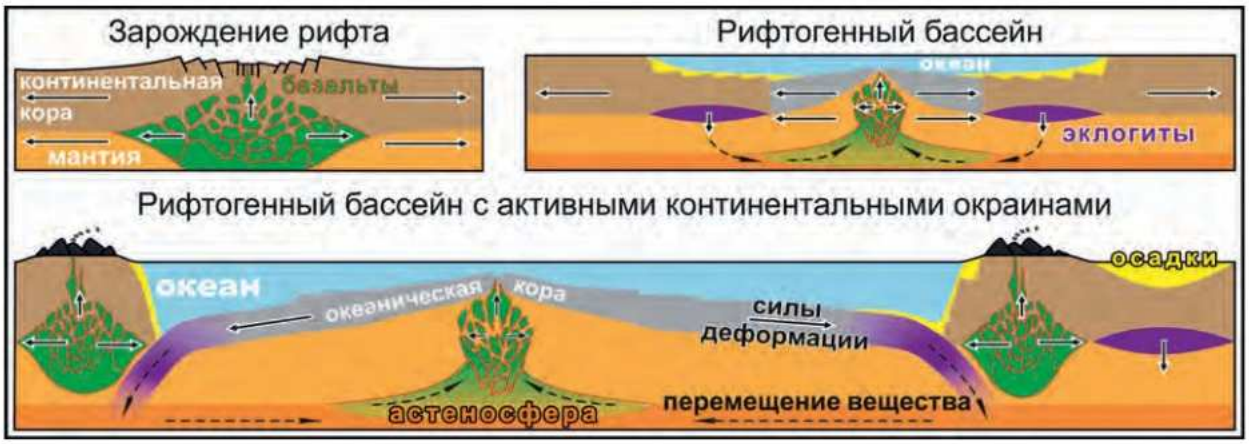
▲ *Рис. 8. Направления и относительная величина тангенциальной составляющей скорости мантийного потока (верхний 50-километровый слой исключён) [28].*



▲ *Рис. 9. Дезинтеграция и консолидация верхней мантии по геофизическим данным [25, 27].*

тяжести, интенсивность которых возрастает в направлении расколов талассократонов, что, по-видимому, и демонстрирует обратный процесс – базификацию земной коры и верхней мантии, сопровождающую орогенез и рифтогенез [14].

Вместе с тем, становление рифтогенных бассейнов седиментации также связано с уплотнением, поскольку закономерное возрастание давления в базальтах молодой океанической коры с приближением её к континенту, согласно



▲ *Рис. 10. Рифтогенез и связанные с ним седиментационные бассейны.*

лабораторным экспериментам (рис. 5), также приводит к эклогитизации (рис. 10). Возникающие симметрично относительно рифтовой структуры эклогитовые тела сопоставимого с ней масштаба обеспечивают опускание и формирование океанских впадин вопреки продолжающемуся становлению срединно-океанических хребтов, связанному с деструкцией литосферы и выплавлением базальтов. При этом эклогитизация на границе континента, предполагая в дальнейшем инверсию образующегося прогиба и становление горной системы, представляет, по сути, процесс континентализации океанических базальтов, то есть она наращивает континент по направлению к расколу талассократона [8, 11].

Ещё одной причиной консолидации литосферы на рубеже континента и океана является перераспределение и перетекание эклогитов под континентом, когда обладающая существенно меньшей мощностью океаническая кора служит естественным препятствием для движения высокоплотных масс вдоль раздела Мохоровичича ввиду его воздымания в сторону океана (рис. 5). Стремящиеся к погружению наиболее плотные для верхней части литосферы эклогиты в этом случае, будучи не способны подняться на 10-20 км вверх по разрезу, также вынуждены скапливаться вдоль границы континента, обеспечивая вместе с эклогитизацией молодой океанической коры прогибание и появление обширных осадочных бассейнов на шельфе.

Более сложная ситуация в случае активных континентальных окраин, когда современная инверсия древних осадочных бассейнов непосредственно на границе континента, сопровождающаяся соответствующим декомпрессионным выплавлением базальтов, создаёт встречное по отношению к океанической коре давление и препятствует её объединению с континентальными эклогитами. Тогда океанические базальты также уплотняются и эклогитизируются, но в силу более значительного латерального давления со стороны рифта, эклогиты опускаются со смещением в сторону континента, образуя зону субдукции (рис. 10).

Тем самым, эклогитизация и базификация оказываются тесно связаны друг с другом. С одной стороны, эклогитизация порождает базификацию при разрушении уплотнения внедрениями перидотитов в ходе инверсионного изостатического воздымания и декомпрессионного выплавления базальтов. С другой стороны, деструкция и базификация литосферы непременно сопровождаются эклоги-

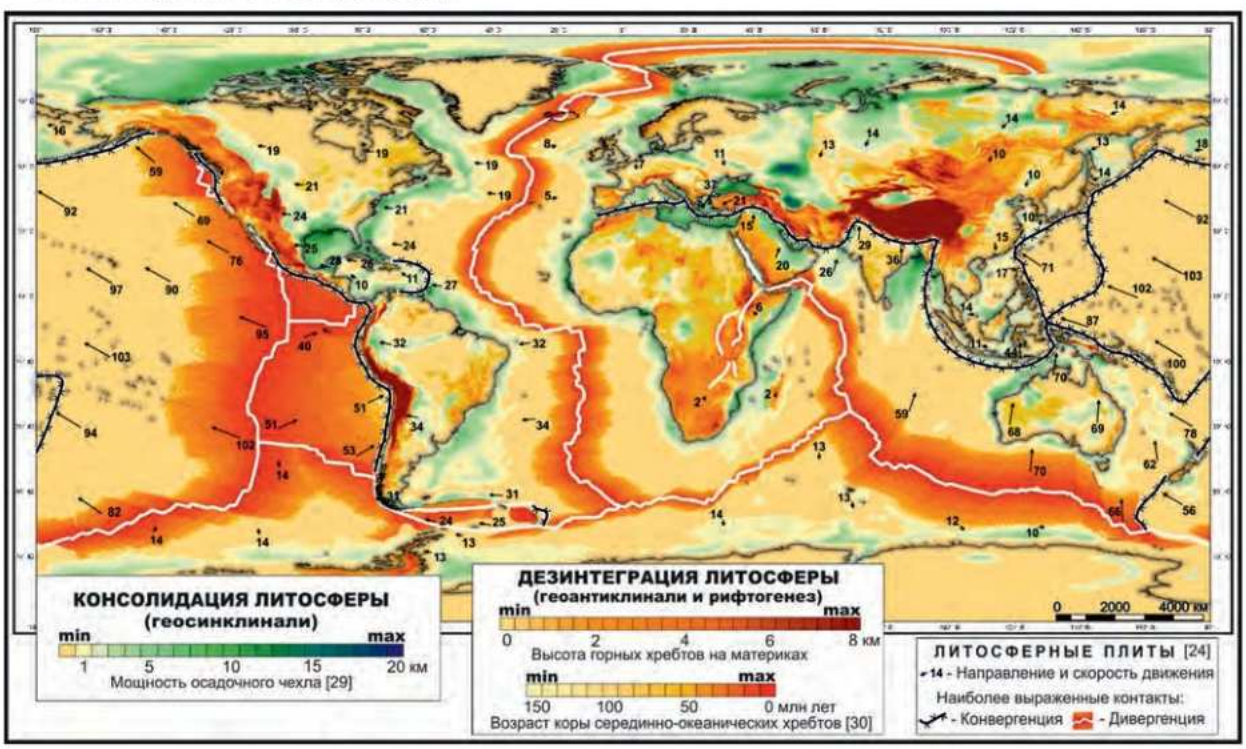
тизацией, когда вызванное снижением литостатического давления выплавление базальтов в обязательном порядке сопровождается её консолидацией в прилегающих геоблоках (рис. 8, 10). Стало быть, выплавление во многом определяет уплотнение, так как одновременно создаёт и мощный базальтовый слой и давление, что и требуется для появления в разрезе эклогитов согласно лабораторным экспериментам [22].

