ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ

2/2026

ТЕМА НОМЕРА:



СДЕЛАНО В РОССИИ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Отраслевая демонстрация российских технологий разведочной геофизики в партии ТСГК

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

ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ГЕОФИЗИКИ В ПЕРИОД ОТСУТСТВИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА РЫНКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В АКВАТОРИИ ULS 408-428, 508TZ.







ULS 408-428 (КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫЕ СЕКЦИИ, БЛОКИ, СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ, ГИДРОФОНЫ-ГЕОФОНЫ, ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЕВОЙ СИСТЕМЫ В ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ ДО 50М)

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

ТЕМА НОМЕРА:
«Сделано в России»

СОДЕРЖАНИЕ:

Наши партнеры 5

КОЛОНКА РЕДАКТОРА
Главный редактор Слонов Д.Н. 6

ТЕМА НОМЕРА
ТСГК подтверждает практикой: российская сейсморазведка вступает в эпоху технологии «Геотом»
Камалтдинов Р.Р., Митрофанов Д.Ю. 9

Отраслевая демонстрация: ТСГК с партнерами формируют новый стандарт российской сейсморазведки 18

Закономерности развития полевого геофизического оборудования с позиции теории решения изобретательских задач
Ягудин И.Р., Гафаров Р.М., Морозов К.М. 24

Сейсмосистема СКАУТ-НТ
Тарасов В.Н. 29

Современные решения АО «Курганавторемонт» для буровзрывных работ в геологоразведке 35

ULS на российских акваториях: опыт АО «Башнефтегеофизика» и новые возможности транзитной сейсморазведки
Махортов П.Р. 41

Новая эра российской электроразведки: от импортозамещения к собственной высокотехнологической среде
Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Агафонов Е.А., Немцева Д.Б. 46

Отечественный мобильный гравиметр нового поколения AGP-GRAV
Трусов А.А., Контарович О.Р. 52

Широкий профиль как рациональный компромисс между 2D и 3D на малых объектах
Будяк А.В. 60

Многофункциональное программное обеспечение «SeisPro» для планирования, контроля качества и обработки сейсмических данных разного типа
Токарев А.М., Горбачев С.В., Хачатрян А.М., Понимаскин А.И., Токарев М.Ю. 67

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

К вопросу о применении теоремы отсчётов для интерполяции данных малоглубинных волновых методов
Романов В.В., Новиков П.В., Посеренин А.И. 76

Анализ первого опыта применения геофизических методов при изучении карстового процесса
Романов В.В., Рыжков В.И., Воробьев М.А., Фаргиев И.И. 81

Особенности проведения расчетов ожидаемых сейсмических воздействий на участках распространения многолетнемерзлых грунтов
Кауркин М.Д., Воробьев М.А., Фаргиев И.И. 84

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИДЕИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Обоснование возможности выполнения 4D сейсмического мониторинга для сухопутного газового месторождения
Соколовский Р.А., Казанин А.Г., Литвачук А.В., Соколов А.А., Жуков А.П., Кляжников Д.В. 90

Обработка унаследованных съемок 3D для целей 4D-сейсмомониторинга сухопутного газового месторождения
Соколовский Р.А., Казанин Р.А., Литвачук А.В., Богданов Е.Д., Жуков А.П., Коротков И.П. 98

Анализ амплитудно-частотных характеристик упругих волн, распространяющихся в тонких пластах, насыщенных различными флюидами (на основании данных 4Д сейсмического мониторинга, результатов математического и физического моделирования)
Лекомцев А.В., Подбережный М.Ю. 106

ОБРАЗОВАНИЕ

Первый шаг в геологию начинается здесь 116

Плавучий Университет - обучение через исследования 120

НОВОСТИ И СОБЫТИЯ

ГеоЕвразия-2026: технологические вызовы и аппаратурные решения в российской геофизике
Слонов Д.Н. 123

Мультидисциплинарность, нейросети, новые регионы и хорошо изученные нефтегазоносные провинции: как меняется геологоразведка в россии
Кирьянова Т.Н., Девишева М.М. 126

Геофизкаталог - поиск технологий, компетенций и решений 131

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.
к.т.н. Гафаров Р.М.
д.т.н. Гогоненков Г.Н.
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.

Зам. Главного редактора
к.т.н.Горбачев С.В.

Корректор:
Молчанова Д.В.

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:
25.06.2026

Дата выпуска:
30.06.2026

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 второй номер журнала **«Приборы и системы разведочной геофизики»** за 2026 год. Тема выпуска —



СДЕЛАНО В РОССИИ

Предлагая авторам эту тему, мы прекрасно понимали её неоднозначность. С одной стороны, практически всё, о чём пишет наш журнал, так или иначе связано с геологоразведкой в России. С другой — непростая экономическая ситуация и продолжающийся спад активности в отрасли особенно болезненно отразились именно на разработчиках технологий и производителях геофизического оборудования. В условиях сокращения объёмов работ многим компаниям становится всё сложнее инвестировать в обновление технической базы и внедрение новых решений.

Тем приятнее отметить, что номер получился насыщенным, ярким и разнообразным. Он ещё раз подтверждает простую истину: без технологического развития невозможно устойчивое развитие самой отрасли. Несмотря на все трудности, российские инженеры, разработчики и геофизики продолжают создавать новые решения, совершенствовать существующие технологии и успешно внедрять их в производственную практику.

Особое место в номере занимает уникальный опыт проведения отраслевой демонстрации российских технологий непосредственно в действующей сейсморазведочной партии компании ТСГК. Редакция журнала приняла участие в этом мероприятии, объединившем более тридцати представителей нефтегазовых компаний-заказчиков, геофизических предприятий, научных и образовательных организаций. Возможность увидеть отечественные разработки не на выставочном стенде, а в реальных производственных условиях вызвала большой интерес профессионального сообщества. Об этом значимом для отрасли событии рассказывает редакционный репортаж.

Особое внимание участников демонстрации привлёк опыт использования на одном проекте сразу **15 тысяч каналов российской бескабельной телеметрической системы.** О практике самостоятельного применения программно-аппаратного комплекса «Геотом», о преимуществах новой технологии и о перспективах трансформации современной сейсморазведочной партии рассказывает руководитель компании Рустам Камалтдинов в статье **«ТСГК подтверждает практикой: российская сейсморазведка вступает в эпоху технологии "Геотом"».** Этот материал представляет интерес не только как описание конкретного проекта, но и как взгляд на возможное будущее отечественной полевой сейсморазведки.

Не менее важным элементом технологического комплекса современной сейсмопартии являются средства буровзрывных работ. В этом номере мы знакомим читателей с решениями компании «Курганавторемонт», также представленными в ходе демонстрации. Статья **«Современные решения АО «Курганавторемонт» для буровзрывных работ в геологоразведке»** рассказывает о линейке буровых станков предприятия и опыте их применения в различных регионах страны. Особого внимания заслуживает адаптация технологии бурения с продув-

кой для условий Западной Сибири — решение, которое может оказаться востребованным на многих будущих проектах.

Тема «Сделано в России» касается не только оборудования и аппаратуры. Важнейшую роль играют отечественные технологические подходы и методики проведения работ. Антон Будяк, главный геофизик компании ТНГ-Групп, делится опытом применения технологии **«Широкий профиль»** на небольших проектах, ограниченных сложной инфраструктурой и особенностями территории. Такая технология позволяет существенно повысить информативность двумерной сейсморазведки, сохраняя при этом значительно более низкую стоимость по сравнению с полноценной съёмкой 3D. Учитывая большое количество небольших объектов, требующих дополнительного изучения, подобные решения имеют хорошие перспективы практического применения.

Отдельный блок публикаций посвящён **сейсморазведке 4D**, которая пока остаётся сравнительно редким явлением в российской практике. Тем ценнее возможность представить в одном номере сразу три статьи по данной тематике. Авторы из компании МАГЭ и Андрей Лекомцев с соавторами рассматривают различные аспекты развития технологий мониторинговой сейсморазведки и демонстрируют накопленный отечественный опыт в этой перспективной области.

ТРИЗ — это не только привычная для геологов аббревиатура «трудноизвлекаемые запасы». Это ещё и **Теория решения изобретательских задач,** созданная советским инженером и изобретателем Генрихом Альтшуллером. Методология ТРИЗ помогает системно анализировать развитие технических систем и находить эффективные пути их совершенствования. Именно такой взгляд на эволюцию геофизической аппаратуры предлагают специалисты АО «Башнефтегеофизика» в статье **«Закономерности развития полевого геофизического оборудования с позиции ТРИЗ».** Материал будет интересен всем, кто занимается не только эксплуатацией техники, но и её разработкой.

Продолжает развиваться и раздел журнала, посвящённый инженерным исследованиям. Мы видим устойчивый интерес читателей к этому направлению и рассчитываем, что в ближайшие годы оно будет занимать всё более заметное место на страницах издания.

В разделе **«Образование»** мы рассказываем сразу о нескольких инициативах, связанных с подготовкой будущих специалистов отрасли. Особое место занимает публикация **«Первый шаг в геологию начинается здесь»,** посвящённая Школьному факультету МГРИ. Это не просто кружок или дополнительное образование, а одна из старейших детско-юношеских геологических организаций России, ведущая свою историю с 1947 года. Многие известные геологи и геофизики начинали свой путь именно здесь. Хочется верить, что этот материал вдохновит кого-то из сегодняшних школьников сделать свой первый шаг в удивительный мир наук о Земле.

Несмотря на определённые сложности со сбором материалов, номер получился объёмным, содержательным и, надеемся, действительно интересным для читателей. Мы благодарим всех авторов, экспертов и партнёров, которые приняли участие в его подготовке.

Тема третьего номера журнала, который выйдет в сентябре, — **«Комплексные решения и технологии».** Нам хотелось бы рассказать о проектах, где

одновременно применяются различные виды оборудования, несколько технологических решений и различные методы геофизических исследований. Уверены, что именно комплексный подход сегодня становится одним из ключевых факторов повышения эффективности геологоразведочных работ.

Приглашаем авторов поделиться своим опытом и представить материалы нашей аудитории.



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



P.S

«Геофизкаталог.рф» — новый информационный ресурс команды журнала «Приборы и системы разведочной геофизики», который в ближайшее время начнёт свою работу.

Мы создаём не просто каталог компаний и оборудования, а удобный навигатор в мире современной геофизики — структурированное отраслевое пространство, объединяющее технологии, проекты, оборудование, программное обеспечение, научные разработки и профессиональные компетенции. Многолетняя работа журнала позволяет нам видеть отрасль как единую систему и понимать взаимосвязи между разработчиками, производителями, научными организациями, сервисными компаниями и заказчиками.

Интерес к профессиональной информации в отрасли постоянно растёт. Только за последний год сайт журнала посетили более 50 тысяч уникальных пользователей, что подтверждает востребованность качественного и систематизированного геофизического контента.

Мы приглашаем компании, научные коллективы, производителей оборудования, разработчиков программного обеспечения и специалистов отрасли принять участие в формировании нового отраслевого ресурса. Размещайте информацию о своих проектах, технологиях, разработках, услугах и достижениях, чтобы сделать их более заметными для профессионального сообщества.

Следите за запуском
«Геофизкаталог.рф»

Уверены, что вместе мы сможем создать современную и полезную площадку, которая будет способствовать развитию сотрудничества, распространению передового опыта и укреплению технологического потенциала российской геофизики.





формируем отраслевой стандарт вместе

геофизкаталог.рф
geofizcatalog@mail.ru

ТСГК подтверждает практикой: российская сейсморазведка вступает в эпоху технологии "Геотом"

Камалтдинов Р.Р., Митрофанов Д.Ю., ООО «ТСГК», г. Тюмень.

О первом опыте использования 15000 каналов системы ПАК «Геотом» на одном проекте.

Последние годы стали периодом масштабных изменений для российской сейсморазведки. Ограничение доступа к зарубежным технологиям, рост требований к плотности наблюдений, необходимость повышения производительности полевых партий и снижение зависимости от импортного оборудования заставили отрасль искать новые технологические решения.

Одним из наиболее заметных проектов последних лет стало создание отечественной бескабельной системы регистрации ПАК «Геотом», разработанной компанией «Сейстех» при участии Холдинга «Геосейс» и ООО «Тюменская сервисная геофизическая компания» (ТСГК).

Если первые годы были посвящены разработке и испытаниям оборудования, то сезон 2025–2026 годов стал первым периодом полномасштабной промышленной эксплуатации системы на крупных проектах МОГТ-3D. Именно поэтому особый интерес представляет не столько описание технических характеристик комплекса, сколько анализ реального производственного опыта его применения, выявленных проблем и путей их решения.

От прототипа до 15 тысяч каналов

История внедрения ПАК «Геотом» хорошо иллюстрирует классическую модель развития сложной инженерной системы. В 2020 году был создан первый работоспособный прототип регистратора.

В течение 2022–2023 годов проводились опытные испытания на объемах порядка 300 каналов. Основной задачей являлась проверка корректности регистрации и сравнение качества данных с традиционными кабельными системами.

Следующий этап — тестовая эксплуатация на 1500 каналах. В этот период основной акцент был сделан уже не на



Рис. 1. ПАК «Геотом» - от прототипа до отраслевого технологического лидерства.

аппаратной части, а на технологии организации работ, управлении расстановкой и обслуживании оборудования.

В сезоне 2024–2025 годов система впервые была использована в гибридном режиме совместно с другими регистраторами на проектах МОГТ-3D. Объем работ достиг 7500 каналов. Наконец, сезон 2025–2026 годов стал переходом к полностью самостоятельной промышленной эксплуатации на объемах до 15 000 каналов. Фактически впервые в российской практике отечественная бескабельная система была задействована на проекте такого масштаба в качестве основного средства регистрации.

Внедрение бескабельной технологии привело не просто к замене одного типа оборудования другим. Фактически изменилась сама логика организации полевых работ.

В традиционной кабельной партии значительная часть трудозатрат связана не с регистрацией данных как таковой, а с обслуживанием распределённой кабельной инфраструктуры. Раскладка и сбор кабелей, коммутация линий, поиск повреждений, ремонт соединений, ежедневная замена аккумуляторов и поддержание работоспособности протяжённой сети требуют значительных ресурсов как со стороны производственного персонала, так и со стороны инженерно-технических служб.

При использовании ПАК «Геотом» центральным элементом системы становится автономный регистратор, выполняющий функции регистрации, хранения данных, навигационного позиционирования и удалённого обмена служебной информацией. В результате основное внимание персонала переносится с обслуживания кабельной сети на управление парком оборудования, контроль качества установки регистраторов и мониторинг параметров регистрации.

Практика эксплуатации показала, что такой подход позволяет существенно повысить гибкость организации работ. Появляется возможность оперативно изменять геометрию наблюдений, наращивать плотность расстановки, выполнять работы на участках со сложной конфигурацией профилей и минимизировать влияние инфраструктурных ограничений.

Наиболее заметный эффект бескабельная технология демонстрирует в районах со сложными условиями производства работ — в заболоченной местности, лесных массивах, тундре, на урбанизированных территориях, вблизи объектов промышленной инфраструктуры. Именно здесь традиционные кабельные системы сталкиваются с максимальными организационными и логистическими ограничениями.

Не менее важным результатом стало изменение подходов к контролю качества. Возможности ПАК «Геотом» позволяют получать сведения о состоянии оборудования, уровне шумов, параметрах установки и работоспособности каналов непосредственно в процессе работ. По сути, бескабельная технология обеспечивает переход от обслуживания инфраструктуры к управлению данными и качеством регистрации.

Таким образом, внедрение ПАК «Геотом» изменило не только техническое оснащение партии, но и саму организацию производственного процесса, открыв возможности для дальнейшего развития высокоплотных систем наблюдений и цифровых методов управления полевыми работами.

Производственный сезон 2026 г. - главный экзамен для технологии «Геотом»

Сезон 2026 года стал важнейшим этапом развития ПАК «Геотом». Если предыдущие годы были посвящены последовательному наращиванию объемов применения системы и отработке отдельных технологических решений, то в текущем сезоне оборудование впервые использовалось в условиях полномасштабной промышленной эксплуатации на проектах МОГТ-3D с объемом расстановки до 15 000 каналов.

Фактически речь шла уже не о проверке отдельных технических характеристик, а об оценке работоспособности всей производственной системы: оборудования, программного обеспечения, сервисной инфраструктуры, технологий контроля качества и организации полевых работ. Именно на этом этапе становится понятно, насколько разработка готова к повседневной эксплуатации в реальных производственных условиях.

Любая новая техника проходит через несколько стадий развития. На этапе испытаний выявляются конструктивные недостатки. На этапе промышленной эксплуатации выявляются системные проблемы.

Сезон 2026 года стал именно таким испытанием. Большинство ранее принятых технических решений подтвердили свою эффективность. Вместе с тем были выявлены отдельные вопросы, связанные с эксплуатацией оборудования в экстремальных климатических условиях, обслуживанием крупных парков регистраторов и дальнейшим развитием инфраструктуры системы.

Именно такая обратная связь от реального производства представляет наибольшую ценность для дальнейшего совершенствования комплекса и формирования требований к следующему поколению оборудования.

От выявленных проблем к новым инженерным решениям

Одной из главных особенностей сезона 2026 года стало получение большого объема практической информации о работе системы в реальных производственных условиях. При одновременной эксплуатации 15 тысяч автономных регистраторов становятся существенными не только характеристики самого оборудования, но и влияние множества внешних факторов, которые практически невозможно полностью воспроизвести на этапе лабораторных тестовых испытаний.

Так, в северных районах проведения работ были отмечены отдельные эффекты, связанные с электризацией снежного покрова при сочетании сильного ветра и низкой влажности воздуха. Подобные явления в условиях Крайнего Севера они могут оказывать влияние на работу чувствительных электронных компонентов. Полученный опыт позволил уточнить требования к дополнительной защите и экранированию отдельных узлов оборудования и будет учтен при дальнейшей модернизации системы.

Не менее важные результаты были получены при анализе механической надежности оборудования. Массовая эксплуатация всегда становится наиболее объективной проверкой качества конструктивных решений. В течение сезона были зафиксированы единичные случаи нарушения герметичности разъемов КСК. Проведенный анализ позволил оперативно определить причины возникновения подобных ситуаций и реализовать ряд конструктивных изменений, включая дополнительную фиксацию элементов разъема и применение специ-

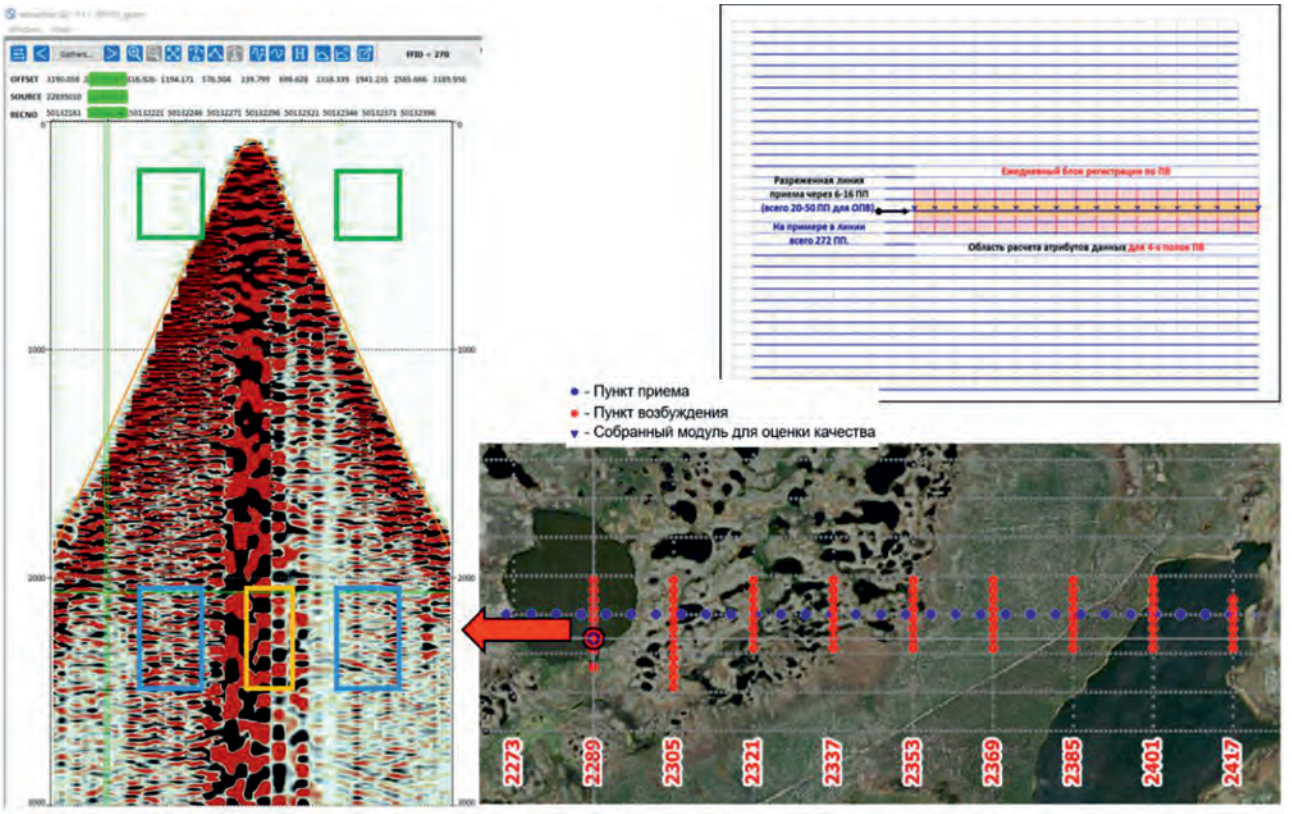
альных компаундных материалов. Выполненная модернизация существенно повысила надежность соединений при длительной эксплуатации в сложных климатических условиях.

При этом опыт сезона показал, что с ростом количества каналов меняются и приоритеты дальнейшего развития технологии. Если на ранних этапах основное внимание уделялось характеристикам регистратора, то при масштабировании системы до 15 тысяч каналов все большее значение начинает приобретать эксплуатационная инфраструктура. Транспортные средства, зарядные станции, системы диагностики, программное обеспечение, сервисное обслуживание и инструменты учета оборудования становятся неотъемлемой частью общей эффективности производственного процесса.

По результатам работ был сформирован перечень направлений дальнейшего совершенствования комплекса. Среди них — повышение надежности элементов зарядной инфраструктуры, развитие сервисных интерфейсов для диагностики оборудования, расширение возможностей работы с глубоко разряженными блоками питания, а также дальнейшая автоматизация процессов контроля технического состояния регистраторов. Фактически речь идет о переходе от отдельного прибора к полноценной технологической экосистеме, обеспечивающей эксплуатацию крупных бескабельных партий.

Еще одним важным направлением развития стала система контроля качества полевого материала. Традиционно оценка качества регистрации при работе с кабельными системами базировалась на тотальном анализе сейсмограмм о и выборочных проверках отдельных элементов расстановки. Однако возможности современных бескабельных систем позволяют реализовать принципиально иной подход.

▼ *Рис. 2. QC с использованием разреженных сейсмограмм ОПВ.*



В производственном сезоне 2026 года контроль качества осуществлялся посредством регулярного формирования разреженных сейсмограмм ОПВ для оперативной оценки качества регистрируемого материала. Вдоль центральной приемной линии проводился сбор каждого пятого блока, по которым формировались сейсмограммы, на которых в традиционных окнах проводился анализ информации.

Но наиболее перспективным решением видится автоматизация атрибутивного анализа данных непосредственно в системе регистрации. Расчет ключевых амплитудных и частотных характеристик будет осуществлен автоматически по заданным временным окнам с последующей передачей результатов в производственную отчетность.

Фактически речь идет о переходе от периодического визуального контроля к непрерывному цифровому мониторингу качества данных. Такой подход позволит быстрее выявлять потенциальные отклонения в работе оборудования и оперативно реагировать на возникающие проблемы. Именно развитие интеллектуальных средств контроля качества сегодня рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений дальнейшего совершенствования технологии ПАК «Геотом».

Ноябрьск 2026: отраслевая демонстрация партии ТСГК.

Отдельным событием сезона стала открытая демонстрация ПАК «Геотом» на базе производственной партии ТСГК, работающей на Крайнем Севере. Возможность увидеть функционирование отечественной бескабельной системы в условиях реального проекта МОГТ-3D привлекла специалистов и руководителей геофизических предприятий, представителей компаний-заказчиков и

▼ *Табл. 1. Эволюция ПАК «Геотом»: выявленные производственные вызовы и реализованные решения по итогам сезонов 2024–2026 гг.*

Производственный вызов	Решение, реализованное в ПАК «Геотом»	Практический эффект
Экстремально низкие температуры	Сменные аккумуляторные блоки повышенной емкости	Повышение автономности и надежности работы
Электростатические воздействия северных районов	Дополнительное экранирование и климатическая защита	Снижение влияния внешних факторов на регистрацию
Разгерметизация соединений	Модернизация разъема КСК	Практически полное устранение отказов данного типа
Рост парка оборудования	Развитие сервисной инфраструктуры	Повышение эксплуатационной готовности системы
Увеличение объемов регистрации	Совершенствование систем управления и мониторинга	Успешное масштабирование до 15 000 каналов
Высокие требования к QC	Автоматизированный атрибутивный контроль качества	Переход к цифровой модели контроля данных



▲ *Рис.3. Участники Отраслевой демонстрации оценивают своими руками кабельное и бескабельное оборудование.*

отраслевых экспертов из различных регионов страны. Интерес к мероприятию показал, что технология уже воспринимается рынком не как экспериментальная разработка, а как одно из перспективных направлений развития российской сейсморазведки. Более подробно результаты демонстрации будут рассмотрены в отдельной статье.

За четыре года эксплуатации специалистами ТСГК был накоплен уникальный опыт сравнения традиционных и бескабельных технологий регистрации.

Полученный опыт показывает, что

▼ *Табл. 2. Кабельная и бескабельная технология: опыт практического сравнения.*

Параметр	Кабельная система	ПАК «Геотом»
Логистика	Высокая сложность	Существенно упрощена
Масштабирование	Ограничено инфраструктурой	Практически линейное
Повреждения оборудования	Кабели и соединения, отключающие большие участки расстановки	Отдельные автономные блоки, что позволяет продолжать работу
Работа в лесу и болотах	Существенные ограничения	Минимальные ограничения
Контроль качества	После регистрации	В процессе регистрации после внедрения атрибутивного анализа
Высокоплотные, нерегулярные системы	Ограничены стоимостью	Реализуются значительно проще
Трудозатраты	Высокие	Ниже за счет снижения веса и упрощения операций

бескабельные технологии сегодня уже нельзя рассматривать как исключительно нишевое решение для отдельных категорий проектов. На протяжении многих лет автономные нодальные системы применялись преимущественно на участках, где использование кабельной инфраструктуры было затруднено или экономически нецелесообразно: в заболоченной местности, горных районах, лесных массивах, на урбанизированных территориях и объектах со сложной производственной инфраструктурой. При этом большинство подобных систем фактически оставались специализированным инструментом для решения отдельных задач и использовались параллельно с традиционными кабельными технологиями.

Во многом это было связано с ограниченными возможностями оперативного контроля качества и управления расстановкой. Так называемые «слепые» нодальные системы предполагают регистрацию данных с последующим считыванием информации после завершения работ, что существенно ограничивает возможности производственного контроля непосредственно в процессе наблюдений.

Опыт эксплуатации ПАК «Геотом» демонстрирует иной подход. Благодаря наличию радиоканала, средств удаленного мониторинга, контроля состояния оборудования, параметров установки и качества регистрации система фактически обеспечивает функциональность, ранее доступную только в традиционных кабельных комплексах. При этом сохраняются все преимущества бескабельной технологии — высокая мобильность, гибкость организации работ, отсутствие кабельной инфраструктуры и возможность эффективной работы на труднодоступных участках.

В результате ПАК «Геотом» рассматривается уже не как дополнение к существующим технологиям и не как специализированное решение для отдельных условий, а как самостоятельная производственная платформа, способная полностью заменить традиционные кабельные системы регистрации на широком спектре проектов МОГТ-2D и МОГТ-3D.

Геотом 2030: перспективы развития технологии

Результаты производственного сезона 2026 года позволяют говорить о том, что базовая технологическая платформа ПАК «Геотом» успешно сформирована и подтвердила свою работоспособность в условиях реальных проектов МОГТ-3D. Дальнейшее развитие системы будет связано уже не столько с совершенствованием отдельных аппаратных решений, сколько с расширением масштабов применения и развитием цифровой экосистемы полевой сейсморазведки.

Одним из ключевых направлений остается наращивание объемов производства оборудования, что позволит в ближайшие годы обеспечить потребности крупных проектов и сформировать полностью отечественные бескабельные партии с объемами регистрации в десятки тысяч каналов.

Не менее важной задачей является создание единой цифровой среды, объединяющей средства регистрации, контроля качества, управления оборудованием, производственной отчетности и оперативного сопровождения работ. В этой модели регистратор становится частью единой информационной системы, обеспечивающей непрерывный контроль и управление всеми этапами полевого производства.



▲ *Рис. 4. Новый подход к ФИЗам - Философия Инновационной Сейсморазведки.*

Значительный потенциал связан с развитием интеллектуальных методов контроля качества. Уже сегодня реализованы первые элементы автоматизированного анализа полевых данных, однако в дальнейшем ожидается расширение возможностей системы за счет применения алгоритмов интеллектуальной обработки, автоматического выявления аномалий и прогнозирования технических отклонений еще на этапе регистрации.

Отдельным направлением развития станет интеграция ПАК «Геотом» с цифровыми платформами управления производством и концепцией «цифровой сейсмопартии», в рамках которой информация о состоянии оборудования, ходе работ и качестве регистрируемого материала будет доступна в режиме, близком к реальному времени.

Вместе с развитием технологий неизбежно возникает вопрос совершенствования нормативной базы. Многие действующие требования к организации полевых работ и контролю качества формировались в эпоху аналоговой и кабельной сейсморазведки и не в полной мере учитывают возможности современных высокоплотных бескабельных систем. Поэтому одним из важных условий дальнейшего развития отрасли становится переход к новым подходам к контролю качества и приемке полевых материалов, основанным на возможностях современных цифровых технологий регистрации.

Сезон 2026 года стал важной вехой в развитии ПАК «Геотом». Впервые отечественная бескабельная система регистрации была проверена в условиях полномасштабной промышленной эксплуатации на объемах до 15 тысяч каналов. Полученный опыт подтвердил не только эффективность выбранных технических решений, но и правильность направления развития отечественных бескабельных технологий.

Особую ценность представляет то, что выявленные в ходе эксплуатации вопросы становились основой для дальнейшей модернизации оборудования и совер-



▲ *Рис. 5. Производственная база ТСГК на Крайнем Севере — площадка внедрения и промышленной эксплуатации ПАК «Геотом».*

нствования производственных процессов. Такой подход обеспечивает постоянное развитие системы на основе реального полевого опыта.

На протяжении многих десятилетий ФИЗ в сейсморазведке означала прежде всего физические измерения — регистрацию и анализ волнового поля. Однако современные технологии постепенно формируют новое содержание этого понятия. Сегодня ФИЗ можно рассматривать и как Философию инновационной сейсморазведки, в основе которой лежат высокоплотные системы наблюдений, цифровой контроль качества, интеллектуальная обработка информации и интеграция всех элементов полевого производства в единую технологическую среду.

В этом контексте ПАК «Геотом» является не просто новой системой регистрации, а одним из элементов новой парадигмы российской сейсморазведки, в которой ключевую роль начинают играть данные, цифровые технологии и эффективность управления производственными процессами.

Литература

1. Гурьев С.В., Камалтдинов Р.Р. Российские технологии в стратегии ГРР // Приборы и системы разведочной геофизики. 2026. № 1 С.8-13.

2. Камалтдинов Р.Р. Опыт внедрения отечественной бескабельной системы ПАК «Геотом» на проектах МОГТ-3D // Материалы Технического форума ПАО «Газпром нефть». Санкт-Петербург, 2026.

3. Руководство пользователя программно-аппаратного комплекса «Геотом». Версия 2025. ООО «Сейстех».

4. Летняя практика студентов-геофизиков с использованием ПАК «Геотом» // Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. 2025.

5. Прослушать землю: большой обзор оборудования для современной российской сейсморазведки // ИнфоТЭК. 2025.

6. Гурьев С.В., Савин А.Н., Капустин Д.А. Бескабельная сейсморегистрирующая система GEOTOM — универсальная, современная, импортоопережающая технология // Приборы и системы разведочной геофизики. 2022. № 2. С. 54–61.

7. Абдулвалиев М.Т., и др. Повышение информативности и достоверности наземной сейсморазведки с нодальными бескабельными системами // Геофизика. 2020. № 6. С. 40–49.

8. Первая отечественная нодальная система «Открытие» и перспективы развития бескабельной регистрации // Приборы и системы разведочной геофизики. 2020. № 3. С. 24–31.

Подробнее об авторах



Камалтдинов
Рустам Робертович

Генеральный директор, Тюменская Сервисная Геофизическая Компания



Митрофанов
Денис Юрьевич

Начальник геофизического отдела, Тюменская Сервисная Геофизическая Компания

Отраслевая демонстрация: ТСГК с партнерами формируют новый стандарт российской сейсморазведки

Редакционный репортаж

В марте 2026 года на базе партии ТСГК российская геофизическая отрасль получила новый формат открытого профессионального взаимодействия —возможность увидеть в реальных производственных условиях современный отечественный сейсморазведочный комплекс, объединяющий передовые технологии, цифровизацию, высокий уровень безопасности и новую производственную культуру. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» принял участие в данном мероприятии в качестве информационного партнера.

Российская геофизическая отрасль сегодня переживает один из наиболее важных этапов своего развития за последние десятилетия. Если еще несколько лет назад ключевой задачей считалось импортозамещение отдельных видов оборудования, то сегодня становится очевидно: отрасль движется значительно дальше. Речь уже идет о создании полноценного отечественного технологического комплекса — от систем регистрации и источников возбуждения до организации современной цифровой сейсморазведочной партии.

При этом особенно важно, что меняется не только сама техника. Меняется культура взаимодействия внутри отрасли. Компании начинают открыто демонстрировать технологии, делиться производственным опытом и выстраивать профессиональный диалог не в формате закрытых презентаций, а непосредственно на действующих производственных объектах.

Именно такой подход был продемонстрирован в марте 2026 года на базе партии ТСГК на Новогодней площади в районе Ноябрьска, где прошла масштабная полевая отраслевая демонстрация современного российского сейсморазведочного комплекса.

Новый формат коммуникации с отраслью

Для российской геофизики подобный формат мероприятий пока остается уникальным.

Участникам отраслевой демонстрации не просто показали оборудование на стендах или презентациях. Представители нефтегазовых компаний, научных организаций и сервисных предприятий получили возможность увидеть полный производственный цикл современной сейсморазведки непосредственно в работе — в реальных полевых условиях действующего проекта. Фактически компания ТСГК открыла отрасли собственную производственную площадку, продемонстрировав:

- организацию современной сейсморазведочной партии;
- цифровое сопровождение производственных процессов;
- применение отечественных технологий регистрации;
- бурение и зарядку скважин;
- работу импульсных источников возбуждения;
- процессы расстановки, регистрации и сбора оборудования;
- решения в области промышленной безопасности и цифрового контроля.



▲ *Рис. 1. Отраслевую демонстрацию открывает доклад Генерального директора ТСГК Камалтдинова Р. Р.*

Сейсморазведочная партия ТСГК, как современный отраслевой стандарт

Сегодня партия ТСГК фактически становится одним из ориентиров современной организации сейсморазведочных работ в России. И дело здесь не только в объемах выполняемых работ или уровне технического оснащения. Компания демонстрирует комплексный подход к организации полевой сейсморазведки, который все больше воспринимается отраслью как модель современного производственного стандарта.

Прежде всего, речь идет о принципиально ином уровне организации полевой инфраструктуры. Современная сейсморазведка — это уже не просто мобильная производственная база, а сложный технологический комплекс, в котором одновременно должны решаться задачи логистики, безопасности, цифрового контроля, производственной эффективности и обеспечения комфортных условий работы и проживания персонала. ТСГК демонстрирует, что несмотря на удаленность и условия Крайнего Севера можно выстраивать производственную среду высокого уровня.

Качественные бытовые условия, организованная инфраструктура, медицинское сопровождение, питание, зоны отдыха, стабильная связь и цифровые сервисы — это уже не дополнительная опция, а необходимое условие устойчивой работы современных высокотехнологичных партий. В условиях кадрового дефицита именно такие подходы начинают определять конкурентоспособность компаний, привлекая лучших специалистов отрасли.

Вторым важнейшим элементом является культура безопасного производства. На современных проектах ТСГК промышленная безопасность перестает быть формальной системой контроля и становится частью ежедневной производственной среды. Это выражается как в организации процессов, так и в цифровом сопровождении работ, системе допуска, контроле техники, медицинском мониторинге и общей дисциплине производственного цикла. Программа отраслевой демонстрации, как и любое мероприятие в партии, как и просто любой день работы, начиналась именно с инструктажа по технике безопасности и медицинского осмотра участников.

Еще одной важной особенностью ТСГК становится открытость к новым технологиям и готовность внедрять их непосредственно на действующих производственных проектах. Для российской геофизики это крайне важный момент. Многие перспективные разработки годами остаются на уровне опытных образцов именно потому, что отрасли не хватает площадок, готовых к полноценным производственным испытаниям.

Особое значение мероприятия определялось тем, что на площадке были представлены прежде всего российские технологические решения полного цикла.

Компании холдинга «Геосервис 360» — «Геосейс», ТСГК, «Сейстех» и «Курга-

навторемонт» — совместно с ПАО «Газпром нефть» формируют новый подход к развитию отечественной сейсморазведки.

ТСГК фактически берет на себя роль производственного полигона для новаций и разработок. Именно поэтому на базе партии демонстрировались:

- российская телеметрическая бескабельная система регистрации ПАК «Геотом»;
- буровые установки производства АО «Курганавторемонт» в работе;
- импульсные источники возбуждения;
- цифровые решения «Фут-принт»;
- современные подходы к организации сейсморазведочной партии.

При этом компания не просто демонстрирует оборудование, а показывает его работу в реальном производственном цикле — с бурением, зарядкой скважин, расстановкой оборудования, регистрацией сигнала и цифровым контролем процессов. Именно такой подход позволяет отрасли объективно оценивать эффективность новых решений.

Важную роль играет и способность ТСГК интегрировать различные технологические направления в рамках единого проекта. Современная сейсморазведка становится все более комплексной: системы регистрации, источники возбуждения, цифровые платформы, геодезия, контроль качества, безопасность и логистика должны работать как единая система. И именно эта интеграция сегодня становится одним из главных критериев зрелости производственной компании.

Фактически сегодня ТСГК демонстрирует отрасли не отдельную технологию, а новую модель сейсморазведочной партии — высокотехнологичной, безопасной, цифровой, открытой к инновациям и ориентированной на внедрение отечественных решений полного цикла.

ПАК «Геотом» и переход к высокоплотной сейсморазведке

Важным элементом демонстрации стала российская автономная бескабельная система регистрации ПАК «Геотом», разработанная компанией «Сейстех».

Особое внимание участников вызвал масштаб применения технологии. В рамках проекта было задействовано до 15 000 каналов регистрации — первый пример использования такого объема каналов на 3D-проекте в российской отрасли.

Высокоплотные системы наблюдений становятся одним из ключевых мировых трендов, поскольку позволяют:

- повысить детализацию геологической модели;
- улучшить качество данных в сложных условиях;
- повысить устойчивость обработки;
- эффективнее работать с трудноизвлекаемыми запасами;
- получать более качественные результаты при сложном строении среды.

Импульсные технологии и новые подходы к источникам возбуждения

Отдельное внимание на демонстрации было уделено импульсным технологиям возбуждения.

Участникам были представлены различные модификации источников «Геотон» и ЭМИ, в том числе и новые разработки, которым еще предстоит пройти производственное внедрение.

Интерес к подобным решениям в отрасли сегодня растет. Импульсные источники позволяют расширять возможности проведения работ в сложных условиях, повышать производительность



▲ *Рис. 2. Малогабаритные импульсные источники «Геотон-70» повышенной мощности.*

и обеспечивать более гибкую организацию полевых проектов.

Показательно, что демонстрация проводилась не отдельно от основного производственного процесса, а как часть комплексной современной сейсморазведочной технологии.

Цифровая платформа «Фут-принт»

Отдельное внимание в ходе демонстрации было уделено цифровым решениям компании Тюмень Гео Технология (ТГТ). Платформа «Фут-принт» демонстрирует современные подходы к управлению полевыми работами, объединяя контроль производственных процессов, мониторинг техники и персонала, а также инструменты повышения промышленной безопасности.

Подобные решения становятся важной частью современной цифровой сейсморазведочной партии, обеспечивая прозрачность управления и снижение производственных рисков.

Линейка буровых станков и инструмента «Курганавторемонт»

В рамках мероприятия была представлена и линейка буровых станков компании «Курганавторемонт», предназначенных для работы в различных геологических и климатических условиях. Демонстрация техники в реальном производственном цикле позволила показать возможности современных российских буровых решений, ориентированных на надежность, мобильность и эффективную интеграцию в комплексные сейсморазведочные проекты.

Все флаги в гости к нам

Показательно, что площадка ТСГК стала точкой притяжения для ведущих компаний отрасли.

Интерес со стороны недропользователей, научных организаций, разработчиков оборудования и сервисных компаний

▼ *Рис. 3. Линейка бурового оборудования АО «Курганавторемонт» дает возможность выбора оптимального решения.*



показывает, что профессиональное сообщество воспринимает проекты ТСГК не просто как отдельные производственные объекты, а как пример того, каким может быть современный российский подход к организации геофизических работ.

В демонстрации приняли участие представители:

- ООО «Харампурнефтегаз»;
- ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»;
- ПАО «Самаранефтегеофизика»;
- ООО «Лукойл-Инжиниринг»;
- ООО «АнгараНефть»;
- ООО «РН-Ванкор»;
- ПАО «Сургутнефтегаз»;
- ООО «Газпром недра»;
- ООО «Газпромнефть-ГЕО»;
- ПАО «Газпром нефть»;
- АО «Газпромнефть-ННГ»;
- ФГБУ «ВНИГНИ»;
- ФАУ «ЗапСибНИИГГ»;
- Санкт-Петербургского горного университета и других организаций.

Фактически на площадке собрались представители практически всех ключевых направлений российской геофизики — недропользователи, сервисные компании, научные институты, разработчики оборудования и отраслевые эксперты.

Это показывает, насколько высок сегодня запрос отрасли на реальные российские технологии, готовые к промышленному применению.

Сделано в России — уже не концепция, а практика

Главный итог демонстрации заключается в том, что российская геофизика выходит на новый этап развития — этап формирования собственной технологической и производственной среды. Сегодня речь идет уже не об отдельных элементах импортозамещения, а о создании полноценного отечественного сейсморазведочного комплекса, включающего системы регистрации, источники возбуждения, цифровые решения,

Участники Отраслевой демонстрации партии ТСГК, март 2026 г.



современную инфраструктуру полевых партий и новые стандарты организации работ.

Открытость к профессиональному диалогу, готовность демонстрировать решения в реальных условиях, интеграция новых разработок непосредственно в действующие проекты становятся важной частью развития современной российской геофизики.

Проекты ТСГК, «Геосейс Холдинга» и их партнеров сегодня показывают, что отечественные компании способны не только создавать современные технологические решения, но и формировать вокруг них полноценную производственную экосистему. Именно такой подход во многом определяет будущее российской сейсморазведки — технологичной, масштабируемой и независимой.



Закономерности развития полевого геофизического оборудования с позиции теории решения изобретательских задач

Ягудин И.Р., Гафаров Р.М., Морозов К.М., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

Введение

Любая система, независимо от её природы (технической или естественной), характеризуется способностью к развитию. Вектор развития систем определяется объективными закономерностями. В процессе развития объектов возникают внутренние и внешние противоречия, разрешение которых обусловливает качественный скачок в развитии системы.

ТРИЗ (теория решения изобретательских задач) представляет собой технологию, при которой процесс творчества управляем, а не хаотичен. Данная методология обеспечивает решение задач творческого характера посредством применения специализированных законов, методов, принципов и инструментов.