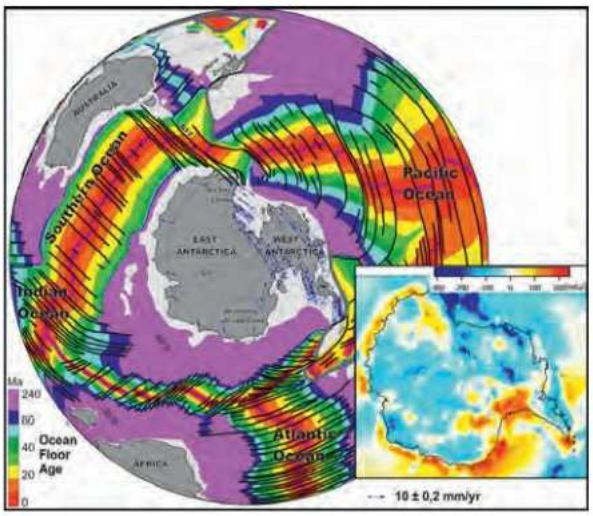
В свете изложенного, для первого приближения литосферу можно представить в виде чередования (противостояния) уплотнения и разуплотнения. Уплотнение предполагает эклогитизацию, консолидацию и континентализацию литосферы, формирование крупных континентальных впадин и заполнение их осадками, а разуплотнение – базификацию, деструкцию, орогенез с размывом осадочного чехла, накопленного на этапе погружения, и рифтогенез, сопровождающиеся соответствующей магматической активизацией и появлением океанической коры. Следовательно, можно вести речь о, своего рода, круговороте базальтов и эклогитов в литосфере (рис. 10), который охватывает и земную кору, и верхнюю мантию (под океанами и на границах континентальных плит) или концентрируется на уровне раздела Мохоровичича (под континентами – рис. 6), обеспечивая все основные тектонические, магматические и седиментационные процессы.

Новая геодинамика

Сопоставляя деструкцию океанической литосферы с горными сооружениями, маркирующими участки её разуплотнения и разрушения в пределах континентов, и противопоставляя это крупнейшим современным впадинам, маркирующим эклогитизацию и консолидацию земной коры, можно охарактеризовать текущее состояние тектонических колебаний (рис. 11). Характерным признаком

▼ *Рис. 11. Современное состояние колебательной тектоники – геосинклинали (эклогитизация, уплотнение и прогибание) и геоантиклинали (орогенез, разуплотнение, дезинтеграция и базификация).*





▲ *Рис. 12. Возраст океанической коры [31] и гравитационные аномалии [26] на уровне раздела Мохоровичича в Антарктике.*

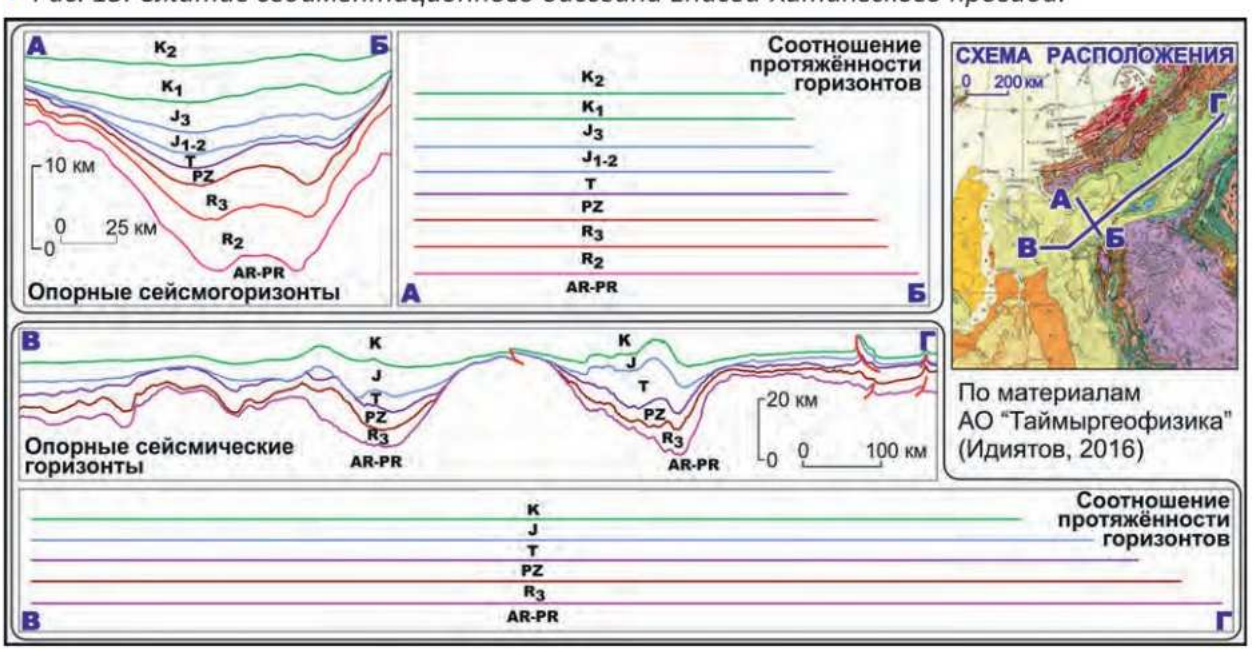
таких колебаний является периодический характер не только во времени, но и в пространстве, когда опускающиеся участки всегда соседствуют с воздымающимися.

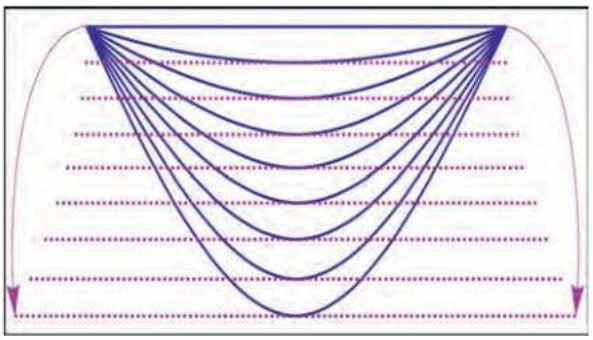
Причём, такое чередование наблюдается и в региональном плане, и в масштабе континентов, каждый из которых окантован своего рода эклогитовой каёмкой, и даже в глобальном масштабе, когда Антарктическому полюсу деструкции и базификации литосферы противостоит Арктический полюс её консолидации и эклогитизации.

Становление эклогитовой каёмки на краях континентов объясняется, с одной стороны, перераспределением эклогитов под континентом, когда на препятствующей их перетеканию вдоль раздела Мохо границе между континентальной и океанической корой формируется эклогитовый резервуар (рис. 5). Но одновременно, двигающиеся от расколов талассократонов океанические базальты подаются под давлением непосредственно в этот же резервуар, наполняя его, если не в большей степени, то, по крайней мере, не меньше, чем это происходит со стороны континента (рис. 10).

Наиболее ярким примером перераспределения литосферных масс можно считать Антарктиду, где практически всё основание континента подвержено базификации, и эклогиты с его стороны поступать уже не могут, о чём свидетельствует связанный с ним соответствующий единый минимум поля силы тяжести, характерный для рифтогенеза (рис. 12). Тем не менее, от окружающих океа-

▼ *Рис. 13. Сжатие седиментационного бассейна Енисей-Хатангского прогиба.*





▲ *Рис. 14. Схематичная модель осадочного бассейна и сопоставление спрямлённых поверхностей седиментации, демонстрирующие, что каждая более молодая поверхность короче любой более древней вследствие горизонтального сжатия, являющегося одним из основополагающих факторов накопления мощных толщ осадков.*

нических рифтов в направлении Антарктиды нагнетается океаническая кора, которая и обеспечивает существование эклогитовой каёмки, фиксируемой как максимумами гравитационного поля, так и осадочными бассейнами, оконтуривающими континент (рис. 11).

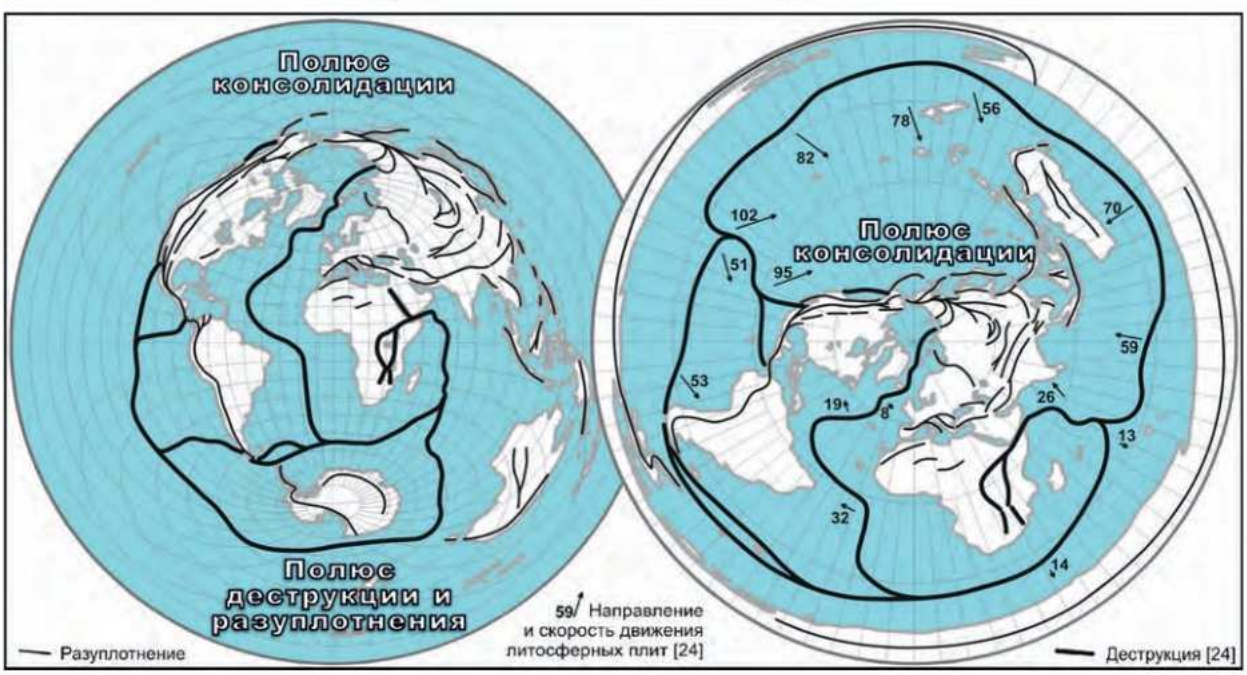
Глобальное сжатие

Таким же необходимым условием становления наиболее значимых седиментационных бассейнов, как и эклогитизация, является сжатие. Как оказалось, при рассмотрении осадконакопления в масштабе бассейна в целом каждая более молодая седиментационная поверхность короче любой более древней (рис. 13). Причём, иногда такой вывод можно сделать не только вкрест простирания основных структурных элементов, но вдоль их простирания, что свидетельствует о формировании осадочного бассейна в перманентных условиях всестороннего сжатия.

В той или иной мере сжатие проявляется во всех крупнейших континентальных впадинах, везде, где изначальное напластование существенно не изменено более молодыми наложенными тектоническими движениями, вследствие влияния надвиговой, сдвиговой или соляной тектоники и т.п., сохраняется тенденция к сокращению седиментационных поверхностей с омоложением [14].

Подобная ситуация объясняется с точки зрения геометрии, поскольку

▼ *Рис. 15. Проявление деструкции и консолидации литосферы в её движении.*



наблюдаемое в бортовых частях осадочных бассейнов расхождение стратиграфических границ возможно только при увеличении их протяжённости с глубиной (рис. 14). При закреплении современных границ бассейна и непризнании их сближения, придётся полагать, что они с погружением удлиняются, а связанные с ними стратиграфические комплексы растягиваются, что не имеет никакого геологического смысла, так как и мощности осадков, и их плотность возрастают в направлении осевой части прогибания.

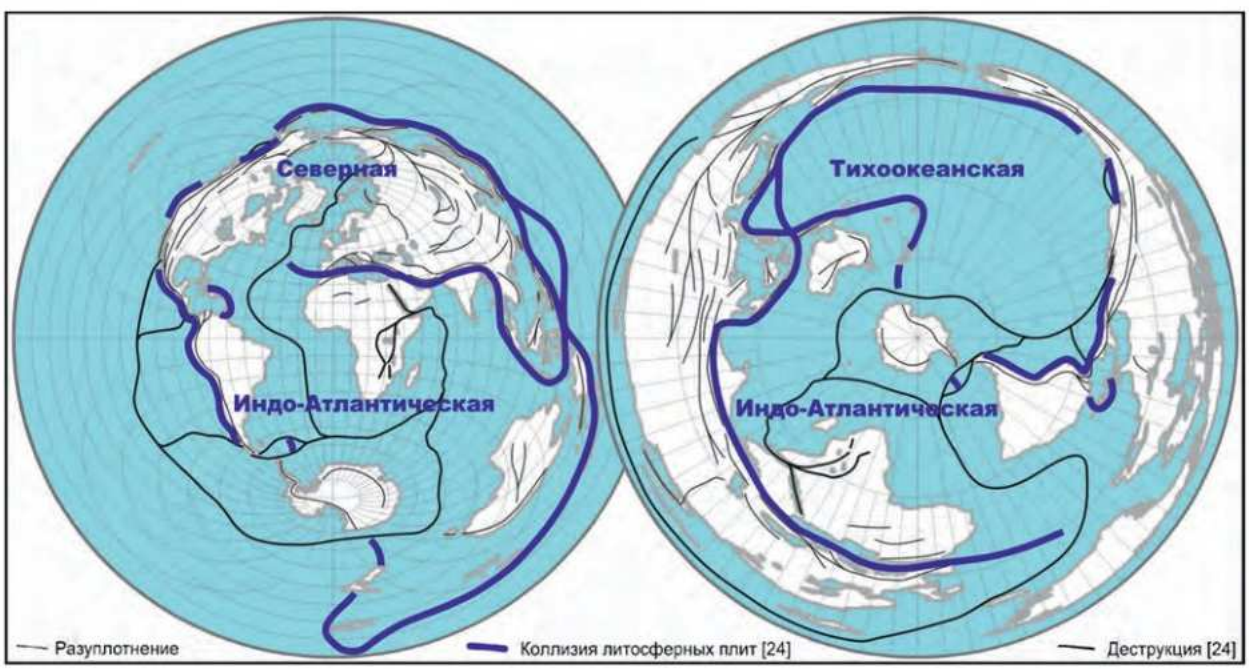
Перераспределение литосферы

Причина глобального сжатия, преобладающего на всех континентах, за исключением Антарктиды и Африки, кроется в доминировании растяжения литосферы в южном полушарии и движении тектонических плит преимущественно в северном направлении, что в той или иной степени обеспечивает условия сжатия для всех континентов (рис. 15). Вместе с тем, если в Антарктике речь идёт о существовании своего рода полюса деструкции и разуплотнения литосферы, от которого разуплотнение распространяется в северное полушарие, то в Арктике ему противостоит полюс консолидации, соответствующим образом проявляющий себя процессами концентрации и эклогитизации земной коры (рис. 11).