Основные постулаты ТРИЗ:

• Техника развивается закономерно. При решении задач и развитии систем необходимо использовать законы развития технических систем;

• Любую изобретательскую задачу можно классифицировать и в соответствии с её видом, выбрать соответствующий способ решения;

• Для решения сложных изобретательских задач необходимо выявить и разрешить противоречие, находящееся в глубине задачи.

Перед анализом дадим функциональное определение рассматриваемой системы. Полевое геофизическое оборудование — это измерительное оборудование, регистрирующее упругую волну путем преобразования колебания земной поверхности в цифровой сигнал с помощью геофона. Оно состоит из сейсмической станции, телеметрического оборудования, источников энергии и геофонов.

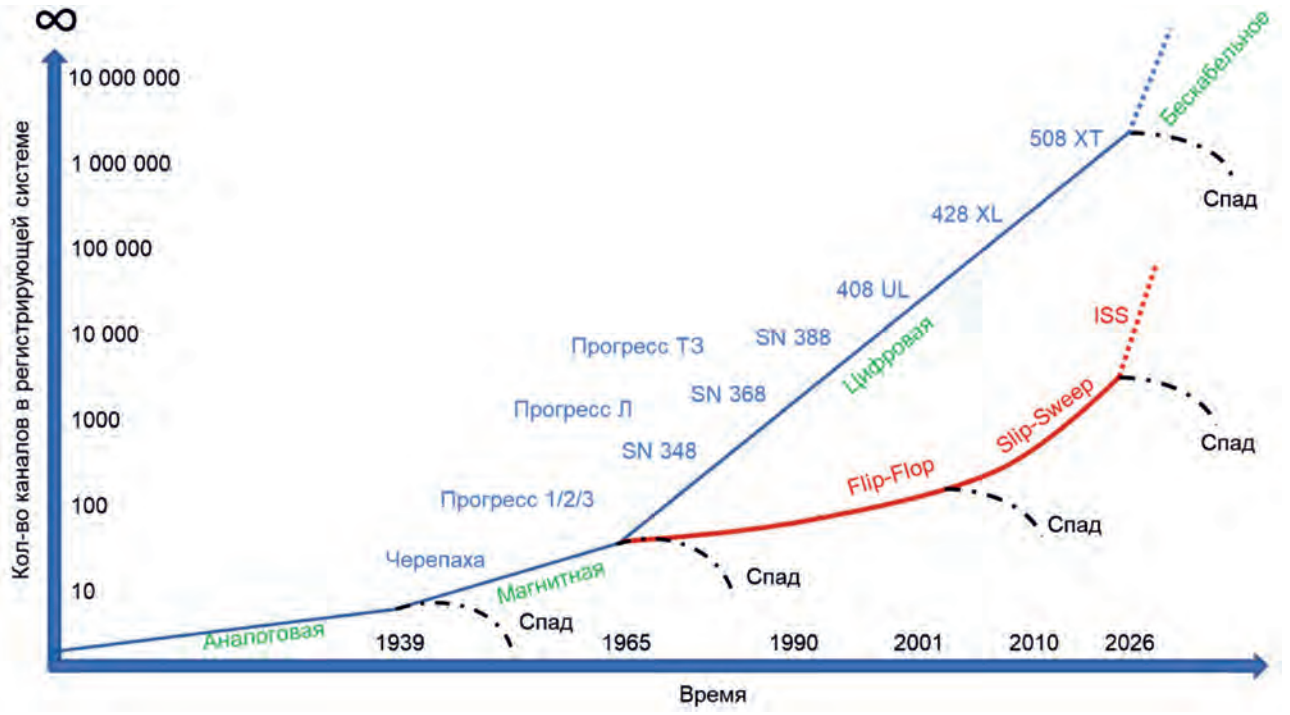
Закон S-образного развития системы

Любая функциональная система подчиняется всеобщим законам развития:

1. закон S-образного развития;
2. закон диалектики.

Рассмотрим динамику развития исследуемой функциональной системы в рамках S-образной модели эволюции. Согласно данной модели, жизненный цикл любой технической системы описывается логистической кривой и включает последовательные фазы: инициации («Зарождение»), роста («Выход на рынок»), зрелости («Насыщение / незначительные доработки») и деградации («Спад»).

В фазе деградации система, как правило, утрачивает конкурентоспособность и прекращает своё существование в прежнем виде, если не происходит революционного бифуркационного перехода, обусловленного разрешением системных противоречий и устранением ключевых ограничений. На рисунке 1 представлена S-образная кривая эволюции полевого геофизического регистрирующего оборудования, где по оси ординат отложен функциональный параметр — количество каналов регистрирующей системы, а по оси абсцисс — временной параметр. Каждый эволюционный этап системы соответствует доминирующей технологической парадигме её реализации. В ретроспективе выделяются три технологических этапа: аналоговые кабельные



▲ *Рис. 1. Закон S-образного развития полевого геофизического оборудования. Надписи **синим** цветом показывают названия регистрирующих систем. **Черным** цветом показано альтернативное развитие функциональной системы при отсутствии технологического прорыва. **Красным** цветом отображена производительность вибросейсмических методик*

системы, «магнитные регистраторы» и цифровые регистрирующие системы. Переход между технологическими этапами сопровождается революционным скачком, обеспечивающим кратное увеличение числа каналов регистрирующего оборудования. При отсутствии своевременного технологического перехода неизбежна стагнация системного параметра. В настоящее время следующим этапом развития регистрирующих систем представляется переход к бескабельному оборудованию. Данный шаг принципиально устраняет кабельное ограничение как системообразующее противоречие и открывает возможность масштабирования полевых регистрирующих комплексов до практически неограниченного числа каналов, обеспечивая качественно новый уровень пространственной плотности наблюдений.

Динамика развития вибросейсмических методов (в условном масштабе) показаны на рисунке 1. График показывает наличие кратного роста производительности при переходе от одной методики Flip-Flop к методике Slip-Sweep. Следующим этапом развития производственных вибросейсмических методик является ISS (Independent Simultaneous Sweeping), которая позволит кратно увеличить производительность в сравнении с методикой Slip-Sweep.

Основным ограничителем производительности данной методики будет выступать количество использованного регистрирующего оборудования, вследствие чего одновременное использование методик ISS с бескабельным оборудованием даст синергетический эффект роста производительности. Это открывает качественно новый класс сейсморазведочных работ — сверхбольшие съёмки с существенным увеличением пространственной дискретизацией волнового поля.



▲ *Рис. 2. Переход ФС от проводного к беспроводному геофизическому оборудованию.*

Системный оператор

Любую ФС (функциональную систему) можно рассматривать как совокупность подсистем и надсистем, к которым она относится. На развитие ФС может влиять развитие как подсистем, надсистем, так и закономерности развития ФС в прошлом.

Развитие ФС, отражающее смену системных вертикалей в процессе устранения недостатков на системном, подсистемном и надсистемном уровнях, называют системным оператором.

На рисунке 2 показан переход от проводного к беспроводному геофизическому оборудованию. Переход был осуществлен благодаря решению ключевых недостатков проводной системы ФС. На системном уровне были разрешены следующие критические противоречия: конечность канальности проводных регистрирующих систем, а также рост массогабаритных характеристик оборудования при масштабировании канальности вследствие увеличения объёма кабельной инфраструктуры. На надсистемном уровне были преодолены ограничения, связанные с ростом вычислительной сложности систем обработки многоканальных информационных потоков и высокой стоимостью серверной инфраструктуры. Переход системы на качественно новый этап развития стал возможным благодаря достижению критического уровня зрелости подсистемных технологий: спутниковых систем (GPS/GNSS), высокоёмких аккумуляторных элементов, а также развитию микроэлектроники. В рассматриваемом случае наиболее отчётливо проявились законы развития систем «Объединение систем» и «Переход в надсистему», при котором часть функций перешла в надсистему, часть — в подсистему, а часть свернулась. В данном случае «свернулась» проводная часть оборудования, что привело к упрощению системы сбора информации.

Вопрос дальнейшего развития ФС беспроводного оборудования также будет зависеть от того, какие ключевые недостатки на надсистемном, системном и подсистемном уровнях будут устранены с учетом законов развития технических систем. Можно выделить следующие недостатки системы: постобработка



▲ *Рис. 3. Системная вертикаль беспроводного регистратора.*

данных вибросейсмических исследований, необходимость зарядки оборудования и скачивания материалов, резервирование каналов для обеспечения конвейерной производительности, отсутствие контроля качества и т. д.

Системная вертикаль

На рисунке 3 показана системная вертикаль обезличенного беспроводного регистратора. Рассмотрим, на первый взгляд, наименее значимый компонент подсистемы – «Корпус». При наличии большого количества альтернативных систем беспроводных регистраторов с внутренним или внешним геофоном выделяется общий ключевой недостаток - «грибовидная» форма блока регистратора.

На рисунке 4 показаны недостатки формы при транспортировке и переноске оборудования, что приводит к увеличению трудозатрат. Одно лишь изменение формы корпуса блока регистратора способно улучшить систему.

В данном случае применим закон «увеличения степени согласованности», то есть согласование формы с другими взаимодействующими объектами.

▼ *Рис. 4. Недостатки формы при транспортировке и переноске беспроводного оборудования.*



Выводы

Применение методологии ТРИЗ к анализу эволюции ФС обеспечивает возможность определения её текущего положения на S-образной кривой жизненного цикла, а также подтверждения реализованных закономерностей эволюции и прогнозирования закономерностей, подлежащих реализации на последующих этапах развития. Кроме того, данный подход позволяет установить характер и степень влияния смежных технических систем на исследуемую ФС — в части её усиления либо ослабления. Инструментарий системного оператора обеспечивает комплексный анализ взаимодействия исследуемой системы с надсистемой и её подсистемами с учётом ключевых технических и функциональных противоречий.

Технологическое развитие не только сейсмического полевого оборудования, но и сопряжённых критических систем нефтегазовой отрасли определяется необходимостью разрешения системных проблем, преодоление которых является обязательным условием перехода отрасли на качественно новый технологический уровень, соответствующий следующему этапу эволюционного цикла.

Важные даты

15 октября 2026 года исполняется 100 лет со дня рождения Генриха Сауловича Альтшуллера— выдающегося изобретателя и создателя теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).



Генрих Саулович Альтшуллер.

Литература

1. Альтшуллер Г.С. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач. М.: Альпина Паблишер, 2013.

2. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Тверь: АИС, 2006.

3. Кислов А.В. ТРИЗ и алгоритмы мышления. СПб.: КТК «Галактика», 2023.

4. Петров В.М. ТРИЗ: учебник по дисциплине «Алгоритмы решения нестандартных задач». М.: СОЛОН-Пресс, 2025.

5. Череповский А.В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2016.

Сейсмосистема СКАУТ-НТ

Тарасов В.Н., АО «СКБ СП», г. Саратов

Почему гибридная система эффективнее, чем чисто кабельная или чисто бескабельная.

Аннотация: *В основе сейсмосистемы СКАУТ-НТ лежит кабельная телеметрическая архитектура — наиболее функционально насыщенный и технически зрелый класс сейсморазведочного оборудования.*

Именно кабельные системы обеспечивают то, что критически важно в реальных полевых условиях: данные в реальном времени, немедленный контроль качества и развитые механизмы отказоустойчивости. СКАУТ-НТ расширяет эту основу беспроводными модулями — не в ущерб надёжности, а для решения задач там, где кабель физически невозможен.

Независимые полевые испытания АО «Башнефтегеофизика» (2025) подтвердили полную идентичность качества регистрации СКАУТ-НТ и системы Sercel 508 (корреляция трасс 0,9999, сигнал/шум идентично).

Ключевые слова: *сейсморазведка, телеметрическая система, гибридная архитектура, узловая топология, контроль качества в реальном времени, отказоустойчивость, импортозамещение.*

1. Кабельная система как основа

Кабельная телеметрия — это не устаревший подход, а золотой стандарт сейсморазведки для задач, где качество данных и оперативный контроль имеют первостепенное значение. Одноканальный телеметрический модуль МТ, составляющий основу СКАУТ-НТ, реализует ряд технических решений, которые принципиально отличают профессиональную кабельную систему от упрощённых аналогов.

Данные в реальном времени

Кабельные каналы СКАУТ-НТ передают сейсмические данные на центральную станцию непрерывно, со скоростью до 1 Гбит/с по оптоволоконному каналу между концентраторами. Оператор видит сейсмограммы прямо в ходе съёмки: оценивает качество записи, контролирует работу каждого модуля, немедленно реагирует на изменение геологической обстановки. Это исключает ситуацию, когда проблема обнаруживается только после завершения всего проекта.

Запись при обрыве межлинейных соединений

Классическая уязвимость кабельных систем — обрыв линии. В большинстве систем это означает потерю данных со всего участка ниже по цепочке. В СКАУТ-НТ эта проблема решена на архитектурном уровне: блок концентратора линии (БКЛ) оснащён встроенной памятью 64 Гб и автоматически переключается в режим автономной записи при потере связи с центральной станцией. Данные сохраняются локально и передаются на станцию после восстановления соединения — без потерь и без необходимости повторной стрельбы.

Перенаправление данных при обрыве магистрали

Узловая архитектура системы позволяет данным находить обходные пути в случае разрыва межблочных и межлинейных соединений. Если один из участков кабельной магистрали вышел из строя, система автоматически перестраивает маршруты передачи данных через доступные каналы — в том числе через

беспроводные модули. Съёмка продолжается без остановки.

«Традиционная кабельная система останавливается при обрыве линии. СКАУТ-НТ находит обходной маршрут — архитектурно, не вручную.»

Синхронизация и контроль качества

Синхронизация всех кабельных модулей осуществляется через GPS/GLONASS приёмники, встроенные в концентраторы линий. Система ведёт непрерывный мониторинг состояния каждого модуля: напряжение батареи, уровень шума, КНИ, смещение нуля, состояние датчика. Любое отклонение от нормы фиксируется немедленно — оператор знает о проблеме раньше, чем она повлияет на качество данных.

2. Беспроводные модули: расширение, не замена

Беспроводные ноды появились как ответ на логистические ограничения кабельных систем — и они действительно решают конкретные задачи. Однако рынок нередко преподносит ноды как универсальную замену кабелю, замалчивая принципиальный изъян: отсутствие данных в реальном времени.

Что ноды делают хорошо

— Обходят физические препятствия — реки, болота, ЖД, газопроводы — без остановки съёмки.

— Разворачиваются лёгкой техникой: квадроциклы, снегоходы, вертолёт.

— Минимизируют вырубку просек и антропогенную нагрузку на экосистему.

— Работают автономно до 45 суток при круглосуточной записи в условиях отрицательных температур.

Что ноды не могут заменить

Ноды записывают данные в собственную память. Чтобы получить сейсмограммы, необходимо физически забрать ноды и скачать данные — нередко через сутки и более после съёмки. Это означает:

— Контроль качества возможен только постфактум. Если нода вышла из строя, была смещена или записала некачественные данные — вы узнаёте об этом слишком поздно.

— Оператор лишён возможности реагировать на изменения в ходе съёмки.

— Для задач со сложным геологическим строением, высокой стоимостью скважин или жёсткими временными ограничениями ноды не являются полноценной заменой кабельной системе.

Ключевой вопрос

Когда вы хотите узнать, что съёмка прошла успешно — прямо сейчас, в поле, или на следующий день в офисе после скачивания данных с бескабельных блоков?

3. Архитектура СКАУТ-НТ

СКАУТ-НТ строится вокруг кабельной телеметрической магистрали. Беспроводные модули подключаются к той же инфраструктуре — концентраторам линий — и работают под управлением той же станции и ПО. Это не параллельные системы, а единая архитектура с тремя типами полевых модулей.

Кабельные каналы (МТ) — основа системы

Лёгкий одноканальный модуль весом 250 г с 24-битным АЦП и разъёмом КСК-2М. Потребление всего 0,16 Вт. Модули объединяются в кабельные секции по 4 штуки с разъёмами FM-4, шаг между

каналами 55 м или менее. Обеспечивают непрерывную передачу данных в реальном времени и полный мониторинг состояния каждого канала.



МТ — модуль телеметрический.

Ноды БАР (с внешним геофоном)

Развёртываются там, где кабель физически невозможен или нецелесообразен: болота, реки, лесные участки, промышленные объекты. Встроенная память до 32 Гб, GPS/GLONASS синхронизация. Возможна передача данных в реальном времени с ограниченного количества БАР.



БАР — блок автономной регистрации с внешним геофоном.

Ноды БАР-1С (со встроенным геофоном).

Компактное решение для быстрого развёртывания: геофон уже интегрирован в корпус, блок просто устанавливается на грунт. Автономность до 45 суток при круглосуточной работе в условиях отрицательных температур. Идеально для протяжённых профилей в сложном рельефе.



БАР-1С — блок автономной регистрации со встроенным геофоном.

БКЛ — интеллектуальный центр системы

БКЛ управляет одновременно кабельными и беспроводными линиями, обеспечивает синхронизацию всех модулей по GPS/GLONASS, пропускает до 10 000 каналов в реальном времени на одну магистраль, передаёт данные по оптоволокну (1 Гбит/с). При обрыве — автоматическая локальная запись (64 Гб), при разрыве магистрали — перестройка маршрутов.



БКЛ — блок концентратора линии

4. Практические преимущества

Надёжность, которая не останавливает съёмку

Два механизма отказоустойчивости работают одновременно. При обрыве межлинейного соединения концентратор фиксирует данные в локальную память. При разрыве магистрали система перенаправляет потоки через альтернативные маршруты, включая беспроводные каналы. В обоих случаях — никаких остановок, никаких потерянных возбуждений.

Контроль качества в поле

Оператор видит сейсмограммы в реальном времени и может немедленно скорректировать источник, заменить неисправный модуль, изменить параметры записи — ещё в ходе съёмки, а не после её завершения.

Обход любых препятствий

Железная дорога, газопровод, автотрасса, болото, озеро — всё это перекрывается нодами без остановки профиля. Никаких простоев, никаких дополнительных разрешений на пересечение объектов.

Лёгкая логистика

Кабельный модуль МТ весит 250 г. Ноды транспортируются на квадроциклах, снегоходах или вертолётом без вырубки просек. Все каналы в реальном времени, полный контроль качества, полная отказоустойчивость — при минимальной логистической нагрузке.

Экстремальные условия

Все модули системы: −40 °C до +70 °C. Беспроводные ноды — автономность до 45 суток. Система полностью адаптирована к климату России — от Крайнего Севера до жарких засушливых зон.

5. Полевые испытания: независимая верификация

В 2025 году АО «Башнефтегеофизика» провело опытные работы по сравнительному тестированию СКАУТ-НТ и Sercel 508 на полигоне УСП-11. Системы работали параллельно на одной расстановке — 5

▼ *Табл. 1. Сравнительные характеристики систем сбора сейсмических данных.*

Критерий	Только кабель	Только ноды	СКАУТ-НТ (гибрид)
Данные в реальном времени	✓Да — основа	✗Нет	**✓Да (кабельные каналы)**
Запись при обрыве межлинейного соединения	✓В концентратор (64 Гб)	✓В память ноды	**✓В концентратор (64 Гб)**
Перенаправление при обрыве магистрали	✓Автоматически	— (нет магистрали)	**✓Автоматически**
Обход препятствий (ЖД, болота)	✗Нет	✓Да	**✓Да (беспроводные модули)**
Мониторинг качества в поле	✓Да, каждый канал	✗После съёмки	**✓Да, каждый канал**
Гибкость конфигурации	Средняя	Средняя	**✓Максимальная**
Транспортировка лёгкой техникой	✗Нет	✓Да	**✓Да**
До 100 000 каналов в реальном времени	Ограничено	✗Нет	**✓До 100 000**
Производство в России	Частично	Частично	**✓Полностью**
Гарантия	—	—	**✓5 лет**

линий приёмных пунктов, шаг 100 м, шаг ПП 25 м, источник возбуждения — виброисточник БАТЫР (2 единицы). Параметры регистрации: длина записи 6 с, шаг дискретизации 1 мс, свип-сигнал 24 с / 4–90 Гц, 2 накопления. Отработано 60 ПВ методом flip-flop.

Идентичность аппаратного тракта

Кабельное оборудование СКАУТ-НТ и Sercel признано идентичным как визуально, так и функционально. Для прямого сравнения АЦП были изготовлены пауки с двойным КСК-выходом, одновременно подключёнными к обеим станциям. Среднее расхождение во времени первых вступлений составило 0,00186 мс (1,86 мкс) — на уровне погрешности измерений. Корреляция трасс при параллельной записи: 0,9999.

Идентичность частотных и амплитудных характеристик

Спектры виброграмм и АЧХ записей полностью совпадают по форме, что свидетельствует об идентичной полосе пропускания и фазовых характеристиках трактов. Доминантная частота: Sercel 508 — 20,7 Гц, СКАУТ-НТ — 20,6 Гц — разница в пределах погрешности. Числовые значения инструментальных тестов (шум, КНИ, ПСС, отклонение фазы) у обеих систем сопоставимы и укладываются в нормативные пределы.

Отношение сигнал/шум

Ключевой интегральный показатель качества записи — отношение сигнал/шум — у обеих станций составило 3,9 и признано практически идентичным. Испытания показали: более высокое абсолютное усиление в системе Sercel 508 не даёт ей никакого преимущества, поскольку пропорционально усиливаются и шумы. Реальная информативность данных у обеих систем одинакова.

Технология slip-sweep и скорость передачи

Успешно опробована технология slip-sweep — одновременное формирование до 5 виброграмм с перекрывающимися источниками. Тест прошёл штатно. Скорость передачи данных обеспечивает работу в режиме интенсивной съёмки без накопления очереди записи.

Программное обеспечение и интерфейс

ПО Скаут-Станция получило высокую оценку: русскоязычный интерфейс, интуитивный процесс настройки и запуска записи, встроенный сейсмомонитор для контроля расстановки в реальном времени, инструменты просмотра сейсмограмм непосредственно в ходе съёмки. Система устанавливается на стандартную ОС Windows и не требует специальной инфраструктуры.

6. Для каких задач это особенно важно

— Сложное геологическое строение, где оперативный контроль качества в поле критичен — переделка обходится дороже, чем правильная система.

— Проекты с высокой стоимостью ошибки: каждое возбуждение должно быть зафиксировано корректно, без права на ошибку.

— Районы с чередованием открытых и труднодоступных участков: лес, болото, водоёмы, промышленные объекты на одном профиле.

— Работа вблизи линейных объектов — ЖД, трубопроводы, автодороги — где прокладка кабеля ограничена или невозможна.

— Труднодоступные районы, где тяжёлая техника не применяется, но требования к качеству данных не снижаются.

— Проекты с жёсткими временными ограничениями: сезонное окно, лёд, паводок — когда нет возможности повторить съёмку.

— Крупные 3D/4D проекты, где одновременно требуются широкий охват, надёжность и контроль качества.

7. Технические характеристики

— МТ: 24-бит АЦП, 250 г, 0,16 Вт, −40…+70 °C, шаг 55 м и менее.

— БКЛ: 10 000 каналов на порт, 1 Гбит/с, память 64 Гб, GPS/GLONASS, Wi-Fi, 4 кг.

— БАР: 32-бит АЦП, память до 32 Гб, 2,25 кг с батареями, −40…+70 °C.

— БАР-1С: встроенный геофон 5 или 10 Гц, до 45 суток автономности, 1,3 кг.

— Максимальная конфигурация: 100 000 каналов в RT.

— Форматы: SEG-D, SEG-Y. Источники: взрывные, вибрационные, импульсные.

8. Выводы

Анализ функциональных характеристик и результаты независимых полевых испытаний АО «Башнефтегеофизика» (2025) совокупно подтверждают: гибридная архитектура СКАУТ-НТ обеспечивает качество регистрации, полностью идентичное мировому эталону — системам Sercel. Корреляция трасс при параллельной записи: 0,9999. Расхождение по АЦП: 1,86 мкс. Отношение сигнал/шум у обеих станций совпадает до третьей значащей цифры.

Кабельная основа системы обеспечивает передачу данных в реальном времени, непрерывный мониторинг каждого канала и двухуровневую отказоустойчивость при обрывах линий — механизмы, недоступные в чисто беспроводных системах. Беспроводные модули снимают единственное ограничение кабельной архитектуры — невозможность обхода физических препятствий на профиле. СКАУТ-НТ является единственным решением данного класса отечественного производства с поддержкой до 100 000 каналов в режиме реального времени, адаптацией к диапазону −40…+70 °C и гарантийным сроком 5 лет.

Независимое заключение АО «Башнефтегеофизика» (полигон УСП-11, 2025)

«Кабельное оборудование SCOUT и Sercel идентично как визуально, так и функционально. Обе станции обладают идентичными характеристиками тракта записи и производят тождественные данные полезного сигнала. Отношение S/N практически идентично, что подтверждает одинаковую эффективность для регистрации сигнала.»

Подробнее об авторе



Тарасов
Владимир Николаевич

Руководитель отдела,
автор и соавтор нескольких публикаций и докладов по направлению геофизическое приборостроение,
АО «СКБ СП».

Современные решения АО «Курганавторемонт» для буровзрывных работ в геологоразведке

СДЕЛАНО В РОССИИ

Современная российская сейсморазведка выдвигает повышенные требования к используемой технике. Оборудование должно отличаться высокой производительностью и проходимостью, стабильно функционировать в сложных природных условиях (включая зоны вечной мерзлоты и заболоченные территории), а также минимизировать нагрузку на персонал. В условиях сокращения объёмов работ и позднего выхода на объект особую значимость приобретает универсальность техники.

АО «Курганавторемонт» — одно из российских предприятий, которое на протяжении многих лет специализируется на разработке и производстве бурового оборудования для сейсморазведки. В ассортимент выпускаемой продукции входят буровые установки, буровой инструмент и специализированные снегоболотоходы, предназначенные для геофизических работ. Компания выстраивает процесс совершенствования техники в тесном взаимодействии с производственными геофизическими предприятиями.



Развитие буровых технологий для Западной Сибири

Наземная сейсморазведка в Западной Сибири сопряжена с рядом существенных сложностей, обусловленных специфическими условиями работы буровзрывных партий. Регион отличается наличием мёрзлого торфа, переувлажнённых грунтов, заболоченных территорий и напорных плывунов, а также значительными сезонными колебаниями состояния поверхности. Ситуация усугубляется ростом плотности систем наблюдений, увеличением массы зарядов и необходимостью постоянного повышения производительности полевых работ.

В этих условиях современная буровая техника должна отвечать комплексу

требований: обеспечивать высокую проходимость, стабильно работать в мёрзлых грунтах, позволять бурить скважины увеличенного диаметра и глубины, снижать нагрузку на персонал и минимизировать простои оборудования.

С учётом этих задач АО «Курганавторемонт» разработало линейку буровых установок, дифференцированных по условиям эксплуатации и типам проектов.



Буровые установки на снегоболотоходных шасси

УБГМ-1А на базе снегоболотохода КТМ-10В / базовая универсальная установка.



Установка УБГМ-1А на базе снегоболотохода КТМ-10В долгое время выступала основной техникой для буровзрывных работ. Остаётся в эксплуатации и по сей день, хорошо зарекомендовав себя в заболоченных районах и на мягких грунтах.

Её главные плюсы:

- проверенная технология бурения полой шнековой колонной;
- отличная проходимость;
- хорошая производительность с небольшими зарядами;
- простота в обслуживании и ремонте.

Такие установки десятилетиями составляли основу бурового парка в Западной Сибири.

УБГМ-1Л на базе снегоболотохода СВМ-34039 / универсальная установка на легком шасси



Более лёгкое шасси, в отличие от УБГМ-1А на КТМ-10В, даёт возможность раньше начать сезонную работу и успешно работать в заболоченных районах.

УБГМ-1А с системой продувки на базе снегоболотохода КТМ-12В / новая технология шнекового бурения



В последние годы одним из приоритетных направлений развития отрасли стало внедрение бурения с продувкой, для реализации которого была создана версия УБГМ-1А, оснащённая компрессором производительностью до 11 м3/мин.

Ключевые преимущества данной технологии включают:

- повышение скорости проходки;
- эффективный вынос шлама;
- высокая скорость проходки мерзлоты и мерзлого торфа;
- надёжное погружение заряда;
- улучшение качества формирования скважины.

УБГМ-1Т с пневмосистемой погружения заряда на базе снегоболотохода КТМ-11В / тяжелый класс для сложных проектов



Для работы в наиболее сложных и тяжёлых условиях разработана буровая установка УБГМ-1Т, смонтированная на базе снегоболотохода КТМ-11В.

Конструкция установки адаптирована к экстремальным нагрузкам и обеспечивает высокую эффективность в труднодоступных районах.

Ключевые технические особенности:

- высокий крутящий момент;
- увеличенное усилие подачи;
- механизация работы помбура;
- возможность работы с тяжёлой шнековой колонной;
- пневмосистема погружения заряда.

Установка ориентирована прежде всего на выполнение задач в следующих условиях и сценариях:

- районы с вечной мерзлотой;
- бурение глубоких скважин;
- работа с тяжёлыми зарядами;

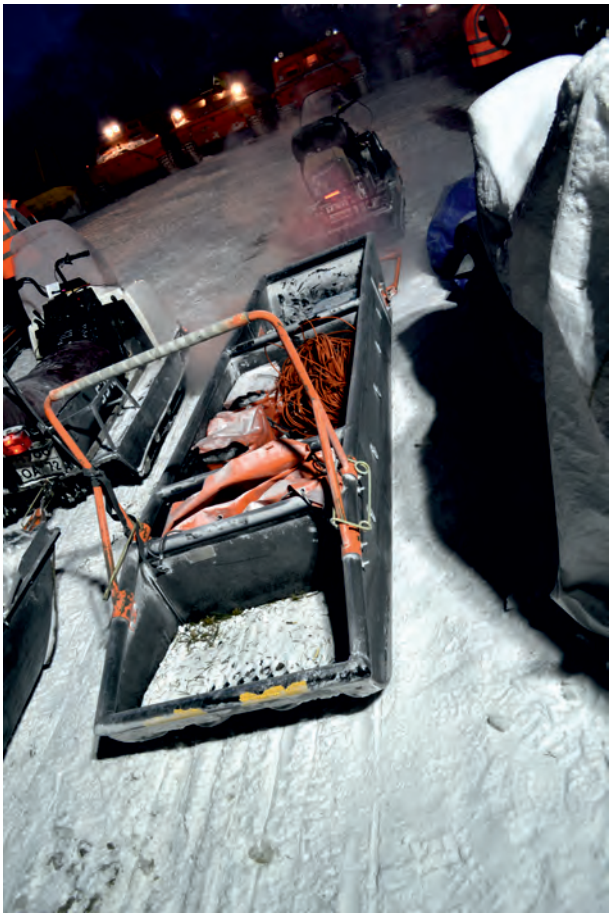
Таким образом, в рамках линейки УБГМ произошло чёткое разделение техники по функциональному назначению:

- лёгкие установки остаются оптимальным решением для массовых буровых работ в заболоченных районах;
- машины среднего класса обеспечивают универсальность и повышенную производительность при стандартных задачах;
- тяжёлые комплексы предназначены для реализации сложных проектов — в условиях вечной мерзлоты, при бурении глубоких скважин и работе с увеличенными зарядами.

Комплексное оснащение сейсмопартий

Комплексное оснащение сейсмопартий от АО «Курганавторемонт» включает не только буровые установки, но и специализированную вспомогательную технику:

- снегоболотоходы для смотки и перевозки геофизического оборудования;
- снегоболотоходы с бульдозерными отвалами;



• мобильные взрывпункты для подвоза и временного хранения взрывчатых материалов (ВМ);

• мобильные мастерские;

• электромагнитные источники сейсмического возбуждения;

• снегоходные сани;

• другую специализированную технику.

Новые полые буровые колонны: шаг к повышению эффективности

В последние сезоны успешно прошли опытное применение новые полые буровые колонны. Развитие этой технологии обусловлено ростом массы используемых зарядов и увеличением диаметров скважин в современных проектах сейсморазведки.

В рамках новых проектов задействуются шнеки моделей 901ДКУ, 902КУ и 752КУ — они представлены в различных вариантах по диаметру и длине. Переход к увеличенным диаметрам скважин позволяет применять более тяжёлые заряды, что существенно расширяет функциональные возможности и диапазон применения бурового оборудования.



Автоматизация и цифровой мониторинг в буровой технике

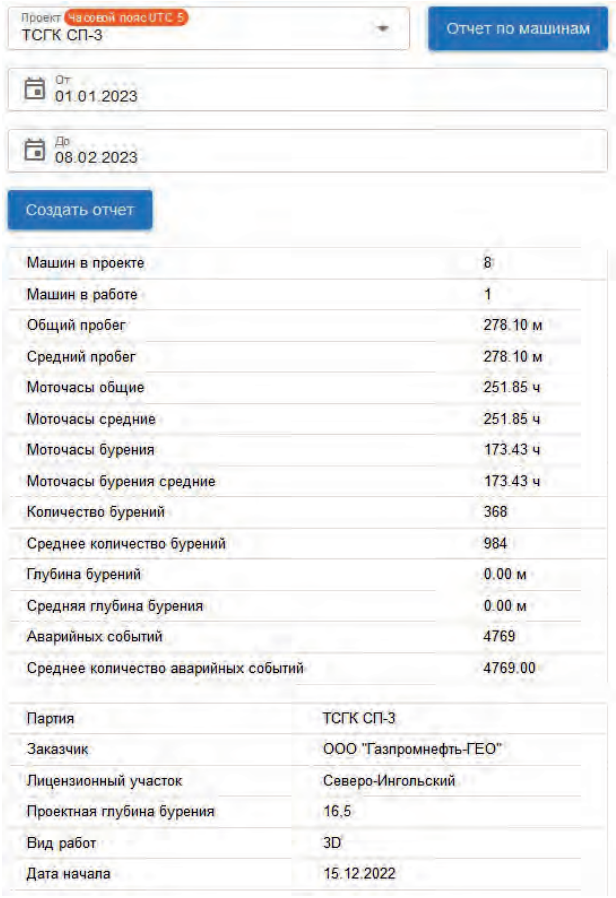
Современное развитие бурового оборудования неразрывно связано с процессами цифровизации. В АО «Курганавторемонт» активно ведутся разработки систем мониторинга и диагностики буровых установок, которые обеспечивают не только контроль технического состояния техники, но и комплексное управление технологическим процессом.

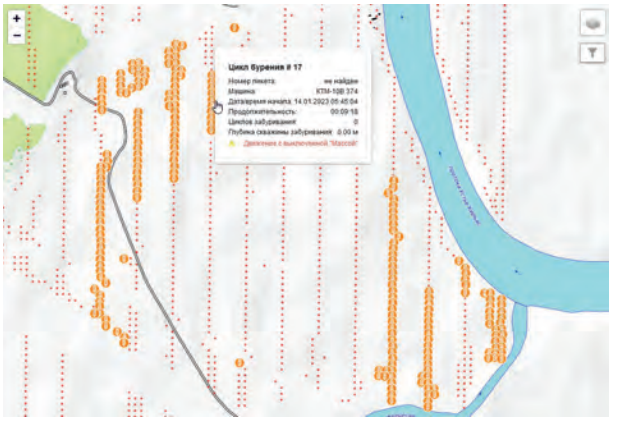
Внедряемые решения позволяют:

• отслеживать ключевые параметры бурения в режиме реального времени;

• контролировать сопротивление заглублению и вращению инструмента;

• регистрировать рабочие режимы;





• вести статистику эксплуатации оборудования;

• мониторить техническое состояние отдельных узлов и агрегатов.

Параллельно осуществляется механизация работы помбура и автоматизация отдельных операций — в том числе внедрение систем работы со штангами и дистанционного управления бурением из кабины оператора.

Эти меры формируют основу для постепенного перехода к интеллектуальным буровым системам, что способствует повышению как производительности, так и уровня безопасности выполнения работ.

«Зеленая» сейсмика и облегченные буровые комплексы



Облегчённые буровые комплексы: снижение воздействия на окружающую среду

Одним из перспективных направлений развития буровой техники стала разработка облегчённых буровых комплексов, минимизирующих воздействие на окружающую среду. В рамках этого подхода создана установка УБГМ-1Л, смонтированная на базе снегоболотохода ШСМ.

Ключевые преимущества данной модели:

• снижение общего веса сейсмопартии;

• уменьшение площади рубки при подготовке площадок;

• сокращение расхода топлива в процессе эксплуатации.

Такие технические решения особенно востребованы в современных проектах сейсморазведки, где критически важны одновременно высокая мобильность оборудования и минимизация экологического воздействия на природную среду.

Заключение



Опыт АО «Курганавторемонт» демонстрирует, что современная российская буровая техника для сейсморазведки эволюционирует в полноценную технологическую платформу, а не остаётся набором отдельных машин.

Ключевые направления развития включают:

• повышение универсальности оборудования;

• внедрение технологии бурения с продувкой;

• механизацию работы помбура;

• возможность работы с тяжёлыми зарядами;

• развёртывание систем цифрового мониторинга;

• автоматизацию буровых процессов.

Важнейшим фактором успеха является тесное сотрудничество производителя с геофизическими предприятиями.

Взаимодействие АО «Курганавторемонт» с сейсморазведочными компаниями позволяет создавать и совершенствовать технические решения непосредственно в условиях реальных полевых работ.

Такой подход — эффективная связка разработчика и производственной партии — становится одним из ключевых драйверов развития современной российской сейсморазведки.

ULS на российских акваториях: опыт АО «Башнефтегеофизика» и новые возможности транзитной сейсморазведки

Махортов П.Р., ООО «Новый ВОСТОКГЕО», г. Тюмень

Современная сейсморазведка всё активнее смещается в сторону сложных объектов — транзитных зон, прибрежных территорий, мелководных акваторий, заболоченных участков и речных систем. Именно здесь сегодня сосредоточены многие перспективные поисковые объекты, однако именно здесь традиционные сухопутные технологии сталкиваются с максимальными ограничениями.

Работа в транзитной зоне требует совершенно иного уровня организации полевых работ, высокой мобильности, устойчивости оборудования к агрессивной среде и возможности быстро развернуть многоканальную систему сбора данных на воде.

Особенно остро вопрос специализированных решений встал в последние годы, когда российский рынок столкнулся с ограничением поставок ряда зарубежных систем для морской и переходной сейсморазведки. На этом фоне особую ценность приобретают технологии, которые уже доказали свою работоспособность на российских проектах и могут обеспечиваться сервисом внутри страны.

Одним из таких решений стала модернизированная система ULS 408 в ULS 428, поставляемая компанией ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» и применяемая в производственных проектах АО «БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА».

Российский проект как главный аргумент

В геофизике всегда важнее всего не рекламные заявления, а практический опыт эксплуатации. Именно поэтому особенно показателен опыт применения системы ULS на акваторных работах АО «Башнефтегеофизика».

Речь идет не о демонстрационных тестах или опытных полигонах, а о полноценном промышленном проекте с развертыванием крупной системы сбора данных на акватории.

Специалистами АО «Башнефтегеофизика» на судне-базе «Мария» была размещена центральная регистрирующая станция Sercel 428XL в конфигурации с оборудованием 428 ULS. Управление системой осуществлялось геофизиками-операторами АО «Башнефтегеофизика» через клиентские рабочие станции, подключенные к серверу управления расстановкой. Сервер, в свою очередь, был интегрирован с модулем LCI 428 и через трансферный кабель связан с забортным оборудованием.

Фактически была реализована полноценная промышленная архитектура морской системы регистрации, обеспе-

▼ *Рис. 1. Размещение рабочей станции на судне.*





чивающая устойчивое управление большой расстановкой в условиях реальной эксплуатации.

Именно этот фактор особенно важен: система ULS доказала способность работать не в лаборатории, а в производственном цикле одной из крупнейших российских геофизических компаний.

Отдельного внимания заслуживает масштаб использованного оборудования.

На лицензионном участке в составе расстановки было задействовано:

Оборудование	Количество
LAUXS-100 ASSEMBLE	32
428 LAULS	182
428ULS FDU2S	3206
ULS кабель линейный 1 TO 55M	3222
Системы питания 3S1P-12V120Ah	200
Trep	70

▲ *Табл. 1.*

Фактически речь идет о многотысячной системе регистрации, работающей в условиях акватории. Для российской практики это показатель не просто технологической состоятельности, а промышленной зрелости решения.

Особое значение имеет то, что система построена на архитектуре Sercel 428XL — платформе, хорошо знакомой российским геофизикам. Это позволяет интегрировать ULS в существующую производственную инфраструктуру без кардинального изменения технологических процессов.

Технология, адаптированная под реальную эксплуатацию

Одной из ключевых проблем транзитной сейсморазведки всегда остается логистика.

Сама регистрация данных — лишь часть задачи. Не менее важно обеспечить:



▲ *Рис. 2.*



Рис. 3.

- раскладку оборудования;
- оперативный сбор линий;
- устойчивое питание;
- работу флота;
- мобильность персонала;
- минимизацию простоев.

Именно поэтому интересен практический опыт АО «Башнефтегеофизики» по организации работ на воде.

Для раскладки и сбора донного оборудования использовались три маломерных плавсредства типа РИБ SB1000RA. Эти лодки обеспечивали:

- раскладку линий приема;
- соединение с базовой линией;
- дежурные операции на акватории.

Конструкция лодок была специально адаптирована под тяжелые условия эксплуатации:

- семь надувных баллонов из ПВХ высокой плотности;
- жесткое алюминиевое днище из сплава АМГ5;
- высокая грузоподъемность;
- устойчивость на мелководье и волне.



▲ *Рис. 4.*

Каждый РИБ обеспечивал работу с 72 каналами. Три лодки, совершая по три рейса в сутки, позволяли выполнять до 648 каналов подмотки и размотки оборудования ежедневно.

Это уже не просто техника — это полноценная технология организации полевого цикла.

Современные системы питания — критически важный элемент

Отдельный интерес представляет организация системы питания.

На участке использовались литий-ионные аккумуляторы 3S1P-12V/120Ah, отличающиеся:

- устойчивостью к низким температурам, глубоким разрядам-перезарядам;
- долговечностью;
- компактностью;
- малым весом.

Для акваторных проектов это имеет принципиальное значение.

Любая избыточная масса оборудования резко усложняет логистику, увеличивает нагрузку на флот и снижает производительность работ. Поэтому переход на современные аккумуляторные системы становится одним из факторов повышения эффективности транзитной сейсморазведки.

Почему именно ULS

Сегодня рынок транзитной сейсморазведки переживает серьезную трансформацию.

С одной стороны — растет потребность в детальных исследованиях сложных переходных зон. С другой — классические морские технологии зачастую оказываются избыточно дорогими или плохо адаптированными под мелководные проекты.

ULS занимает промежуточную, но крайне востребованную нишу:

- между сухопутной и морской сейсморазведкой;
- между классическими кабельными системами и дорогостоящими OBN-комплексами;
- между экспериментальными решениями и промышленной эксплуатацией.

Система позволяет эффективно работать в транзитных зонах глубиной до 50 метров.

При этом она использует хорошо знакомую российским специалистам архитектуру Sercel 428 XL, что существенно снижает порог внедрения технологии.

НОВЫЙ ВОСТОКГЕО как инженерный партнер отрасли

Отдельного внимания заслуживает роль высококвалифицированных специалистов АО «Башнефтегеофизика», которые при постоянном контакте с «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» внесли существенный вклад в технический процесс производства ULS 428.

Сегодня для геофизического рынка уже недостаточно просто поставлять

оборудование. Современные полевые проекты требуют инженерного сопровождения, быстрой адаптации технологий под конкретные условия работ, организации ремонта, логистики и постоянной технической поддержки.

Именно такую модель развивает ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО». Компания формирует себя не как классический торговый поставщик, а как инженерный партнер геофизических предприятий, способный решать сложные технологические задачи в условиях быстро меняющегося рынка.

Ключевая особенность компании — ориентация на практические запросы производственных предприятий. В отрасли хорошо известны примеры, когда под конкретные проекты специалисты ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» подбирали и адаптировали решения, отсутствовавшие в стандартных линейках оборудования. Такой подход особенно важен для транзитной сейсморазведки, где практически каждый проект обладает собственной спецификой:

- глубины;
- характер дна;
- логистика;
- сезонность;
- климатические ограничения;
- особенности флота;
- конфигурация системы наблюдений.