При сопоставлении конвергентных границ литосферных плит можно сделать вывод о существовании трёх глобальных областей коллизии и сжатия литосферы: Индо-Атлантической, Тихоокеанской и Арктической (рис. 16). Две из них, связанные с южным полушарием и испытывающие разрыв на полюсе деструкции, формируют неполное сжатие, в то время как, третья, Арктическая, обеспечивает практически всесторонний прессинг для охваченных ею континентальных масс.

Всестороннее сжатие Евразийского и Северо-Американского континентов фиксируется седиментацией на протяжении, по крайней мере, последнего миллиарда лет (рис. 13). В этой связи приходится ставить под вопрос широко известные палеореконструкции с обилием террейнов, хаотично перемещающихся и

▼ *Рис. 16. Области конвергенции литосферы во взаимодействии с деструктивными зонами.*



объединяющихся окончательно в континенты только ближе к мезозою. Напротив, речь может идти о существовании Палеоевразии – единого древнего евразийского континента [19] – и даже единого суперконтинента в северном полушарии [21].

Заключение

Итак, полученные на Таймырском геофизическом полигоне данные продемонстрировали, что прогибание является следствием уплотнения, а воздымание предопределяется разрушением высокоплотного основания депрессий, необходимым условием существования которых служат сжатие и эклогитизация. Наблюдаемое глобальное распространение и взаимосвязь консолидации литосферы, протекающей в коллизионных условиях, и её деструкции в результате плавления и растяжения, проявляет колебательный характер тектоники, показывая, что круговорот базальтов и эклогитов обеспечивает все основные тектонические, магматические, метаморфические и седиментационные процессы. Зарождение синклиналей и антиклиналей, их дальнейшее развитие в условиях сжатия, вызванного давлением, которое создаётся выплавляющимися базальтами, свидетельствуют о сложном комплексном взаимодействии вертикальных (геосинклинальных) и латеральных (плейт-тектонических) движений. Стало быть, становление геологического облика нашей планеты – прогибание, сменяющие его орогенез и рифтогенез, седиментация и размыв осадков, магматическая активизация – зависит от баланса между эклогитом и базальтом, тесно связанного с термобарическим и флюидным равновесием в низах земной коры и в верхней мантии.

Следовательно, подводя итог, можно констатировать, что совокупность выявленных фактов и вытекающих из них выводов открывает принципиально новый взгляд на глобальную геологию, который в той или иной мере влечёт за собой изменение представлений о фундаментальных основах всех её разделов.

Литература

1. Блюман Б.А. Офиолиты и кора океанов // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 66-72.

2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.

3. Кушнир Д.Г. Геодинамика полуострова Таймыр по геофизическим данным // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 9. С. 81-92. https://http://www.gt-crust.ru/jour/article/view/521/358.

4. Кушнир Д.Г. Гипербазиты как фактор геодинамики по результатам исследований на Таймырском геофизическом полигоне // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 2(29). С. 3–27. https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-29.art1.

5. Кушнир Д.Г. Геодинамические предпосылки некомпенсированного осадконакопления. Сборник трудов научно-практической конференции Геокалининград-2021. Калининград. 2021. С. 80-83.

6. Кушнир Д.Г. Формирование норильских медно-никелевых руд в свете новых данных о механизмах магматических процессов на Таймыре. Материалы конференции Геомодель-2021. Москва. 2021. С. 279-282.

7. Кушнир Д.Г. Новая геодинамика: геосинклинальная тектоника плит // Актуальные проблемы нефти и газа. Вып. 3(34) 2021. С. 3-20. https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art1.

8. Кушнир Д.Г. Рифтогенез VS континентализация по данным Таймырского геофизического полигона. ГЕОСОЧИ-2022. Актуальные проблемы геологии и геофизики в нефтегазовой отрасли. Материалы международной научно-практической конференции. Тверь. 2022 Издательство: ПолиПРЕСС. С. 29-32.

9. Кушнир Д.Г. Геосинклиналь – новое понимание по данным Таймырского геофизического полигона. Материалы конференции

Геомодель-2022. Москва. 2022. С. 279-282.

10. Кушнир Д.Г. Региональное соотношение дизъюнктивной и пликативной тектоники как признак геосинклинали и ключ к пониманию новой геодинамики. Материалы конференции "Геология и геофизика – 2022: наука, производство, инновации". Уфа. 2022. С. 179-185.

11. Кушнир Д.Г. Сверхконсолидированная суперконтинентальная земная кора по данным Таймырского геофизического полигона // Геофизика. 2022. № 4. С. 37-45.

12. Кушнир Д.Г. Сейсмичность геосинклинальных тектонических движений в связи с флюидонасыщением разреза земной коры В сборнике: Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности. Сборник трудов Всероссийской научной конференции. Москва. 2022. С. 455-458.

13. Кушнир Д.Г. Влияние плотностных неоднородностей в низах земной коры на определение положения её подошвы // Геофизика. 2022. № 6. С. 12-17.

14. Кушнир Д.Г. Новое понимание рифтогенеза в свете геосинклинальной тектоники плит. Сборник материалов конференции "Санкт-Петербург 2023. Инновации в геонауках – время открытий". С.-П. 2023. С. 483-488.

15. Кушнир Д.Г. Платформы и подвижные пояса как результат единого цикла колебаний тектоносферы. Труды конференции "Геоевразия-2023". Москва. 2023. С. 70-73.

16. Кушнир Д.Г. Геосинклинальный цикл – современное понимание. Сборник материалов конференции "Геосочи-2023. Актуальные проблемы геологии и геофизики". Тверь. 2023. С. 4-8.

17. Кушнир Д.Г. Структура границы Мохоровичича как признак механизма деформации земной коры. Материалы конференции "Геомодель 2023". Москва. 2023. С. 374-377.

18. Кушнир Д.Г. Происхождение пликативных дислокаций осадочного чехла. Материалы конференции "Геомодель 2023". Москва. 2023. С. 378-381.

19. Кушнир Д.Г. Палеоевразия и её современная нефтегазоносность. Материалы конференции "Прогресс-2023". Москва. 2023. С. 200-204.

20. Кушнир Д.Г. Колебания земной коры и её течение. Труды конференции "Геоевразия-2024". Тверь. 2024. С. 200-204

21. Кушнир Д.Г. Палеоевразия и Арктический полюс консолидации литосферы как ядро Гипербореи. Сборник материалов конференции "Геосочи-2024. Новые идеи и технологии разведочной и промысловой геофизик". Тверь. 2024.

22. Рингвуд А.Э., Грин Д.Х. и др. Петрология верхней мантии. Науки о земле. Т. 8. Москва. Мир. 1968. 336. с.

23. Павленкова Н.И. Развитие представлений о сейсмических моделях земной коры // Геофизика, 1996. № 4. С. 11-19.

24. Bird P. An updated digital model of plate boundaries // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2003. doi:10.1029/ 2001GC000252.

25. Carlson R.W., Pearson G., James D.E .Physical, chemical, and chronological characteristics of continental mantle. March 2005 Reviews of Geophysics 43(1) DOI:10.1029/ 2004RG000156.

26. Haeger C., Kaban M.K., Tesauro M., Petrunin A.G., Mooney, W.D. 3-D Density, Thermal, and Compositional Model of the Antarctic Lithosphere and Implications for Its Evolution. Geochemistry Geophysics Geosystems (G3). 2019. 20. 2. pp. 688-707. DOI: http://doi.org/10.1029/ 2018GC008033

27. Kaban M.K. Integrative gravity and isostatic models of the lithosphere and upper mantle. The Helmholtz Centre Potsdam – GFZ German Research Centre for Geosciences https://www.gfz-potsdam.de/en/section/ earth-system-modelling/topics/density-structure-of-the-earth/integrative-gravity-and-isostatic-models.