На российском рынке именно способность быстро адаптировать оборудование под реальные условия эксплуатации становится одним из ключевых факторов успешности полевых работ.

Компания располагает складом оборудования и комплектующих в Тюмени, что позволяет обеспечивать оперативную поставку оборудования и запасных частей как для полевых проектов так для работ в акватории, от Sercel 408, 428, 508, RT2, пневматических источников, буровых станков, современных систем питания и других технологических комплексов.

Для проектов в транзитных зонах это имеет критическое значение. Любой простой оборудования на акватории приводит к резкому росту стоимости работ. Поэтому наличие локального сервисного центра и склада запасных частей внутри России становится не просто преимуществом, а необходимым условием стабильной работы.

Особенно важно, что компания активно работает именно в направлении сложных и нестандартных решений. В числе реализованных проектов:

- поставка специализированного оборудования для транзитных зон;
- адаптация буровых систем под горные условия;
- подбор мобильных решений для труднодоступных территорий;
- интеграция разработка модернизация различных типов геофизического оборудования;
- организация поставок оборудования китайских производителей под конкретные технические задания российских компаний.

Такой подход особенно хорошо сочетается с философией систем ULS. Технология сама по себе ориентирована на гибкость и адаптивность — возможность работать в переходных зонах, быстро изменять конфигурацию расстановки, масштабировать систему под различные задачи.

При этом «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» обеспечивает не только поставку оборудования, но и сопровождение всего жизненного цикла проекта:

- подбор конфигурации;
- поставка;
- логистика;
- техническое сопровождение;
- ремонт;



Рис. 5.

• модернизация;

• обеспечение расходными материалами и комплектующими.

Фактически речь идет о выстраивании прямого технологического канала между крупнейшими китайскими производственными площадками и российскими геофизическими компаниями.

Именно это сегодня становится особенно важным для отрасли. Российский рынок нуждается не просто в импортозамещении, а в сохранении доступа к современным мировым технологиям — с возможностью их быстрой адаптации под отечественные производственные задачи.

Опыт проектов АО «Башнефтегеофизика» показывает, что подобная модель уже работает на практике. Система ULS не просто была поставлена — она стала частью полноценного производственного цикла крупного российского проекта на акватории. А значит, речь идет уже не о перспективах, а о реально работающей технологической инфраструктуре транзитной сейсморазведки.

Будущее транзитной сейсморазведки

Работы в переходных зонах будут только расширяться.

Рост интереса к трудноизвлекаемым запасам, шельфовым объектам, речным и прибрежным территориям делает транзитную сейсморазведку важным направлением развития отрасли.

В этих условиях особое значение получают:

• мобильность;

• масштабируемость;

• устойчивость к сложной среде;

• высокая плотность каналов;

• снижение логистических затрат;

• возможность быстрого сервисного сопровождения.

Опыт применения ULS 428 на проектах АО «Башнефтегеофизика» показывает, что подобные решения уже сегодня способны обеспечивать полноценный промышленный цикл работ на российских акваториях.

Именно это становится главным выводом: лучшие мировые технологии уже работают в российской геофизике — тогда, когда они не просто поставляются, а адаптируются под реальные задачи полевых проектов.

Подробнее об авторе



Махортов
Павел Романович

Генеральный директор,
ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»

Новая эра российской электроразведки: от импортозамещения к собственной высокотехнологической среде

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

Введение

В последние годы российская геофизика переживает важный технологический этап. Если ещё недавно ключевой задачей считалось импортозамещение отдельных компонентов и программных решений, то сегодня всё более очевидным становится другой процесс — формирование полноценной отечественной технологической среды.

Особенно ярко это проявляется в электроразведке. Современные российские компании уже создают не отдельные приборы, а комплексные производственные системы - от аппаратуры до программного обеспечения и высокотехнологичных мобильных полевых партий

Аппаратурные и технологические решения компании СИГМА-ГЕО

Современная электроразведка уже давно перестала быть исключительно «методом измерений». Сегодня её эффективность определяется качеством всей технологической цепочки — от проектирования сети наблюдений до построения комплексной геологической модели. По сути, современная электроразведочная партия превращается в распределённую цифровую систему, где объединяются:

- измерительные станции;
- генераторные установки;
- системы синхронизации;
- телеметрия;
- цифровой контроль качества;
- автоматизированная обработка;
- геологическая интерпретация.

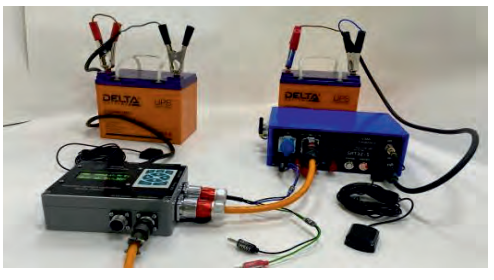
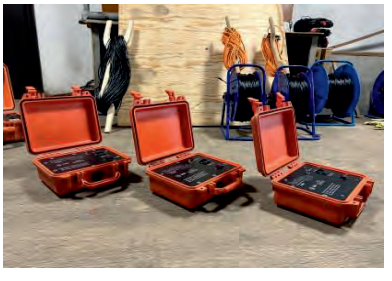
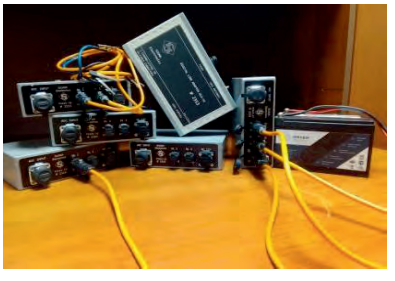
Одним из наиболее показательных примеров комплексной реализации подхода является компания СИГМА-ГЕО, развивающая современные технологии электромагнитной разведки и полный производственный цикл электроразведочных работ.

На сегодняшний день, в компании существуют современные высококачественные решения — аппаратура, прошедшая масштабную апробацию и по своим характеристикам превосходящая импортные аналоги:

- FASTSNAP – мобильный высокоскоростной телеметрический программно-аппаратурный комплекс для м3СБ;
- SGS-TEM – многоканальная помехозащищенная высокоточная аппаратура для ЗСБ;
- SMT-32 – Инновационная 32-х разрядная 5 канальная станция для МТЗ и АМТЗ.

Современные высокотехнологичные полевые партии СИГМА-ГЕО, выполняющие электроразведочные работы на масштабных проектах, показывают

Рис. 1. Аппаратурные решения СИГМА-ГЕО – SMT-32 (слева), FASTSNAP (в центре) и SGS-TEM (справа).



▲ *Рис. 2. Мобильность и автономность. Мощная генераторная установка и смоточные агрегаты, интегрированные в автомобиль повышенной проходимости УРАЛ-NEXT.*

реальные результаты и высокое качество съемок в самых разных регионах и геоэлектрических условиях.

Новое поколение электроразведочной аппаратуры

За последние десять лет произошёл качественный скачок в развитии отечественной аппаратуры ЗСБ. Фактически речь идёт уже не об эволюции отдельных приборов, а о переходе к новой архитектуре электроразведочных исследований.

32-разрядные измерительные системы: рост чувствительности и детализации

Одним из наиболее важных технологических шагов стал переход на 32-разрядную измерительную аппаратуру. До 2019 года в большинстве проектов широко применялись 24-разрядные системы. СИГМА-ГЕО по сути разработала и внедрила новый стандарт к электроразведочной аппаратуре. На первый взгляд подобное изменение может показаться исключительно инженерным, однако его практическое значение для геологии оказалось принципиальным.

Повышение разрядности позволило:

- уменьшить собственные шумы аппаратуры;
- повысить чувствительность измерений;
- улучшить регистрацию слабых сигналов;
- уверенно работать на поздних временах становления;
- повысить детализацию геоэлектрического разреза.

Особенно важным это стало для глубинных исследований и работ в районах с высокой индустриальной зашумлённостью. Фактически современные измерительные комплексы позволили существенно повысить информативность электроразведочных данных без радикального увеличения объёмов полевых работ.

Мощные генераторные системы и борьба с помехами

Ещё одним важнейшим направлением развития стала модернизация генераторных комплексов. Современные системы используют коммутаторы тока с рабочими токами 250–300 А, тогда как ранее типовыми являлись значения

порядка 200А. Для глубинной электроразведки это имеет критическое значение.

Рост мощности генераторных установок обеспечивает:

- увеличение отношения сигнал/шум;
- повышение качества регистрации на больших глубинах и, в принципе увеличение глубины исследования;
- возможность исследований в условиях сильных индустриальных помех.

Именно поэтому помехозащищённость аппаратуры становится не дополнительным преимуществом, а обязательным отраслевым требованием.

Высокоплотная 3D электроразведка

Отдельного внимания заслуживает развитие технологий 3D и 4D электроразведки. Как известно, геологические объекты зачастую характеризуются сложной блоковой структурой, латеральной изменчивостью свойств, трещиноватостью и неоднородностью коллекторов, что требует соответствующего подхода к изучению среды.

Развитие современных вычислительных систем и алгоритмов инверсии фактически стало одним из главных драйверов прогресса 3D электроразведки. Ключевыми факторами здесь являются:

- высокоплотные сети наблюдений;
- мощные источники возбуждения;
- автоматическая 3D-инверсия;
- пространственное накопление данных;
- высокопроизводительные вычислительные комплексы.

В результате электроразведка получает возможность формировать объёмные геоэлектрические модели высокого разрешения.

Благодаря перечисленным технологическим решениям становится возможным проведение наиболее информативных и точных результатов исследований.

Электроразведочные исследования в структуре ГРР и при решении задач разработки:

Развитие аппаратурных решений и методик измерений само по себе было бы недостаточно без их интеграции в реальный производственный цикл. Ключевое значение имеет то, как эти возможности реализуются на практике. Переходя от чисто технологического описания к производственному контексту, рассмотрим место современной электроразведки в общей структуре ГРР и при решении задач разработки месторождений.

▼ *Рис. 3. Опыт СИГМА-ГЕО в проведении полевых площадных электроразведочных работ в комплексе с сейсморазведочными работами.*





Электроразведка как часть комплексной модели месторождения

Сегодня электроразведка всё реже рассматривается как отдельный самостоятельный метод. На практике она становится частью единой системы геолого-геофизического изучения месторождения и работает в тесной связке с сейсморазведкой, данными бурения и геомеханическими исследованиями. Именно такой комплексный подход позволяет существенно снизить геологические неопределенности и повысить достоверность прогнозов.

Особенно важным становится совместное использование электроразведки и 3D сейсморазведки. Если сейсмика хорошо показывает геометрическое строение среды и структуру ловушек, то электроразведка позволяет получать информацию о физических свойствах пород и характере насыщения. В результате появляется возможность не только видеть структуру объекта, но и лучше понимать его природу и перспективность.

Цифровая интерпретация и машинное обучение

Современные программные комплексы позволяют заранее проектировать оптимальные сети наблюдений, контролировать процесс регистрации данных непосредственно в поле, автоматически выполнять обработку и инверсию материалов, оперативно оценивать качество измерений и объединять разномасштабные геолого-геофизические данные в единую систему интерпретации. В результате электроразведка становится значительно более управляемой, технологичной и предсказуемой с точки зрения конечного результата.

Отдельным направлением становится внедрение алгоритмов машинного обучения. В материалах компании отме-

▼ *Рис. 4 Варианты полевых электроразведочных партий СИГМА-ГЕО –высоко-мобильная «лёгкая» партия для выполняющая малоглубинные работы мЗСБ в Аргентине (слева), колёсная партия на базе автомобилей УРАЛ-NEXT (справа), и гусеничная партия для выполнения работ в труднодоступных регионах (внизу).*







чается использование подобных технологий для прогноза условий бурения на основе совместного анализа данных электроразведки, сейсморазведки и информации по скважинам. Такой подход позволяет не просто накапливать большие объемы данных, а выявлять скрытые закономерности и повышать достоверность прогноза.

Мобильные партии нового поколения

Серьёзные изменения сегодня происходят и в самой организации полевых электроразведочных работ. Если раньше работа партии во многом была привязана к стационарным базам и сложной инфраструктуре, то современные подходы всё больше ориентированы на мобильность, автономность и гибкость выполнения исследований.

Такой подход позволяет существенно сократить логистические затраты, повысить оперативность выполнения проектов и снизить необходимость создания крупных стационарных баз. Одновременно уменьшается и воздействие на окружающую среду за счёт более компактной и технологичной организации работ.

Фактически в отрасли формируется новый тип электроразведочной партии — мобильной высокотехнологичной системы.

Электроразведка в сложных условиях

Одним из главных признаков современного уровня электроразведочной аппаратуры становится её способность стабильно работать в самых сложных природных и производственных условиях. Практика показывает, что современные российские комплексы успешно применяются как в районах вечной мерзлоты Западной и Восточной Сибири, так и на густонаселённых урбанизированных территориях с высоким уровнем индустриальных помех.

Это особенно важно для современной геологоразведки, поскольку всё больше проектов выполняется на зрелых месторождениях, в районах развитой инфраструктуры, промышленной застройки и на территориях с серьёзными экологическими ограничениями. В подобных условиях уже недостаточно просто иметь высокую чувствительность аппаратуры — критически важными становятся устойчивость к помехам, мобильность полевых комплексов, возможность выполнять высокоплотные наблюдения и оперативно контролировать качество данных непосредственно в процессе работ.

Заключение

Современная российская электроразведка сегодня находится на этапе серьёзного технологического обновления. За последние годы в отрасли произошёл качественный переход от отдельных аппаратурных решений к созданию полноценных программно-аппаратных комплексов, объединяющих высокоточную измерительную технику, современные системы управления, цифровую обработку данных, машинное обучение и комплексную геологическую интерпретацию. Компания СИГМА-ГЕО стоит на передовой технологического прогресса в области разработок высокоточной электроразведочной аппаратуры и программного обеспечения для методов ЗСБ и мЗСБ.

При этом уже сегодня российские электроразведочные решения демонстрируют высокий технологический уровень и способность эффективно работать в самых сложных геологических, климатических и производственных условиях. Современная отечественная

аппаратура успешно применяется как для инженерных и экологических исследований, так и для решения сложных нефтегазопоисковых задач, включая глубинные исследования и высокоплотные 3D-проекты.

Разумеется, несмотря на огромные преимущества, кадровый и технологический потенциал, многие компании, в т.ч. СИГМА-ГЕО, сталкиваются с рядом проблем. Недостаточное финансирование, отсутствие механизмов инвестирования и авансирования со стороны Заказчиков, значительное увеличение сроков оплат по выполненным проектам, достаточно сложные механизмы поддержки со стороны государства, устаревшие стандарты по проведению электроразведочных работ – все эти факторы значительно сдерживают темпы технологического развития отечествен-ных компаний.

Тем не менее, фактически в российской электроразведке формируется новый этап развития — этап создания собственной высокотехнологичной инженерной среды, способной обеспечить не только технологическую независимость отрасли, но и дальнейшее развитие отечественных геофизических технологий на мировом уровне.

Литература

1. Приборы и системы разведочной геофизики. СПЕЦВЫПУСК. 2025. Электроразведочная аппаратура компании «СИГМА-ГЕО», как технологическое решение для геологоразведки нового поколения

2. Приборы и системы разведочной геофизики. СПЕЦВЫПУСК. 2025. СИГМА-ГЕО: от геологических задач к эффективным решениям;

3. Поспеев А.В, Буддо И.В., Ю.А. Агафонов, - Современная практическая электроразведка, - Академическое издательство «ГЕО», 2018

4. Материалы компании СИГМА-ГЕО. https://sigma-geo.ru/

Отечественный мобильный гравиметр нового поколения AGP-GRAV

Трусов А.А., Контарович О.Р., АО «ГНПП Аэрогеофизика», г. Москва

АЭРОГЕОФИЗИКА
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Аннотация: *В статье представлен новый российский бесплатформенный мобильный гравиметр AGP-GRAV, разработанный ООО «НТЦ Аэрогеофизика» и внедренный в производственную практику АО «ГНПП Аэрогеофизика». Рассмотрены принципы построения прибора, основные инженерные решения, особенности обработки данных и результаты стендовых, летных и производственных испытаний. Показано, что AGP-GRAV обеспечивает точность измерений, соответствующую современному мировому уровню мобильной гравиметрии, и может эффективно использоваться на различных носителях при выполнении комплексных аэрогеофизических работ.*

Ключевые слова: *аэрогравиметрия, мобильная гравиметрия, бесплатформенный гравиметр, инерциальная навигационная система, ГНСС, аномалии силы тяжести, аэрогеофизическая съемка.*

Введение

АО «ГНПП Аэрогеофизика» является одной из ведущих российских компаний в области аэрогеофизических исследований. На протяжении нескольких десятилетий предприятие выполняет комплексные аэрогеофизические работы на территории России и за рубежом, обеспечивая решение широкого спектра геологических задач — от поисков и разведки месторождений полезных ископаемых до регионального геологического картирования и научных исследований труднодоступных территорий.

Одним из ключевых направлений деятельности компании является развитие и внедрение современных аэрогеофизических технологий. В разные годы специалистами предприятия были реализованы масштабные проекты по аэромагнитной съемке, аэрогамма-спектрометрии, аэроэлектроразведке и аэрогравиметрии. Постоянное усложнение геологических задач и повышение требований к качеству геофизической информации обусловливают необходимость совершенствования используемой аппаратуры и методов обработки данных.

Аэрогравиметрия занимает особое место среди аэрогеофизических методов. Аномалии гравитационного поля несут информацию о распределении плотностей в земной коре и позволяют эффективно решать задачи поисков углеводородов, рудных месторождений, изучения глубинного строения геологических объектов и построения геоидных моделей.

При этом измерение силы тяжести с борта подвижного носителя остается одной из наиболее сложных задач прикладной геофизики. Полезный сигнал величиной единицы-десятки миллигал необходимо выделять на фоне ускорений летательного аппарата, превышающих его на несколько порядков. Решение этой задачи требует применения высокоточных инерциальных датчиков, современных спутниковых навигационных технологий и специализированных алгоритмов обработки.

В течение многих лет российская отрасль успешно использовала платформенные аэрогравиметры отечественного производства. Однако развитие инерци-

альной техники и вычислительных технологий привело к появлению нового поколения бесплатформенных систем. Создание отечественного мобильного гравиметра AGP-GRAV стало закономерным этапом развития российской школы аэрогравиметрии и важным шагом на пути обеспечения технологической независимости отрасли.

Принципы работы мобильного гравиметра

Современные мобильные гравиметры принято разделять на платформенные и бесплатформенные системы.

Платформенные гравиметры используют гиростабилизированную платформу, обеспечивающую сохранение ориентации чувствительного элемента относительно местной вертикали. Такой подход долгое время являлся основным решением в аэрогравиметрии благодаря высокой точности и отработанности технологии.

Однако платформенные системы обладают рядом известных ограничений: значительными массогабаритными характеристиками, высоким энергопотреблением, сложностью технического обслуживания и ограничениями при работе в условиях интенсивного маневрирования.

В бесплатформенных системах механическая стабилизация отсутствует. Вместо нее используются высокоточные инерциальные измерительные блоки и спутниковые навигационные системы. Определение ориентации прибора и параметров движения выполняется алгоритмически на основе совместной обработки данных ИНС и ГНСС.

Преимуществами бесплатформенной архитектуры являются компактность, возможность установки на различные типы носителей, работа в сложных динамических условиях и более высокая технологическая гибкость. Именно эти качества сделали бесплатформенные системы основным направлением развития мировой мобильной гравиметрии.

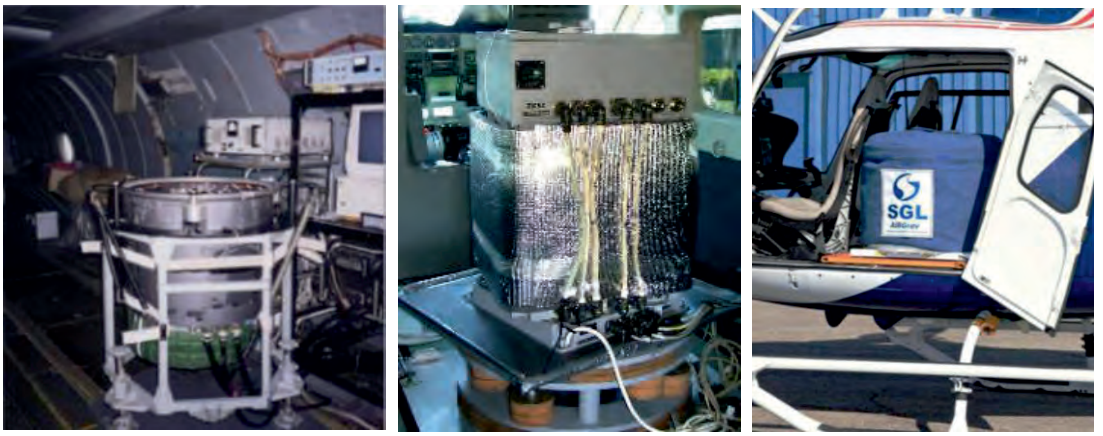
Обзор существующих решений

История отечественной аэрогравиметрии связана с разработкой платформенных систем семейства «Гравитон», GT-1A, GT-2A и GT-2M, а также аэроморских гравиметров серии «Чекан». Эти комплексы широко применялись при выполнении нефтегазопоисковых работ и региональных исследований.

На мировом рынке наибольшее распространение получили платформенные системы AIRGrav (Канада) и TAGS-7 (США). Примеры наиболее известных платформенных аэрогравиметров приведены на рис. 1.

Развитие высокоточных акселерометров, волоконно-оптических гироскопов и технологий спутниковой навигации позволило создать новое поколение бесплатформенных приборов. Наиболее извес-

▼ *Рис. 1. Примеры платформенных аэрогравиметров: ГРАВИТОН-М, GT-3A, AirGrav.*





▲ *Рис. 2. Разработка гравиметра AGP-GRAV: первая модель, лабораторные испытания, калибровка на стенде, испытания рабочего макета на самолете .*

тным коммерческим решением последних лет стала линейка iCORUS компании iMAR Navigation (Германия), которая фактически стала отраслевым ориентиром для сравнения современных бесплатформенных систем.

AGP-GRAV — новая отечественная разработка. История проекта

Разработка AGP-GRAV началась в ООО «НТЦ Аэрогеофизика» в 2020 году. В проекте был использован многолетний опыт создания платформенных аэрогравиметров серии GT, а также современные достижения в области инерциальной навигации и цифровой обработки данных.

Существенный вклад в создание математического обеспечения внесли специалисты лаборатории управления и навигации МГУ имени М.В. Ломоносова.

В период с 2020 по 2022 год были выполнены проектирование системы и изготовление опытных образцов. В 2021–2023 годах проводились стендовые и летные испытания. С 2024 года прибор используется при выполнении производственных аэрогеофизических работ.

Основные этапы разработки и испытаний AGP-GRAV представлены на рис. 2. Внешний вид серийного образца показан на рис. 3.

Концепция и архитектура

AGP-GRAV представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий инерциальный измерительный модуль навигационного класса точности, многочастотный геодезический ГНСС-приемник, систему термостабилизации, систему регистрации данных и специализированное программное обеспечение.

Принципиальной особенностью комплекса является тесная интеграция аппаратной части и алгоритмов обработки. Итоговое гравиметрическое решение формируется только после комплексной обработки данных инерциальных датчиков и спутниковой навигации.

Ключевые инженерные решения

Одним из основных отличий AGP-GRAV является применение двух независимых триад акселерометров.

Такое решение обеспечивает резервирование измерений и позволяет повысить точность определения аномалий силы тяжести за счет совместной обработки данных.

▲ *Рис. 3. Внешний вид мобильного гравиметра AGP-GRAV.*





▲ *Рис. 4. Мобильный гравиметр AGP-GRAV, установленный на разных носителях: вертолет Ми-8, самолет Ан-2, самолет Цесна-206, морское судно.*

Особое внимание уделено термостабилизации чувствительных элементов. В приборе реализована двухконтурная система поддержания температуры, обеспечивающая высокую стабильность характеристик акселерометров в течение продолжительных съемочных работ.

Конструкция прибора ориентирована на эксплуатацию на различных типах носителей и предусматривает устойчивость к вибрационным нагрузкам, компактность и удобство обслуживания.

Обработка данных

Обработка данных AGP-GRAV включает несколько последовательных этапов.

Первоначально выполняется контроль качества первичных измерений и диагностика работы аппаратуры.

Затем рассчитываются высокоточные навигационные решения на основе обработки спутниковых измерений в фазо-дифференциальном режиме.

На следующем этапе производится комплексирование данных ИНС и ГНСС с определением параметров движения носителя и компенсацией инструментальных погрешностей.

Для расчета аномалий силы тяжести используются специализированные алгоритмы фильтрации и оценивания параметров, основанные на применении фильтра Калмана. Завершающим этапом является построение цифровых моделей поля силы тяжести и устранение остаточных помех.

Результаты испытаний

AGP-GRAV прошел программу испытаний на различных типах носителей, включая самолеты Ан-2, Cessna 208, Ан-3Т, вертолеты Ми-8 и AS350, а также морские суда. Примеры установки прибора приведены на рис. 4.

Сравнительные испытания с платформенным аэрогравиметром GT-2A показали высокую степень совпадения получаемых результатов.

Схема совместных испытаний и пример сопоставления данных представлены на рис. 5 и 6.

Особый интерес представляли сравнительные испытания с системой iCORUS. Работы проводились в рамках опытно-методического проекта, организованного ФГБУ «ВНИГНИ». Компоновка оборудования на борту самолета приведена на рис.7.

Анализ повторных измерений показал высокую стабильность результатов AGP-



▲ *Рис. 5. Сравнение мобильных гравиметров: бесплатформенного AGP-GRAV и платформенного GT-2A.*

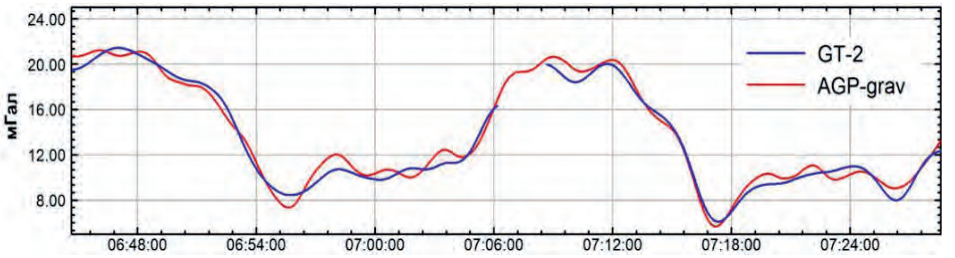


Рис.6. Сравнение измерений вдоль маршрута: AGP-GRAV и GT-2A.

GRAV. Примеры повторных измерений для AGP-GRAV и iCORUS представлены на рис. 8, а экспертиза полевых материалов и результатов камеральной обработки измерений выполнялась независимо специалистами Института физики Земли РАН, Механико-математического факультета МГУ и ФГБУ "ВНИГНИ". В их заключении отмечается лучшая точность измерений AGP-GRAV по сравнению с iCORUS. Технические ограничения платформенного гравиметра "Чекан-АМ" не позволили ему полноценно работать в динамических условиях.

Испытания AGP-GRAV в морских условиях подтвердили работоспособность прибора при воздействии качки и значительных динамических нагрузок. Полученные результаты продемонстрировали высокую устойчивость системы и хорошую разрешающую способность при морской съемке. Результаты повторных измерений по одному из галсов показаны на рис. 9.

Практическое применение

Главным преимуществом бесплатформенной архитектуры является возможность выполнения комплексных аэрогеофизических работ без ограничений по режиму полета. AGP-GRAV может использоваться совместно с аэромагнитометрией, аэроэлектроразведкой и аэрогаммаспектрометрией при детальном огибании рельефа.

Практическая эксплуатация мобильно-

Рис. 7. Сравнение нескольких мобильных гравиметров: бесплатформенного AGP-GRAV и iCORUS, а также платформенного Чекан-АМ.

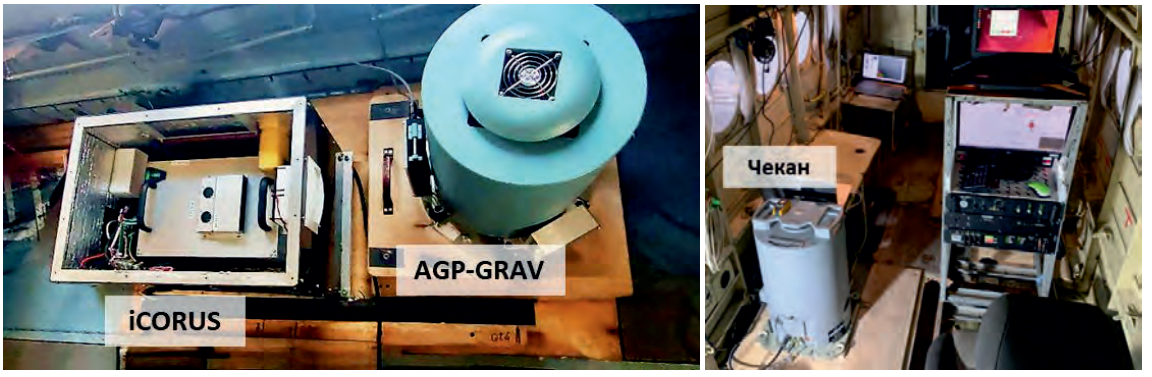
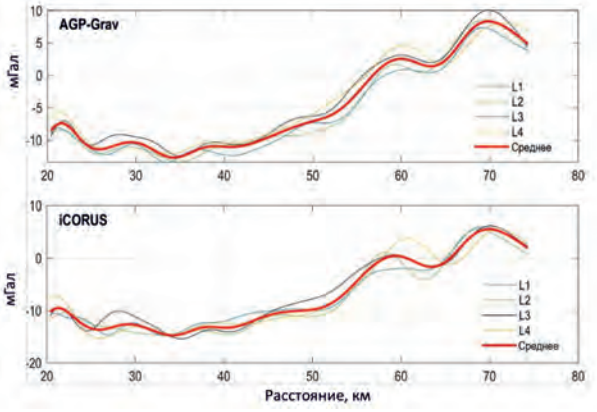


Рис. 8. Сравнение повторных измерений вдоль маршрута: данные AGP-GRAV (вверху), данные iCORUS (внизу).



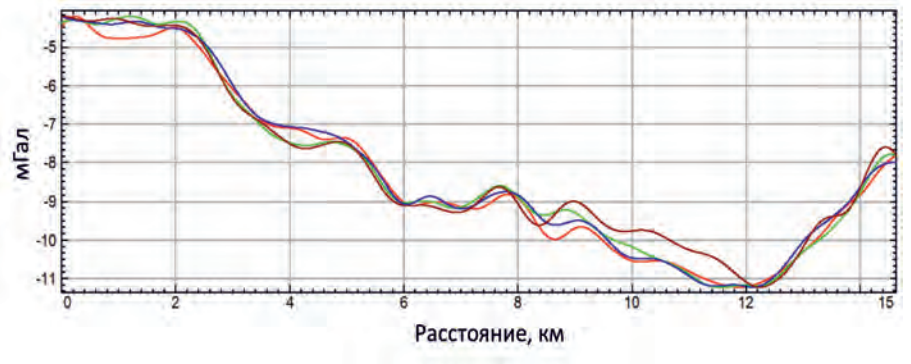


Рис. 9. Результаты повторных измерений по одному из галсов.

го гравиметра AGP-GRAV началась после завершения комплекса стендовых и летных испытаний. В настоящее время прибор используется в составе многометодных аэрогеофизических комплексов АО «ГНПП Аэрогеофизика» при выполнении производственных работ на территории России и за рубежом.

Выполненные проекты охватывают широкий круг геологических задач — от поисков твердых полезных ископаемых до нефтегазопоисковых работ и геологического картирования труднодоступных территорий. В частности, аэрогравиметрические исследования с применением AGP-GRAV проводились в Якутии на объектах, перспективных на золото, железные руды, марганец и алмазы, а также на нефтегазопоисковых площадях Урала и Западной Сибири.

Особенно эффективно использование AGP-GRAV в составе комплексных аэрогеофизических технологий, когда одновременно выполняются аэромагнитная съемка, электроразведочные исследования и гамма-спектрометрия. Возможность работы в режиме детального огибания рельефа позволяет получать согласованные по пространственному разрешению наборы геофизических данных, существенно повышающие достоверность геологической интерпретации. Пример результатов комплексной аэрогеофизической съемки в Якутии приведен на рис. 10, а результаты работ на Южно-Иусском участке — на рис. 11.

Отдельным направлением применения AGP-GRAV стали исследования в труднодоступных регионах, где использование наземных методов ограничено или территориям нецелесообразно. К таким объектам относятся районы Антарктиды, где аэрогравиметрия являясь одним из основных методов регионального геологического изучения, не выполнялась с 70-х гг. прошлого века из-за отсутствия мобильных гравиметров, которые могли бы быть установлены на легкие воздушные носители. Пример выполненных работ приведен на рис. 12.

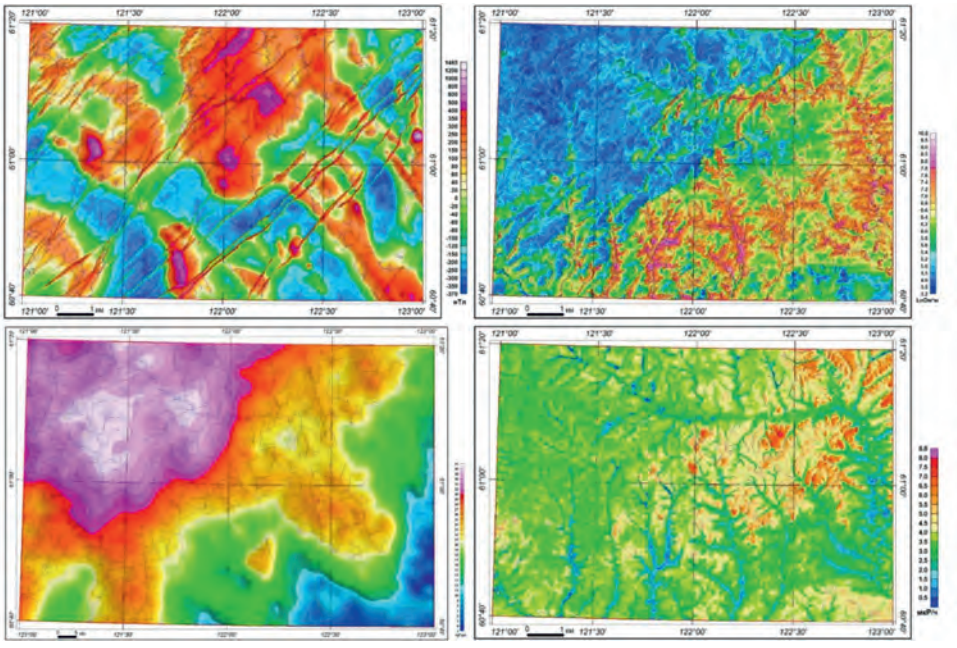
Работы выполнялись совместно с ФГБУ "ВНИИОкеангеология".

Опыт производственной эксплуатации показал высокую надежность прибора и устойчивость результатов в различных природно-климатических условиях. Полученные материалы характеризуются высокой повторяемостью и обеспечивают получение качественных моделей гравитационного поля, пригодных для решения как поисковых, так и региональных геологических задач.

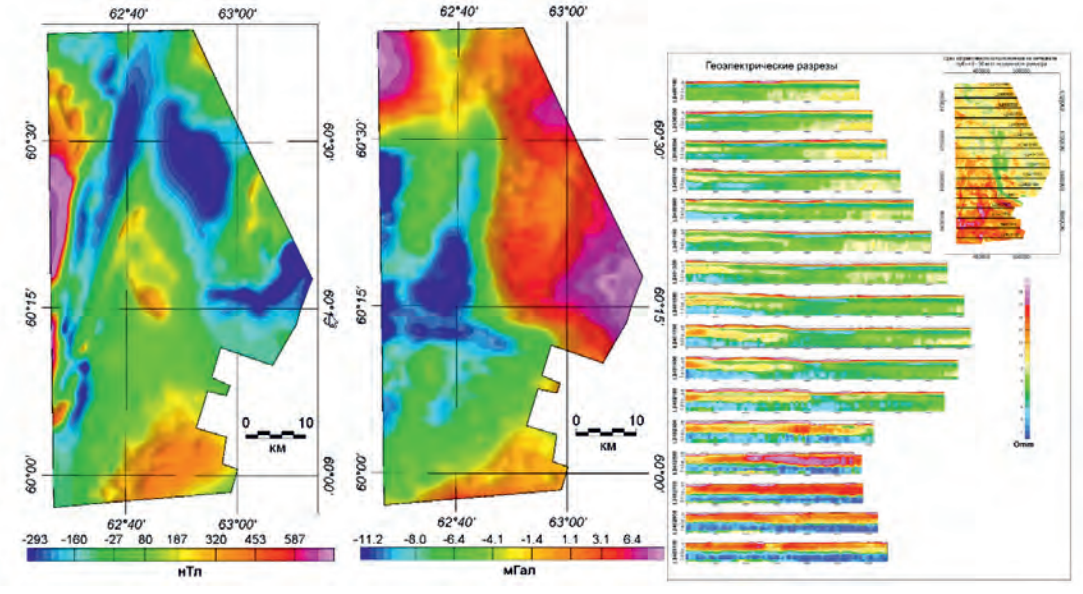
Перспективы развития отечественной технологии

Перспективным направлением развития комплекса является его адаптация для беспилотных летательных аппаратов. Компактность и устойчивость к динамическим воздействиям создают предпосылки для расширения применения аэрогравиметрии на новых типах носителей.

Другим направлением развития является переход к векторной аэрогравиметрии, предусматривающей определение



▲ *Рис. 10. Результаты многометодной аэрогеофизической съемки в Якутии: аномальное магнитное поле, сопротивления на глубине 100 м, поле силы тяжести в редукции Буге, мощность дозы гамма-излучения.*



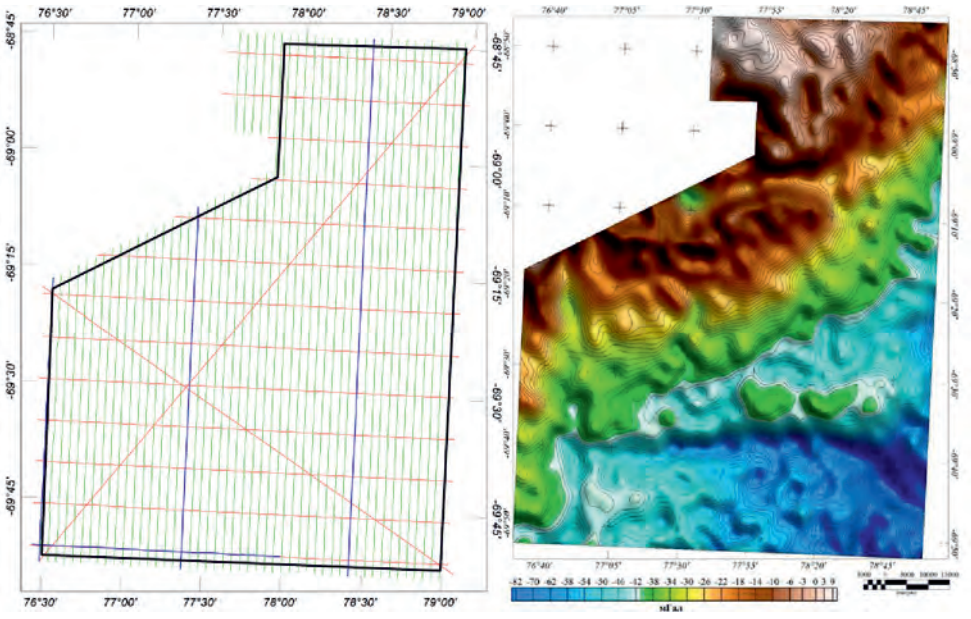
▲ *Рис. 11. Результаты многометодной аэрогеофизической съемки в Свердловской области: аномальное магнитное поле, поле силы тяжести в редукции Буге, геоэлектрические разрезы.*

не только аномалий силы тяжести, но и горизонтальных компонент гравитационного поля.

Высокие технические характеристики прибора и отсутствие экспортных ограничений позволяют рассматривать AGP-GRAV как перспективный продукт для международного рынка геофизического оборудования.

Заключение

AGP-GRAV представляет собой современный отечественный аппаратно-программный комплекс мобильной гравиметрии, созданный на основе достижений российской школы инерциальной навигации и аэрогеофизики.



▲ *Рис. 12. Результаты аэрогравиметрической съемки в Антарктиде: фактические маршруты съемки, поле силы тяжести в редукции Буге.*

Результаты испытаний и опыт промышленного применения подтверждают возможность использования комплекса в качестве полноценного инструмента для выполнения аэрогравиметрических работ различного назначения. Сочетание бесплатформенной архитектуры, современных алгоритмов обработки и высокой устойчивости к динамическим воздействиям обеспечивает получение качественных гравиметрических материалов при работе на различных типах носителей и в широком диапазоне условий съемки.

Практический опыт эксплуатации показывает, что технология может эффективно применяться как в составе комплексных аэрогеофизических съемок, так и при выполнении специализированных гравиметрических исследований.

Дальнейшее развитие комплекса связано с расширением области применения, включая беспилотные носители, а также с совершенствованием методов обработки и интерпретации данных.

Литература

1. Вязьмин В.С., Голован А.А., Бровкин Г.И. Особенности обработки измерений бескарданного аэрогравиметра для геофизических приложений // Геофизические исследования. 2024. Т. 25, № 1. С. 40–56.

2. Вязьмин В.С., Голован А.А., Конешов В.Н., Контарович О.Р. Новый бескарданный аэрогравиметр AGP-GRAV. Результаты сравнительных измерений // Геофизические исследования. 2026. Т 27

3. Голован А.А., Вязьмин В.С. Методика проведения аэрогравиметрических съёмок и обработки первичных данных бескарданного аэрогравиметра // Гироскопия и навигация. 2023. Т. 31, № 1 (120). С. 58–84.

4. Пешехонов В.Г., Степанов О.А., Розенцвейн В.Г., Краснов А.А., Соколов А.В. Современное состояние разработок в области бесплатформенных инерциальных аэрогравиметров // Гироскопия и навигация. 2022. Т. 30, № 4 (119). С. 3–43.

5. Трусов А.А., Контарович О.Р., Бровкин Г.И. Аэрогравиметрия нового поколения: возможности и перспективы // Материалы конференции «ПроГРРесс'23». Сочи, 2023.

6. Могилевский В.Е., Бровкин Г.И., Контарович О.Р. Достижения, особенности и проблемы аэрогравиметрии // Разведка и охрана недр. 2015. №12. С. 16-25.

Широкий профиль как рациональный компромисс между 2D и 3D на малых объектах

Будяк А.В., ООО «ТНГ-Групп», г. Бугульма.

За последние годы структура сейсморазведочных работ на зрелых нефтегазоносных территориях существенно изменилась. Все чаще перед недропользователями возникают задачи локального доизучения отдельных участков, связанных не с поиском новых крупных площадей, а с детализацией уже известных объектов, уточнением строения залежей, оценкой зон развития коллекторов или сопровождением бурения в пределах существующей инфраструктуры.

Подобные проекты, как правило, характеризуются относительно небольшими объемами работ, однако высокой сложностью реализации. В большинстве случаев речь идет о территориях с развитой инфраструктурой: населенные пункты, автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи, промышленные объекты, ограничения по землепользованию и экологическим требованиям. При этом заказчик ожидает высокий уровень геологической информативности.

В таких условиях классическая 2D-сейсморазведка во многих случаях уже оказывается недостаточной. Пространственная неоднозначность между профилями, ограниченная устойчивость структурных построений, сложность прослеживания локальных объектов и неоднозначность интерпретации существенно снижают эффективность традиционных линейных наблюдений. Одновременно полноценные площадные работы 3D зачастую оказываются экономически, организационно или технически невозможными.

На практике это формирует отдельный класс проектов, для которых требуется промежуточное технологическое решение — существенно более информативное, чем стандартная 2D-съемка, но при этом значительно более мобильное и экономичное по сравнению с полноценной 3D.