28. Petrunin A.G., Kaban M.K., El Khrepy S., Al-Arifi N. Mantle Convection Patterns Reveal the Mechanism of the Red Sea Rifting // Tectonics. https://doi.org/10.1029/ 2019TC005829.

29. Map of the sedimentary cover thickness // https://vsegei.ru/en/activity/intcooperation/tect_map 35M/maps/t4_sedAll.jpg.

30. Muller R.D. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust // Geochemistry Geophysics Geosystems. 9. 2008. doi:10.1029/2007GC001743.

31. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L., Martelli L., Cianfarra P., Salvini F., Mancini F., Sterzai P., Dubbini M. and Capra A. New Geodetic and Gravimetric Maps to Infer Geodynamics of Antarctica with Insights on Victoria Land // Remote Sens. 2018, 10, 1608. doi:10.3390/ rs10101608

Высшее геологическое образование в Московском университете и взаимодействие МГУ с предприятиями геологической отрасли России

Степанов П.Ю., Крылов И.О., Филимонов С.В., Ситар К.А.,
геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Аннотация. *Излагаются особенности многоуровневого геологического образования в Московском университете, на основе самостоятельно устанавливаемых МГУ образовательных стандартов и учебных планов. Рассматриваются особенности приема на геологический факультет МГУ с упором на взаимодействие с производственными организациями в рамках целевого набора. Освещаются вопросы прохождения студентами производственных практик на предприятиях геологической отрасли, а также трудоустройства выпускников в рамках проводимых в МГУ «Ярмарок вакансий» и «Дней карьеры». Подробно рассматриваются механизмы взаимодействия геологического факультета с производственными организациями в рамках системы дополнительного образования: программ повышения квалификации, профессиональной переподготовки и стажировки на геологическом факультете МГУ.*

Ключевые слова: *геологический факультет МГУ, образовательные стандарты, целевой прием, производственная практика, трудоустройство выпускников, программы профессиональной переподготовки.*

Введение. Геологическое образование играет ключевую роль в подготовке специалистов для изучения и эффективного освоения природных ресурсов. Специализация в этом направлении открывает возможности для успешной карьеры, начиная от работы в научно-исследовательских институтах и заканчивая работой в крупных нефтегазовых и горнодобывающих компаниях. Наличие учебно-научных центров, обеспечивающих получение качественного фундаментального геологического образования, является ключевым элементом устойчивого развития минерально-сырьевой базы страны, экономической и экологической устойчивости России.

Геологический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова является признанным лидером и ведущим центром геологического образования в России. В рейтинге ВУЗов геологических специальностей за 2023 год, составленном RAEX (https://raex-rr.com), геологический факультет МГУ занимает первую позицию. Факультет активно развивает научные исследования во всех областях современной геологической науки, сотрудничает с ведущими научными и производственными геологическими организациями Российской Федерации и обеспечивает студентов фундаментальными знаниями и навыками, необходимыми для успешной профессиональной деятельности. Подготовка высокопрофессиональных специалистов-геологов требует освоения студентами большого количества самых разнообразных практических навыков и умений, что обуславливает необходимость взаимодействия в ходе учебного процесса с различными производственными предприятиями нашей страны. Целью настоящей работы явилось освещение форм и особенностей взаимодействия Московского университета с предприятиями геологической отрасли России.

Взаимодействие в рамках приема на факультет. На геологическом факультете МГУ с 2011 года образовательная деятельность ведется не по федеральным образовательным стандартам, а по собственным, разработанным в Московском университете образовательным стандартам, реализующим абсолютно новую для системы высшего образования России образовательную траекторию – интегрированную шестилетнюю подготовку магистров геологии (Степанов, Николаева, 2013). Была создана общая структура для существующих на факультете шести профилей подготовки (вместо отмененных геологических специальностей) с тем, чтобы сохранить принципиально важную для подготовки геологов структуру высшего университетского образования. Учебные планы бакалавриата и магистратуры объединены в рамках общего образовательного стандарта в единый шестилетний образовательный процесс.

Ежегодно, в рамках приемной кампании, геологический факультет МГУ набирает абитуриентов на программы бакалавриата (4 года обучения, 6 профилей подготовки) и магистратуры (2 года обучения, 23 магистерские программы). Н 1-й курс бакалавриата факультет принимает 200 абитуриентов на бюджет, по результатам 4-х вступительных испытаний: 1) ЕГЭ_Математика (профильная); 2) ЕГЭ_Русский язык; 3) ЕГЭ_Физика / Химия / География / Информатика (на выбор абитуриента); 4) Дополнительное вступительное испытание (ДВИ) по математике (письменной 4-х часовой экзамен, проводимый с использованием дистанционных технологий).

Десять процентов от плана набора на 1 курс бакалавриата отводится для абитуриентов, поступающих в отдельном конкурсе по договорам целевого обучения от различных научных и производственных организаций геологической отрасли (20 бюджетных мест). Взаимодействие с организациями, осуществляющими образовательную деятельность, заказчиками и абитуриентами при целевом приёме осуществляется в соответствии с Положением о целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации №555 от 27 апреля 2024 года. Договор целевого обучения предусматривает поступление в отдельном конкурсе, который существенно ниже, чем основной конкурс на первый курс (4-5 человек на место), а также гарантирует абитуриенту трудоустройство в выбранную им организацию после завершения обучения в МГУ. Ежегодно геологический факультет зачисляет 10-15 абитуриентов, заключивших договора целевого обучения с такими организациями, как: ФГБУ «ВНИГНИ», ПАО «Норникель», ПАО «НК «Роснефть», ФБУ «ГКЗ» и др. Геологический факультет МГУ готов принимать на обучение «целевых» студентов от любых предприятий геологической отрасли России.

Взаимодействие в рамках учебного процесса

При подготовке геологов в Московском Университете большое значение отводится учебным дисциплинам, преподавание которых ведется представителями научных и производственных организаций геологической отрасли, а также учебным и производственным практикам (Пущаровский и др., 2019). Среди научных организаций, сотрудники которых вовлечены в учебный процесс на геологическом факультете МГУ, особой место занимают институты РАН:



Рис. 1. Места прохождения производственных практик студентами и магистрантами геологического факультета МГУ в 2021-2024 гг.

Институт Физики Земли имени О.Ю. Шмидта, Институт геохимии и аналитической химии имени В.И.Вернадского, Институт океанологии имени П.П.Ширшова и др. Не менее широким по охвату является спектр производственных геологических организаций, представители которых делятся со студентами самыми современным подходами и технологиями обработки геолого-геофизической информации. Особо следует отметить вклад в учебный процесс таких компаний, как ООО «Неоген», ООО «Геоскан», ООО «Северо-Запад», ООО «Деко-Геофизика», ООО «Лукойл-Инжиниринг».

В учебный план бакалавриата и магистратуры геологического факультета входят производственные (научно-исследовательские, преддипломные) практики продолжительностью 1-1,5 месяца. Их цель – получение практического опыта работы по своей специальности в производственных и научно-исследовательских организациях. Студенты факультета проходят практики на крупных горнорудных и нефтегазодобывающих предприятиях (Лукойл, Роснефть, Новатэк, Востсибуголь, Росгеология, Норильский Никель и других), в научно-производственных организациях (Геоскан НПЦ, Северо-Запад и др.), в институтах (ПИН РАН, ГИН РАН, ЦНИГРИ, ИГИРГИ и др.), в музеях РАН (Минералогический имени Ферсмана РАН), в экспедициях и рейсах на научно-исследовательских судах. География мест прохождения производственных практик очень обширна (рис. 1) – более 40 регионов РФ, Китай, Казахстан, Киргизия, Монголия, Узбекистан и другие государства.