Одним из таких решений в современных условиях становится система наблюдений «широкий профиль» (ШП). Методика представляет собой пространственную систему наблюдений, занимающую промежуточное положение между классической 2D- и полноценной 3D-сейсморазведкой. В основе технологии лежит возбуждение и регистрация сигналов на нескольких параллельных профилях с формированием дополнительных линий ОГТ в межпрофильном пространстве. Это позволяет получать не только линейную, но и пространственную информацию о строении среды, повышать кратность наблюдений и устойчивость прослеживания отражающих горизонтов при существенно меньших объемах работ и затратах по сравнению с традиционной 3D-съемкой. Особенно эффективно применение ШП в условиях инфраструктурных ограничений, где реализация регулярной площадной системы наблюдений затруднена или невозможна.

Несмотря на то, что сама технология известна достаточно давно, современные технические средства фактически дали ей вторую жизнь. Использование автономных систем регистрации, бескабельных решений, одиночных высокочувствительных приемников, компактных виброисточников и высокоплотных систем наблюдений позволяет сегодня применять широкий профиль в совершенно иных условиях и с иным уровнем эффективности, чем это было возможно ранее.



▲ *Рис. 1. Статистика «малых» проектов ООО «ТНГ-Групп».*

Малые проекты как отдельный класс сейсморазведочных работ

Традиционно эффективность сейсморазведочных работ оценивается через производительность и объемы выполняемой съемки. Однако в случае малых проектов решающее влияние начинают оказывать совершенно другие факторы: логистика, мобилизация, согласования, сроки выполнения и доля непроизводственного времени.

Практика последних лет показывает, что для небольших локальных объектов соотношение между временем непосредственного производства работ и затратами на переезд, подготовку и организацию может становиться крайне неэффективным. Особенно ярко это проявляется на проектах площадью менее 100 км² для 3D или менее 100 пог. км для 2D.

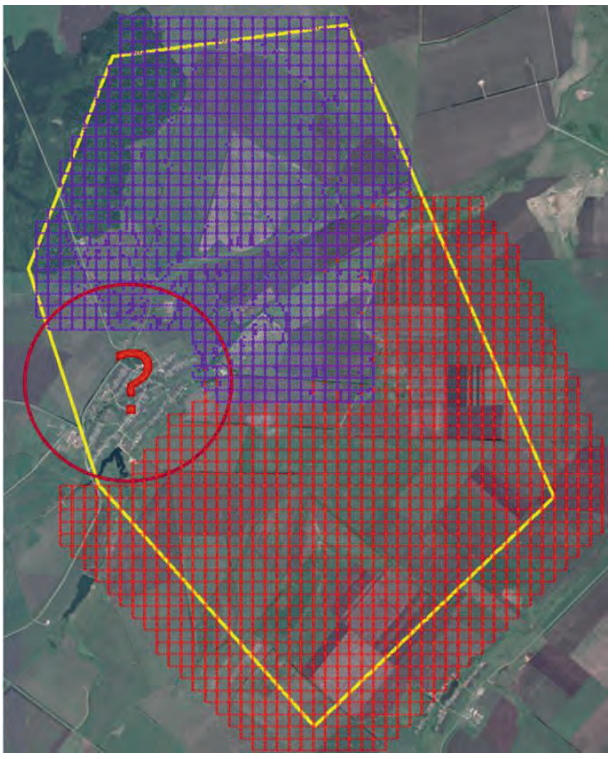
Даже при небольших физических объемах работ:

- переезды могут составлять сотни километров;
- сроки выполнения ограничены;
- простои из-за шумов или согласований критически влияют на экономику проекта;
- применение тяжелых кабельных систем требует значительных трудозатрат;
- классические приемы группирвоания увеличивают объем оборудования и персонала.

В результате эффективность проекта начинает определяться уже не максимальной производительностью тяжелой партии, а способностью гибко адаптироваться к конкретным условиям объекта.

Именно поэтому на малых проектах особое значение приобретают:

- легкие партии;
- минимизация объема оборудования;
- сокращение количества кабельной инфраструктуры;
- использование одиночных источников возбуждения;
- высокая плотность наблюдений вместо тяжелого группирования;
- снижение непроизводственного времени;
- гибкость проектирования системы наблюдений.



▲ *Рис. 2/ «Белые пятна» инфраструктурных ограничений при локальном доизучении участка [1].*

Почему классическая сейсморазведка 2D уже недостаточна

Значительная часть локальных объектов, требующих доизучения, располагается в пределах зрелых нефтегазоносных районов с высокой степенью освоенности территории. При этом именно наиболее интересные с геологической точки зрения зоны зачастую совпадают с территориями, недоступными для стандартных систем наблюдений.

Наиболее характерные примеры:

- населенные пункты;
- промышленные площадки;
- зоны плотной дорожной сети;
- участки с ограничениями по землепользованию;
- территории с развитой инженерной инфраструктурой.

В подобных условиях традиционная линейная 2D-съемка нередко оказывается недостаточной по нескольким причинам.

Во-первых, существенно возрастает риск пространственной неоднозначности между профилями. Даже при наличии плотной сети 2D-данных локальные поднятия, эрозионные элементы, карстовые зоны и сложнопостроенные объекты могут интерпретироваться неоднозначно.

Во-вторых, при малых глубинах залегания целевых горизонтов эксклюзивные зоны относительно небольших размеров начинают существенно влиять на информативность результирующих данных.

В-третьих, современный уровень требований недропользователей фактически ориентирован на пространственную геологическую модель, а не на отдельные линейные разрезы. Даже при локальных задачах заказчик ожидает устойчивых структурных построений и возможности анализа межпрофильного пространства.

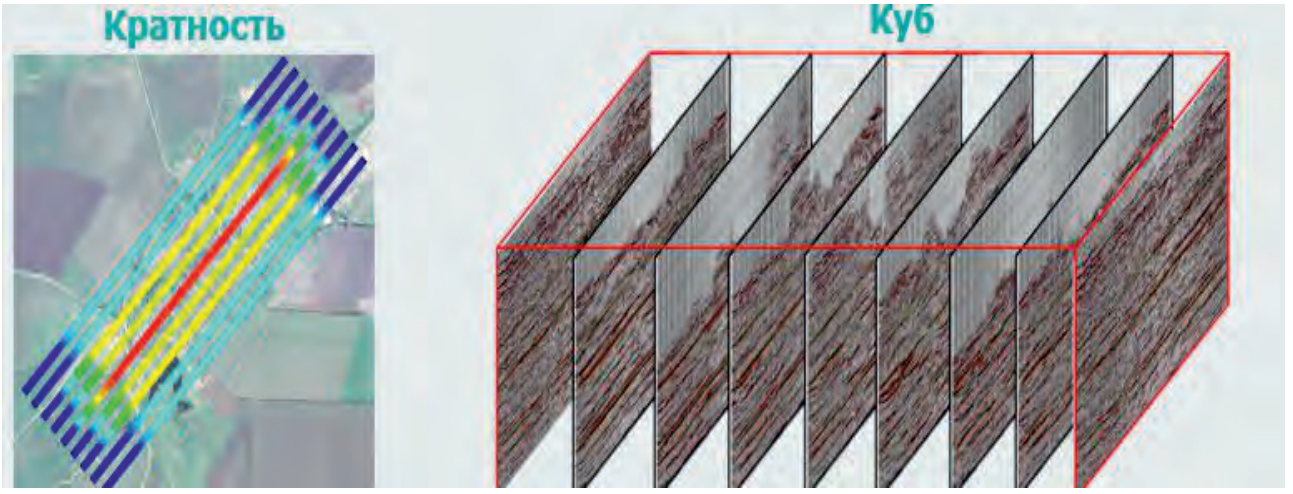
Ограничения полноценной 3D-сейсморазведки на урбанизированных территориях

Одновременно реализация полноформатной 3D-съемки в пределах урбанизированных территорий зачастую становится крайне затруднительной.

Основными ограничениями являются:

- ограничения на размещение пунктов возбуждения;
- невозможность построения регулярной сети наблюдений;
- высокая плотность частной застройки;
- сложность согласования работ;
- ограничения по времени проведения возбуждения;

На практике нередко возникают ситуации, когда прокладка полноценных линий приема и возбуждения внутри населенного пункта становится невозможной. Особенно это характерно для



▲ *Рис. 3. Современная концепция системы наблюдений «широкий профиль» для локальных объектов.*

территорий с плотной индивидуальной застройкой, где отсутствуют свободные коридоры для размещения кабельной инфраструктуры.

Современный широкий профиль (ШП) как технология пространственных наблюдений

В современных условиях система наблюдений «широкий профиль» фактически занимает промежуточное положение между классической 2D и полноценной 3D-сейсморазведкой.

С одной стороны, технология сохраняет линейную организацию работ и относительно компактную систему наблюдений. С другой — наличие пространственной компоненты позволяет получать суммарные 3D-данные и существенно повышать устойчивость геологической интерпретации.

Ключевым фактором современного развития технологии стало изменение подхода к технической реализации работ.

Если ранее широкий профиль часто рассматривался как упрощенная альтернатива 3D, то сегодня его эффективность во многом обеспечивается современными средствами регистрации и возбуждения:

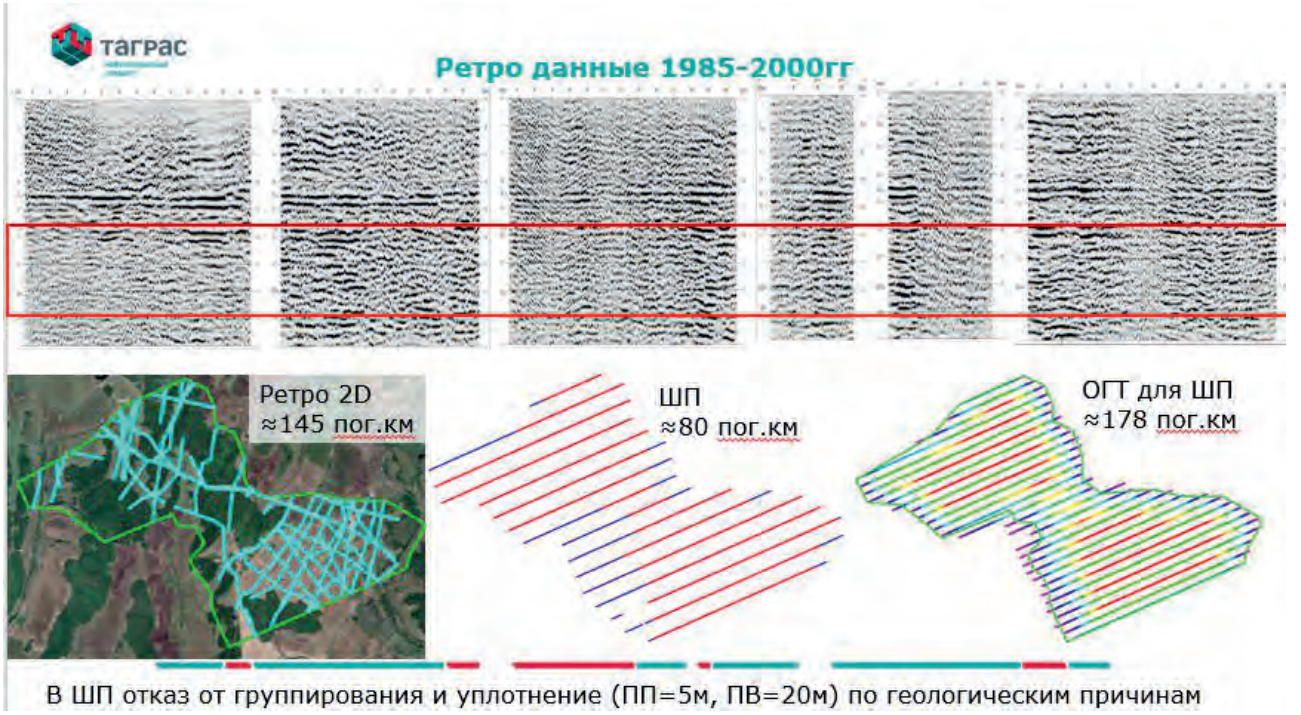
- автономными системами;
- бескабельной телеметрией;
- высокоплотными системами наблюдений;
- одиночными геофонами;
- компактными виброисточниками;
- адаптивным проектированием активной расстановки.

Особенно важным является возможность локального повышения кратности и плотности наблюдений непосредственно в проблемных зонах. Вместо увеличения массы оборудования и количества источников акцент переносится на оптимизацию геометрии системы наблюдений и повышение пространственной устойчивости данных.

На практике это позволяет:

- сократить объем используемой техники;
- уменьшить количество персонала;
- повысить мобильность партии;
- обеспечить возможность работ в условиях ограниченной инфраструктуры.

При этом современный широкий профиль уже нельзя рассматривать исключительно как способ «сэкономить на 3D». Во многих случаях это становится единственным способом получения пространственной геологической информации там, где полноценная площадная съемка физически невозможна.



▲ *Рис. 4. Проектирование технологии ШП в сопоставлении с ретро данными площади исследования (из доклада Будяка А.В. на Технологическом дне ГПН ГЕО в 2026г.).*

Эффективность применения технологии ШП в компании ТНГ-Групп

Практика последних лет показывает высокую эффективность широкого профиля при решении локальных задач в условиях плотной инфраструктуры.

Один из объектов в Республике Татарстан представлял собой участок, практически полностью покрытый 3D-сейсмикой, за исключением зоны в пределах населенного пункта, где отсутствовали даже данные 2D.

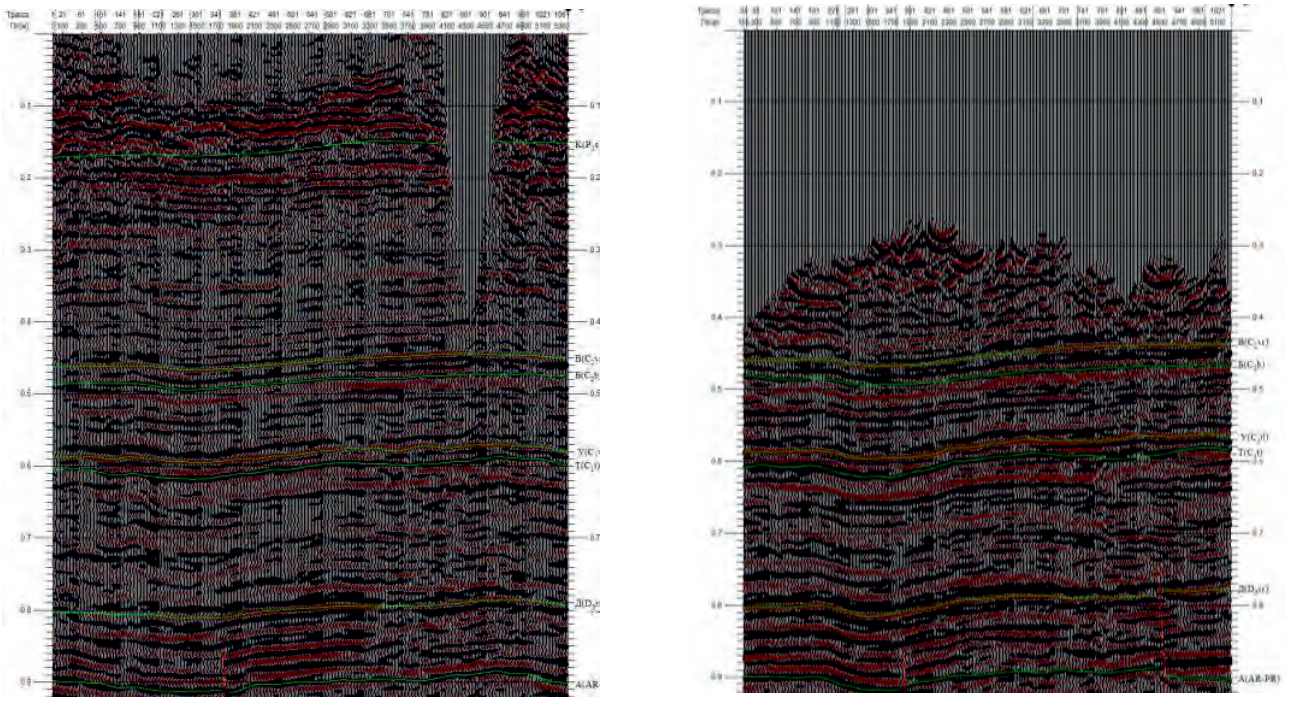
С учетом малых глубин залегания целевых горизонтов отсутствие наблюдений внутри населенного пункта существенно снижало достоверность структурных построений. Реализация полноценной регулярной сети 3D была невозможна, поэтому была выбрана система широкого профиля с адаптивным размещением линий возбуждения и приема.

В результате был получен локальный куб сейсмических данных, позволивший уточнить геологическое строение непосредственно под эксклюзивной зоной. По результатам интерпретации под населенным пунктом было выявлено локальное поднятие по целевым горизонтам карбона и девона, после чего выданы рекомендации на бурение.

Другой пример связан с работами в пределах крупного населенного пункта на территории Самарской области. Несмотря на высокую изученность территории сетью 2D-профилей, именно зоны под населенным пунктом оставались недостаточно изученными.

В ходе проектирования была реализована система широких профилей, ориентированная на максимально возможное покрытие эксклюзивной зоны с учетом фактической возможности размещения пунктов возбуждения и линий приема. Работы выполнялись исключительно в дневное время для минимизации воздействия на население.

Несмотря на высокий уровень помех и ограничения по возбуждению сигнала, применение высокоплотной системы наблюдений позволило получить данные с устойчивой прослеживаемостью отражающих горизонтов во всем целе-



▲ *Рис. 5. Сохранение информативности целевого интервала при исключении ближних удалений.*

вом интервале. В дальнейшем бурение подтвердило сформированную сейсмогеологическую модель.

Сравнение временных разрезов, полученных с различными диапазонами удалений, демонстрирующее сохранение информативности целевых горизонтов при использовании системы широкого профиля.

Еще одним характерным примером стали работы на участке со сложным геологическим строением на границе Татарстана и Самарской области. Исходная изученность была представлена сетью 2D-профилей 1980–2000-х годов, характеризующихся неравномерностью наблюдений и ограниченной информативностью в условиях карстовых и эрозионных процессов.

Для повышения устойчивости результатов была реализована система широкого профиля с уплотнением сейсмических трасс и повышенной плотностью наблюдений. В результате удалось существенно детализировать структурные планы по целевым горизонтам и выдать рекомендации на бурение поисковых и разведочных скважин.

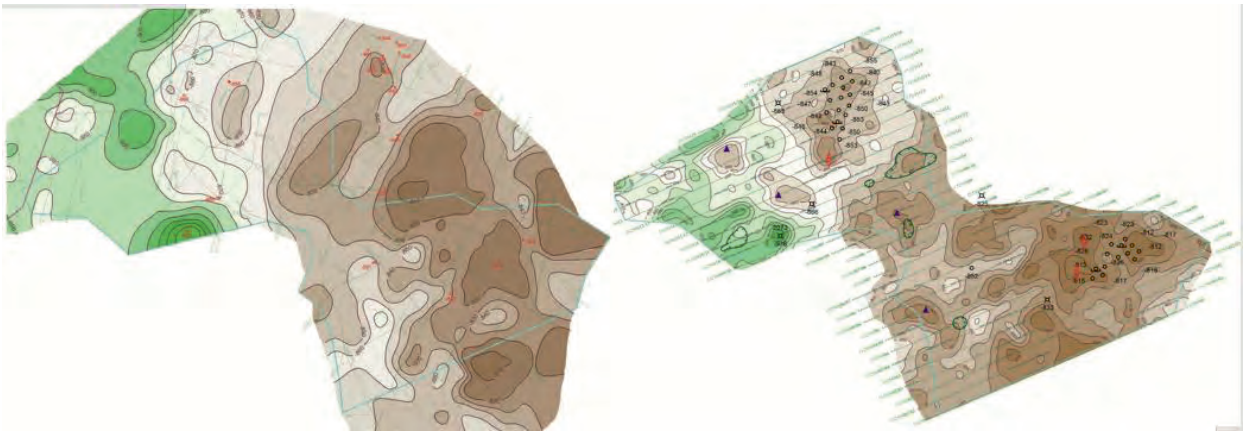
Заключение

Современные условия выполнения сейсморазведочных работ требуют переосмысления подходов к локальным проектам в пределах урбанизированных территорий.

Сегодня значительная часть перспективных объектов располагается в условиях, где реализация полноценной 3D-съемки ограничена технически, организационно или экономически. Одновременно требования к качеству и пространственной достоверности геологической информации продолжают расти, что делает недостаточным применение исключительно линейных 2D-наблюдений.

В этих условиях система наблюдений «широкий профиль» получает новое развитие как самостоятельная технология пространственных исследований локальных объектов.

Использование современных авто-



А Б

▲ *Рис. 5. Изменение структурных построений после выполнения работ по технологии широкого профиля.*
А – построения 2001 г., Б – построения 2026 г. после работ ШП.

номных систем регистрации, бескабельных решений, высокоплотных систем наблюдений и легких партий позволяет существенно повысить информативность данных при сохранении высокой мобильности и адаптивности работ.

Фактически современный широкий профиль перестает быть компромиссным решением между 2D и 3D. В ряде случаев он становится наиболее рациональным способом получения пространственной геологической информации на локальных объектах в условиях плотной инфраструктуры и ограничений на проведение полноформатных площадных работ.

Литература

1. Будяк А.В. Современные задачи для методики «широкий профиль» // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2023. — №4. — С. 34–41.

2. Калинин А.Ю. Оптимизация методики сейсмических исследований на территории юго-востока Русской платформы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2009. — 24 с.

3. Yilmaz Ö. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. — Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2001. — 2027 p.

4. Cordsen A., Galbraith M., Peirce J. Planning Land 3-D Seismic Surveys. — Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2000. — 208 p.

5. Sheriff R.E., Geldart L.P. Exploration Seismology. — 2nd ed. — Cambridge: Cambridge University Press, 1995. — 592 p.

6. Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мики Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика / пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 389 с.

Подробнее об авторе



Будяк
Антон Валерьевич

Главный геофизик
ООО «ТНГ-Групп»

Многофункциональное программное обеспечение «SeisPro» для контроля качества и обработки сейсмических данных разного типа

- Токарев А.М., ООО «Деко-геофизика СК»
- Горбачев С.В., Институт физики земли РАН
- Хачатрян А.М., ООО «Деко-геофизика СК»
- Понимаскин А.И., ООО «ЦАСД МГУ»
- Токарев М.Ю., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Аннотация: *Сейсморазведочные работы представляют собой сложный многоэтапный процесс, включающий планирование и проектирование наблюдений, контроль качества и экспресс-обработку полевых данных , а также полноценную обработку и интерпретацию сейсмических материалов. На практике для решения указанных задач используются различные программные продукты, что усложняет процесс работы с данными, требует значительных вычислительных ресурсов, большого количества лицензий и дополнительных временных затрат. В начале 1990-х годов на кафедре сейсмометрии и геоакустики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова была начата разработка программного обеспечения для решения специализированных задач обработки сейсмоакустических и георадиолокационных данных. В дальнейшем программный комплекс эволюционировал в многофункциональную платформу для решения широкого спектра задач инженерной и нефтегазовой сейсморазведки. В статье представлены основные возможности отечественного программного комплекса «SeisPro».*

Введение и история создания

Советская школа сейсморазведки являлась одной из наиболее развитых в мире и внесла значительный вклад в развитие методов полевых наблюдений, обработки и интерпретации геофизических данных. Однако в постсоветский период, на фоне стремительного развития зарубежных аппаратно-программных комплексов и вычислительных технологий, возникло существенное технологическое отставание отечественной отрасли. Это привело к широкому распространению иностранных программных продуктов и оборудования используемого на различных этапах геологоразведочных работ, включая сейсмические исследования. Вместе с тем ряд научных коллективов продолжали развитие отечественных алгоритмов обработки данных и специализированного программного обеспечения.

На кафедре сейсмометрии и геоакустики геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова с 60-х годов развиваются теоретические основы сейсмических и сейсмоакустических методов исследований, выполняются прикладные полевые морские, наземные и скважинные работы, совершенствуется методика обработки и интерпретации геофизических данных. Основные направления работ связаны с изучением верхней части геологического разреза, развитием методов высокоразрешающей инженерной и нефтегазовой сейсморазведки, обработкой многокомпонентных наземных и скважинных данных, а также совершенствованием алгоритмов анализа волновых полей и решения обратной задачи сейсморазведки [Пирогова, 2025].

Для решения научных и образовательных задач требовалось создать специализированное программное обеспече-

ние, обеспечивающее возможность полноценной работы с геофизическими данными. Зарубежные программные продукты были дорогостоящими и ограниченно доступными, а существующие отечественные решения не в полной мере соответствовали требованиям научных исследований и практической обработки данных. В связи с этим в 1992 году была начата планомерная разработка собственного программного комплекса для обработки сейсмоакустических и георадиолокационных данных. Многолетняя практическая апробация и развитие алгоритмической базы позволили создать полнофункциональный программный продукт, который в 1995 году был впервые представлен на конференции EAGE-SEG в Эдинбурге под названием RadExPro.

Развитие алгоритмической и программной базы осуществлялось поэтапно в соответствии с актуальными научными и производственными задачами. Практическая апробация новых методов обработки и интерпретации данных способствовала последовательному расширению функциональных возможностей программного комплекса. В результате программное обеспечение стало применяться не только для решения внутренних научно-исследовательских задач, но и получило распространение на российском и международном рынках геофизического программного обеспечения.

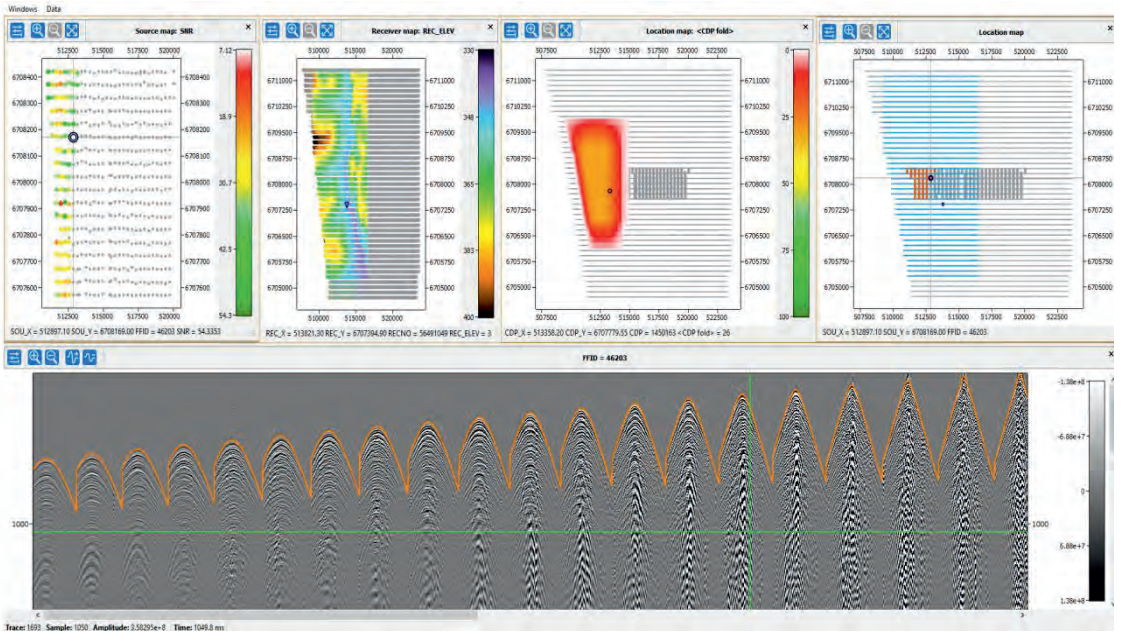
В 2001 году была создана малая инновационная компания «Деко-геофизика», а в 2010 г. выделена «Деко-геофизика СК», основным направлением деятельности которой стало развитие программного обеспечения. Научно-техническую основу компании составили высококвалифицированные специалисты — выпускники МГУ имени М.В. Ломоносова, обладающие значительным опытом выполнения проектов в различных регионах России и за рубежом.

На сегодняшний день программный комплекс «SeisPro»/«СейсПро» представляет собой многофункциональный инструмент для решения широкого спектра задач инженерной и нефтегазовой сейсморазведки. Программное обеспечение применяется при выполнении работ как на суше, так и на шельфе, обеспечивая поддержку различных этапов обработки, анализа и интерпретации геофизических данных. Ниже рассмотрены основы организации потока обработки и приведены примеры применения комплекса «SeisPro» для контроля качества и обработки морских 2D/3D площадных и скважинных сейсмических наблюдений.

Контроль полевых сейсморазведочных работ

Комплексное решение задач проектирования и полевого контроля качества позволяет обоснованно выбирать оптимальные параметры наблюдений до начала работ, а также оперативно корректировать их в процессе выполнения с учетом фактических поверхностных условий и технических ограничений. В программном комплексе «SeisPro» реализован широкий набор инструментов, обеспечивающих эффективное решение задач проектирования, анализа и контроля качества сейсмических данных.

Интерактивная система работы с сейсмическими, топогеодезическими и техническими материалами обеспечивает возможность комплексной оценки качества данных и расчета широкого набора амплитудно-частотных атрибутов. На рисунках 1 и 2 представлены примеры карт контроля качества, сейсмограмм и спектрального анализа 3D-проекта. Программный комплекс под-



▲ *Рис. 1. Пример карт контроля качества.*

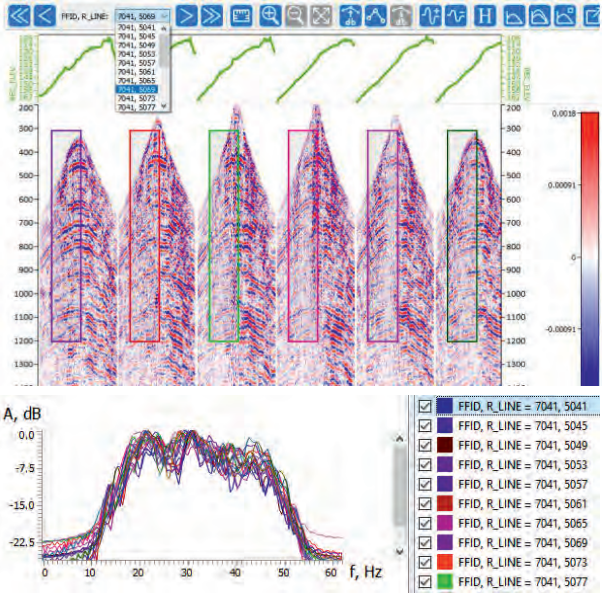
держивает контроль качества наземных, морских и транзитных сейсмических данных, а также материалов ВСП при решении нефтегазовых и инженерно-геофизических задач. Это обеспечивает возможность комплексирования и совместного анализа данных различных типов в рамках единой программной среды.

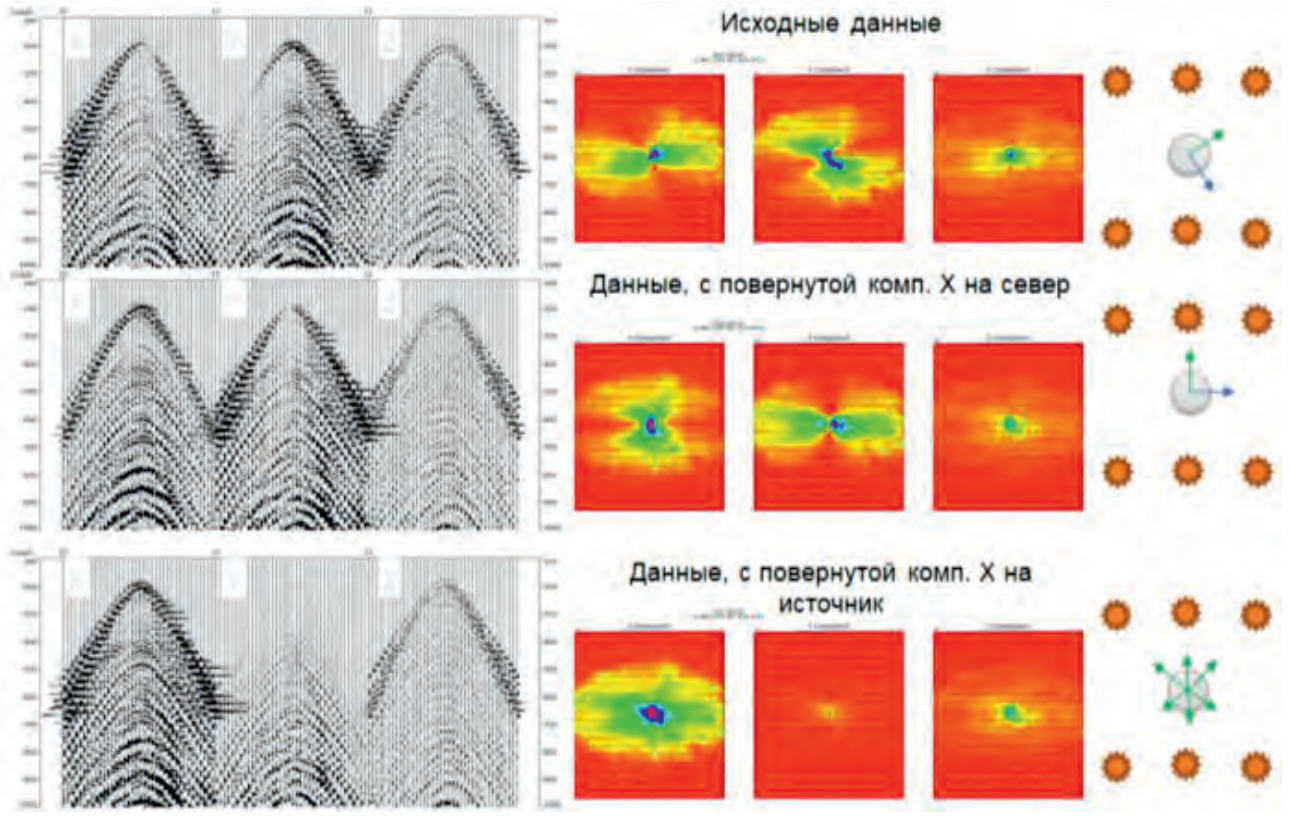
Коллектив геофизиков-разработчиков в течение многих лет занимается вопросами многоволновой сейсморазведки, последовательно расширяя функциональные возможности программного комплекса для обработки и анализа многокомпонентных данных. Наряду со стандартными процедурами обработки, в программном комплексе реализован модуль работы с трехкомпонентными (3С) данными, обеспечивающий контроль корректности разворота компонент. На рисунке 3 представлены примеры сейсмограмм и энергетических спектров до и после выполнения процедуры разворота. Результаты обработки демонстрируют перераспределение энергии между компонентами при сохранении общего энергетического уровня сигнала. При этом осуществляется ориентация трасс в направлении источника возбуждения, что приводит к более равномерному распределению энергии по основной компоненте и минимизации амплитуд по ортогональной Y-компоненте.

Контроль в реальном времени

В условиях современного высокопроизводительного цикла полевых сейсморазведочных работ, одной из ключевых задач является оперативный контроль

▼ *Рис. 2. Пример анализа и наложения секторов, рассчитанных по сейсмограммам.*





▲ *Рис. 3. Пример разворота 3С данных и контроля энергии.*

поступающей информации для своевременной оценки соответствия данных требованиям технического задания и принятия решений о необходимости переотработки. Для решения указанных задач функционал стандартной системы контроля качества был расширен за счет создания специализированных программных модулей, обеспечивающих автоматическое считывание данных различных форматов, расчет и анализ атрибутов, оперативное выявление отклонений и формирование отчетов контроля качества по отдельным линиям, блокам и объекту в целом. На рисунке 4 представлена фотография мониторов системы контроля работы в реальном времени при проведении морских сейсмических работ.

Разработанная технология уже применяется на морских сейсморазведочных проектах, обеспечивая оперативное выявление отклонений и повышение эффективности принятия производственных решений, что способствует сокращению временных и экономических затрат.

Экспресс- и полноценная обработка 2D/3D данных сейсморазведки

С учетом стадийности и сроков выполнения геологоразведочных работ (ГРР) перед сейсморазведочными исследованиями стоит задача не только получения качественных материалов, но и их оперативной обработки для своевременной корректировки программ ГРР и проектных решений. В связи с этим в программном комплексе «SeisPro» активно развиваются технологии экспресс-обработки, направленные на сокращение времени получения промежуточных и итоговых результатов. Наряду со стандартными алгоритмами обработки выполняется постоянная оптимизация вычислительных процессов и совершенствование рабочих процедур. Одной из реализованных технологий является возможность поэтапного досуммирова-



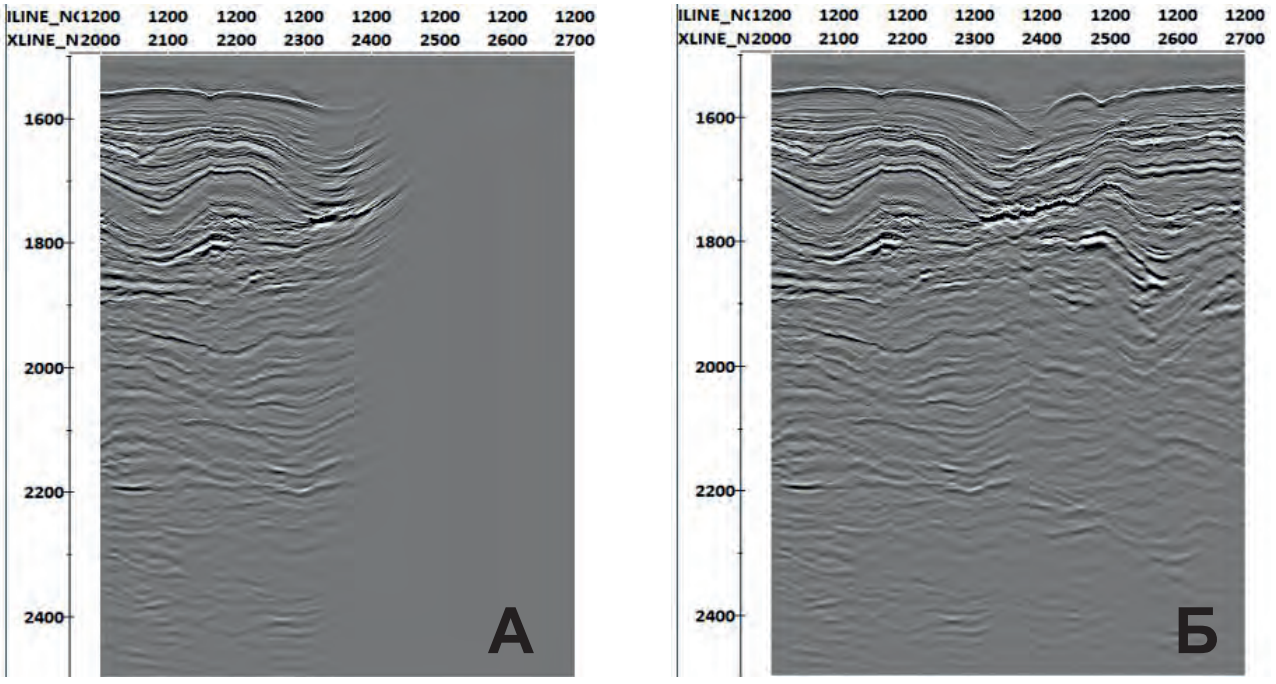
▲ *Рис. 4. Контроль качества в реальном времени.*

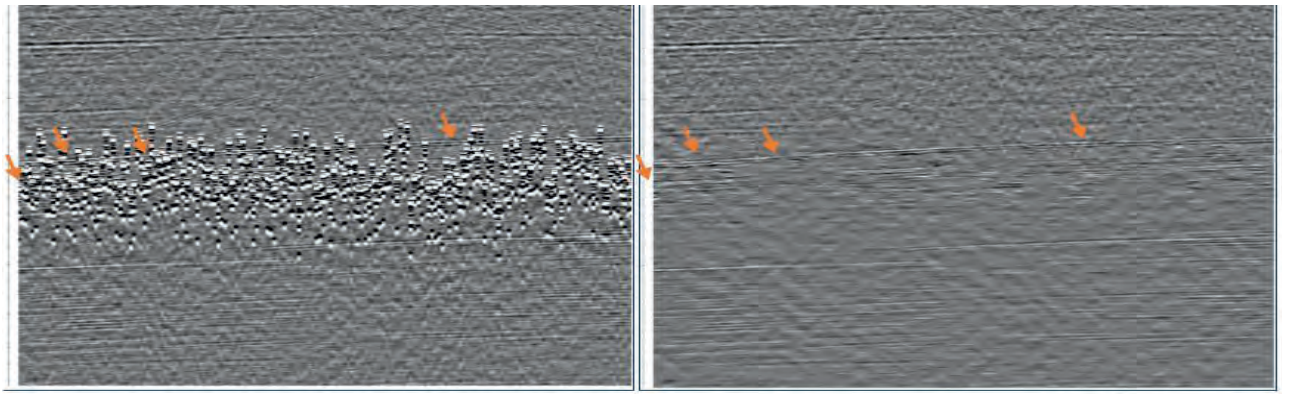
ния данных. На рисунке 5а представлен суммарный временной разрез, построенный по части исследуемого участка. После поступления данных со следующего участка выполняется их досуммирование без необходимости повторного полного пересчета всего массива данных, что существенно ускоряет процесс экспресс-обработки.

С внедрением высокопроизводительных технологий сейсмических работ на шельфе, предусматривающих одновременную работу нескольких групп источников возбуждения, одной из актуальных задач становится корректное разделение зарегистрированных сигналов. В программном комплексе «SeisPro» реализован алгоритм Deblending, прошедший многократную апробацию на различных типах сейсмических данных. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 6.

Как уже было отмечено выше, кроме стандартных и расширенных программ и алгоритмов в ПО реализованы специальные возможности и технологии. Особен-

▼ *Рис. 5. Пример разрезов: а – первого блока, б – с подсуммированием второго блока.*





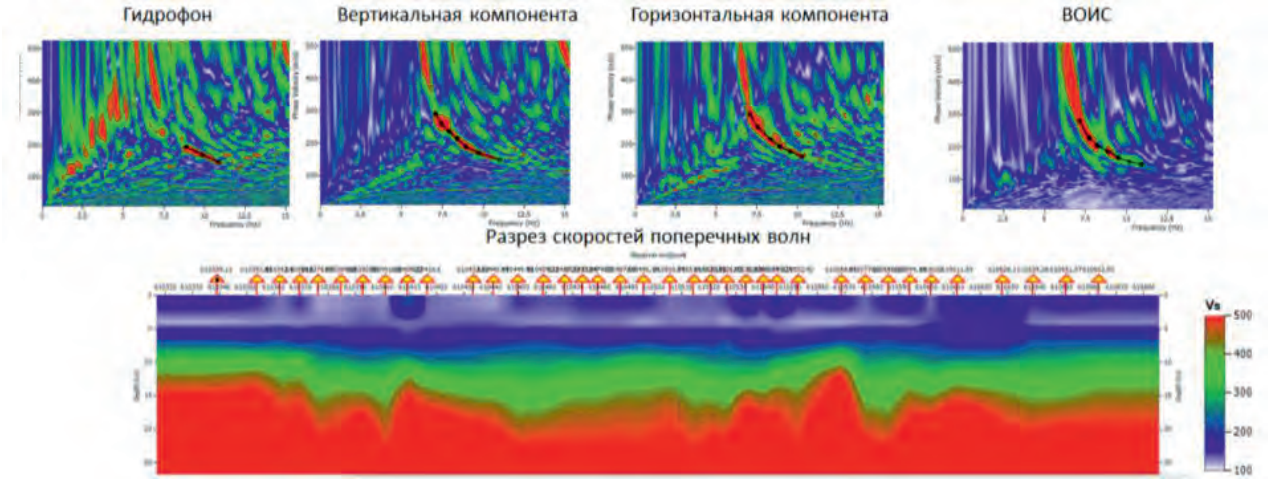
▲ *Рис. 6. Пример сейсмического разреза полученного при одновременной работе нескольких источников и результат вычитания.*

но хотелось обратить внимание на метод многоканального анализа поверхностных волн (MASW), предназначенный для построения разрезов скоростей поперечных волн в верхней части геологического разреза. Метод основан на использовании «граничных» волн и инверсии их дисперсионных характеристик. Высокая энергия поверхностных волн обеспечивает повышенное отношение сигнал/шум, что способствует получению устойчивых и достоверных результатов. Расчет дисперсионных изображений выполняется независимо в FV- и FK-областях, а реализованный полуавтоматический алгоритм пикирования обеспечивает построение дисперсионных кривых фундаментальной и высших мод. На рисунке 7 представлены примеры дисперсионных спектров и разрезов скоростей поперечных волн. Практическое применение метода показало его высокую эффективность при выявлении опасных геологических процессов и инженерно-геологических неоднородностей в условиях газонасыщенных разрезов на мелководном шельфе.