Практиканты участвуют в выполнении реальных геологических задач – работают геологами в полевых поисковых партиях, интерпретируют результаты геофизических и геохимических наблюдений, выполняют исследования на современном аналитическом оборудовании, работают на месторождениях полезных ископаемых и нефтяных скважинах и т.д. (рис. 2). Осуществляется сбор материалов для написания бакалаврских и магистерских дипломных работ.

Для поиска мест прохождения производственных практик на факультете ежегодно проводятся «Ярмарки вакансий» и «Дни карьеры».

Ярмарки вакансий проводятся на



Рис. 2. Студенты геологического факультета МГУ на производственных практиках.

геологическом факультете ежегодно с 2005 года. Основной их задачей является помощь старшекурсникам в поиске мест для прохождения производственных практик, стажировок, а выпускникам факультета – поиск достойной работы в ведущих компаниях страны.

Для участия в Ярмарках вакансий приглашаются российские и зарубежные нефтегазовые и горнодобывающие компании, производственные организации, институты РАН. После презентаций компаний и ответов на вопросы у студентов есть возможность лично пообщаться с представителями различных компаний геологического отрасли страны (рис. 3).

Дни карьеры проводятся с целью поддержки студентов и выпускников в их профессиональном развитии и улучшении карьерных перспектив. В рамках Дня карьеры проводятся встречи с компаниями-работодателями, мастер-классы и тренинги.

Взаимодействие в рамках дополнительного образования: программы повышения квалификации, профессиональной переподготовки и стажировки на геологическом факультете МГУ

Важной составляющей в развитии специалиста-геолога является совершенствование его навыков и компетенций после получения высшего образования. В связи с этим одним из направлений во взаимодействии геологического факультета с предприятиями геологической отрасли России является реализация на базе факультета программ дополнительного образования по различных геологическим направлениям для сотрудников предприятий: программ профессиональной переподготовки и программ повышения квалификации.

Ежегодно на факультете проходят обучение по дополнительным профессиональным программам до 300 человек (по количеству слушателей это направле-



▲ *Рис. 3. Встреча студентов геологического факультета МГУ с представителями геологических компаний в рамках мероприятия «Ярмарка вакансий 2024».*

ние образовательных программ соизмеримо с количеством студентов дневного отделения, обучающихся одновременно на двух старших курсах факультета). По окончании обучения слушатели таких программ получают удостоверение о повышении квалификации или диплом о профессиональной переподготовке утвержденного образца МГУ имени М.В. Ломоносова. Данные о выданных документах по каждому слушателю передаются в Федеральный реестр сведений о документах об образовании и (или) о квалификации, документах об обучении (ФИС ФРДО), согласно Постановлению Правительства РФ №825 от 31.05.2021 года.

Одной из наиболее востребованных программ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ в последние годы является программа, посвященная вопросам геологии, поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа, реализуемая на базе кафедры теоретических основ разработки месторождений нефти и газа в заочной форме с применением дистанционных образовательных технологий. Особый интерес вызывает эта программа у специалистов, работающих в нефтегазовых компаниях, однако имеющих базовое высшее образование отличное от нефтяных специализаций.

Еще одна программа профессиональной переподготовки, к которой проявляется повышенный интерес в последние десять лет, посвящена *вопросам нефтегазовой геологии шельфов РФ* и реализуется на базе кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых в очной форме обучения с применением дистанционных образовательных технологий, совместно со специалистами кафедры сейсмометрии и геоакустики. Отличительной особенностью данной программы является выездная полевая практика на Белом море.

Программы ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ являются наиболее востребованными в секторе дополнительного профессионального образования в геологии последнее десятилетие. Это связано в первую очередь с тем, что они направлены на удовлетворение образовательных и профессиональных потребностей в развитии современных геологов и обеспечивают соответствие квалификации меняющимся условиям профессиональной деятельности. Кроме того, эти программы реализуются в течение пяти рабочих дней, что является оптимальным с точки зрения безболезненного отрыва от производственных задач слушателей.

На факультете разработано более 100

программ повышения квалификации практически по всем направлениям геологии, представленным в структуре геологического образования в МГУ. Однако выделяется несколько направлений, которые наиболее востребованы. Одно из таких направлений, активно пользующееся интересом со стороны компаний на протяжении последних 15 лет, связано с вопросами *поиска и открытия новых месторождений нефти и газа.* Отдельно хочется отметить программы *гидрогеологической* тематики, которые особенно востребованы сегодня как с точки зрения изучения вопросов общих гидрогеологических, так и в вопросах реализации практических задач гидрогеологии при разработке месторождений углеводородов.

Второе направление, которое только на протяжении последних нескольких лет активно стало востребовано среди слушателей дополнительных профессиональных программ на факультете – *геология, геохимия и экономика твердых полезных ископаемых.* Причем тематики программ интересуют как общетеоретические, так и региональные особенности отдельных регионов страны, и отдельные вопросы с углубленном разбором практических примеров.

Третьим направлением с точки зрения востребованности среди профильных специалистов является инженерно-геологическое направление. Активно стали реализовываться программы повышения квалификации, связанные с инженерно-геокриологическими исследованиями. Вопросы особенностей инженерных исследований в районе распространения многолетнемерзлых пород особенно остро востребовано сейчас, когда интенсивно идет освоение северных территорий, строительство производственных предприятий и пр.

На сегодняшний день для предприятий геологической отрасли России наиболее эффективным форматом взаимодействия с ВУЗом с точки зрения поддержания высокой квалификации своих сотрудников на всем протяжении производственных циклов является направление на регулярной основе групп слушателей для обучения по программам дополнительного профессионального образования, специально разработанным последним с учетом актуальных задач и вопросов, стоящих на повестке рабочего процесса первой (корпоративные программы дополнительного профессионального образования). Кроме того, набирает популярность сетевая форма реализации программ дополнительного профессионального образования.

Заключение

Как можно видеть, геологический факультет МГУ реализует множество траекторий взаимодействия с предприятиями геологической отрасли Российской Федерации: от целевого приема на первый курс бакалавриата и прохождения студентами производственных практик до трудоустройства выпускников и разнообразных программ повышения квалификации действующих сотрудников различных геологических организаций, их профессиональной переподготовки и стажировки на геологическом факультете. И каждый из пунктов этого взаимодействия можно расширять и углублять: находить новые организации-партнеры для целевого набора, расширять спектр организаций, принимающих студентов МГУ на практики, создавать новые программы повышения квалификации для сотрудников различных компаний.

Особенно важным для геологического факультета является механизм взаимо-

действия в рамках вовлечения в учебный процесс в качестве преподавателей узкоспециальных дисциплин представителей геологических организаций и компаний, владеющих уникальными методами и технологиями работы с геологическими данными. Факультет искренне благодарен за помощь в организации учебного процесса таким компаниям, как ООО «Неоген», ООО «Соника», ООО «Северо-Запад», ООО «Деко-Геофизика», ООО «Лукойл-Инжиниринг» и др.

Геологический факультет МГУ открыт для взаимодействия со всеми заинтересованными в сотрудничестве организациями и предприятиями геологической отрасли нашей страны.

Литература

1. Пущаровский Д.Ю., Степанов П.Ю., Николаева С.К., Крылов О.В. Образовательные стандарты геологического факультета МГУ: поиск ответов на вызовы времени // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2019. — № 2. — С. 3–7.

2. Степанов П.Ю., Николаева С.К. Образовательные стандарты и учебные планы нового поколения геологического факультета МГУ: опыт и проблемы // Новые образовательные стандарты высшего профессионального образования: проблемы создания и внедрения. М.: Агентство «Мегаполис», 2013. С. 112–122.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ И МЕРОПРИЯТИЙ В 2025 ГОДУ (январь-август)

Наименование мероприятия	Дата проведения	Место проведения	Организатор
«Объектно-ориентированный анализ геологических событий в процессе сейсмической интерпретации» Однодневный тематический курс к.г.-м.н. Ольневой Т. В. (ведущий эксперт, группа компаний "Газпромнефть").	20 февраля	г. Москва, Моховая ул., д. 11, стр. 11, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН.	ГЕОЕВРАЗИЯ, https://gece.moscow/
«Наука о сланцах» Специализированный научно-практический семинар, посвященный изучению, разведке и разработке трудноизвлекаемых запасов.	март	г. Москва	ГЕОМОДЕЛЬ
«Машинное обучение и нейронные сети для прогноза параметров нефтегазоносности по геолого-геофизическим данным» Однодневный тематический курс.	14 марта	г. Москва	ГЕОЕВРАЗИЯ
«ГЕОРАДАР-2025» VII научно-практическая конференция имени Абизгильдина И.Х.	26-28 марта	г. Москва	ИП Махонская Е.В. https://go.georadarconf.ru/
«Нефтегаз 2025» Международная выставка оборудования и технологий для нефтегазового комплекса	14-17 апреля	г. Москва	Экспоцентр https://www.neftegaz-expo.ru
«Инженерная и рудная геофизика» «Инженерная и рудная геология»	21-25 апреля	г. Екатеринбург,	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
«ГЕОПОТЕНЦИАЛ-2025. Новые идеи и технологии разведочной и промысловой геофизики»	23-25 апреля	г. Сочи, конференц-зал отеля СИА ГЭЛАКСИ	ГЕОЕВРАЗИЯ, https://gece.moscow/
Oil&Gas Uzbekistan (OGU) 2025 Научно-практическая конференция.	13-15 мая	г.Ташкент	OGU
«ГЕОЕВРАЗИЯ-2025. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес». Международная геолого-геофизическая конференция и выставка.	14-16 мая	г. Москва, Кластер Ломоносов, Раменский бульвар, д.1	ГЕОЕВРАЗИЯ, https://gece.moscow/
«Нефть. Газ. Технологии 2025» Международная выставка.	20-23 мая	г. Уфа	http://gntexpo.ru
Технологический форум «Газпромнефть» по разведочной геофизике.	май	г. Санкт-Петербург	«Газпром нефть»
EAGE Annual 2025	2-5 нюня	г. Тулуза, Франция	
«Интеллектуальный анализ данных в нефтегазовой отрасли» Конференция посвящена анализу данных и интеллектуальным технологиям в нефтегазовой отрасли.	июнь		ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
ГеоБайкал Выездной научно практический семинар, посвященный геологии, разведке и разработке недр Восточной Сибири.	19-22 август	г. Иркутск.	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ И МЕРОПРИЯТИЙ В 2025 ГОДУ (сентябрь-декабрь)

Наименование мероприятия	Дата проведения	Место проведения	Организатор
«ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД» IX Балтийская научно-практическая конференция (BALTICPETROMODEL-2025»	3-5 сентября	г. Калининград, Музей Мирового океана»	ГЕОЕВРАЗИЯ, https://gece.moscow/
«Геомодель 2025» 27-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа	8-11 сентября	г. Геленджик	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
«ВСТРЕЧИ НА ВОЛГЕ – 2025. Развитие геофизических технологий – основа эффективности недропользования» Конференция и выставка.	16-19 сентября	г. Саратов	Встречинаволге.рф
«Геофизика на карсте» Научно-практический семинар, посвященный специфике работы на карсте.	сентябрь	г. Кунгур	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
«KIOGE-2025» 30-я Международная Выставка и Конференция «Нефть и Газ»	30 сентября – 2 октября	г. Алматы	ТОО «Iteca», Казахстан https://kioge.kz/ru/
Морские технологии. Работы на шельфе и инженерные исследования.	1-3 октября	г. Южно-Сахалинск	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
«ГЕОМОНИТОРИНГ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ». Научно-практическая конференция и выставка.	октябрь	г. Сочи	ГЕОЕВРАЗИЯ, https://gece.moscow/
ПроГРРесс. Геологоразведка как бизнес.	8-10 октября	г. Москва	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
Российская отраслевая энергетическая конференция (РОЭК) 2-й съезд Ассоциации геологов, геофизиков и инженеров (АГГИ)	октябрь	г. Москва	ГЕОМОДЕЛЬ, https://geomodel.ru/
«Красноярск 2025». Сейсморазведка в Сибири и за ее пределами	октябрь	г. Красноярск	КрасноярскНИПИ НК Роснефть http://sibseismic.ru/
«OGT Expo» Нефть и газ Туркменистана	октябрь	г. Ашхабад	Net Organization https://ogtexpo.com/
«Инженерная сейсморазведка и сейсмология - 2025» VI научно-практическая конференция имени Абизгильдина И.Х.	22-24 октября	г. Москва	ИП Махонская Е.В. https://www1.inzhseism.ru
«Трещиноватость как фундаментальное свойство продуктивных пластов. Методы выявления и верификации по сейсмическим и скважинным данным». Однодневный тематический курс к.г.-м.н. Хромовой И.Ю.	7 ноября	г. Москва, МГУ	ГЕОЕВРАЗИЯ, https://gece.moscow/

ООО «ГеоЕвразия» при информационной поддержке
Московского отделения ЕАГО

ПРИГЛАШАЕТ ВАС ПРОСЛУШАТЬ

Курс Т.В. Ольневой: « Объектно-ориентированный сейсмогеологический анализ»

Дата проведения: 20 февраля 2025 года
Место проведения: Государственный геологический музей имени В. И. Вернадского РАН , адрес: Моховая улица, д. 11, стр. 11 (третий этаж). Время проведения: с 10.00 до 17.00

О лекторе



Татьяна Владимировна Ольнева – доктор геолого-минералогических наук. Автор более 70 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях по вопросам сейсмостратиграфического и сейсмофациального анализа, геологического моделирования, изучения трещиноватых резервуаров. Руководитель и соисполнитель десятков научно-производственных российских и зарубежных проектов. *К курсу в электронном виде приложены копии наиболее значимых авторских статьей по данной теме.*

Цели и задачи курса

Анализ существующих сейсмогеологических подходов к интерпретации сейсмических данных, оценка их эффективности для изучения неантиклинальных ловушек, введение понятия «объектно-ориентированный» сейсмогеологический анализ, рассмотрение приемов и технологий детальной интерпретации, объектного седиментационного моделирования, демонстрация и комплексный анализ сейсмических образов отдельных геологических процессов и явлений.

Аннотация курса

Объектно-ориентированный сейсмогеологический анализ рассматривается как методический подход, целью которого является всестороннее изучение локальных геологических явлений, оказывающих существенное влияние на волновое поле и создающих свой индивидуальный узнаваемый образ в сейсмическом изображении.

Методика объектно-ориентированного подхода формировалась в процессе поиска решений для все более усложняющихся сейсмогеологических задач изучения месторождений нефти и газа. В первую очередь речь идет о степени детальности интерпретации. Организация сейсмогеологического мониторинга для размещения эксплуатационных и разведочных скважин на основе концептуальных моделей, интерактивная обратная связь с данными бурения позволили убедиться в том, что даже незначительные вариации волнового поля, изначально принимаемые за помехи, могут нести геологическую информацию. Этот, установленный практическим путем факт, дает основание «углубляться» в сейсмический материал и добиваться все более четких сейсмических изображений локальных геологических явлений (объектов). Практические задачи, на решение которых направлен объектно-ориентированный сейсмогеологический анализ, связаны, в основном, с поиском и изучением литологических ловушек.