Оперативный контроль результатов обработки и ИСО

Одной из актуальных задач современной сейсморазведки является интерпретационное сопровождение обработки (ИСО), направленное на детальный контроль амплитудно-частотных, фазовых и других характеристик сейсмических данных, а также их изменений в процессе применения различных процедур обработки. Широкий функционал программного комплекса «SeisPro»

▼ *Рис. 7. Пример спектров и разрез Vs.*



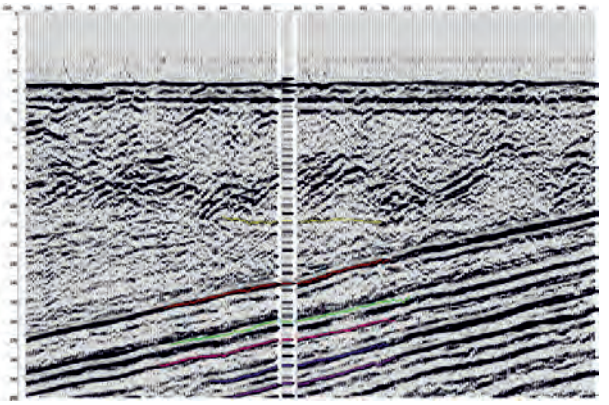
позволяет эффективно использовать его для решения задач ИСО, как со стороны исполнителя работ, так и со стороны заказчика и супервайзера, обеспечивая комплексный анализ результатов обработки на различных этапах технологического процесса.

ВСП и ВОИС

Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) в различных модификациях является эффективным инструментом решения широкого круга задач на этапах поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа, а также при выполнении инженерно-геофизических исследований. Коллектив разработчиков в течение многих лет занимается развитием методов ВСП и повышением результативности исследований. В рамках данной работы реализован широкий набор алгоритмов обработки и анализа данных — от стандартных процедур ВСП до технологий, основанных на использовании волоконно-оптических информационных систем (ВОИС).

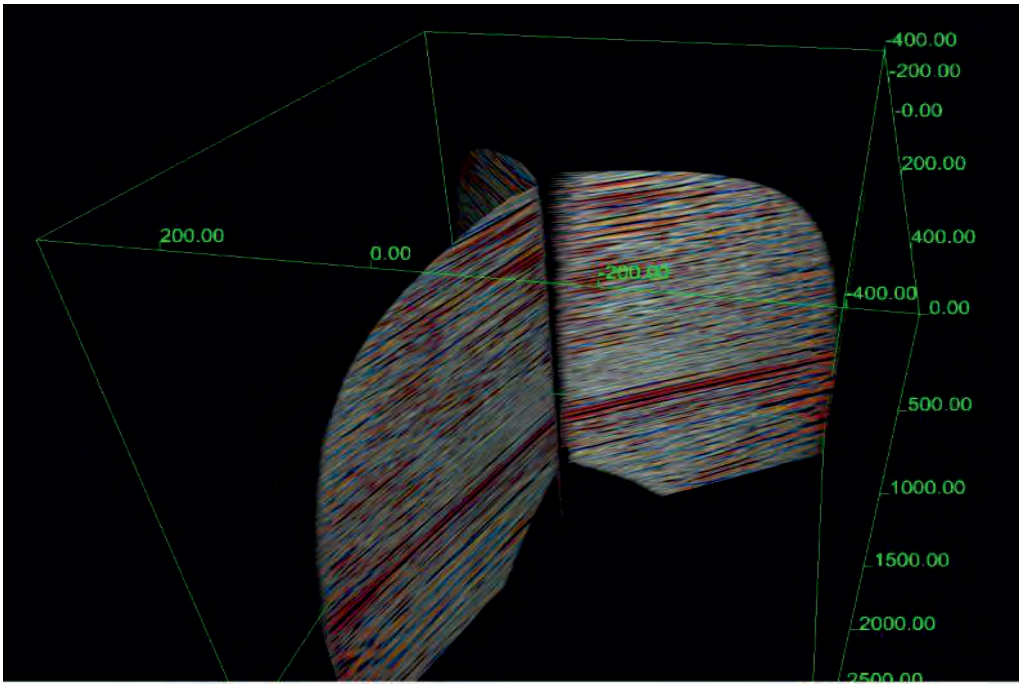
В программном комплексе «SeisPro» реализована возможность обработки различных типов ВСП-данных:

- ВСП;
- НВСП;
- ВСП с подвижным источником;
- 3D ВСП;
- ВСП-ВОИС.



▲ *Рис. 8. Фрагмент включения трассы коридорного суммирования ВСП-ВОИС в сейсмический разрез при работах на шельфе [Судакова, 2021].*

Программный комплекс обеспечивает выполнение полного графа обработки ВСП-данных, включая контроль качества (QC), моделирование ВСП, анализ и ориентацию 3С-данных, сигнальную обработку, построение скоростных моделей для P- и S-волн, сейсмическую привязку, анализ атрибутов волнового поля и построение



▶ *Рис. 9. Визуализация азимутального НВСП.*

изображений методом миграции Кирхгофа. На рисунке 8 представлен пример сопоставления композитного разреза ОСТ-сейсмики высокого разрешения с коридорной суммой ВСП-ВОИС, а на рисунке 9 — пример визуализации азимутального НВСП.

С учетом активного развития технологий ВОИС в программном комплексе реализована поддержка данных различных производителей и форматов, включая Silixa, Fotech HDF5, Terra15 HDF5, Sintela (PRODML) HDF5 и Alcatel ASN OptoDAS.

Технические требования

С начального этапа разработки одним из ключевых вопросов являлся выбор программно-аппаратной платформы. В качестве базовой операционной системы была выбрана платформа Windows как наиболее распространенная и удобная для практического применения. В настоящее время программный комплекс «SeisPro» функционирует в 64-битной архитектуре, что обеспечивает поддержку многопоточных вычислений, эффективное использование вычислительных ресурсов и выполнение ресурсоемких процедур обработки данных.

С учетом широкого спектра решаемых задач программный комплекс не предъявляет жестких требований к аппаратному обеспечению и может использоваться как на портативных рабочих станциях, так и на высокопроизводительных вычислительных системах.

Конфигурация вычислительных ресурсов может быть адаптирована в зависимости от типа решаемых задач и объема обрабатываемых данных, обеспечивая эффективное выполнение различных этапов обработки.

Интерфейс программного комплекса ориентирован на практическое применение и обеспечивает удобную организацию рабочих процессов при выполнении различных этапов обработки и анализа данных. Для пользователей доступны руководство по эксплуатации и техническая поддержка на русском языке.

Одной из важных особенностей программного комплекса является возможность интеграции пользовательских модулей и алгоритмов, реализованных на языках Python и C++.

Архитектура программного комплекса допускает расширение функциональных возможностей за счет разработки специализированных модулей и алгоритмов для решения прикладных геофизических задач.

Программный комплекс «SeisPro» включен в реестр отечественного программного обеспечения Минцифры России.

Заключение

Таким образом, многолетняя работа коллектива специалистов позволила создать многофункциональный программный комплекс, предназначенный для решения широкого круга задач обработки, анализа и интерпретации разнотипных сейсмических данных. Реализованные алгоритмы и технологии обеспечивают возможность применения программного комплекса при выполнении инженерно-геофизических исследований, наземной и морской сейсморазведки, работ ВСП, обработки данных волоконно-оптических информационных систем, а также комплексной интерпретации геофизических материалов.

В рамках статьи рассмотрена лишь часть реализованных в программном комплексе «SeisPro» алгоритмов и технологических решений. Дополнительная информация о возможностях программного обеспечения доступна на официальном сайте разработчика:

www.сейспро.рф
sales@seispro.ru
+7 (495) 532–76–36

Благодарности

Авторы выражают благодарность всем специалистам и организациям, принимавшим участие в разработке, тестировании и практической апробации программного комплекса «SeisPro».

Литература

1. Белов М.В., Потемка А.К., Токарев М.Ю., Понимаскин А.И., Понимаскин А.О. Обработка данных ВОИС-ВСП в программном пакете Seis Pro // Доклад VIII Международной геолого-геофизической конференции и выставке «ГеоЕвразия-2025», Москва, 14-16 мая 2025.

2. Владов М.Л., Токарев М.Ю., Старовойтов А.В., Шалаева Н.В. Становление и развитие георадиолокации в МГУ // Разведка и охрана недр. № 5, 2004, с. 13-15.

3. Владов М.Л., Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Шалаева Н.В., Старовойтов А.В. Сейсмоакустические исследования на кафедре сейсмометрии и геоакустики // Разведка и охрана недр. № 5, 2004, с. 10-13.

4. Горбачев С.В., Оболенская А.А. Состояние и перспективы рынка обработки сейсмических данных в России // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №4, 2023, с 22-28.

5. Горбачев С.В. Состояние и перспективы ВСП // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2024, с 56-63.

6. Горбачев С.В., Терёхина Я.Е., Токарев М.Ю., Соловьева М.А., Буланова И.А. О необходимости изучения верхней части разреза на начальных этапах геологоразведочных работ на шельфе Печёрского моря с применением методики специальной обработки и интерпретации // Геофизика, №3, 2025, с 11-19. DOI 10.34926/geo.2025.41.26.002

7. Половков В.В., Карпенко В.А., Рахимов Э.А., Терёхина Я.Е., Горбачев С.В., Пономаренко А.В., Сакулина Т.С. Применение нейронных сетей для обработки поверхностных волн, зарегистрированных при проведении сейсмических работ на акватории // Геофизика, №3, 2025, с 34-41. DOI 10.34926/geo.2025. 82.56.005

8. Хачатрян А. М. Возможности программного обеспечения SeisPro для контроля качества и оперативной обработки сейсмических данных // Доклад на IX Международной геолого-геофизи-ческой конференции и выставке «ГеоЕвразия-2026». Геологоразведочные технологии - наука и бизнес», Москва, 31 марта-4 апреля 2026.

9. Хачатрян А., Токарев А. Что нового, SeisPro? // Доклад VIII Международной геолого-геофизической конференции и выставке «ГеоЕвразия-2025», Москва, 14-16 мая 2025.

10. Щуплов П. А., Яковенко А.Д., Пирогова А.С., Вязниковцев А.А., Ярыгин И.С. Инверсия данных высокоразрешающей сейсмоакустики – новые возможности SeisPro для интерпретации в верхней части разреза на шельфе // Доклад на IX Международной геолого-геофизической конференции и выставке «ГеоЕвразия-2026». Геологоразведочные технологии - наука и бизнес», Москва, 31 марта-4 апреля 2026.

11. Судакова М.С., Белов М.В., Понимаскин А.О., Пирогова А.С., Токарев М.Ю., Колюбакин А.А. Особенности обработки данных вертикального сейсмического профилирования морских малоглубинных скважин с волоконно-оптическими распределенными системами // Геофизика. № 6, 2021, с. 111-119.

12. Пирогова А.С., Замотина З.С., Чегодаева А.Е., Щуплов П.А., Шилова М.А., Яковенко А.Д., Рыбин Н.А. Динамический анализ данных 3D сейсморазведки для характеристики потенциально опасных геологических процессов и явлений на шельфе Охотского моря // Геофизика. № 6, 2021, с. 76-86.

13. Токарев М.Ю., Пирогова А.С., Терёхина Я.Е., Щуплов П.А., Потемка А.К., Яковенко А.Д., Симонова А.К. Примеры применения анализа количественных атрибутов сейсмических данных для идентификации основных опасных геологических процессов и явлений на арктическом шельфе // Геофизика. № 6, 2025, с. 44-53.

К вопросу о применении теоремы отсчётов для интерполяции данных малоглубинных волновых методов

- Романов В.В., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва.
- Новиков П.В., Посеренин А.И., РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва.

Аннотация: *Статья поднимает вопрос о выборе шага дискретизации и возможности интерполяции данных волновых методов на основе интерполяционного ряда Уиттекера.*

Ключевые слова: *теорема отсчётов, волновые малоглубинные методы, интерполяция.*

Введение

Основными волновыми методами, применяемыми для изучения верхней части разреза, являются инженерная сейсморазведка и георадиолокация. Их объединяет общие моменты теории, структура данных и параметры цифровой регистрации — шаг дискретизации, количество отсчётов на трассу, длина записи [Романов и др.2023][Романов и др.,2024]. Наравне с шагом приёма, выбор значения шага дискретизации — основной спорный момент при планировании и проведении полевых работ волновыми методами [Спасский, Банщиков, 2014].

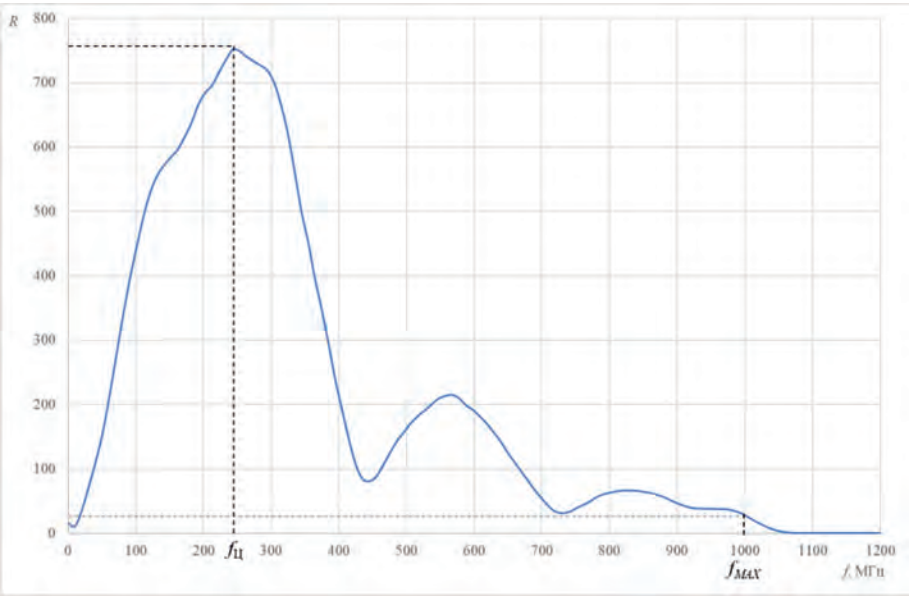
Несмотря на широкий диапазон возможных шагов дискретизации в современной аппаратуре, в обосновании этого параметра зачастую допускаются ошибки. Слишком большие значения шага дискретизации с неизбежностью приводят к искажению спектра дискретизируемых сигналов — алиасинг-эффекту, последствия которого на стадии цифровой обработки неустранимы. Заниженное значение шага дискретизации означает, что количество отчётов на трассу станет чрезмерным и это окажет нагрузку на все функциональные блоки регистрирующих каналов и вычислительные мощности системы обработки. Такая нагрузка может привести к “зависанию” программы регистрации, критически увеличить время записи накапливаемых реализаций, выразиться в неоправданно большом занимаемым объёме памяти. Поэтому регистрация данных волновых методов на минимально обеспечиваемом аппаратурой шаге дискретизации не является рациональным решением.

Как правило, достаточно малым шагом считается выбранный на основе критерия из теоремы отсчётов с двухкратным “запасом”.

$$\Delta t < \frac{1}{4 f_{max}} \qquad (1)$$

где f_{max} — оценка максимальной частоты теоретически нефинитного спектра дискретизируемого сигнала.

Уменьшение шага дискретизации вдвое относительно требования теоремы отсчётов применяется для учёта нефинитности спектра дискретизируемого сигнала, последующего восстановления его приближённым алгоритмом линейной интерполяции и для снижения искажения отдельных отсчётов [Спасский, Банщиков, 2014] до допустимого предела в 3 дБ. Применение указанного критерия на практике затруднено тем, что если центральная(преобладающая) частота $f_ц$ сигнала приближённо известна (в случае георадиолокации) или легко определяется по экстремуму на спектре (в сейсморазведке), то максимальная частота может меняться в очень широких пределах в зависимости от порога её оценки. Как правило, максимальная частота спектра в 3–4 раза больше цен-



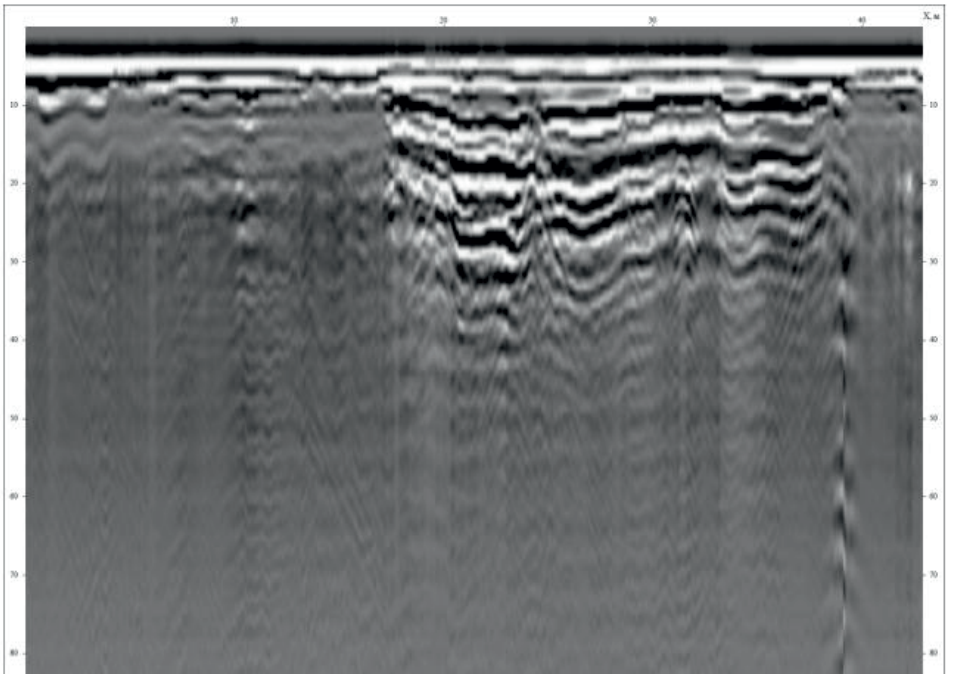
▲ *Рис. 1. Спектр трассы радарограммы, полученной антенным блоком АБ-250.*

тральной частоты сигнала (Рис.1).

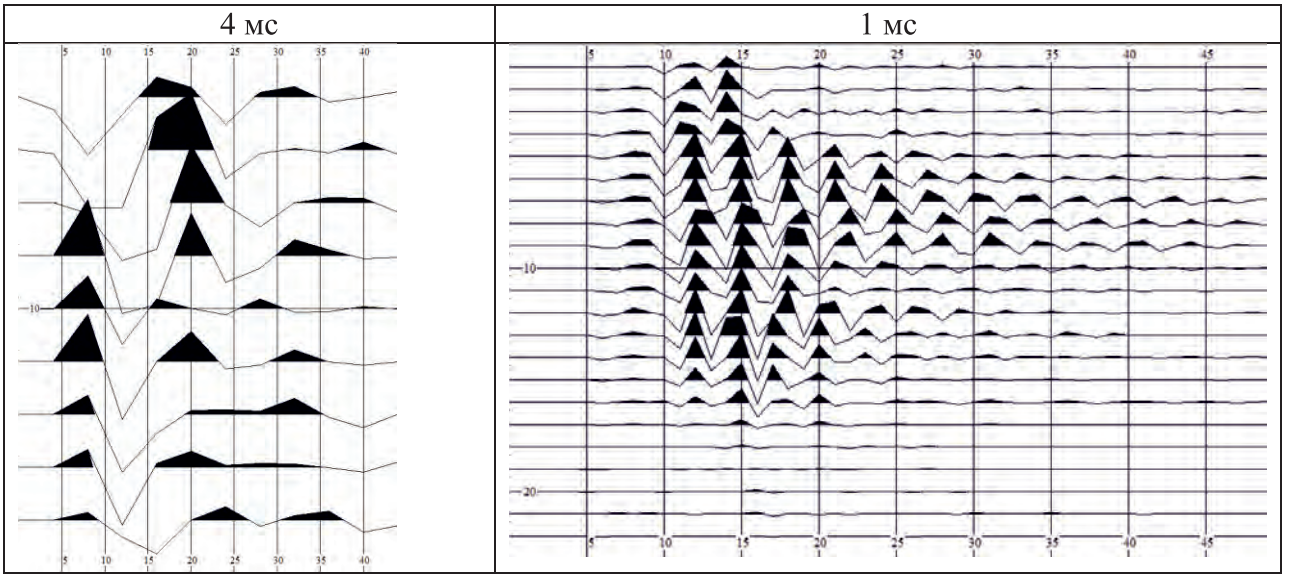
Поэтому критерий (1) можно переписать на основе более надёжно определяемого или заданного параметра — центральной частоты(2).

$$\Delta t < \frac{1}{16 \cdot f_Ц} \qquad (2)$$

Например, для георадара с АБ–250 шаг дискретизации не должен превысить 0,25 нс. В некоторых радарах количество отсчётов на трассу фиксированно, например для серии ОКО–2 оно равно 512, что соответствует предельной длине записи 128 мс. Увеличение длины записи свыше рекомендуемых значений в радарах ОКО-2 приводит к пропорциональному возрастанию шага дискретизации и утрате высоких частот спектра из-за воздействия анти-алиасинг фильтра. На рис. 2 показана радарограмма, полученная АБ-250 с длиной записи 400 нс и шагом дискретизации 0,78 нс, в центральной её части выделяются несколько осей синфазности с характерной "рваной" формой.



◀ *Рис. 2. Радарограмма, полученная антенным блоком АБ-250 (ОКО-2) и с шагом дискретизации 0,78 нс.*



▲ *Рис. 3. Результаты ВСП с шагом дискретизации 4 и 1 мс.*

В наземной инженерной сейсморазведке шаг дискретизации обычно выбирается на уровне 1,0 или 0,5 мс, в вертикальном сейсмическом профилировании, где центральная частота сигнала в несколько раз больше, шаг должен быть уменьшен до 0,20–0,25 мс. Для примера, на Рис.3 показан фрагменты записи ВСП, полученный с шагом 1 и 4 мс. В результате слишком "грубой" дискретизации значительно искажены форма импульсов и значения отдельных отсчётов, снижена резкость вступления. Трассы ВСП, полученные с завышенным шагом дискретизации выделяются по пилообразной, угловатой форме.

Центральная частота целевой волны на записи рис.3 составляет 75 Гц, что указывает на необходимость шага дискретизации не менее 0,8 мс. Среди стандартных значений подходят 0,5 и 0,25 мс, но никак не применённые при регистрации 4 и 1 мс.

Вместе с тем, если для интерполяции применить интерполяционный многочлен Уиттекера, упомянутый в теореме отсчётов, то некоторые записи, полученные с избыточным шагом дискретизации, можно "исправить", чему и посвящена предлагаемая статья.

Метод решения

Задача исправления содержания трасс, полученных с недостаточно малым шагом дискретизации, решается за счёт их интерполяции с целым коэффициентом. Шаг дискретизации интерполированного временного ряда выбирается в несколько раз меньшим, чем определяется в теореме отсчётов, то есть берётся запас по частоте дискретизации. По теореме Котельникова-Шеннона сигналы, обладающие конечной энергией и финитным спектром, представимы в виде интерполяционного ряда Уиттекера (3).

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} s\,(i \cdot \Delta t)\,\mathrm{sinc}\left(\frac{\pi}{\Delta t}(t - i\Delta t)\right) \quad (3)$$

где Δt - шаг дискретизации, s — отсчёт исходного ряда, i —его индекс, sinc — синус-кардинал (функция отсчётов).

При введении в выражение (3) целочисленного коэффициента интерполяции m, показывающего во сколько раз уменьшится шаг дискретизации, в выражении сокращается шаг дискретизации исходного временного ряда (4). Исходный ряд при этом ограничивается диапазоном индексов 0 .. N-1.

$$s'_j = \sum_{i=0}^{i=N-1} s_i \operatorname{sinc}\left(\pi\left(\frac{j}{m} - i\right)\right) \quad (4)$$

где s — отсчёт исходного ряда, i —его индекс, s' — отсчёт интерполированного ряда, j —его индекс, N — количество отсчётов в исходном ряде.

И окончательно, с учётом быстрого убывания значения функции отсчётов, нет необходимости для интерполяции использовать все значения исходного ряда. Практически достаточно взять только $2 \cdot M + 1$ отсчётов, расположенных в окрестностях отсчёта с индексом b(5). Рациональное значение M обычно не превышает 3–5.

$$b = \left[\frac{j}{m}\right] \quad (5)$$

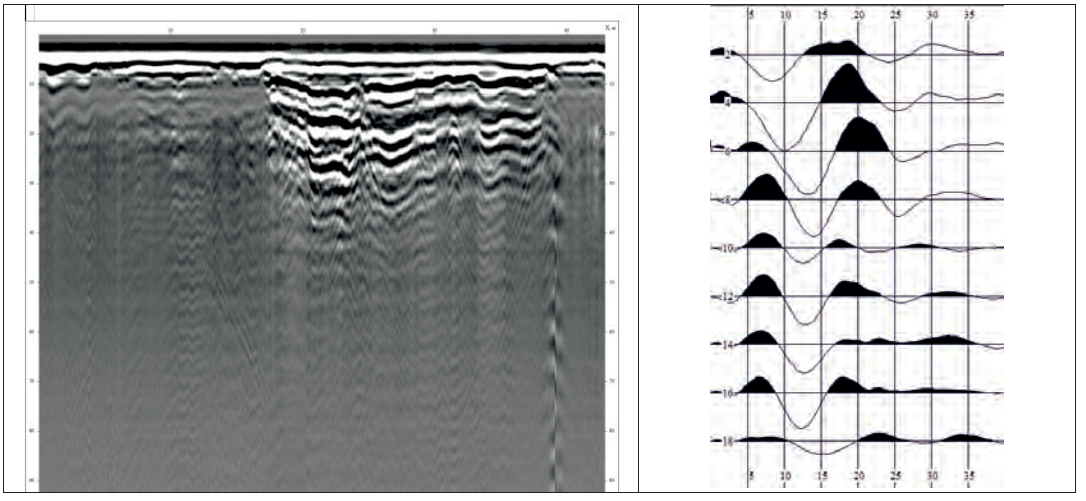
$$s'_j = \sum_{i=b-M}^{i=b+M} s_i \operatorname{sinc}\left(\pi\left(\frac{j}{m} - i\right)\right) \quad (6)$$

Слабым местом интерполяции на основе ряда Уиттекера является низкая скорость вычисления из-за многократного расчёта функции отсчётов. Этот недостаток легко решается предварительной оценкой всех возможных аргументов sinc и вычислением значений этой функции до интерполяции. На рис. 4 приведена схема расчёта для параметров интерполяции m=2 и M=1.

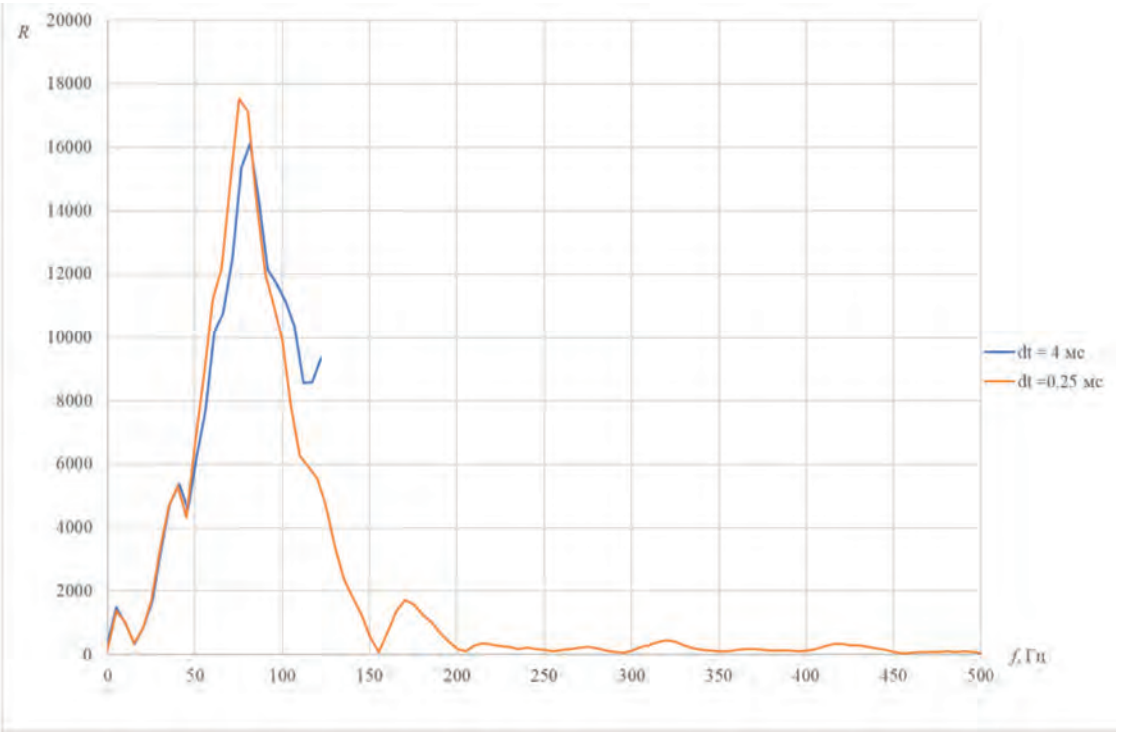
На рис. 5 показаны результаты передискретизации данных георадиолокации и ВСП, что наглядно демонстрирует положительный эффект от применённого алгоритма. Контуры осей синфазности значительно сгладились, пилообразная форма сигналов сменилась на более "естественную".

s	i	j	j/m	j/m-i	sinc	s'
0.000	**0**	0	0.0	**1.5**	-0.212	
		1	0.5			
0.368	**1**	2	1.0	**0.5**	0.637	
		3	**1.5**			0.670
0.685	**2**	4	2.0	**-0.5**	0.637	
		5	2.5			
0.905	3	6	3.0			
		7	3.5			
0.998	4	7	3.5			

▲ *Рис. 4. Получение одного отсчёта интерполированного ряда на основе теоремы отсчётов.*



▲ *Рис. 5. Результаты интерполяции записанных данных ВСП и георадиолокации.*



▲ *Рис. 6. Результат передискретизации данных ВСП с шага 4 мс до 0,25 мс.*

На рис. 6 показано, как применённая интерполяция привела к значительному расширению полосы спектра в область высоких частот, что благоприятствует таким процедурам обработки, как деконволюция и полосовая фильтрация.

Выводы

Применение интерполяции к данным георадиолокации и ВСП, полученным при формальном выполнении требований теоремы отсчётов, позволяет сгладить форму сигналов и осей синфазности, а также расширить спектр трасс в область высоких частот.

Литература

1. Романов В. В., Иванов А. А., Кауркин М. Д. Сравнение форматов хранения георадиолокационных данных // Георадар 2023 : Сборник тезисов научно-практической конференции, Москва, 22–24 марта 2023 года. – Москва: ООО "Издательский дом "Академия естествознания", 2023. – С. 88-89. – EDN JWHUVX.

2. Романов В.В., Кауркин М.Д., Андреев Д.О., Матюшенко А.А. Миграция данных георадиолокации с целью увеличения разрешающей способности // Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 4 (83). С. 121-124.

3. Спасский Б. А., Банщиков А. И. О выборе шага дискретизации по времени и по пространству при регистрации полевых данных в сейсморазведке // Геофизика. – 2014. – № 5. – С. 62-67. – EDN SXXVQD.

4. Худяков, Г. Теорема отсчётов для цифровой обработки случайных процессов // Компоненты и технологии. – 2009. – № 5(94). – С. 110-113. – EDN MTFVRP.

Анализ первого опыта применения геофизических методов при изучении карстового процесса

- Романов В.В., Рыжков В.И., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва.
- Воробьев М.А., Фаргиев И.И., РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва.

Аннотация: *В статье анализируется опыт первого применения метода кажущегося сопротивления при выделении водоносных горизонтов в карстовом массиве. Немецкие геофизики впервые доказали эффективность и экономичность наземных геофизических методов при исследования сложного геодинамического процесса.*

Ключевые слова: *карст, электроразведка, установка Веннера.*

Введение

Термин «карстовый процесс», означающий растворение подземных водами и последующее выщелачивание (вынос) осадочных горных пород, происходит от немецкой формы «Karst» названия словенского плато Крас исторической области Крайна(Карниола). Плато не только дало название процессу, но и стало своеобразным натурным полигоном для изучения особенностей проявлений карста, взаимодействия растворимых пород с потоками подземных вод и образования специфических форм рельефа. Одно из первых описаний геологии плато приведено в труде 1689 года «Die Ehre des Herzogthums Crain(Слава герцогства Крайна)» словенского учёного Янеза Вайкарда Вальвазора, где рассматриваются значимые проявления карстового процесса — натёчные минеральные образования, ныряющие реки и временные озёра, поноры(ponor), воронки(doline) и полья(polja)[7].

В 1778 году австрийский исследователь Балтазар Аке в работе «Oryct-ographia Carniolica Physikalische Erdbe-schreibung des Herzogthums Krain (Физико-географический очерк герцогства Крайна)» дополнил описание форм карстового рельефа плато Крас (Рисунок 1) и сделал попытку объяснить их происхождение[3].

В работе Ф. Й. Г. фон Хоэнварта (Wegweiser für die Wanderer in der



▲ *Рис. 1. Временное карстовое озеро Церкница на гравюре Аке.*

berühmten Adelsberger und Kronprinz Ferdinands-Grotte bey Adelsberg in Krain, 1830-1832), где описывается пещера Адельсберг (Постойна Яма), этим словом Karst называется уже не регион, а геологический процесс и формы рельефа, с ними связанные[4]. В докторской диссертации сербского геолога Йована Цвийича «Das Karstphänomen» (1893) были заложены основы науки о карстовых процессах — карстологии и систематизирован перечень терминов в этой области.

Карстовые формы были разделены на поверхностные (эпикарст) и подземные (эндокарст).

В обиход мировой науки вошли названия поверхностных форм — карры (борозды), долины (воронки), увалы (котловины) и полья(впадины) и подземных — поноры (вертикальные каналы), пещеры и галереи, а также шахты.

На основании существующих теорий гидрогеологии карста (грунтовых вод А.Грунда и обособленных водотоков А. Катцера) в карстовом массиве выделяются субгоризонтальные или наклонные уровни подземных вод и отдельные изолированные каналы движения их потоков[5]. Для определения гидрогеологических условий в карстовом массиве необходимо установить параметры карстовых водоносных горизонтов — глубину, наклон и азимут простирания.

Бурение плотной сети скважин является самым точным методом решения этой проблемы, но оно связано с высокими затратами и применяется редко. Вместе с тем, горизонты сильноминерализованных карстовых вод по отношению к вмещающему карбонатному массиву выделяются как хорошо дифференцированные по удельному сопротивлению низкоомные интервалы с резкими границами. Указанные обстоятельства в первой половине XX века предопределили эффективность методов электроразведки при изучении карстового процесса.

Первый опыт применения разведочной геофизики при исследовании карстового процесса изложен в статье немецких учёных Альфреда фон Леонберга и Валтера Стерна[2]. Исследователи впервые применили метод кажущегося сопротивления, запатентованный Конрадом Шлюмберже в 1915 году, для изучения временного озера Церкница (Рисунок 2), представляющего собой карстовую впадину(полье)[5].

Результаты

Электроразведочные работы методом вертикального электрического зондирования были выполнены по сети ортогональных наземных профилей, часть измерений производились повторно, что позволило выполнить мониторинг



▲ *Рис. 2. Поноры озера Церкница.*

сезонного колебания уровня грунтовых вод. Результаты измерений представлены в виде кривых зависимости кажущегося удельного сопротивления (Scheinbar spezifischer Widerstand) от глубины (sic!) (Рисунок 3).

Примечательно, что на диаграммах удельное сопротивление выражено в некорректных единицах (1000 Ом/см^3), правильное обозначение (1 кОм·см=10 Ом·м), для перевода к СИ значения сопротивления на диаграм3 мах (1000·Ом/см^3) умножаются на 10, в таблицах (Ом/см^3) делятся на 100.

▼ *Рис. 3. Кривая ВЭЗ.*

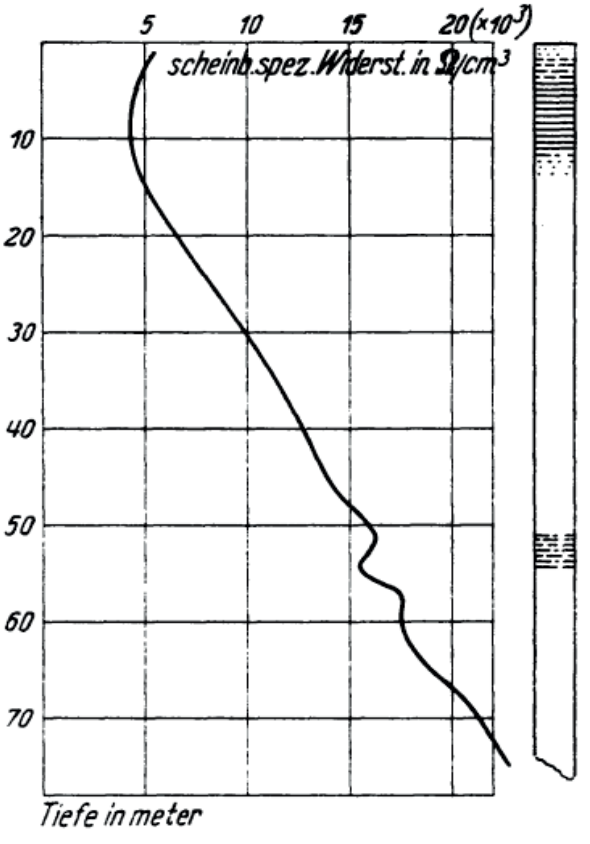
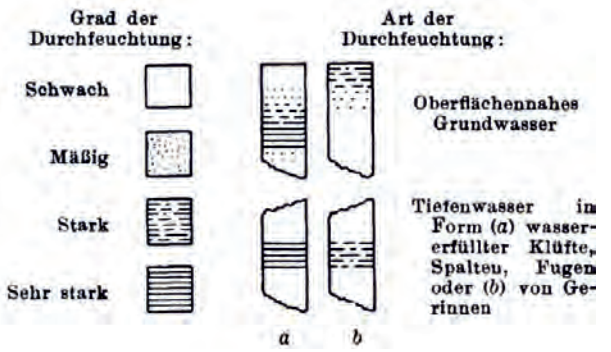


Tabelle 1. Meßreihen für Meßpunkt II

Sonden-abstand m	Potential-gefälle Millivolt	Stärke des Bodenstromes Milliamp.	Scheinbarer spez. Widerstand Einzelwerte Ω/cm³	Scheinbarer spez. Widerstand Mittelwerte Ω/cm³
1	2226	90	15600	
1	2371	80	18600	17200
1	2226	81	17300	
2	694	105	8310	
2	737	103	9000	9050
2	1142	146	9830	
3	320	134	4500	
3	343	142	4560	4750
3	369	133	5230	

▲ *Рис. 4. Фрагмент полевого журнала.*



▲ *Рис. 5. Обозначения при интерпретации кривых ВЭЗ.*

Для понимания исторического контекста следует отметить, что решение прямой задачи ВЭЗ на основе интеграла Ханкеля нулевого порядка было опубликовано только в 1930 году [6], а палетки А.М. Альпина в 1935 году [1].

Поэтому интерпретация на уровне кривых ВЭЗ в 1932 году исторически оправдана, но в любом случае непонятен знак равенства между разносом (Sondenabstand) и глубиной, подразумеваемый авторами. Полевой журнал, приведённый авторами в статье, указывает на особенности измерения кажущего удельного сопротивления в то время — высокие погрешности в определении разности потенциалов, нестабильность генератора по току, линейный шаг разноса питающей линии. Кроме того, данные полевых журналов указывают на применение практически неудобной четырёхэлектродной установки Веннера[8].

Выводы

Несмотря на несколько наивные (с современной точки зрения) подходы к интерпретации результатов электроразведки и несовершенство аппаратуры, полученные авторами результаты дали толчок к началу широкого применения электроразведки в исследовании и мониторинге развития карстового процесса.

Литература

1. Альпин Л. М. Заметки по теории электрической разведки. — М. : ОНТИ. Главная редакция геолого-разведочной и геодезической литературы, 1935. — 44 с.

2. Рекомендации по геофизическому исследованию закарстованности территорий, предназначенных для строительства. — Москва : Стройиздат, 1971. — 43 с.

3. Hacquet B. Oryctographia Carniolica, oder Physikalische Erdbeschreibung des Herzogthums Krain, Istrien, und zum Theil der benachbarten Länder : in 4 Bd. — Leipzig : Johann Gottlob Immanuel Breitkopf, 1778–1789. — URL: dlib.si (дата обращения: 27.05.2026).

4. Hohenwart, F. J. H. von. Wegweiser für die Wanderer in der berühmten Adelsberger und Kronprinz Ferdinands-Grotte bey Adelsberg in Krain. — Laybach : Kleinmayr, 1830–1832. — 3 Bft.

5. Leonberg. A. und W. Stern Ein neuer Weg der karsthydrologischen Forschung durch Anwendung geoelektrischer Methoden. Zeitschrift. f. Geophysik, 6/7. Braunschweig, 1932.

6. Stefanesco S., Schlumberger C., Schlumberger M. // Journal de Physique et le Radium, 1930, Vol. 1, No. 4, P. 132–140. DOI: 10.1051/jphysrad:0193000104013200

7. Valvasor, J. W. Die Ehre deß Herzogthums Crain [Electronic resource] / J. W. Valvasor. — Laybach ; Nürnberg, 1689. — URL: dlib.si (date of access: 28.04.2026).

8. Wenner, F. A Method of Measuring Earth Resistivity / F. Wenner // Bulletin of the Bureau of Standards. — 1915. — Vol. 12, No. 4. — P. 469–478.

Особенности проведения расчетов ожидаемых сейсмических воздействий на участках распространения многолетнемерзлых грунтов

- Кауркин М.Д., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва
- Воробьев М.А., Фаргиев И.И., РГГУ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва

Аннотация: *В статье рассмотрены проблемы расчёта ожидаемых сейсмических воздействий на участках распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) при выполнении сейсмического микрорайонирования. Показано, что стандартные нелинейные динамические характеристики (зависимости модуля сдвига и демпфирования от деформации), полученные для талых и мерзлых грунтов, существенно отличаются. Отмечено, что в программных комплексах NERA, DEEPSOIL и ProShake отсутствуют встроенные кривые для мерзлого состояния, что требует ручного ввода пользователем. На примере сейсмогеологической модели, включающей слои талого и мерзлого песка, выполнено численное моделирование процесса оттаивания в программе NERA. Установлено, что с увеличением мощности талых грунтов возрастает пиковое ускорение, а при достижении определенной мощности талого слоя изменяется форма спектра реакции со смещением пикового значения в область более длинных периодов.*

Ключевые слова: *сейсмические воздействия, многолетнемерзлые грунты, инженерная геофизика, сейсморазведка, криолитозона, сейсмическое микрорайонирование.*

Введение

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) является обязательной частью инженерно-геологических изысканий, выполняемых в сейсмически опасных районах [1, 2]. Ключевой задачей СМР выступает определение скоростей распространения поперечных волн (Vs) в грунтовой толще на участке изысканий, поскольку эти скорости непосредственно используются для расчёта приращения сейсмической интенсивности и построения сейсмогеологических моделей [3–5].