Объектно-ориентированный подход можно рассматривать как последовательное развитие сейсмостратиграфического анализа, секвенс-стратиграфического анализа и сейсмофациального анализа. Он позволяет декомпозировать сейсмостратиграфические комплексы и клиноциклиты на локальные геологические явления (объекты), являющиеся индикаторами обстановок осадконакопления; сформировать критерии для прогноза латерального распространения тех или иных объектов; оценить масштабность прогнозируемых событий. Смещение акцентов в интерпретации на конкретное геологическое явление позволяет коллекционировать и типизировать сейсмические изображения, что дает возможность в последующем идентифицировать подобные объекты в пределах других площадей и регионов, в отличие от результатов сейсмофациального анализа, уникальных для каждой площади.

Краткая программа курса :

Введение.

1. Современные реки . Распространение палеоканалов в различных геологических возрастах
2. Седиментационный анализ. **КЕРН**. Характерные признаки русловых отложений
3. Сиквенс-стратиграфический анализ по данным скважин с учетом керна
4. Вопросы и проблемы по **ГИС**. Выделение коллекторов при наличии только стандартного комплекса, библиотека характерных образов кривых
5. Анализ разрешенности сейсмического метода в контексте опознавания русловых объектов в сейсмических данных . Обработка данных сейсморазведки 3D, нацеленная на максимальное сохранение русловых объектов
6. Динамическая интерпретация (качественная).
7. Нейронные сети для автоматического картирования палеорусел.
8. Морфометрический анализ палеоканалов и прогноз мощности песчаных тел
9. Динамическая интерпретация (количественная).
10. Не все палеорусла песчаные. Сейсмическое моделирование.
11. Палеорусловые объекты в геологических моделях.
12. Для чего мы ищем палеорусла?

Курс рассчитан на участие 30 человек . Зарегистрироваться на участие в курсе можно на сайте www.gece.moscow /тематические курсы .

Координатор мероприятия: канд. геол-мин.наук , заслуженный преподаватель,
доцент отделения геофизики Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова **Золотая Л.А.**
контакты :zolotaya@eago.ru, +7-985-774-3015

Подписной бланк-заказ

на журналы «ГЕОФИЗИКА» и «ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»
на 2025 г. *(электронная версия)*

Наименование организации _____
Юридический адрес _____
ИНН / КПП _____
Контактное лицо, ответственное за подписку _____
Мобильный телефон _____
Электронный адрес для отправки журналов: _____

ЖУРНАЛ «ГЕОФИЗИКА»		
Формат журнала	Цена годового комплекта	
ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ ПОДПИСКИ	11400 руб.	
ЖУРНАЛ «ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»		
Формат журнала	Цена годового комплекта	
ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ ПОДПИСКИ	9000 руб.	

ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ НА 2025 год: Научно-технический журнал ГЕОФИЗИКА, издается Московским городским региональным отделением Межрегиональной общественной организации Евро-Азиатское геофизическое общество (МГРО МОО ЕАГО). Журнал ГЕОФИЗИКА индексируется в РИНЦ, входит в ядро РИНЦ, в базы данных RSCI и CrossRef. Всем статьям присваивается DOI. Журнал ГЕОФИЗИКА входит в перечень ВАК РФ. Информация о журнале размещается на сайте НЭБ (https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=8615). Сайт журнала https://www.geophysics.su/). Журнал издается с 1993 года. Периодичность выхода журналов – 6 номеров в год. Чтобы оформить подписку, заполните бланк и отправьте главному редактору на e-mail: zolotaya@eago.ru Тел: +7(985)774-30-15. Вам будет выставлен счет на оплату. **Оплата производится перечислением денежных средств на расчетный счет МГРО МОО ЕАГО с указанием назначение платежа «ПОДПИСКА на Журнал «ГЕОФИЗИКА» на 2025 год или ПОДПИСКА на Журнал «Геофизический Вестник» на 2025 год ».**

Реквизиты: Получатель МГРО МОО ЕАГО, ИНН 9729139590/КПП 772901001; р/с 40703810338000007904 в ПАО Сбербанк к/с 30101810400000000225 БИК 044525225Ю

Информация о журналах

Журнал «ГЕОФИЗИКА» входит в список научных российских рецензируемых журналов, включённых в Перечень Высшей Аттестационной Комиссии РФ 2001-2025 гг. при Минобрнауки, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

«Геофизический Вестник» является информационно-аналитическим журналом. В нем публикуются материалы по вопросам государственного взгляда на проблемы отрасли, обзорам и новинкам зарубежных журналов, науке и образовании, а также страницам истории.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

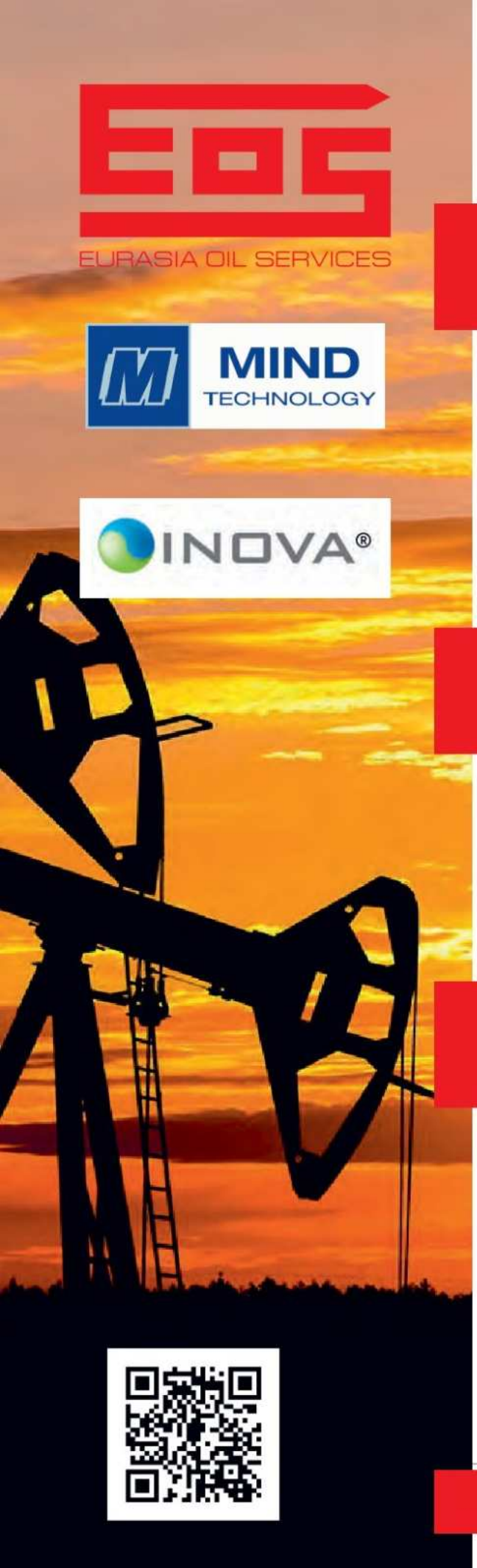
SCOUT-HT

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 сеймографов.
- Любые 2D проекты в любых условиях.
- Проекты по изучению ВЧР.
- Инженерные изыскания с минимальным интервалом квантования 0.25 ms.





EURASIA OIL SERVICES

MIND TECHNOLOGY

INOVA®

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 вхождения 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



ГЕОТОМ

Сейсморегистрирующая бескабельная система: удаленное управление, контроль приемной расстановки и уровня микросейсм.

GEOS

Геофизические услуги и аренда оборудования

Холдинг «Геосейс»
Тел: +7 (495) 694-1940
E/mail: info@geoton.ru
www.geoseisholding.ru

сейстех

Разработчик системы ГЕОТОМ

ООО «Сейстех»
Тел: +7 (495) 737-9285
www.сейстех.рф