На территориях распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ), занимающих значительную часть Российской Федерации, сейсмические свойства грунтовой толщи подвержены существенным сезонным и техногенным (в ходе строительства и эксплуатации) изменениям. Наличие сезонно-мерзлого слоя, а также возможность техногенного или климатического оттаивания ММГ приводят к изменению скоростных и нелинейных динамических характеристик грунтов. При этом существующие нормативные документы и программные комплексы (NERA, DEEPSOIL, ProShake) не содержат встроенных нелинейных зависимостей модуля сдвига и демпфирования для мерзлого состояния, а методика прогноза сейсмических воздействий для оттаивающих грунтов разработана недостаточно.

Целью настоящей работы является оценка влияния мощности талых грунтов на параметры ожидаемых сейсмических воздействий (пиковое ускорение и спектры реакции) при оттаивании многолетнемерзлых грунтов на основе моделирования в программе NERA.

Проблемы проведения расчетов для участков распространения ММГ

Расчет ожидаемых сейсмических воздействий является важным этапом сейсмического микрорайонирования (СМР), на котором получают основные

количественные характеристики движения грунта непосредственно на площадке строительства.

В соответствии с требованиями нормативных документов и сложившейся практикой, основным инструментом таких расчетов служат одномерные модели распространения сейсмических волн в слоистой грунтовой толще, реализующие либо эквивалентно-линейный, либо нелинейный подход к описанию динамического поведения грунтов. К числу наиболее широко применяемых в отечественной и мировой практике программных средств относятся NERA, DEEPSOIL и ProShake, каждая из которых обладает определенными вычислительными особенностями, но в то же время опирается на общую систему исходных данных.

В рамках данной работы расчеты ожидаемых воздействий будут выполняться в специализированной программе NERA. Программа NERA (Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil deposits) разработана в [3]. Ранее авторами уже была опубликована серия работ по особенностям проведения расчетов сейсмических воздействий в программе NERA [4–6], поэтому процедура расчетов здесь подробно не описывается.

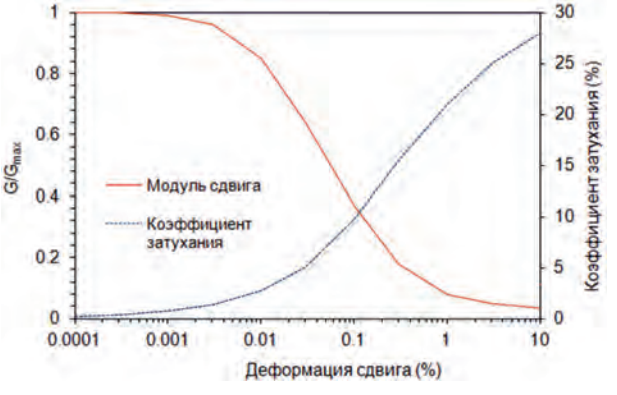
Для проведения расчётов в программе NERA требуется ввести входное сейсмическое воздействие, которое представляет собой акселерограмму, подаваемую на нижнюю границу модели. Акселерограмма должна быть представительной для сейсмотектонической обстановки района, соответствовать по магнитуде, расстоянию и типу подвижки зонам возможных очагов землетрясений (зонам ВОЗ), выделенным на этапах общего сейсмического районирования (ОСР) и детального сейсмического районирования (ДСР).

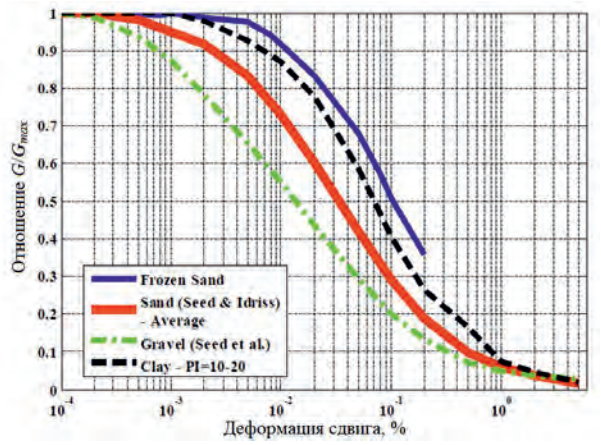
Кроме исходной акселерограммы необходимо внести данные о сейсмогеологической модели, которая представляет собой систему слоёв, для каждого из которых приводятся мощность, скорости поперечных волн Vs(м/с), удельный вес (в КН/м3) и тип грунта — глинистый, песчаный или условно скальный.

Центральное место в модели грунтовой толщи занимают нелинейные динамические характеристики, задаваемые для каждого слоя, зависимостью нормированного модуля сдвига G/Gmax и коэффициента демпфирования ξ (%) от величины сдвиговой деформации γ (в долях единицы или процентах). Диапазон деформаций должен охватывать уровни от 10^{-6} до 10^{-2} (1%), что позволяет корректно описать поведение грунта как при слабых, так и при сильных землетрясениях. Типовые зависимости для различных типов талых грунтов, широко используемые в практике изысканий, были получены в фундаментальных работах Seed и Idriss (рисунок 1.) [7], Vucetic и Dobry [8] и впоследствии уточнены многими исследователями.

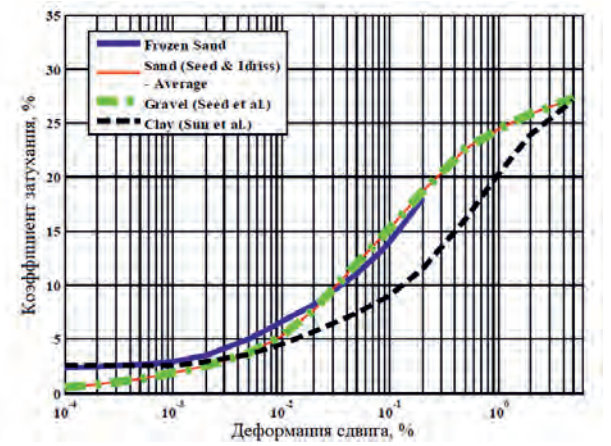
Однако для мерзлых грунтов подобные зависимости получены в ограниченном числе исследований в связи со

▼ *Рис. 1. Зависимости модуля сдвига G и коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ, применённые в программе NERA для песков [3,7].*





▲ *Рис. 2. Зависимости модуля сдвига G от деформации сдвига γ, для мерзлых и талых грунтов [9].*



▲ *Рис. 3. Зависимости коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ, для мерзлых и талых песков [9].*

сложностью динамических лабораторных испытаний при отрицательных температурах. В этом состоит одна из ключевых проблем при расчетах ожидаемых сейсмических воздействий на участках распространения многолетнемерзлых грунтов.

В качестве примера рассмотрим сравнение зависимостей модуля сдвига G и коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ для талых и мерзлых грунтов (рисунок 2-3)[9]. Как показано на рисунке 2, положение кривой для мерзлых песков (синий цвет) существенно отличается от расположения кривой для талых (красный цвет); максимально близко расположена кривая для глинистых грунтов с числом пластичности 10–20. Зависимости коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ для мерзлых и талых песков (рисунок 3) отличаются не так существенно.

программах для расчетов ожидаемых сейсмических воздействий и должны вводиться пользователем самостоятельно. Отсутствие корректно заданных зависимостей для каждого типа грунта в сейсмогеологической модели может приводить к погрешности в 10 и более процентов.

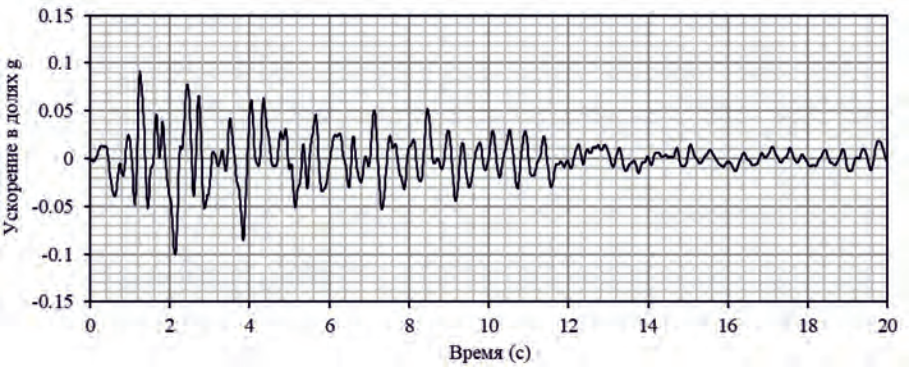
Другая проблема связана непосредственно с методологией сейсмического микрорайонирования. При проведении работ по сейсмическому микрорайонированию на участках с ММГ необходимо выполнять прогноз изменения расчетной сейсмичности в связи с возможным оттаиванием многолетнемерзлых грунтов. В рамках метода сейсмических жесткостей данный прогноз выполняется хотя и с определенными сложностями [10].

В свою очередь, пересчет ожидаемых сейсмических воздействий для сейсмогеологических моделей с оттаявшими грунтами практически не выполняется. С одной стороны, если приведенные в техническом отчете сейсмические воздействия носят формальный характер и не используются проектировщиками для расчета конструкций, данная проблема не является критической. С другой стороны, отсутствие такого пересчета при вовлечении соответствующих данных в строительные расчеты может привести к занижению проектных нагрузок и, как следствие, к снижению сейсмостойкости проектируемого здания.

Как и в случае метода сейсмических жесткостей, для выполнения расчета ожидаемых сейсмических воздействий необходимо знать, какая мощность

Тип грунта	Мощность, м	Плотность, г/см3	Скорость поперечных волн, м/с
Талый песок	2	1.98	200
Мерзлый песок	28	2.00	800
Скальный грунт		2.50	1600

▲ *Табл. 1. Параметры сейсмогеологической модели.*



▲ *Рис. 4. Акселерограмма исходного сейсмического воздействия.*

грунтов может перейти в талое состояние и как при этом изменятся их физико-механические и сейсмические свойства. Этой проблеме была посвящена статья [10], в которой подробно описана необходимость применения теплотехнических расчетов для прогноза изменения сейсмической интенсивности.

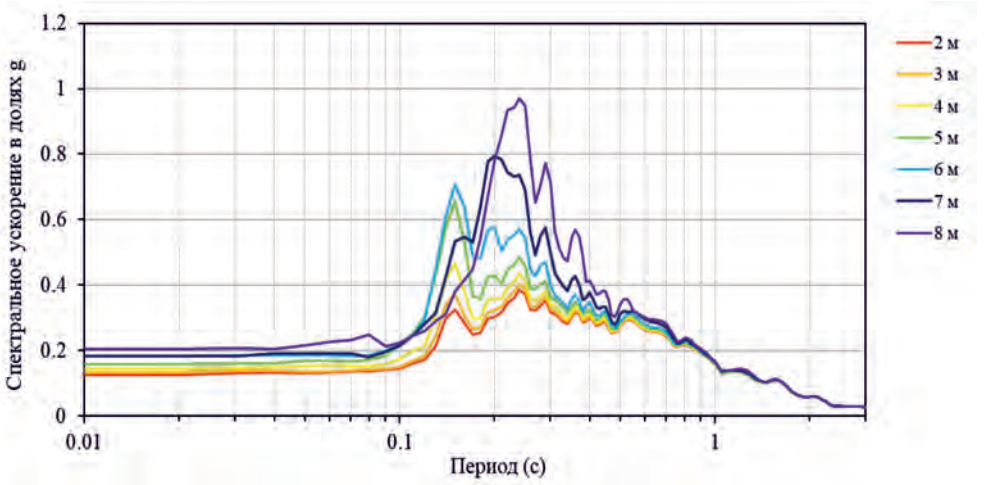
Для демонстрации изменения интенсивности ожидаемых сейсмических воздействий, обусловленного оттаиванием грунтов в разрезе, выполним серию расчетов в программе NERA для следующей сейсмогеологической модели.

В качестве исходного сейсмического воздействия (входной акселерограммы) использована синтезированная запись землетрясения с параметрами: магнитуда 6,5, эпицентральное расстояние 40 км, тип подвижки в очаге – сброс. Акселерограмма в программе была масштабирована до значения пикового ускорения 0,1g (рисунок 4).

Для моделирования процесса оттаивания производилось постепенное изменение мощностей талых и мерзлых грунтов в сейсмогеологической модели с шагом 1 м, и для каждого шага выполнялся расчет ожидаемых сейсмических воздействий.

Результаты расчетов в виде сравнения полученных спектров реакции приведены на рисунке 5. Из рисунка видно, что

▶ *Рис. 5. Спектры реакции для разной мощности талых грунтов в разрезе.*



Мощность талых грунтов в сейсмогеологической модели, м	Значение пикового ускорения расчетной акселерограммы, g
2	0.125
3	0.135
4	0.146
5	0.16
6	0.183
7	0.195
8	0.205

▲ *Табл. 2.*

при мощности талых грунтов в разрезе до 6 м происходит увеличение спектрального ускорения без изменения формы спектра реакции. Начиная с 6 метров наблюдается не только увеличение спектрального ускорения, но и изменение формы спектра реакции со смещением пикового значения в сторону более длинных периодов.

В таблице 2 представлены результаты расчетов в виде сравнения пиковых ускорений ожидаемых сейсмических воздействий. Как следует из полученных данных, с увеличением мощности талых грунтов в сейсмогеологической модели наблюдается рост пикового ускорения.

Выводы

1. Стандартные нелинейные динамические характеристики (зависимости модуля сдвига и демпфирования), встроенные в программы NERA, DEEPSOIL и ProShake, получены для талых грунтов и существенно отличаются от мерзлых.

2. Численное моделирование в программе NERA показало, что с увеличением мощности талых грунтов в разрезе возрастает пиковое ускорение. При достижении мощности талого слоя 6 м и более происходит не только рост ускорений, но и существенное изменение формы спектра реакции – смещение пика в область более длинных периодов, что критически важно для расчёта периода собственных колебаний зданий.

3. Для составления корректных сейсмогеологических моделей необходимо привлекать результаты теплотехнических расчётов в части прогноза изменения мощности талых грунтов.

4. В настоящей работе не рассматривались такие важные аспекты, как изменение резонансной частоты сейсмогеологической модели при моделировании оттаивания, а также вариативность исходных сейсмических воздействий. Указанные вопросы планируется изучить и представить в последующих публикациях.

Литература

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. М.: Стандартинформ, 2018.

2. СП 283.1325800.2016 Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. М.: Стандартинформ, 2017.

3. Bardet J.P., Tobita T., 2001. NERA: a computer program for nonlinear earthquake site response analyses of layered soil deposits. Publishing house of the University of Southern California, Los Angeles, CA, USA.

4. Кауркин М.Д., Романов В.В. Особенности проведения расчета сейсми-

ческих воздействий в специализированной программе NERA. Геоинформатика. 2019. № 1. С. 44-52.

5. Кауркин М.Д., Романов В.В. Расчет сейсмических воздействий в специализированных программах NERA и EERA. Инженерные изыскания. 2017. № 4. С. 54-62.

6. Кауркин М.Д., Романов В.В., Андреев Д.О. Особенности проведения расчетов сейсмической интенсивности на участках распространения скальных грунтов. Инженерные изыскания. 2021. Т. 15. № 3-4. С. 70-79.

7. Seed H.B., Idriss I.M. Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses. – Report No. EERC 70-10, University of California, Berkeley, 1970.

8. Vucetic M., Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response // Journal of Geotechnical Engineering. – 1991. – Vol. 117, No. 1. – P. 89-107.

9. Yang Z.J., Dutta U., Xu G., Hazirbaba K. Effects of Permafrost and Seasonally Frozen Ground on the Seismic Response of Transportation Infrastructure Sites, 2010. 92 p.

10. Кауркин М.Д., Кауркин В.Д. О необходимости разработки методики прогноза изменения сейсмичности на участках распространения многолетнемерзлых грунтов. Приборы и системы разведочной геофизики. 2025. № 1 (84). С. 72-76.

Обоснование возможности выполнения 4D сейсмического мониторинга для сухопутного газового месторождения

- Соколовский Р.А., ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым
- Казанин А.Г., Литвачук А.В., Соколов А.А., АО «МАГЭ», г. Москва
- Жуков А.П., Кляжников Д.В. ООО «Спецгеофизика», г. Москва

Аннотация: *Концепция использования повторяющихся во времени (4D) сейсмических исследований начала обсуждаться еще с 1970-х годов. В этот период промышленность была сосредоточена на разработке сухопутных месторождений и первые попытки применить сейсморазведку для наблюдения за процессами эксплуатации залежей углеводородов (УВ) были выполнены именно в условиях суши. Тем не менее, реальное становление 4D-сейсморазведки связано с шельфовыми проектами – невозможность мониторинга состояния залежи УВ с помощью бурения наблюдательных скважин способствовала выработке технологической и методической основы сейсмомониторинга и последующему повсеместному внедрению в производство. Сегодня, когда ценность 4D-сейсморазведки не вызывает сомнения, вновь возникает интерес к ее применимости на сухопутных месторождениях. В статье показаны результаты петроупругого и сейсмогеологического моделирования 4D-отклика для реального месторождения, результаты 4D-обработки сейсмических данных представлены в следующей статье.*

Ключевые слова: *4D сейсморазведка, сейсмомониторинг на суше, петроупругое моделирование, сейсмогеологическое моделирование.*

Обоснование возможности выполнения 4D-мониторинга

Как любая другая технология, 4D сейсмический мониторинг применим не везде. 4D базируется на двух основных понятиях – обнаруживаемость 4D-сигнала и повторяемость наблюдений. Любые физические процессы, связанные с разработкой залежи УВ, обязательно влекут за собой изменения упругих свойств пласта. При этом основным вопросом становится прогноз величины изменения упругих свойств и связанные с ними изменения сейсмических амплитуд записи (обнаруживаемость). 4D-сигналы по определению малы и для их уверенного обнаружения следует минимизировать отличия в методике и технологии проведения мониторинговых сейсмических наблюдений (повторяемость). Обнаруживаемость – это свойство резервуара и повлиять на него можно только путем выбора оптимального срока выполнения мониторинговой съемки исходя из очевидного предположения, что с увеличением накопленной добычи уровни эффектов в сейсмических амплитудах будут возрастать. В свою очередь, повторяемость наблюдений - полностью зависимый от исполнителя полевых работ параметр и, теоретически, можно обеспечить абсолютное совпадение двух съемок. На практике же сейсмические съемки всегда будут иметь различия, уровень которых определяется компромиссом между решаемой геологической задачей и экономической целесообразностью.

Перед принятием решения о проведении сейсмического мониторинга необходимо провести синтетическое моделирование для ответа на вопросы о наличии сейсмических эффектов (ожидаемом сигнале 4D) от разработки конкретной залежи УВ, величине этих эффектов, периоде времени, через которое эффект

будет возможно зафиксировать и проинтерпретировать, что и будет являться основанием к постановке данного вида работ.

В статье показан процесс обоснования применимости 4D сейсмического мониторинга с помощью петроупругого и сейсмогеологического моделирования на примере одного из нефтегазоконденсатных месторождений п-ова Ямал. Целевым объектом изучения являлись пласты ТП1-ТП6 танопчинской свиты, разрабатываемые с 2012 года. Средняя глубина залегания объекта составляет 1342 м, средняя эффективная газонасыщенная толщина – 23,1 м. Среднее значение пористости – 26%, газонасыщенности – 73%, проницаемости – 115 мД. На рассматриваемом месторождении дважды (в период 2002-2007 гг и 2020-2022 гг) были выполнены сейсмические съемки 3D, что дает возможность реализовать их совместную 4D-обработку (первая съемка может являться «базовой», последующая – «мониторинговой») и обнаружение эффектов от разработки в реальном волновом поле. В статье прогноз 4D-эффектов будет показан на временной период, соответствующий указанным съемкам 3D.

Петроупругое моделирование

Петроупругое моделирование (ПУМ) является базовым инструментом анализа влияния изменения физических параметров пласта на сейсмические амплитуды для решения задачи обоснования применимости 4D сейсмического мониторинга [1] в условиях конкретного месторождения. Среди основных задач, решаемых посредством ПУМ, можно выделить: оценку влияния изменения порового давления на упругие свойства горных пород; выявление эффектов, связанных со снижением начальной газонасыщенности и изменением положения начального уровня ГВК; изучение влияния уплотнения пород на упругие характеристики пласта и др. [2].

В текущей работе для выполнения петроупругого моделирования была выбрана модель неконсолидированного газонасыщенного песчаника (Unconsolidated Gas Sandstone), которая является частным случаем модели контактов [5] и наилучшим образом подходит для описания коллекторов целевых пластов за счет возможности учета степени уплотнения породы и изменения эффективного давления.

Входными данными для выполнения петроупругого моделирования являлись:

- объемная литологическая модель, полученная по результатам интерпретации данных ГИС, с учетом влияния остаточной газонасыщенности на показания методов нейтронного (НК) и гамма-гамма плотностного (ГГК-П) каротажа;
- коэффициент водонасыщенности пород;
- литостатическое и поровое давления, пластовая температура, минерализация пластовой воды, плотность газа.

Параметрами модели неконсолидированного песчаника являются:

- упругие модули (K, μ) и минеральная плотность матрицы и глинистых минералов;
- индекс жесткости матрицы (MSI);
- координационное число (C) – среднее количество контактов между зернами минералов;
- критическая пористость (ϕ_0) – пористость, при которой происходит переход от суспензии (флюид и зерна находятся в виде суспензии) к флюидонасыщенной горной породе;
- коэффициент трения (FC), описывающий трение между зернами, напрямую связанное с их шероховатостью;

• RR – параметр, характеризующий угловатость зерен.

Для выполнения петроупругого моделирования были отобраны 10 скважин, равномерно освещающих продуктивные пласты ТП1-ТП6 по площади месторождения. Одним из основных требований, предъявляемых к скважинным данным, являлось наличие в целевом интервале качественных замеров акустического (АК), в т.ч. волнового акустического каротажа (ВАК) с регистрацией интервальных времен продольных и поперечных волн, гамма-гамма плотностного каротажа (ГГК-П), а также результатов лабораторных исследований керна.

С целью анализа возможности применения 4D сейсмического мониторинга посредством петроупругого моделирования в интервале целевых пластов ТП1-ТП6 были рассмотрены геологические сценарии, учитывающие изменение различных характеристик пласта:

1) Снижение порового давления (Рпор) в процессе разработки месторождения - истощение залежи без подъема ГВК

Известно, что при разработке месторождений нефти и газа существенно меняются гидродинамический режим и напряженно-деформированное состояние горных пород, что влияет на их физико-механические свойства, определяющие эксплуатационные характеристики коллекторов [3]. В процессе разработки месторождения, как правило, происходит снижение пластового (порового) давления (Рпор), и так как всестороннее горное давление (Рвс) (или литостатическое давление) вышележащих пород остается без изменений, то происходит рост эффективного давления (Рэф). При этом происходит перераспределение напряжений, и ту часть нагрузки, которую принимал на себя содержащийся в порах горных пород флюид (газ, вода, нефть), будет воспринимать скелет породы, ее твердая матрица [4].

Для моделирования были рассмотрены 5 вариантов значений порового давления:

• начальное давление Рпор,нач., равное 14,4 МПа;

• фактическое давление Рпор, факт.;

• в интервале пластов ТП1-ТП6 в каждой рассматриваемой скважине на момент проведения сейсмической съемки 3D;

• пластовое давление Рпор = 10 МПа, близкое к среднему пластовому давлению в зоне отбора на 2021 г.;

• пластовое давление Рпор = 5 МПа на 2033г., т.е. спустя 10 лет после проведения последней 3D съемки;

• пластовое давление Рпор = 2 МПа на конец 2093г., что соответствует варианту разработки на режиме истощения. Начальная газонасыщенность (Кг, нач.) при рассмотрении данного сценария не менялась. После выполнения моделирования проводилось сравнение модельных кривых Vp, Vs и Rhob для 4-х значений Рпор с кривыми, рассчитанными для базового сценария (Рпор.нач. = 14,4 МПа, Кг,нач.).

2) Снижение пористости при увеличении эффективного давления (Рэф) – уплотнение пород

С целью изучения влияния эффективного давления на коллекторские свойства пород были привлечены результаты измерения коэффициента пористости (Кп) на образцах керна, выполненные при значениях Рэф от 15,7 МПа до 22,0 МПа. В диапазоне изменения ФЕС коллекторов апт-барремских отложений увеличение Рэф приводит к незначительному уменьшению пористости, в сред-

нем составляя 0,5%.

Учет пластовых условий проводился путем пересчета пористости Кп,нач., полученной при расчете объемной литологической модели, по уравнению: Кп,пласт. = 0,968×Кп,нач.+0,0024.

3) Снижение начальной газонасыщенности Кг,нач до остаточной газонасыщенности (Кго) – истощение залежи с подъемом ГВК

Для данного сценария были рассмотрены 3 варианта изменения начальной газонасыщенности Кг,нач.: при замещении объема подвижного газа на 25%, 50% водой и при снижении Кг, нач. до величины остаточной газонасыщенности (Кго). Для определения были привлечены результаты определений относительных фазовых проницаемостей (ОФП) в системе «газ-вода». В интервалах коллекторов расчет величины Кго проводился по уравнению Кго=f(Кп). Величина начального пластового давления принята равной 14,4 МПа.

4) Совместное снижение пористости и газонасыщенности при уменьшении порового давления (Рпор) – истощение залежи с подъемом ГВК и уплотнением пород

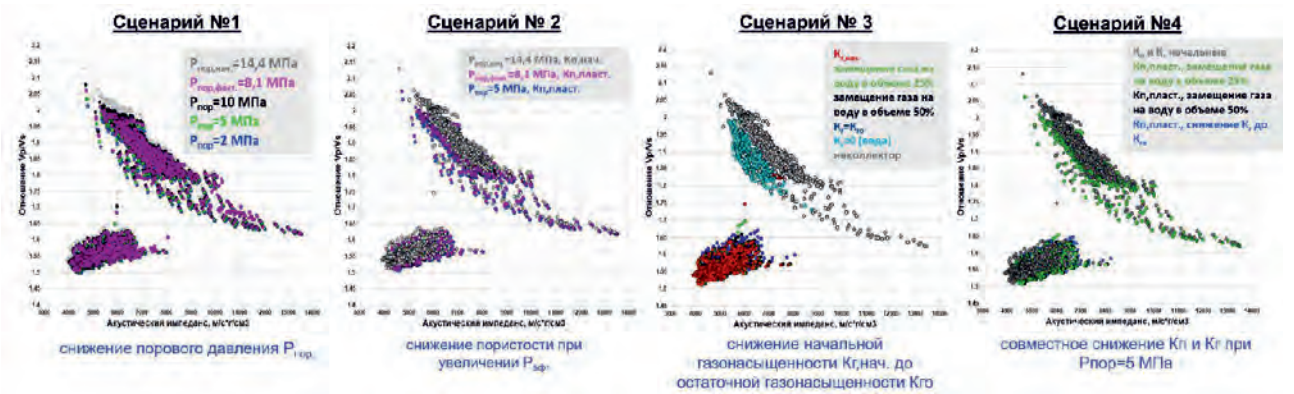
Для данного сценария, который является комбинацией сценариев 2 и 3, моделировалось совместное снижение пористости (за счет приведения величины Кп,нач. к пластовым условиям Кп,пласт.) и газонасыщенности – при замещении объема подвижного газа на 25%, 50% водой и при снижении Кг,нач. до остаточной газонасыщенности Кго. Моделирование проводилось для двух вариантов Рпор:

- при величине фактического порового давления в интервале пластов ТП1-ТП6 в каждой рассматриваемой скважине на момент проведения сейсмической съемки 3D;
- при пластовом давлении Рпор=5 МПа, ожидаемом к 2033 году в соответствии с планом разработки изучаемого месторождения.

Для рассмотренных геологических сценариев подготовлены кросс-плоты сопоставления акустического импеданса и отношения Vp/Vs (Рис. 1).

Анализ полученных результатов моделирования показал, что для всех рассмотренных сценариев отмечается увеличение значений акустического импеданса относительно базового сценария (Рпор.нач., Кг.нач.). Наиболее существенное увеличение величины акустического импеданса (на 9,4% отн.) отмечено для газонасыщенных коллекторов при рассмотрении сценария №4 (Рпор. = 5 МПа, снижение Кп, Кг,нач. до

▼ *Рис. 1. Кросс-плоты акустического импеданса (AI) и Vp/Vs для различных геологических сценариев.*



Кго). Изменения параметра Vp/Vs, по сравнению с акустическим импедансом, не столь значительны. Для сценариев №1, 2 и 4 наблюдается незначительное снижение параметра Vp/Vs (максимальное снижение на -0,9% отн. отмечается для газонасыщенных коллекторов при моделировании сценария №1). При снижении начальной газонасыщенности (Кг,нач.) до остаточной (Кго), при неизменном пластовом давлении Рпор-,нач.=14,4 МПа (сценарий №3), максимальное увеличение Vp/Vs на 1% отн. наблюдается для коллекторов при остаточной газонасыщенности Кго. В целом по пластам ТП1-ТП6 для сценария №3 изменение Vp/Vs незначительно и не превышает 0,3% отн. Таким образом, на основе петрофизического моделирования показана принципиальная возможность регистрации в сейсмическом поле изменений, связанных с процессами разработки.

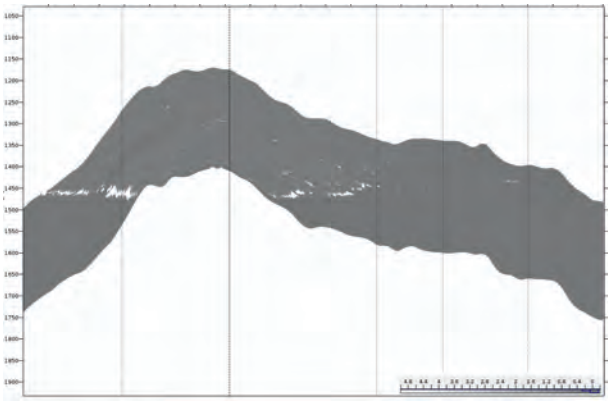
Сейсмогеологическое моделирование

Следующей задачей обоснования возможности применения 4D сейсмического мониторинга является прогноз площадного распределения 4D-эффектов на основе моделирования синтетических сейсмических полей. В основу модели, используемой для расчета синтетики, положен структурный каркас и свойства целевого объекта, взятые из актуальной гидродинамической модели (ГДМ): пористость, глинистость, водонасыщенность и давление, на основе которых подготовлены модели акустических импедансов. Информация из ГДМ выбрана таким образом, чтобы соответствовать моментам проведения сейсмических съёмок 3D (2002-2022 гг). Заданный из ГДМ отклик на многолетнюю добычу газа включает реакцию водонасыщенности (до 5%) (Рис. 2) и пластового давления (до 50%) (Рис. 3). Обращает на себя внимание наличие слабопроницаемых (выделены желтым) и непроницаемых (выделены красным) тектонических нарушений.

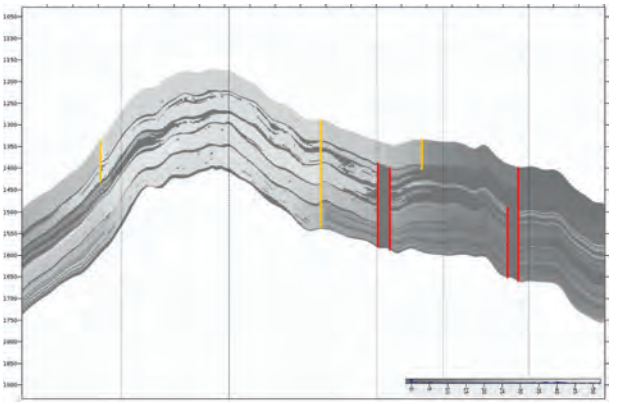
Искомый отклик среды определен в виде контраста акустического импеданса на период времени между базовой и мониторинговой съёмками (Рис. 4). Видно, что основной вклад в контраст акустического импеданса вносит снижение пластового давления в газовой залежи по мере выработки запасов (от 1,5% до 2,75%), хотя наибольшие значения достигаются за счёт обводнения расчётных ячеек модели в приконтактной зоне (от 2,5% до 5%).

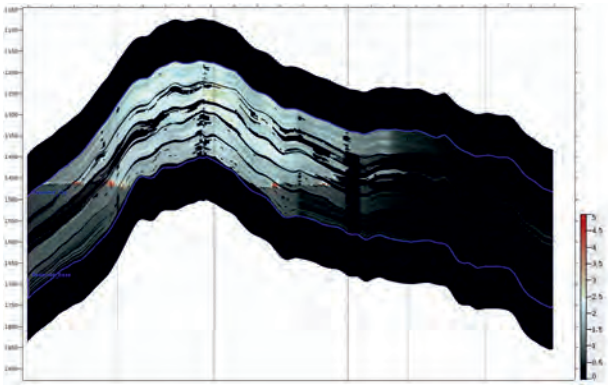
Полученные модели импедансов были переведены во временной масштаб с последующим получением синте-

▼ *Рис. 2. Контраст водонасыщенности по глубине (%).*



▼ *Рис. 3. Контраст пластового давления по глубине (%).*





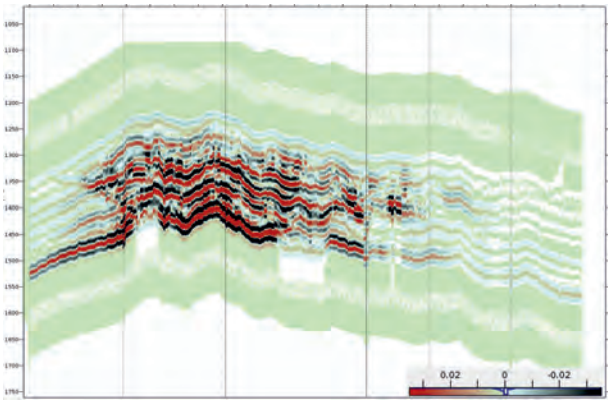
▲ *Рис. 4. Контраст акустического импеданса по глубине (%).*

тических волновых полей путём свертки с нуль-фазовым импульсом Риккера с преобладающей частотой 30 Гц. Обнаруживаемый в синтетическом волновом поле эффект (Рис. 5) связан как непосредственно с изменением акустического импеданса (динамический эффект), так и со смещением T0 отражений за счет изменения скоростных характеристик разреза (кинематический эффект). Кинематический эффект (или временной сдвиг) доминирует в итоговой разнице амплитуд и в случае его исключения из расчетов уровень эффектов существенно падает (Рис. 6).

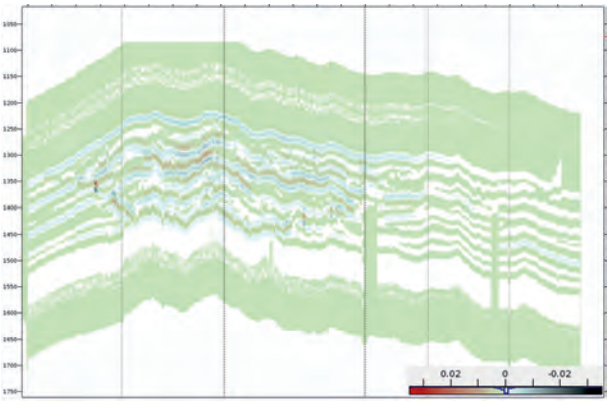
Хотя по результатам синтетического моделирования и прогнозируется наличие в сейсмическом поле 4D-отклика, для получения положительного результата от проведения наблюдений 4D требуется достичь определённых кондиций сейсмических данных. Важное значение здесь имеет повторяемость сейсмических съемок, которая обычно контролируется через параметр NRMS (нормированное среднеквадратичное отклонение). Этот параметр показывает насколько мониторинговая съёмка соответствует базовой. В случае идеального совпадения съемок NRMS будет равен 0%. В мировой практике уровни NRMS для морских проектов обычно составляют >10%, допустимым считается NRMS<30% [6], хотя для суши эти оценки обычно несколько выше.

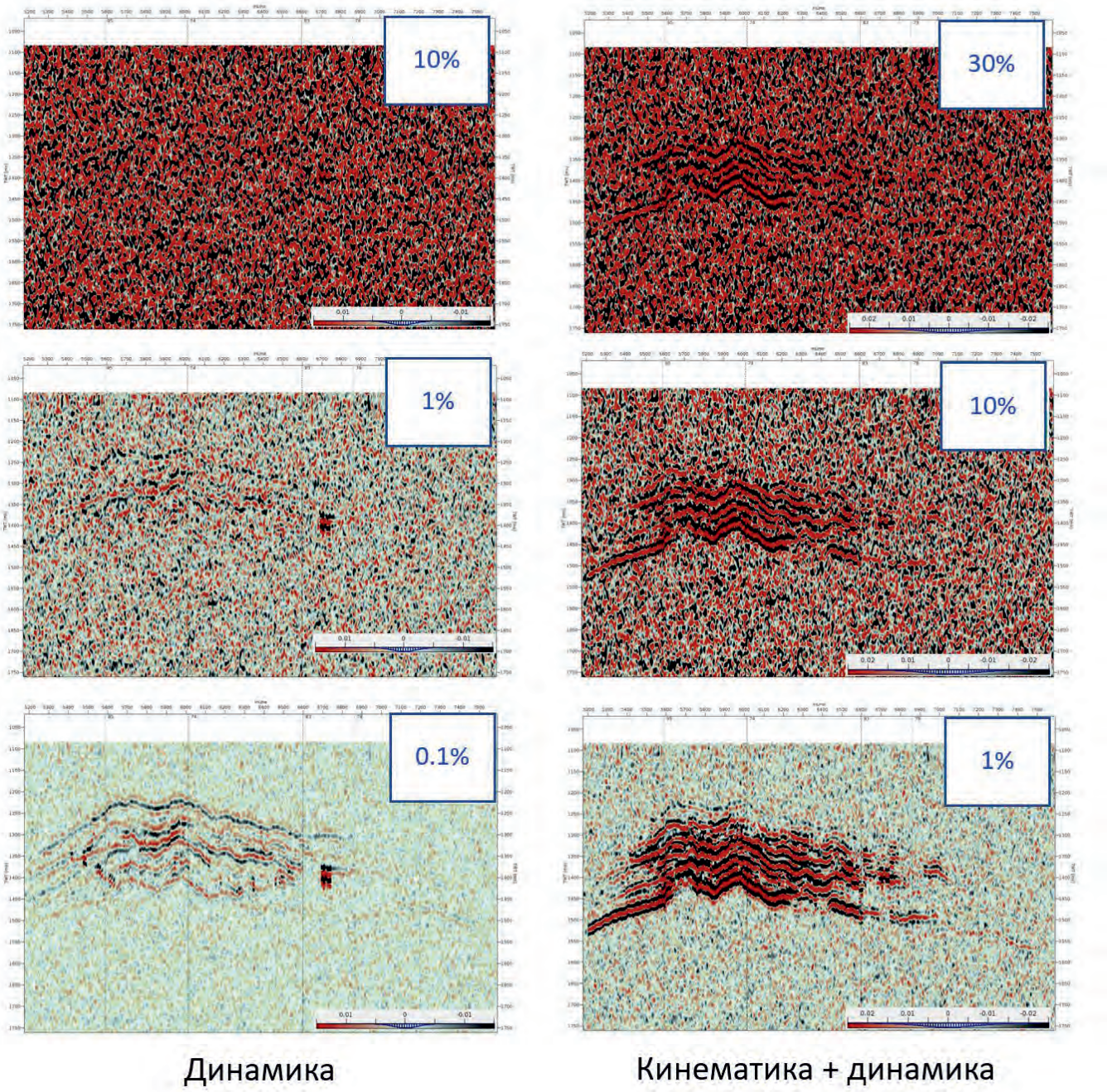
Прогнозные сейсмические отклики были проанализированы на устойчивость к различному уровню шумов (Рис. 7) с последующей оценкой NRMS. Предельный процент шума, сохраняющий разумный уровень NRMS, определён величиной 1% для синтетических волновых полей с исключёнными кинематическими эффектами, и 10 % – для полей с их учётом. Учитывая, что реальный сейсмический отклик от разработки будет содержать в себе как динамический, так и кинематический эффекты, общий уровень эффектов можно считать существенным и обнаруживаемым на реальных сейсмических данных при условии достижения необходимых уровней повторяемости съемок на стадии 4D-обработки.

▼ *Рис. 5. Разностный куб (монитор-база) для синтетических данных.*



▼ *Рис. 6. Динамическая компонента 4D-эффекта (без учета кинематики) для синтетических данных.*





▲ *Рис. 7. Оценка устойчивости 4D-отклика к шуму.*

Заключение

По результатам выполненных работ для рассматриваемого месторождения можно обоснованно ожидать проявление 4D-эффекта и, как следствие, возможность использования 4D-сейсморазведки для наблюдения за процессами разработки. Основные физические процессы, от которых зависит эффект 4D – снижение пластового давления и замещение газа водой при разработке залежи. Наибольший вклад в формирование отклика вносит эффект кинематического сдвига T0 отражений.

На рассматриваемом участке в рамках доразведки выполнена повторная сейсмическая съемка 3D, что позволило провести совместную 4D-обработку съемок для целей фактического определения эффектов в сейсмическом поле. Результаты обработки представлены в следующей статье.

Литература

1. Пискун Д.А., Полякова Л.Е., Радченко А.А. Применение петроупругого моделирования для целей прогноза разработки месторождений (4D сейсмические исследования). Тезисы докладов 25-й научно-практической конференции «Геомодель 2023». Геленджик, 2023.

2. Методические рекомендации по проведению сейсмических исследований 4D с использованием донных систем на шельфовых месторождениях РФ, ПАО «Газпром», ООО «Газпром недра», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», АО «МАГЭ» и др., Москва, Санкт-Петербург, 2025 г.

3. Жуков В.С., Кузьмин Ю.О., Семенов Е.О. Динамика физических свойств коллекторов при разработке месторождений нефти и газа // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2018 г. №1(12). - С.82-99.

4. Жуков В.С. Основные причины изменения комплекса физических свойств коллекторов при разработке месторождений углеводородов // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2018 г. №4. - С.174-183.

5. Mavko, G., Mukerji, T., Dvorkin J. The rock physics handbook (2nd Edition), Cambridge University Press, 2009, 525 p.

6. Johnston D. H. Practical Applications of Time-Lapse Seismic Data, SEG, 2013, 270 p.

Обработка унаследованных съемок 3D для целей 4D-сейсмомониторинга сухопутного газового месторождения

- Соколовский Р.А., ООО «Газпром добыча Надым», г. Надым
- Казанин Р.А., Литвачук А.В., Богданов Е.Д., АО «МАГЭ», г. Москва
- Жуков А.П., Коротков И.П., ООО «Спецгеофизика», г. Москва

Аннотация: *В большинстве случаев, когда речь заходит о 4D-проектах, подразумевается обработка специальным образом спроектированных и отработанных съемок, где параметры наблюдений между базой и монитором в высокой степени согласованы. И в подавляющем большинстве случаев речь идет о морской сейсморазведке. Однако исторически 4D берет свое начало именно с суши - с первых экспериментов на площадях, где по какой-то причине (обычно на этапе доразведки) была повторно выполнена 3D-съемка. В подобных работах, в силу отсутствия наработанных подходов и должной алгоритмической базы, обычно выполнялась увязка отдельных 3D-кубов с помощью простых процедур кросс-эквилизации с последующей попыткой нахождения 4D-отклика в разностном волновом поле. В практике 4D сейсморазведки такого рода съемки принято называть «унаследованными». В текущей статье речь пойдет о современном переосмыслении указанной задачи – показаны результаты обработки двух независимых 3D-съемок с целью получения информации о процессах разработки газовой залежи. Выполнению обработки предшествовала стадия петрофизического и сейсмогеологического моделирования, результаты которого показали принципиальную возможность обнаружения эффектов от разработки сейсморазведкой для указанного месторождения и опубликованы в предыдущей статье.*

Ключевые слова: *4D сейсморазведка, сейсмомониторинг на суше, 4D-обработка, унаследованные съемки*

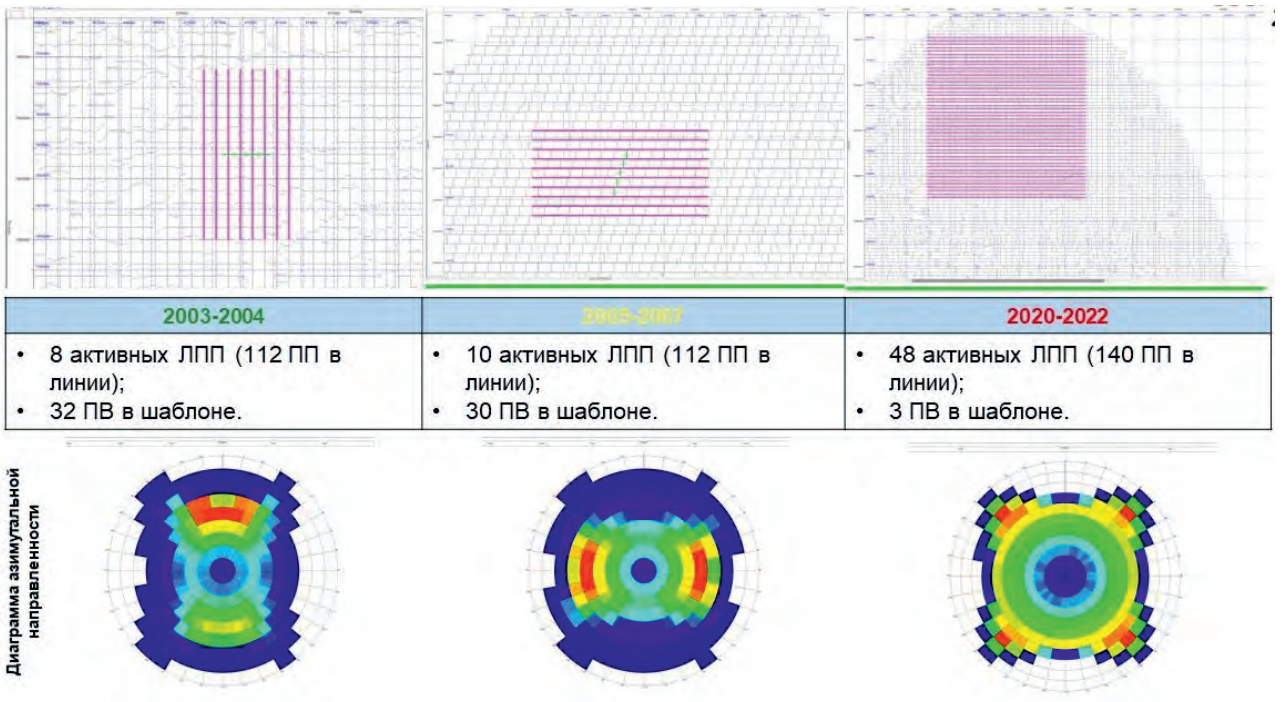
Исходные данные

В работу поступили две съемки, первая из которых стала базой, а повторная – монитором. Задача обработки состояла в попытке получения сейсмических кубов такого уровня согласованности, при котором разница между кубами 3D (4D-разница) позволила бы получить информацию о процессах разработки за период между выполнением сейсмических наблюдений.

Базовая съемка отрабатывалась в сезонах 2002-2007 гг. со взрывным источником, характеристики которого (вес заряда, глубина погружения) менялись каждый сезон. В ряде случаев для отработки эксклюзивных зон использовался поверхностный электродинамический источник. После сезона 2004 г. произошла смена методики наблюдений – азимут линий ПВ и ПП был изменен на 90 градусов, а тип системы наблюдения из центральной симметричной изменился на симметрично-асимметричную (Рис. 1). Кратность съемки в разные сезоны составила 28 и 35 соответственно.

Мониторинговая съемка отработана в сезонах 2020-2022 гг. и представляет собой современные широкоазимутальные наблюдения с вибрационным источником (Рис. 1). Кратность съемки составила 336.

Основополагающим принципом успешности 4D-сейсмомониторинга является высокое соответствие геометрии наблюдений и условий возбуждения и приема базы и монитора [1]. Очевидно, что рассматриваемые в работе съемки с



▲ *Рис. 1. Параметры единичного шаблона регистрации.*

точки зрения 4D являются полностью некондиционными.

Глобальный матчинг съемок и 4D-обработка

Процесс 4D-обработки отличается от стандартной обработки 3D. 3D-обработка направлена на получение лучшего сейсмического изображения, тогда как обработка 4D – на минимизацию различий между съемками, не связанных с процессами эксплуатации месторождения. Процесс постепенного сведения (матчинга) базовой и мониторинговой съемок сопровождается количественными оценками через атрибуты 4D контроля качества (4DКК).

В рассматриваемом случае процесс 4DКК на этапе сигнальной обработки становился практически невыполнимым ввиду существенных различий в исходных данных, не позволяющих однозначно отличить эффекты, связанные с процессами обработки, в поле атрибутов контроля качества.

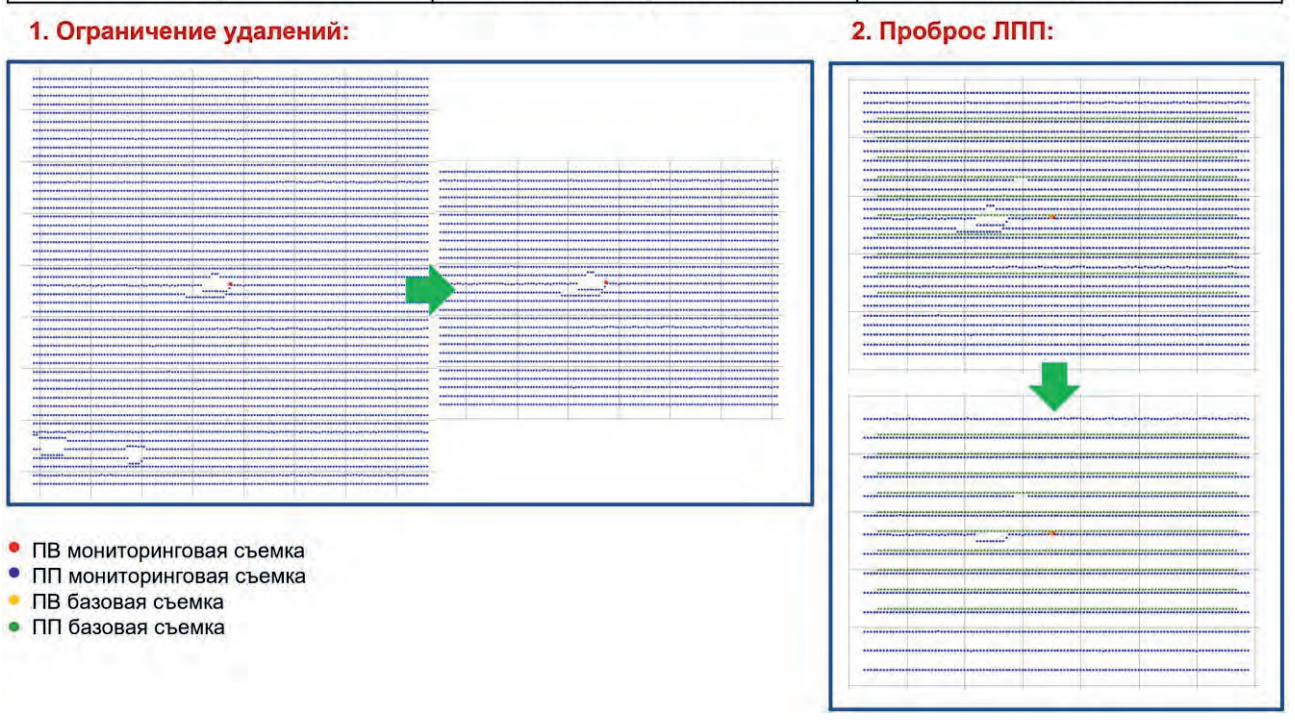
В этих условиях было принято решение выполнить экспресс-обработку с целью получения наборов данных, пригодных для выполнения *глобального матчинга.*

В ходе глобального матчинга на основе результатов экспресс-обработки были выполнены базовые процедуры увязки данных. Динамические характеристики увязаны путем согласования уровня амплитуд и приведения формы импульса к единому виду. Выполнена увязка статического решения, а также первичная синхронизация геометрии наблюдений (Рис. 2).

В результате проброса данных шаблоны съемок стали в значительной мере соответствовать друг другу, а кратность мониторинговой съемки изменилась с 336 до 84, что приближает значение к кратности базовой съемки (35). В качестве референса во всех случаях выступали данные базовых наблюдений.

Полученные по результатам матчинга поправки и операторы были применены к исходным сейсмическим данным, что позволило существенно сблизить наборы и перейти к совместной 4D-обработке (Рис. 3).

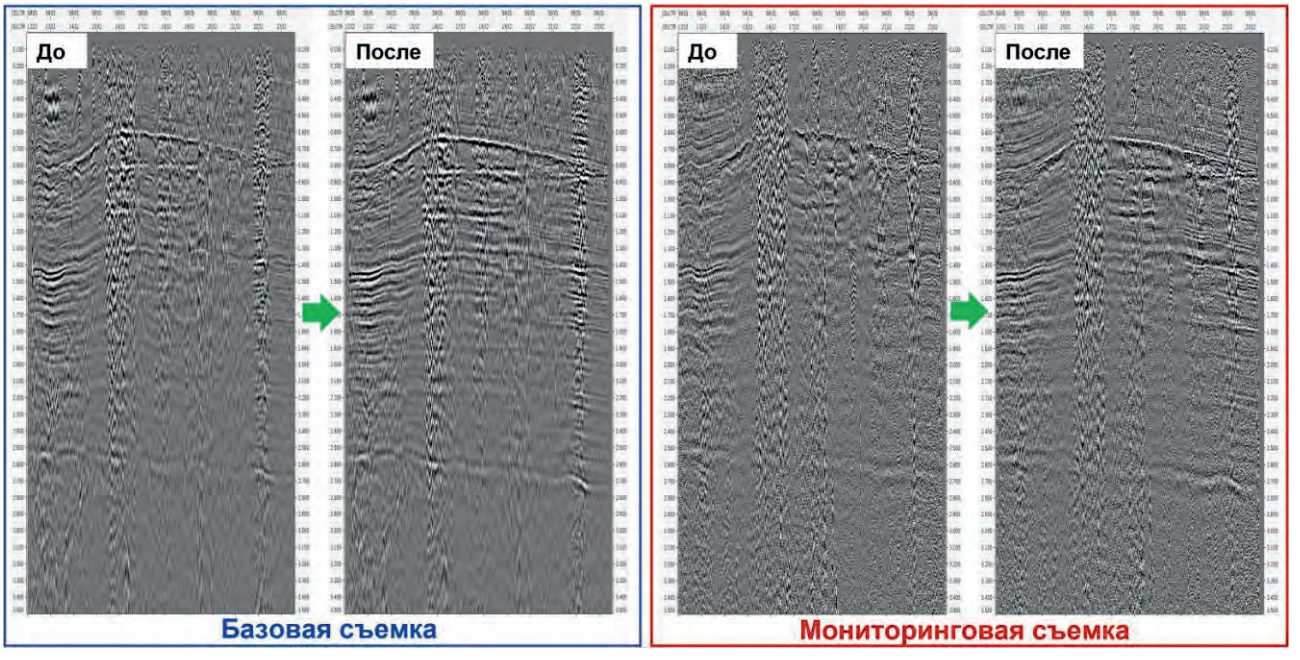
Базовая 2005-2007	Мониторинговая 2020-2022 исходная	Мониторинговая 2020-2022 после согласования геометрии
• 10 активных ЛПП (112 ПП в линии) • расстояние м/у ЛПП 300 м • Номинальная кратность 35	• 48 активных ЛПП (140 ПП в линии) • расстояние м/у ЛПП 150 м • Номинальная кратность 336	• 14 активных ЛПП (120 ПП в линии) • расстояние м/у ЛПП 300 м • Номинальная кратность 84



▲ *Рис. 2. Схема приведения геометрии наблюдений при глобальном матчинге.*

В ходе 4D-обработки выполнена последовательность процедур стандартной обработки для сухопутных съемок 3D – подавление высокоамплитудных случайных шумов, подавление поверхностной волны, подавление промышленных шумов (только для мониторинговой съемки), линейных помех, поверхностно-согласованная коррекция амплитуд, остаточное шумоподавление

▼ *Рис. 3. Результаты глобального матчинга.*



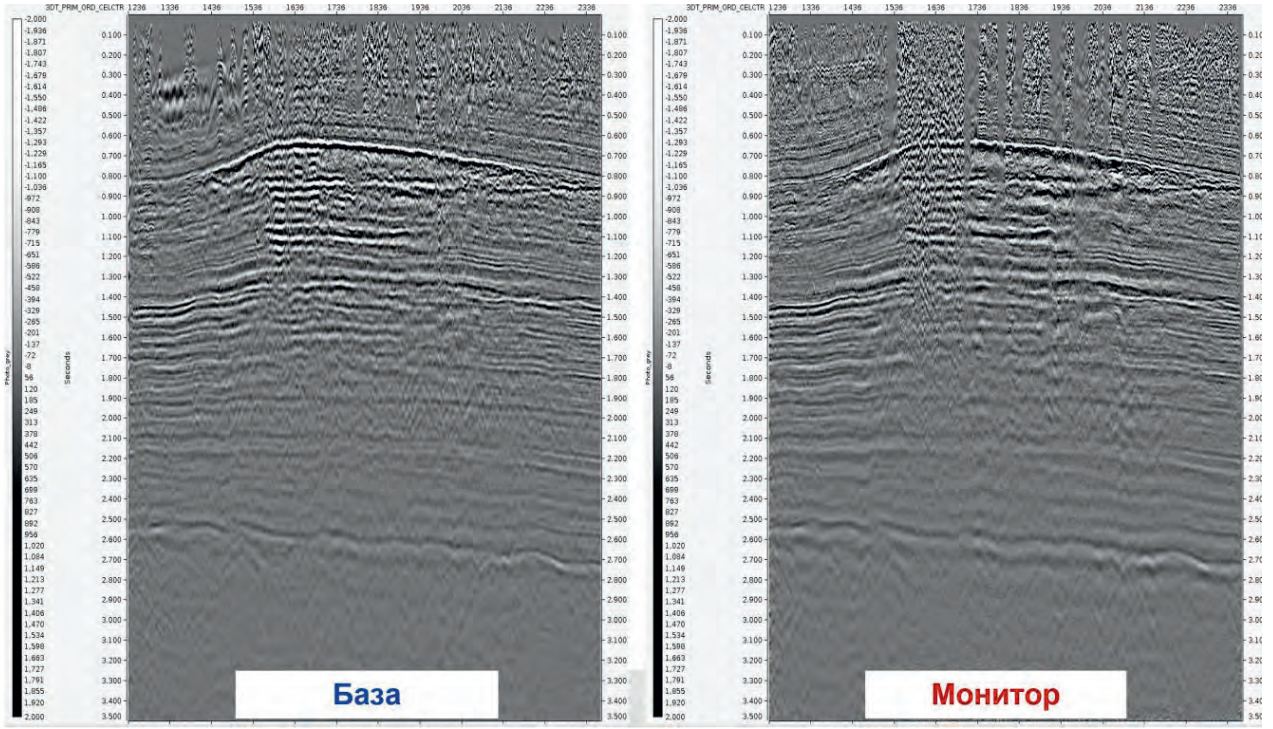
в различных сортировках и т.д. Подходы к подавлению однотипных помех для базовой и мониторинговой съемок выбирались, где это было возможно, едиными. После каждого этапа обработки выполнялся 4DКК, в ходе которого оценивался набор базовых атрибутов сходимости наборов (NRMS, Predictability, Cross Correlation, Hilbert Static / Phase). Указанные атрибуты имеют разную чувствительность к изменению сейсмической записи в процессе обработки (шум, временной/фазовый сдвиг, амплитуда) и их комплексная оценка позволяет более точно охарактеризовать подобие сейсмических съемок. Оценки атрибутов выполнялись в нескольких окнах. В случае, если по результатам контроля качества оценки сходимости ухудшались, процедура возвращалась на дополнительное тестирование и корректировалась.

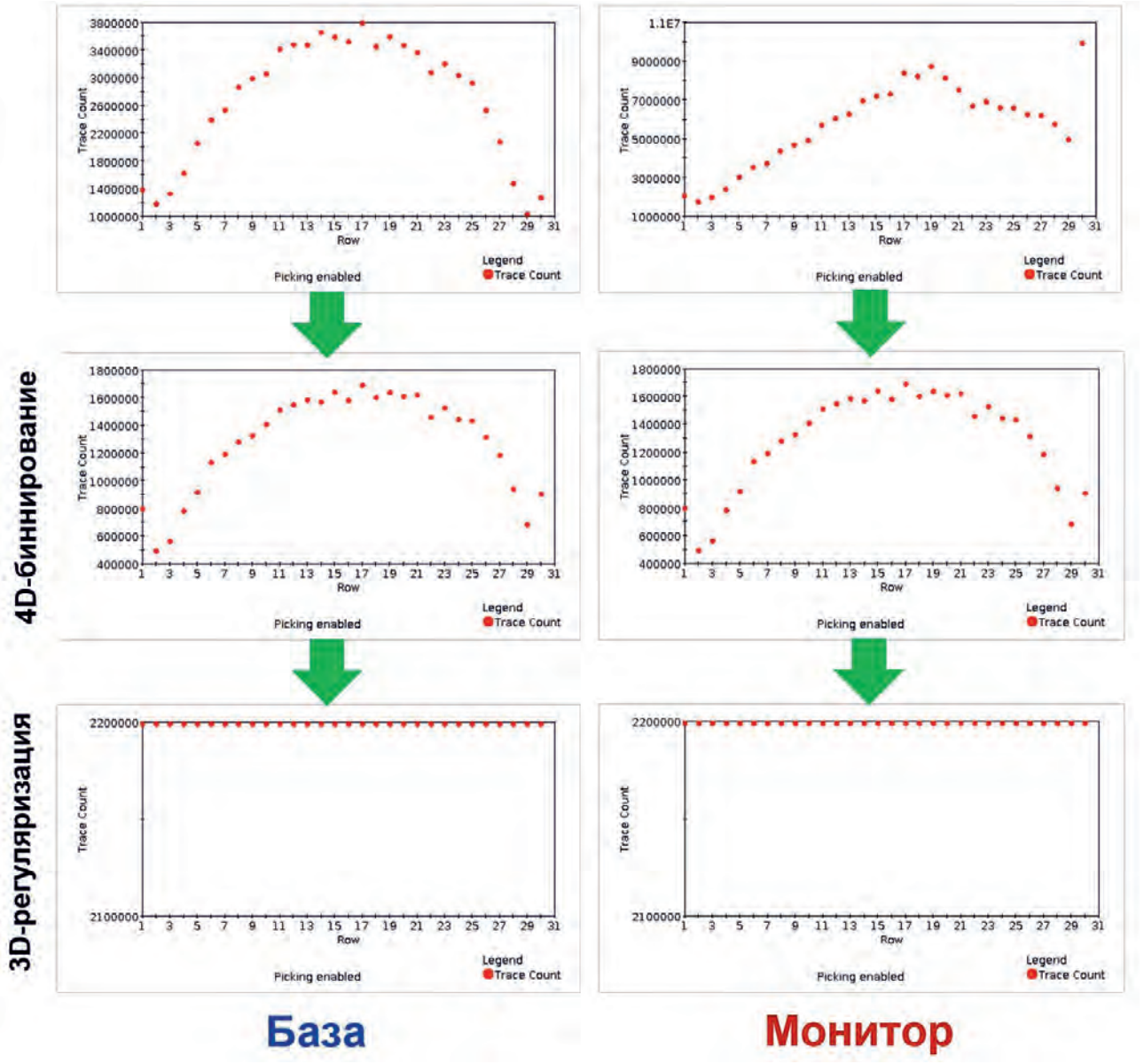
Локальный матчинг съемок

Полученные по результатам совместной 4D-обработки сейсмические данные (Рис. 4) хоть и находились в высокой степени согласованности, тем не менее содержали существенные с точки зрения 4D-сейсморазведки отличия, требующие компенсации на этапе локального матчинга.

На этой стадии были устранены локальные амплитудные различия съемок, выполнена окончательная увязка импульса, устранены неучтенные ранее статические сдвиги. Полное приведение геометрии съемок выполнено с помощью 4D-бинирования, основной задачей которого является повышение сходимости съемок путем выбора наиболее схожих из повторяющихся трасс. Повторяющимися являются трассы, которые имеют одинаковый диапазон удалений, близкий угол и находятся в одном бине. Критерием схожести выбран атрибут NRMS, оценивающийся в окне выше целевого интервала (не затронутого разработкой) для каждой повторяющейся трассы. Процедура выполняется по каждой панели удаления съемок, приводя их к общему виду по количеству трасс для обеих съемок.

▼ *Рис. 4. Результаты совместной обработки 4D.*





▲ *Рис. 5. Распределение трасс по панелям удалений после 4D-биннирования и 3D-регуляризации данных.*

После 4D-бинирования в каждом бине каждой панели удалений остается только по одной трассе из базовой и мониторинговой съемки, наиболее подходящие по атрибуту схожести. Если в одной из съемок в панели удалений отсутствует трасса в бине, то все трассы выбрасываются также и для другой съемки из данного офсетного бина. Процедура 4D-бинирования привела данные обеих съемок к общей конфигурации, при этом выбрав наиболее схожие общие трассы, тем самым данные были подготовлены к регуляризации (Рис. 5).

Регуляризация 3D выполнена по панелям общих удалений (COV). Панели общих удалений, выбраны с шагом 100 м (первая панель 0-300 м, последняя - 3100 м). 3D регуляризация интерполирует пропущенные в бинах трассы, вследствие этого кратность суммирования приводится к номинальной. Также в пределах бина координаты средних точек всех трасс приводятся к координатам общих средних точек суммарного куба базовой съемки. По регуляризированным данным выполнена временная миграция до суммирования (PreSTM).

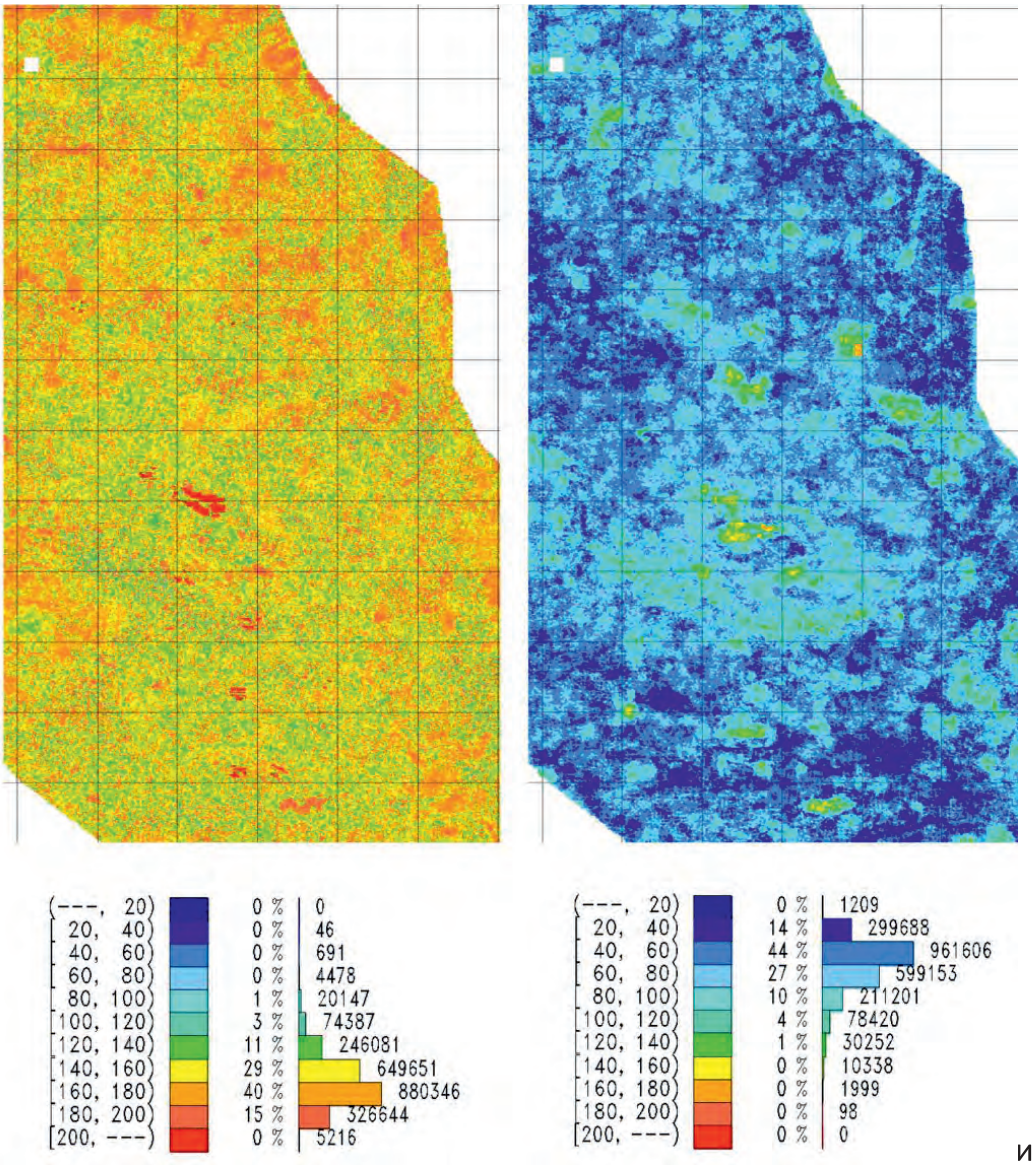
Некоторые результаты

Качество полученных 4D-данных оценивается мерой сходимости двух съемок в интервале разреза, незатронутом разработкой и в целевой зоне. Ранее уже упоминалось, что основным параметром оценки повторяемости сейсмических данных является атрибут NRMS. Этот параметр показывает, насколько точно мониторинговая съёмка соответствует базовой. При полном совпадении сейсмических данных параметр NRMS стремится к нулевому значению. Высокие значения NRMS говорят о серьезном несоответствии данных.

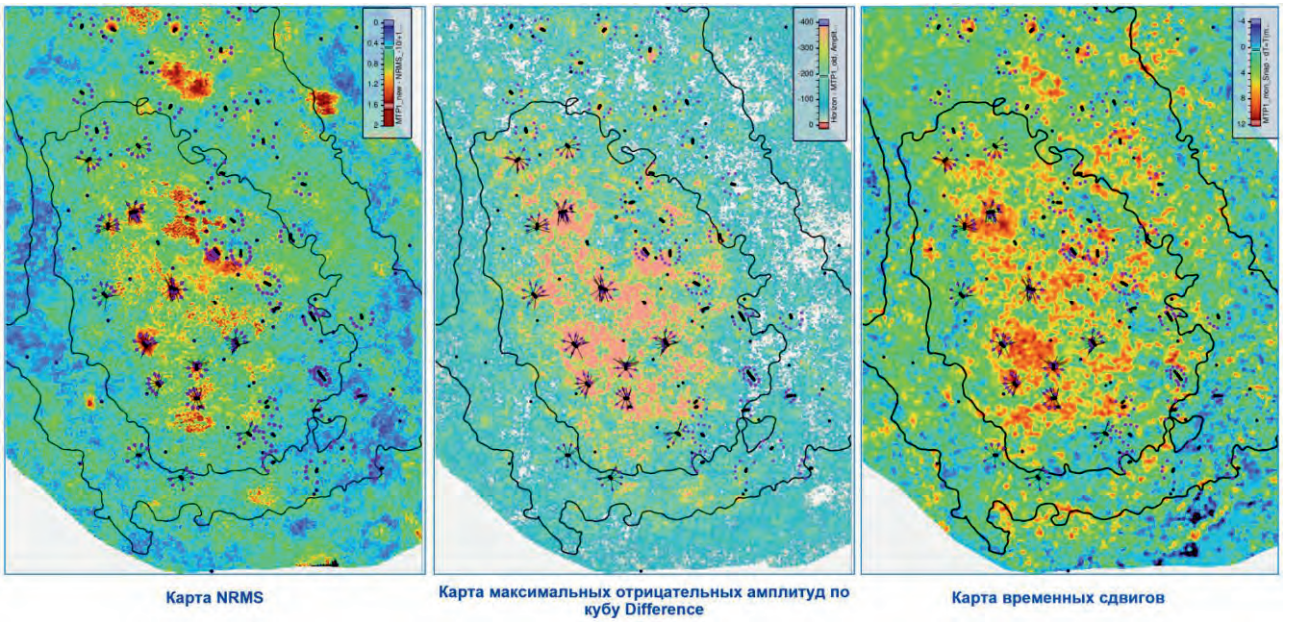
Для рассматриваемых в статье съемок исходные фоновые значения NRMS составили 160-180%, и в ходе 4D-обработки были понижены до 40-60% (Рис. 6), что с одной стороны, по меркам морских 4D-проектов, является все еще недостаточным уровнем соответствия [1], однако по опыту аналогичных сухопутных работ – пригодным уровнем для обнаружения отклика залежи на процессы разработки в схожих условиях [2].

Выработка запасов газовой залежи приводит к падению давления и изменению упругих свойств (увеличению объемной плотности и скорости), что может

▼ *Рис. 5. Карта NRMS в целевом интервале исходная (слева) и после 4D-обработки (справа).*



и запуска



▲ *Рис. 7. Карты некоторых 4D-атрибутов для целевого интервала.*

повлиять на характеристики волнового поля. На обнаружение 4D эффекта влияет в первую очередь величина изменений физических свойств горных пород под воздействием разработки.

В ходе детального анализа полученных кубов и итогового разностного куба был определен ряд наиболее информативных атрибутов, четко коррелирующийся с информацией о разработке (Рис. 7). Однозначно определяется зона максимальной исторической накопленной добычи, а наиболее яркие аномалии атрибутов приурочены к положению эксплуатационного бурения. При этом в точках расположения разведочного фонда наблюдаются фоновые значения, без локализации аномалий атрибутов.

Полученные по результатам обработки 4D-сигналы показывают изменение импеданса в пласте. Т.к. изменение импеданса может быть связано с различными процессами, проходящими в пласте, это приводит к возникновению неопределенности в интерпретации. Для разрешения неоднозначности в обязательном порядке требуется привлекать к анализу промысловые данные, а также данные ГИС и ПГИ, которые в указанную работу не были вовлечены в полном объеме.

Для верификации проявленных в целевом интервале разреза аномалии выполнена их заверка путем сопоставления с картами, полученными по верхнему (незатронутому процессами разработки) интервалу. Отдельные подобные аномалии были исключены из интерпретации.

Заключение

Несмотря на исходную сложность задачи, в ходе обработки удалось получить уверенный и интерпретируемый 4D-отклик, характеризующий изменения в пласте, вызванные процессами разработки залежи. Данная работа показывает высокий потенциал 4D не только для морских месторождений, но и для суши, где, несмотря на существенно меньшие затраты на бурение наблюдательных скважин, сейсморазведка может стать дополнительным инструментом для контроля за разработкой и решения сложных геологических задач. Показана возможность получать результаты 4D на основе унаследованных съемок 3D, которых на текущий момент в Россий-

ской Федерации накоплено достаточное количество. При этом можно однозначно утверждать, что в случае постановки специальных 4D-работ, качество получаемого 4D-отклика будет существенно выше.

Принято считать, что основным фактором, мешающим получить успешный результат на суше, является вопрос сложности и изменчивости верхней части разреза (ВЧР). Однако важно понимать, что именно для сухопутных месторождений возможно выполнить мониторинговую съемку практически со 100% геометрической повторяемостью базы, что может позволить нивелировать базовые проблемы с ВЧР.

Полученные в работе результаты могут быть существенно улучшены за счет дальнейшего развития графа обработки и усложнения подходов к матчингу наблюдений. Важным инструментом к улучшению результата может стать использование более прогрессивных алгоритмов регуляризации и переход к миграции в глубинной области.

Литература

1. Методические рекомендации по проведению сейсмических исследований 4D с использованием донных систем на шельфовых месторождениях РФ, ПАО «Газпром», ООО «Газпром недра», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», АО «МАГЭ» и др., Москва, Санкт-Петербург, 2025 г.

2. Tickle J., Angio S., Hoeber H., Cooper S., Hagedorn S. Land 4D: Revealing time-lapse signal through joint processing // 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition, Amsterdam, 8–11 December 2020. – Houten: EAGE, 2020.

Анализ амплитудно-частотных характеристик упругих волн, распространяющихся в тонких пластах, насыщенных различными флюидами (на основании данных 4Д сейсмического мониторинга, результатов математического и физического моделирования)

Лекомцев А.В., Подбережный М.Ю.

Аннотация: *сейсмическое разрешение определяет минимальную толщину слоя или расстояние между объектами, которые можно раздельно зарегистрировать. При работе с 4Д-данными это особенно важно, так как изменения в пластах часто носят локальный характер и могут быть незаметны при низком разрешении. В представленной работе, проводится анализ амплитудных и частотных характеристик в зависимости от насыщенности на основе реальных 4Д сейсмических данных, результатов математического и физического моделирования. Показано, что даже при толщине интервала меньше λ/4 (где λ длина волны), наблюдаются изменения частотных характеристик спектров сигналов, которые требуют внимательного исследования и могут служить дополнительными атрибутами анализа 4Д сейсмических данных. Делаются выводы о необходимости дальнейших исследований и их направленности, которые могут оказать существенное влияние на прогнозирование зон развития коллекторов, их типов насыщения и изучения 4Д-эффектов, связанных с изменением насыщения резервуара в процессе разработки.*

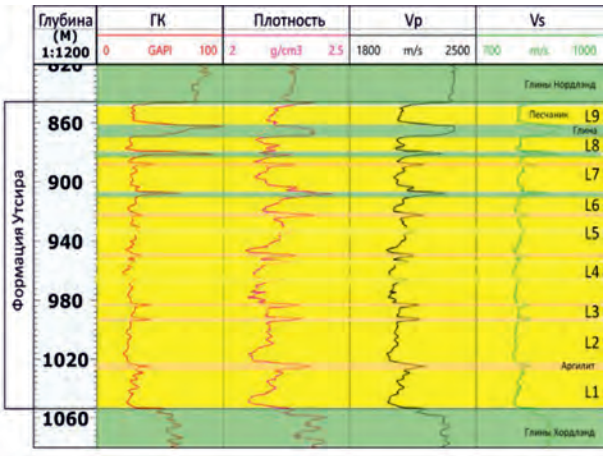
Ключевые слова: *амплитудно-частотные характеристики, спектр Фурье, 3Д/4Д сейсморазведка, моделирование.*

Введение

4Д сейсморазведка (сейсмомониторинг) предполагает повторные 3Д-съёмки одного и того же участка с целью отслеживания изменений в пластах во времени [1], при этом изменение динамических характеристик, например, продольной сейсмической волны обусловлено комплексным влиянием следующих геологических параметров: мощностью пласта, пористостью, газонасыщенностью и пластовым давлением. Основной задачей интерпретатора является определение основного параметра и на основании этого построение интерпретационного алгоритма, причем необходимо корректно оценивать пределы разрешающей способности и неопределенностей, которые он может в себе содержать. В предыдущих работах авторами использовались следующие методы анализа сейсмических атрибутов: AVO-анализа, 4Д-инверсия и петроупругое моделирование [2]. В данной работе проводится анализ амплитудно-частотных характеристик упругих волн в зависимости от геологических параметров.

К проектам где выполняется 4Д сейсмониторинг относится и объект Слейпнир в Северном море. На данном объекте с 1994 по 2010 гг. проводилась закачка CO_2 в терригенные отложения миоцена. Закачка велась через единственную скважину, пробуренную в нижний (L1) пласт песчаников формации Утсира (Рис. 1). Ранее авторами было показано [2], что постепенно диоксид углерода поднимается по разрезу вверх накапливаясь в пластах L1-L9 формируя многоярусный плюм при общем объеме закачки 15.5 млн тонн (на конец 2010 г.).

Область исследования над точкой закачки CO_2 в формацию Утсира полнос-



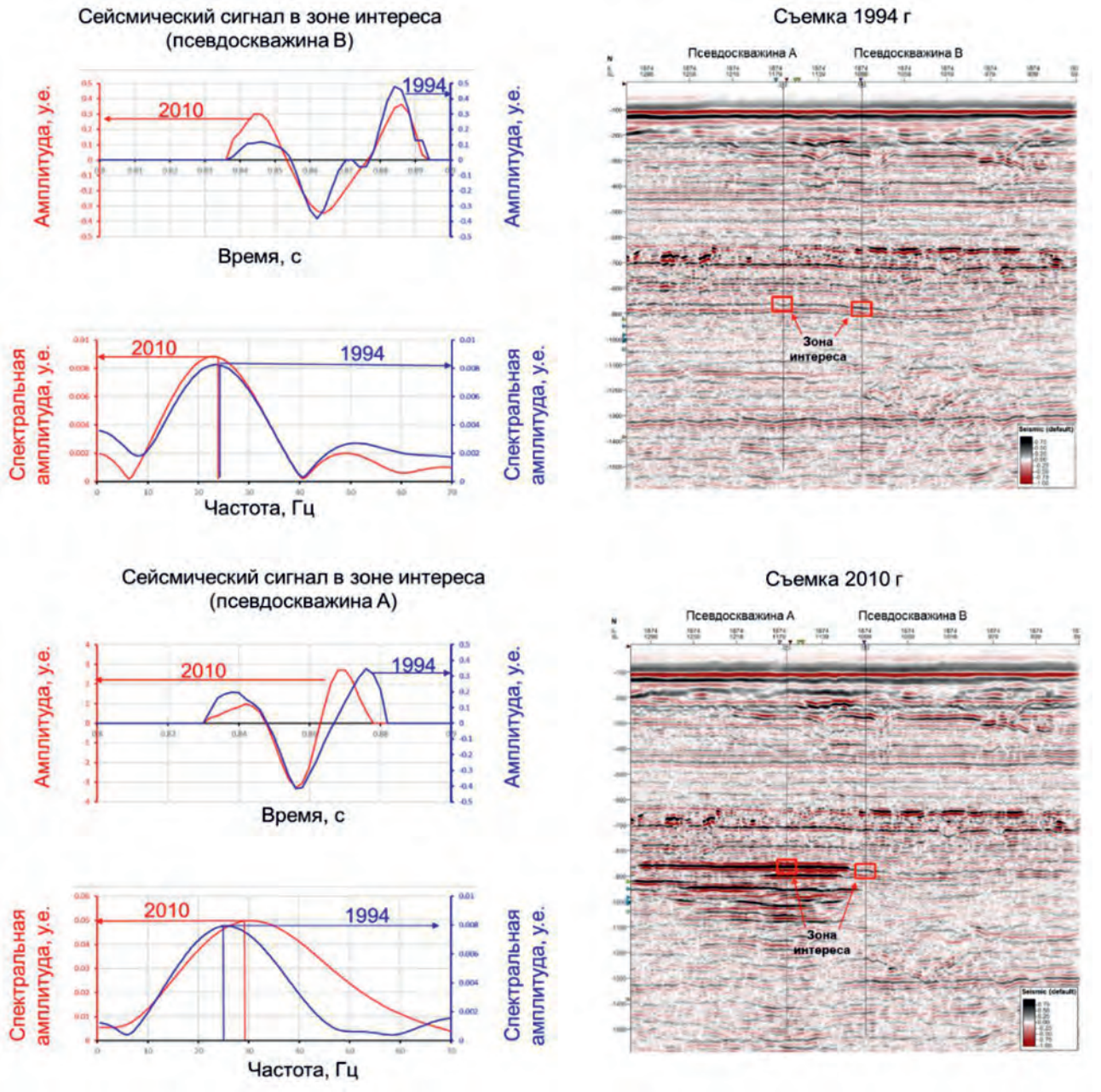
▲ *Рис. 1. Планшет ГИС вдоль ствола кважины объекта Слейпнир.*

тью покрыта сейсмической съёмкой 3Д МОГТ объёмом в 300 км^2 в 1994 г. Эти данные получены до начала разработки и являются базовыми для последующих мониторинговых съёмок 4Д, которые выполнялись в 1994, 1999, 2001, 2006, 2008, 2010 г.

Для дальнейшего анализа будем использовать результаты съемок 1994 и 2010 года. Изначально водонасыщение слои песчаников и аргиллитов формации Утсира выделяемые по ГИС плохо выделяются на первоначальных временных разрезах МОГТ, однако к 2010 г. в связи с накоплением в них CO_2 и изменению упругих характеристик на временных сейсмических разрезах выделяются яркие амплитудные аномалии. Наиболее интенсивная и распространённая аномалия регистрируется в верхнем пласте-песчанике L9, имеющего мощность порядка 15 м. Для анализа волновых форм выделим на 3Д съёмках 1994 и 2010 гг. две зоны (зону закачки CO_2 и зону, не затронутую влиянием закачки) и пересечем их псевдоскважинами А и В соответственно (рис. 2). В псевдоскважинах выделим сейсмические сигналы соответствующие пласту L9. Псевдоскважина В контролирует амплитуды и частоты сигналов до начала закачки в 1994 г. и на момент её окончания в 2010 г. Анализ сигналов показывает сохранение амплитуд и частот в водонасыщенном пласте L9. Псевдоскважина А отслеживает изменение сигналов над точкой закачки CO_2. Анализ сигналов демонстрирует увеличение амплитуды сигнала в изначально водонасыщенном пласте L9 при его насыщении CO_2, при этом отмечается смещение спектральных частот в строну высоких значений. Таким образом изменение АЧХ (амплитудно-частотных характеристик) сейсмических сигналов является диагностическим признаком для контроля насыщенности.

Увеличение амплитуд – ожидаемой эффект в следствие увеличения коэффициентов отражение при замещении воды на CO_2. Появление высокочастотных составляющих при отражении продольной волны от газонасыщенного пласта является скорее нестандартным явление и может быть обусловлено комплексом факторов: тюнинг-эффектом, рассеянием/поглощением волн, изменением акустических свойств среды, эффектом пузырькового резонанса и нелинейными процессами.

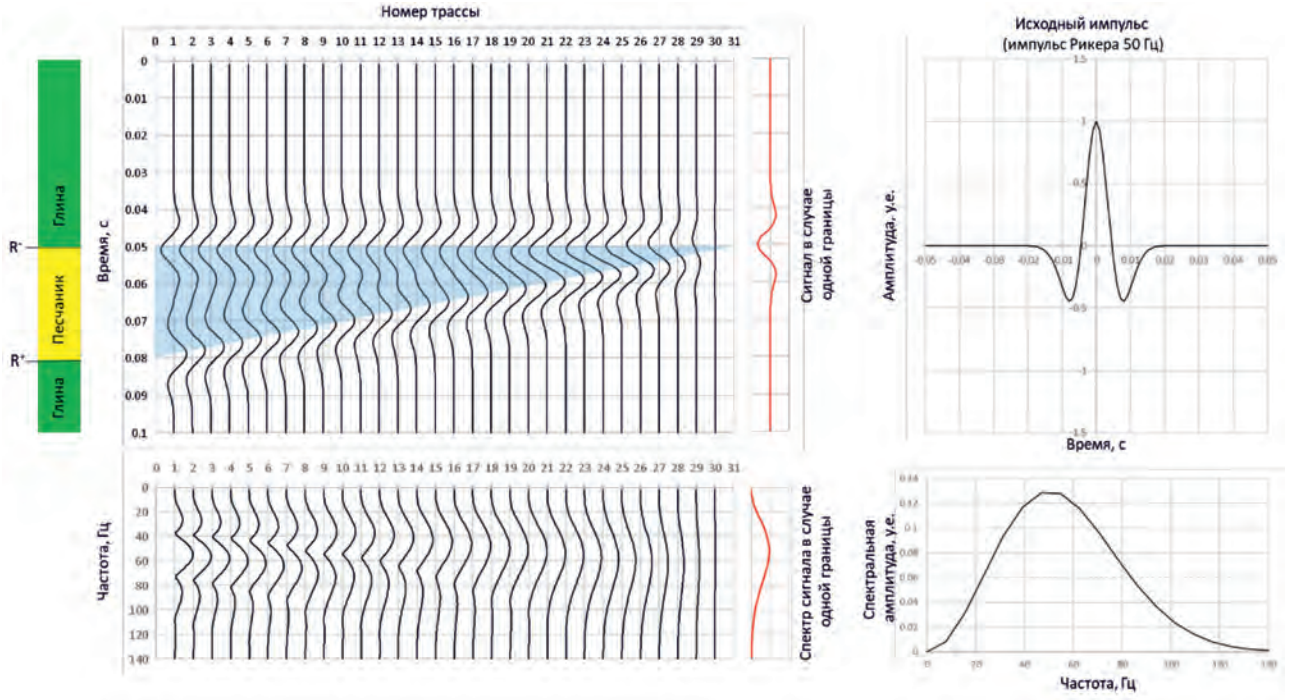
Газонасыщенные породы имеют аномально низкую акустическую жёсткость из-за уменьшения плотности породы и снижения скорости продольных волн в газе. Это создаёт резкий контраст с окружающими породами, что способствует усилению отражения и может приводить к генерации дополнительных частот при взаимодействии волны с границей. Кроме того, в газонасыщенных средах коэффициент сжимаемости примерно в 10-15 раз больше, чем в насыщенных жидкостью средах. Это влияет на дисперсию и затухание сейсмических волн, что может проявляться в усилении амплитуд и появлении высокочастотных составляющих. Кроме того, при падении сейсмической волны на



▲ *Рис. 2. Сейсмические разрезы, сигналы и их амплитудно-частотные спектры.*

тонкий пласт возникают два отражения: от кровли и подошвы - тюнинг-эффект. Если время задержки между амплитудами близко к половине периода волны, возникает конструктивная интерференция - амплитуда суммарного сигнала усиливается, а частота увеличивается. Тонкий пласт работает как резонатор усиливая определенные частоты. При максимальной интерференции частота волны определяется зависимостью от скорости волны Vp и мощности пласта h как $f \approx Vp/4h$.

Одновременный анализ амплитудных и частотных характеристик отраженных волн должен помочь разделять влияние геологических параметров и выявлять наиболее значимый параметр. Корректность данного утверждения подтверждена исследованиями многих авторов. Спектральная декомпозиция позволила выявить амплитуды на характерных частотах для терригенных отложений Западной Сибири и на основании этого получить связь амплитуд с мощностью пластов ачимовских отложений [3]. Дан-



▲ *Рис. 3. Модель клина (волновое поле, спектры сигналов, параметры импульса).*

ные AVO-анализа в сочетании с данными спектральной декомпозиции волнового поля позволили скорректировать комплексную оценку ФЕС выявленных в Северном море аномалий с учетом наблюдаемых частотных зависимостей [4].

Математическое моделирование

Наиболее подходящим инструментом для моделирования волнового поля и оценке изменений АЧХ сигналов в зависимости от мощности пласта и его насыщенности является модель клина.

На основе данных ГИС скважины объекта Слейпнир (рис. 1) создадим модели трёхслойной среды: глина-песчаник-глина с соответствующими упругими характеристиками в зависимости от литологии и типа флюида, насыщающего песчаник. Параметры моделей показаны на рис. 3, при этом мощность песчаника изменяется от максимума до нуля.

Моделирование синтетической сейсмограммы проводится путем свёртки коэффициентов отражения с сейсмическим импульсом - вейвлетом Рикера наиболее близкому к импульсу, извлеченному из сейсмограмм ЗД: $s(t)=w(t)*r(t)$, где $s(t)$-синтетическая трасса, $w(t)$-сейсмический импульс, R(t)-коэффициенты отражения. Частота дискретизации сигнала во временной области составляет 0.001 с, что при 2048 отсчетах соответствует дискретизации в частотой области 1 Гц. На рис. 4 показаны рассчитанные синтетические сейсмограммы и их амплитудно-частотные спектры в случае выклинивающегося пласта песчаника 100% насыщенного CO_2 и сейсмического импульса частотой 50 Гц (длина импульса составляет 0.1 с., амплитуда 1 у.е.).

С помощью модели клина возможно оценить, как изменяются амплитудно-частотные характеристики сейсмического отклика, отраженного от верхней границы глина-песчаник с учетом интерференции с импульсом, отраженным от нижней границы песчаник-глина. Важно отметить что модель клина это сверточная модель, не учитывающая переотражения и затухание волн, однако в случае тонкого слоя простая интерференцион-

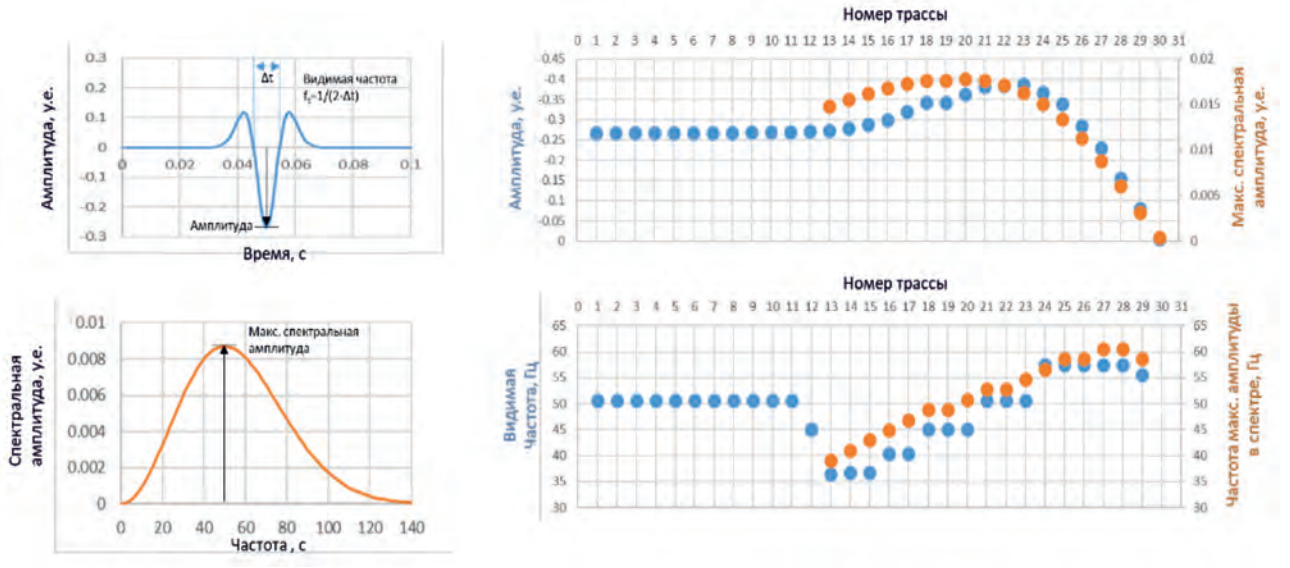
ная сверточная модель достаточно полно описывает сейсмический сигнал.

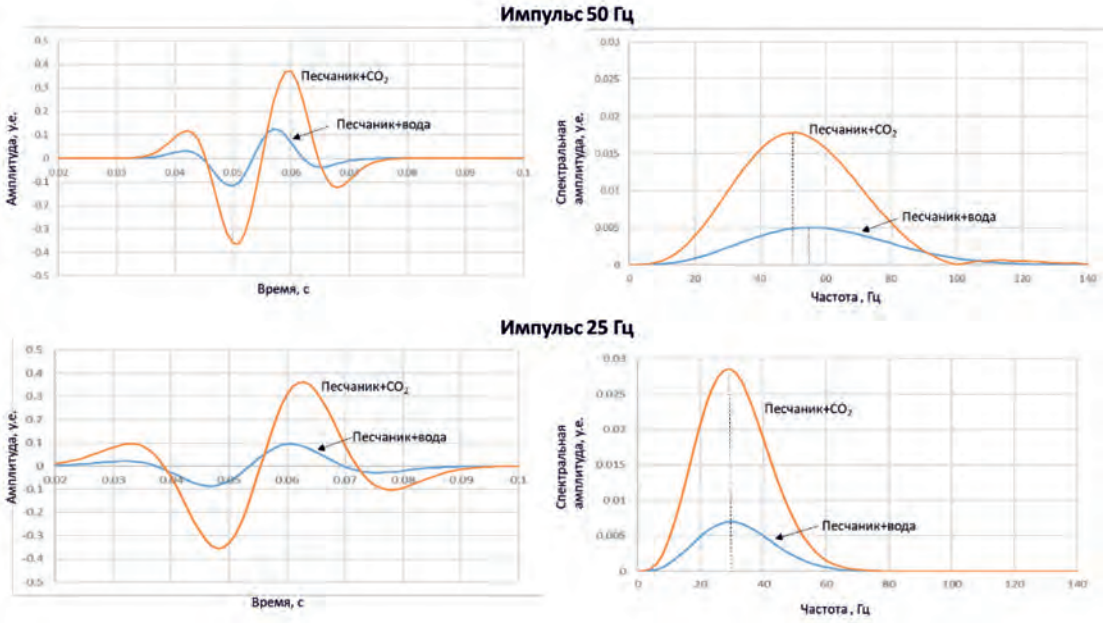
Зависимость амплитуд и частот от мощности слоя имеет квадратичную зависимость с выходом на асимптоту (рис. 4). Спектры полного сигнала полученные путем преобразования Фурье на трассах с 1 по 19 подвержены влиянию собственных частот клина [5] и отличаются от видимой частоты сигнала на верхней отражающей границе. Максимальные частоты спектров сигналов трасс 20-29 совпадают с видимыми частотами сигналов на верхней отражающей границе, а максимальная амплитуда спектра характеризует энергетическую составляющего сигнала и коррелирует с амплитудой экстремума сигнала во временной области. При этом на трассах 20-29 отмечается увеличение частот вследствие интерференции на величину порядка 10 Гц при частоте импульса 50 Гц. Результаты моделирования соответствуют общеизвестным исследованиям [3, 6]. Следует отметить, что в следствии квадратичное зависимости амплитуды от мощности слоя одному значению амплитуды может соответствовать два значения мощности. Однако данную неопределенность возможно уменьшить если привлечь данные о частотах. Несмотря на то что частота импульса 50 Гц, частота сигнала в следствии интерференции варьируется в приделах 65-35 Гц и меньшей мощности будет соответствовать меньшая частота. Неопределенность, связанная с квадратичной зависимостью частоты от мощности слоя, начинает проявляется на трассах 28-30 что будет соответствовать очень тонкому пласту.

В дальнейшем для анализа будем использовать параметры амплитудно-частотного спектра. Как было показано на рис. 2 частоты реальных сейсмических сигналов имеют максимум на 25-30 Гц поэтому при моделировании используем импульсы с двумя частотами 50 Гц и 25 Гц. Имея ввиду что пятидесяти герцовый импульс будет более чувствительным к изменениям упругих характеристик по сравнению с 25 Гц, но при этом двадцати пяти герцовый импульс более соответствует реальному сейсмическому.

Смоделируем сигналы для слоя песчаника (L9) мощностью 15 м насыщенного водой и насыщенного CO_2 (рис. 5). При замещении воды на CO_2 изменяются скорости распространения волн данном

▼ *Рис. 4. Амплитудные и частотные характеристики сигналов для модели клина в зависимости от номера трассы (мощности пласта).*



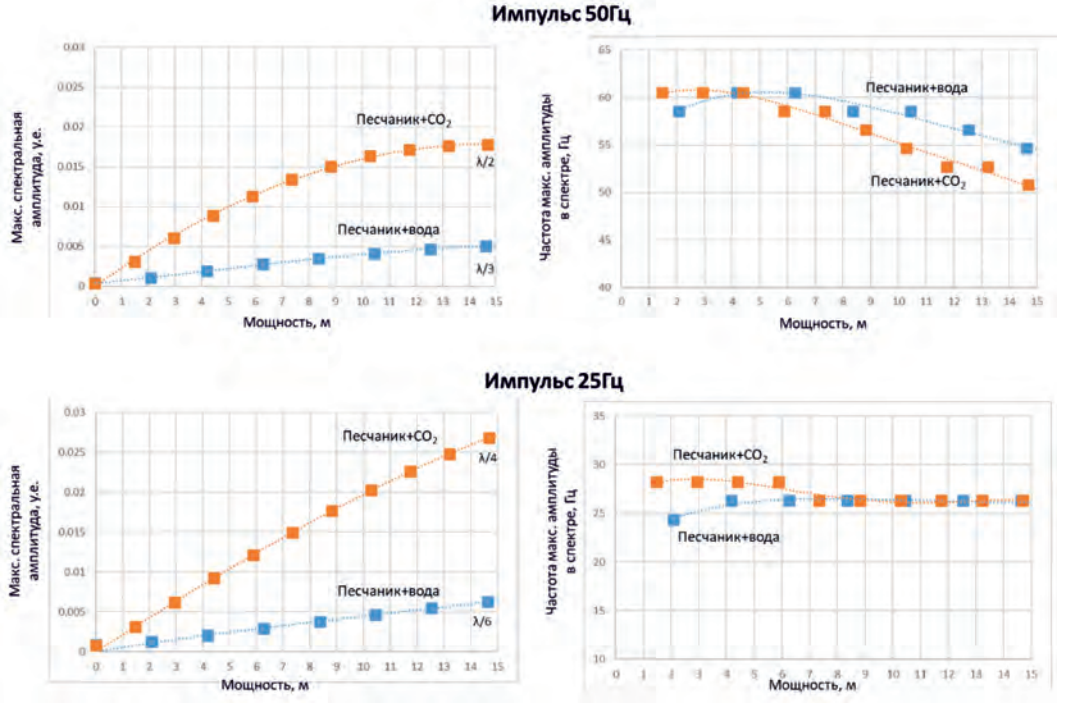


▲ *Рис. 5. Сигналы и амплитудно-частотные характеристики сигналов для пласта мощность 15 м насыщенного водой и CO_2.*

пласте, т.е. время регистрации экстремума импульса, отраженного от нижней границы песчаник-глина будет увеличиваться. Анализ амплитудно-частотных спектров демонстрирует уменьшение максимальной амплитуды спектра и уменьшение частоты сигнала. Данные эффекты основаны только на интерференции без учета дисперсии и затухания волн.

Анализ амплитудно-частотных характеристик сигналов для тонких (менее 15 м) пластов различной мощности и типа флюида демонстрируют высокую чувствительность амплитуд к мощности пласта и типу флюида (рис. 6). При этом отмечается различие в частотах спектра сигнала (импульс 50 Гц) для пластов мощностью более 6 м, характеризующе-

▲ *Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики сигналов для пластов различной мощностью насыщенных водой и CO_2.*

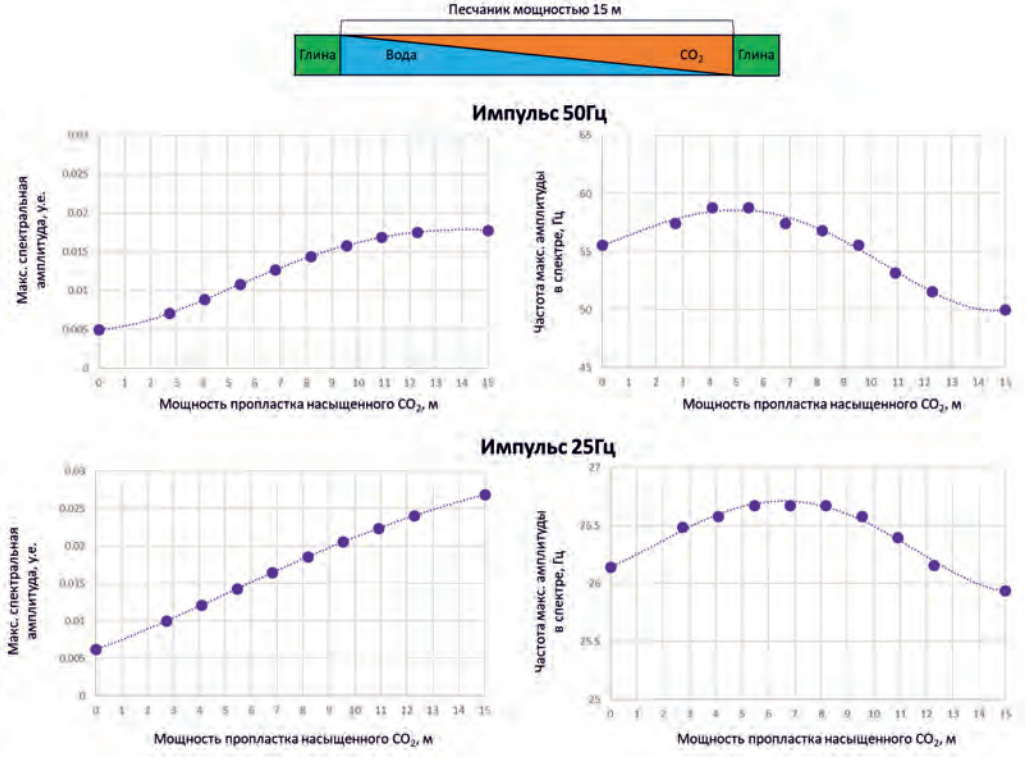


еся уменьшением частот при замещении воды на CO_2. Для импульса 25 Гц изменение частотной характеристики для пластов мощностью более 6 м не отмечается. Для импульсов 25 Гц и 50 Гц отмечается увеличение частот в пластах мощностью менее 8 м при замещении воды диоксидом углерода. Мощности менее 6 м ниже предела разрешения сейсморазведки (λ/4), однако в случае высокого отношения сигнал/помеха и газонасыщенных пластов существует принципиальная возможность их выделения на основе анализа изменений амплитуд и частот, особенно в случае 4Д мониторинга при смене типа флюида.

Тем не менее объяснить увеличение частоты в случае замещения воды на CO_2 отмеченное при анализе реальных данных 4Д сейсмомониторинга (импульс 25 Гц, мощность пласта 15 м) приведенными выше результатами моделирования не удалось. Однако характер изменения частот для пластов мощностью менее 6 м приводит к мысли от том, что дополнительная однородность внутри слоя мощностью более 6 м может привести к увеличению частоты. Смоделируем такую ситуацию путем введения дополнительной границы раздела вода-CO_2 внутри пласта мощностью 15 м, увеличим дискретизацию в временной области до 4096 отсчетов. Четырехслойная модель и результаты расчетов, полученные с использованием данной модели приведены на рис. 7. Результаты моделирования демонстрируют увеличение частоты сигнала при появлении слоя, насыщенного CO_2 в и росте его мощности до 5-8 м. Ожидаемо данный эффект имеет большую амплитуду изменений для импульса частотой 50 Гц, при этом частота самого сигнала выше 50 Гц вследствие интерференционных эффектов. Дальнейшее возрастание мощности пропластка, насыщенного CO_2, с 8 до 15 м приводит к уменьшению частот.

Результаты математического модели-

▼ *Рис. 7. Четырехслойная модель среды, амплитудно-частотные характеристики сигналов для пропластков различной мощность насыщенных водой и CO_2 при сохранении общей мощности слоя песчаника 15 м.*



рования продемонстрировали принципиальную возможность существования эффекта возрастания частоты сигналы отраженного от границы тонкого слоя при замещении воды на CO_2 основанного только на сверточной модели и интерференции сигналов. Однако амплитуда изменения частот для импульса 25 Гц мала и не соответствует наблюденным данным объекта Слейпнир. Следовательно, возрастание частот для данного объекта должно описываться другими не интерференционными механизмами типа: рассеяния/поглощения/дисперсии волн, эффектом пузырькового резонанса, нелинейными процессами. Дальнейшие исследования были направлены на физическое моделирование описанных эффектов.

Физическое моделирование

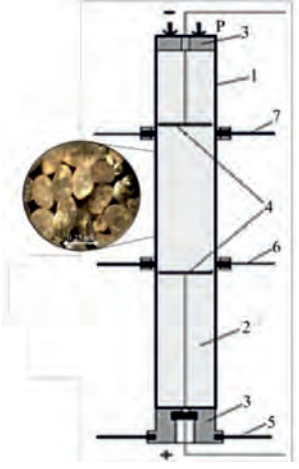
Одномерные физические модели (рис. 8) представляли собой водонасыщенные рыхлосвязанные среды, размещенные в цилиндрической оболочке (2) диаметром 4 см и длиной 60 см. Толщина стенки полимерной оболочки составляла 50 мкм.

Торцы оболочки герметизированы водонепроницаемыми пробками (3), через которые введены в модель электроды (4), изготовленные из химически устойчивых стержней. Излучатель упругих волн (5) располагается на одном из концов оболочки и представляет собой группу из четырех пьезокерамических биморфных элементов, расположенных равномерно по окружности и работающих синфазно. Приемники (6, 7) - аналогичны излучателю. Две пары закреплены на поверхности оболочки на расстоянии 25 см от излучателя с шагом 15 см. Приемники располагались между электродами, на расстоянии 1 см от соответствующего электрода.

Конструкции элементов излучателя и приемников выполнены таким образом, чтобы их колебания были направлены вдоль оси стержня, в этом случае генерируются прямые продольные. Модель геологической среды изготовлена из песка фракцией 0.5 - 0.25 мм (пористостью 36 %) и насыщена пресной водой. В порах присутствует небольшой процент защемлённого воздуха. Скорость P-волны составляет 1560 м/с при длине волны 1 м, область исследования составляет четвертую часть от длины волны.

Для создания газонасыщенности через модель пропускался электрический ток прямой и затем обратной полярности. В результате процесса электроли-

▼ *Рис. 8. Схема экспериментальной установки для одномерного физического моделирования.*



1 - Цилиндрическая оболочка

2 - Песок (фракцией 0.5 - 0.25 мм) насыщенный пресной водой и нагруженный постоянной силой P=50 Н

3 - Изолирующие пробки

4 - Электроды

5 - Акустический излучатель

6 - Ближний (первый) акустический приемник

7 - Дальний (второй) акустический приемник

за на положительном электроде выделяется кислород на отрицательном водород. На основании законов Фарадея объем выделившегося газа равен:

$$V_g^{эл}[л] = \frac{It}{FZ} \cdot V_{газа}^{моля} = \frac{It}{FZ} \cdot 22.4л$$

где F = $9.65 \cdot 10^4$ Кл/моль – постоянная Фарадея, Z - валентность химического элемента.

Для исследуемого объема (между электродами) среды 190 $см^3$ и пористостью 36 % пропускание тока силой 80 мА в течение 100 с приведет к выделению на катоде порядка 2 $см^3$ водорода, что составит 3 % порового объема.

В эксперименте регистрировалось акустическое волновое поле через каждые 10 с, при общей продолжительности сеанса 500 с. В течение сеанса электрический ток периодически выключался, и менялась его полярность.

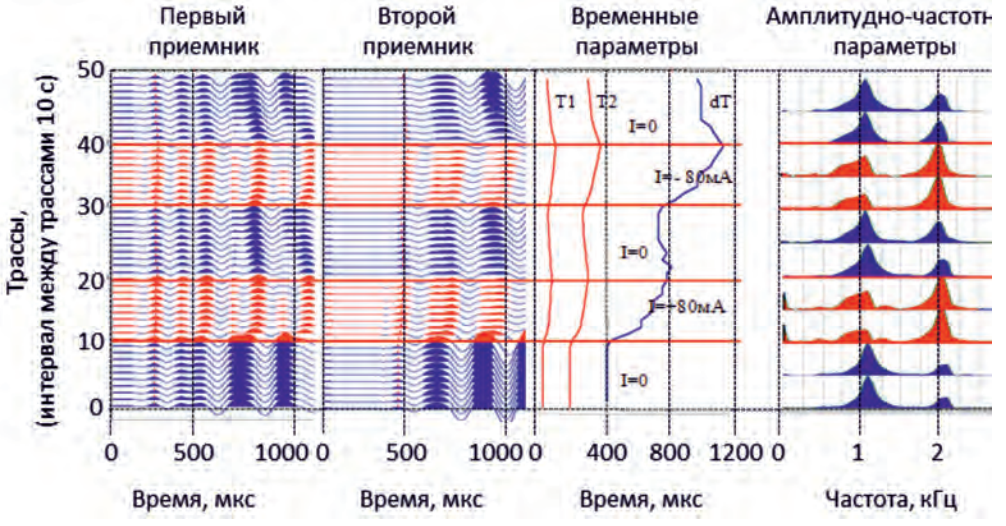
Представлены фрагменты волновых полей продольных волн. Показаны первый и второй каналы с выделенными в области первых вступлений положительными экстремумами, которым соответствуют функции времен вступления *T1* и *T2*, кривые *dT=T2-T1* интервального времени (кривая искусственно сдвинута вправо).

На данных рисунках нижние десять трасс отвечают началу эксперимента, когда электрический ток был равен нулю. Следующие 10 трасс показывают изменение записи при действии тока I = 80 мА и т.д.

На рисунках эти области выделены горизонтальными линиями. Для выделенных областей показаны характерные амплитудные спектры (АЧХ) двух каналов. Изменения упругих параметров накапливаются пропорционально времени t действия и величине силы тока *I*, т.е. пропорциональны количеству электричества *q=I·t.* В проведенных экспериментах за время действия тока величиной 80 мА в течение 100 секунд скорость Р-волн уменьшается на (5 - 8) %, амплитуды уменьшаются на (12 - 25) %, затухание меняется на 10 %, видимые периоды на (10 - 15) %. Низкочастотный пик амплитудно-частотного спектра

Р-волны при действии электрического тока (насыщении среды газом) становится меньше высокочастотного пика в 2

▼ *Рис. 9. Фрагменты волнового поля, временные параметры продольной волны в модели песка и АЧХ продольной волны в модели песка, насыщенного пресным раствором. Волновые поля на втором приемнике представлен с усилением в 2 раза большим, кривая dT интервального времени искусственно сдвинута вправо.*



раза, происходит обогащение спектра высокими частотами. Для поперечной волны, данная тенденция сохраняется.

Наиболее вероятный механизм наблюдаемого увеличения высокочастотной составляющей упругой волны является эффект пузырькового резонанса. Возможно аналогичный эффект вызвал сдвиг частот и в 4Д сейсмомониторинге.

Выводы

- Отмечен эффект увеличения амплитуды и частоты сейсмического сигнала на основании анализа данных 4Д сейсмического мониторинга объекта Слейпнир при закачке CO_2 в изначально водонасыщеный песчаный пласт мощностью 15 м.
- Продемонстрирован возможный интерференционный механизм увеличения частот путем расчетов с использованием сверточной модели. Амплитуда изменений зависит от частоты импульсов и увеличивается с увеличением частоты. Однако изменения частот малы по сравнению с результатами анализа данных 4Д сейсмомониторинга.
- Сверточная модель не учитывает переотражения и дисперсию сейсмических волн при этом хорошо воспроизводит изменения амплитудных характеристики в случае тонких пластов, насыщенных различными флюидами.
- Выполнены физические эксперименты, подтверждающие эффект увеличения частот сигналов упругих волн при появлении газа в изначально водонасыщеной пористой среде. Наиболее вероятный механизм - пузырьковый резонанс.
- Выявленные и описанные эффекты могут служить диагностическими признаками для определения границ вода-газ в тонких пластах, что наиболее применимо для анализа данных 4Д сейсмомониторинга.
- Для определения основополагающих механизмов уменьшения частот при изменении типа пластового флюида необходимы дальнейшие исследования и проведение полноволнового моделирования.

Литература

1. Ампилов Ю.П., Горбачев С.В. Сейсморазведка 4D в России: опыт, проблемы, перспективы // Геология и геофизика, 2025, №7, с. 908-9021.

2. Лекомцев А.В., Подбережный М.Ю. Оценка чувствительности 3D/4D AVO-анализа и 3D/4D инверсии на примере объекта Слейпнир // Приборы и системы разведочной геофизики. 2025. №4. С. 19-28.

3. Volkov R.P., Volkov D.S., Kozhevnikov G.S. From qualitative interpretation to quantitative analysis: Prediction of properties of geological bodies by using the spectral decomposition attribute – Case study of Achimov turbidity system in West-Siberia// SPE Russian Petroleum Technology Conference, Virtual, 26–29 October 2020. Paper SPE 202030-MS. 31 p.

4. Loizou, Nick & Chen, Shuangquan. The application and value of AVO and spectral decomposition for derisking Palaeogene prospects in the UK North Sea. First Break. 2012. V.30. №5. Pp. 47-56.

5. Гурвич И.И. Анализ отражений от тонких пластов // Прикладная геофизика. 1956. Вып. 15. С. 23–30.

6. Костащук Д.И., Митрофанов Г.М. Модельные эксперименты для выявления зависимостей сейсмических атрибутов от характеристик коллектора // Геофизические технологии. 2025. № 1. С. 59-77.

Первый шаг в геологию начинается здесь



Школьный факультет (ШФ) МГРИ — это не просто кружок, а одна из старейших детско-юношеских геологических организаций России, основанная в далёком 1947 году. За десятилетия через него прошли тысячи ребят, многие из которых стали учёными, преподавателями, руководителями геологических предприятий и первооткрывателями месторождений. Но самое интересное здесь — не только история. Самое интересное — то, что происходит сегодня.

Живое знание вместо скучных конспектов

На Школьном факультете не учат геологию по пыльным учебникам. Здесь её проживают. Можно подержать в руках минералы возрастом сотни миллионов лет, научиться определять горные породы, понять, как работают вулканы и почему вырастают горы. Учебный план включает минералогию, кристаллографию, палеонтологию и структурную геологию, но сердце обучения — практика. Это работа с университетскими коллекциями МГРИ, экскурсии в Рудный музей ЦНИГРИ и, конечно, настоящие полевые выезды. Именно так всё устроено и сегодня: лекции, практические занятия, экспедиции в Подмосковье, Карелию, на Кольский полуостров или Кавказ. Есть старая шутка, что геолог отличается от остальных людей тем, что способен часами рассматривать обычный камень и быть абсолютно счастливым.

В каждой шутке есть доля правды.

Традиции, которые воспитывают братство

Жизнь ШФ — это не только учёба. За 79 лет сложились традиции, превращающие коллектив в настоящую геологическую семью. Ежегодный Осенний слёт, где новички учатся ставить палатки и разводить костры, а «старички» соревнуются в полевых навыках. Зимний лагерь с футболом на снегу и ночными посиделками. И, конечно, байки, без которых не обходится ни одна экспедиция.

Одна из любимых историй рассказывает о новичке, который привёз из похода тяжеленный рюкзак «уникальных образцов». Как выяснилось позже, большую часть его коллекции составляли самые обычные булыжники. Но никто над ним не смеялся. Потому что каждый настоящий геолог когда-то начинал именно так — с горячего желания найти что-то удивительное.

Другая история — о том, как группа несколько часов плутала в поисках нужного обнажения, споря о карте, а объект всё это время находился буквально в нескольких десятках метров от места привала. С тех пор новичкам напоминают: хороший геолог не тот, кто никогда не ошибается, а тот, кто умеет внимательно смотреть вокруг.

Именно этому здесь и учат: не только определять минералы и читать карты, но задавать вопросы, наблюдать и не бояться открывать новое.

От олимпиады до профессии

Школьный факультет — организатор Всероссийской геологической олимпиады «Земля и Человек», которая ежегодно собирает юных энтузиастов со всей страны. Победители и призёры получают весомые дополнительные баллы к ЕГЭ при поступлении в МГРИ. Но ещё важнее другое: многие выпускники до сих пор вспоминают не лекции и экзамены, а походы, костры и то чувство открытия, которое появляется, когда ты впервые понимаешь, насколько удивительна наша планета.

Как сделать первый шаг

Геология — это не просто профессия. Это умение читать каменную летопись Земли, видеть её историю там, где другие видят просто камень. Это путешествия, экспедиции и настоящие приключения. Набор на Школьный факультет открыт для учащихся 6–11 классов, занятия бесплатные. Главный день набора в этом году пройдёт 4 октября, вся информация публикуется в официальной группе ВКонтакте (vk.com/shf_rggru).

Если вам хочется узнать, что скрывается под ногами, где рождаются алмазы и как находят месторождения нефти и золота, — возможно, пришло время сделать этот шаг. Приходите на Школьный факультет МГРИ. Путешествие в геологию начинается с первого занятия. А куда оно приведёт — не знает никто. Именно поэтому оно так интересно.



УГРА 2026

Ежегодный обучающий семинар
«Сбор и обработка данных инженерной геофизики»

Ежегодный обучающий семинар **«Угра. Сбор и обработка данных инженерной геофизики»** по праву считается одним из наиболее авторитетных образовательных проектов в области инженерной геофизики. В 2026 году он вновь соберет специалистов, студентов и преподавателей на учебной базе кафедры геофизики МГУ в Калужской области.

Особенности семинара

✓ **Реальные навыки, а не просто теория** — работа с современной аппаратурой на полигоне
✓ **Полный цикл** — от полевых работ до обработки и интерпретации данных
✓ **Оборудование экспертов** — георадары, сейсмические системы, электроразведочные комплексы
✓ **Преподаватели-практики** — ведущие специалисты отрасли с многолетним опытом
✓ **Государственный сертификат** — удостоверение о повышении квалификации
✓ **Профессиональное комьюнити** — нетворкинг с коллегами из науки и производства








Более 15 лет готовим специалистов инженерной геофизики

УГРА 2026

Направления

- Георадиолокация;
- Сейсморазведка методами преломленных, отраженных, поверхностных волн (Т0, GRM, ОГТ, MASW);
- Сейсморазведка методами сейсмотомографии, однородных фукнций;
- Сейсмическое микрорайонирование;
- Вертикальное сейсмическое профилирование, сейсмоакустические исследования скважин;
- Межскважинные просвечивания;
- Электроразведка на постоянном токе (ВЭЗ);
- Электротомография.

ФОРМАТ

- Лекции по основам каждого метода.
- Полевые работы с современной аппаратурой и получением данных на эталонных объектах.
- Обработка полученных данных,
- Практические занятия и консультации.

Ключевая информация

ДАТЫ: 4-13 октября 2026
МЕСТО: Учебная база кафедры геофизики МГУ, Калужская область, Д.Александровка
СТОИМОСТЬ: 145 000 ₽

КОНТАКТЫ

Руководитель проекта – Турчков Алексей Михайлович
По всем вопросам – Кулакова Ольга
Контактный телефон: + 7 (929) 203-10-91
Адрес электронной почты: o2512kulakova@yandex.ru

Преподаватели


ВЛАДОВ Михаил Львович


СТАРОВОЙТОВ Анатолий Васильевич

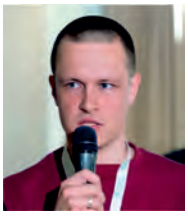

МОДИН Игорь Николаевич


БОБАЧЁВ Алексей Анатольевич


ЕРМАКОВ Александр Петрович


ОШКИН Александр Николаевич


ТУРЧКОВ Алексей Михайлович


ЧУРКИН Алексей Андреевич


ПЯТИЛОВА Анна Михайловна


ФЕДОТОВ Александр Сергеевич

Плавучий университет - обучение через исследования

Когда море становится аудиторией

Для большинства студентов знакомство с наукой начинается в учебной аудитории или лаборатории. Участники программы «Плавучий университет» получают возможность пройти этот путь иначе — непосредственно в научной экспедиции, работая бок о бок с ведущими исследователями на борту научно-исследовательских судов.

Сегодня Всероссийская научно-образовательная программа «Плавучий университет» является одной из крупнейших инициатив по подготовке молодых специалистов в области морских наук в России. Ее главная идея сформулирована просто: обучение через исследования. Студенты не только изучают теорию, но и становятся участниками реальных научных проектов — от постановки задачи до публикации результатов исследований.

Программа объединяет университеты, научные институты и производственные организации, заинтересованные в подготовке нового поколения исследователей Мирового океана. В подготовке мероприятий участвуют десятки организаций, работающих в области океанологии, геологии, геофизики, биологии, гидрометеорологии и морской техники.

От идеи ЮНЕСКО к современной образовательной системе

История проекта начинается в 1991 году, когда при поддержке ЮНЕСКО и Московского государственного университета была запущена международная программа *Training Through Research (TTR)* — «Обучение через исследования». Ее участники выполняли научные работы в морских экспедициях в различных районах Мирового океана. За годы существования проекта через него прошли более тысячи студентов, аспирантов и молодых ученых из России и десятков стран мира.

Сегодня эта традиция получила развитие в рамках Всероссийской программы «Плавучий университет», которая реализуется в контексте Десятилетия наук об океане ООН и при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Координационный центр программы работает на базе Московского физико-технического института.

Как работает Плавучий университет

Образовательный цикл программы состоит из трех последовательных этапов.

1. Зимняя научная школа

На первом этапе студенты знакомятся с современными направлениями морских исследований. Программа включает лекции ведущих ученых, практикумы по обработке данных, мастер-классы по работе с современным программным обеспечением и встречи с представителями научных организаций и индустрии.

2. Экспедиции и исследования

После конкурсного отбора лучшие участники получают возможность работать в морских экспедициях и научных стажировках. Здесь они осваивают методы полевых исследований, учатся



работать с современным оборудованием, участвуют в сборе и обработке данных.

3. Научная публикация

Завершающий этап предполагает подготовку научных статей, докладов и выступлений на конференциях. Таким образом, участник проходит полный цикл научного исследования — от получения данных до представления результатов научному сообществу.

Экспедиция как университет

Особое место в программе занимают морские экспедиции. Одним из примеров является рейс TTR-24, выполненный в 2025 году в Карском море и море Лаптевых на научно-исследовательском судне «Академик Борис Петров». В экспедиции приняли участие 32 человека, из которых 21 были студентами и аспирантами. Представлены были 11 научных и образовательных организаций страны.

Участники работали на реальных научных полигонах Арктики, выполняя геолого-геофизические исследования, изучая строение морского дна, четвертичные отложения, процессы осадконакопления и особенности развития арктического шельфа. Основной принцип экспедиции оставался неизменным — обучение через непосредственное участие в научной работе.

Для будущих геофизиков особенно важна возможность освоить современные методы морской сейсморазведки, гидроакустики и геологического опробования. Так, в рейсе TTR-23 в Баренцевом и Карском морях студенты участвовали в выполнении сейсморазведки высокого разрешения, контроле качества данных и планировании геологического пробоотбора.

Только за период 2021–2024 годов в рамках программы было проведено 10 экспедиций, более 20 научных стажировок и лабораторных практик. На участие в мероприятиях поступило свыше 6500 заявок от студентов, аспирантов и молодых ученых со всей России. Полностью пройти образовательный цикл и завершить его научной публикацией смогли 233 участника.

Но главный результат программы измеряется не только статистикой. Плавучий университет формирует профессиональное сообщество молодых исследователей, помогает студентам найти научных руководителей и будущих работодателей, а научным организациям — привлечь талантливые кадры.

Школа исследователей

Современные морские исследования требуют специалистов, способных работать на стыке наук: геологии, геофизики, океанологии, биологии, цифровых технологий и анализа данных. Именно поэтому Плавучий университет сегодня рассматривается не просто как серия экспедиций, а как эффективная система подготовки кадров для российской науки и высокотехнологичных отраслей экономики.

За более чем тридцать лет развития идея «обучения через исследования» доказала свою жизнеспособность. Для сотен студентов научно-исследовательское судно стало первой настоящей лабораторией, а участие в экспедиции — началом профессионального пути. И именно в этом заключается главная ценность Плавучего университета: он позволяет молодым специалистам не только изучать океан, но и становиться частью научного сообщества, которое этот океан исследует.

Как стать участником Плавучего университета

Программа «Плавучий университет» открыта для студентов, аспирантов и молодых специалистов, интересующихся морской геологией, геофизикой, океанологией, гидрометеорологией, биологией, морской техникой и другими направлениями наук о Земле. Ежегодно набор участников начинается с проведения Всероссийской зимней школы, после которой лучшие слушатели получают возможность пройти конкурсный отбор для участия в экспедициях и научных стажировках.

Подробная информация о программе, условиях участия, сроках подачи заявок и предстоящих мероприятиях публикуется на официальном сайте проекта

https://pu-ocean.ru/



Информация для партнеров

Здесь можно ознакомиться с историей программы, материалами экспедиций, образовательными курсами и новостями проекта.

Плавучий университет — это возможность не просто получить новые знания, а стать участником настоящих научных исследований, поработать в составе экспедиционной команды и сделать первые шаги в профессиональной карьере исследователя Мирового океана. Для многих сегодняшних ученых именно участие в экспедициях Плавучего университета стало отправной точкой большого научного пути.

ГеоЕвразия-2026: технологические вызовы и аппаратурные решения в российской геофизике

В рамках прошедшей в апреле конференции «Геоевразия-2026», ставшей значимым событием для профессионального геологоразведочного сообщества, состоялся круглый стол «Технологические вызовы и аппаратурные решения в российской геофизике».

Организатором дискуссии выступил журнал «Приборы и системы разведочной геофизики». Круглый стол стал профессиональной площадкой для обсуждения ключевых тенденций развития отрасли, актуальных технологических вызовов и роли аппаратурных решений в обеспечении современного уровня геофизических исследований.



▲ *Модератором мероприятия выступил Дмитрий Николаевич Слонов, главный редактор журнала.*

Тренды развития: от отдельных методов к интегрированным технологиям

Отправной точкой обсуждения стал доклад Александра Ковалева (компания «Петротрейс»), в котором были обозначены глобальные тренды в сейсморазведке. Центральной темой стало формирование интегрированного подхода к работе с полным волновым полем, предполагающего максимально полное использование регистрируемой информации и объединение различных типов данных.

Эта постановка задала общий вектор дискуссии. Участники круглого стола отметили, что современная геофизика переживает этап качественной трансформации. Усложнение геологического строения объектов, переход к изучению более глубоких горизонтов, снижение объёма априорной информации при одновременном росте требований к точности и достоверности результатов формируют принципиально новые условия работы.

В этих условиях ключевым становится переход от фрагментарного применения отдельных методов к интегрированным технологическим решениям, охватывающим весь цикл — от систем наблюдений до обработки и интерпретации данных.

Аппаратура как основа геофизической технологии

Особое внимание в ходе обсуждения было уделено роли аппаратурной базы. Участники подчеркнули, что современные геофизические технологии в значи-



Выступление компании «Сейстех», представившей ПАК «Геотом».

тельной степени определяются уровнем развития систем регистрации и источников возбуждения.

Александр Тиссен (компания «Геосейс») представил программно-аппаратный комплекс «ГЕОТОМ» как пример формирования нового технологического стандарта в сейсморазведке. В докладе была показана роль комплексных решений, обеспечивающих высокое качество и эффективность сейсморазведочных работ.

Развитие источников возбуждения было рассмотрено в докладе Онгемаха Э.Г. («Геосвип»). Были обозначены актуальные задачи совершенствования отечественных вибрационных технологий, направленные на повышение управляемости параметрами сигнала и стабильности работы оборудования.

Отдельно был подчеркнут тезис о том, что именно уровень аппаратурной базы во многом определяет глубину исследований, разрешающую способность методов и устойчивость геологических моделей.

Новые технологии и расширение инструментальной базы

Одним из важных направлений развития были названы оптоволоконные технологии. Данил Харасов (компания Т8) представил решения на основе распределённых датчиков, позволяющих получать непрерывную пространственную информацию о процессах в недрах. Такие системы открывают новые возможности для мониторинга и существенно повышают плотность измерений.

Наряду с сейсмическими методами обсуждались и комплексные подходы ГРР. Ю.А. Агафонов («Сигма Гео») акцентировал внимание на задачах электроразведки и вопросах подтверждаемости прогноза при решении прикладных нефтегазопоисковых задач.

Практическое значение комплексного подхода было показано также в докладе М.Б. Самсонова («ВЕГА»), где рассматривалось применение комплекса лёгких несейсмических методов для снижения рисков геологоразведочных работ.

Важной составляющей современной геофизики остаётся контроль качества данных. Сергей Яскевич (ИНГГ СО РАН,



Выступление компании СКБ СП.

НГУ) отметил необходимость системного подхода к контролю качества в задачах микросейсмического мониторинга, где требования к достоверности результатов являются критически высокими.

Отдельное внимание было уделено вопросам интеграции технологий. С.А. Матвеев («Новый Восток Гео») представил практический опыт применения мировых решений для российских геофизических задач, подчеркнув значимость адаптации технологий к локальным условиям.

Экономика, кооперация и технологическая независимость

Вопросы экономической эффективности и технологической независимости были рассмотрены в докладе Владимира Воронцова («Геоспейс»). Было отмечено, что использование отечественного оборудования позволяет снижать издержки и формировать устойчивые технологические преимущества геологоразведочных компаний.

В целом участники круглого стола подчеркнули ключевую роль российских разработчиков и производителей аппаратуры, обеспечивающих создание и внедрение современных технологических решений, адаптированных к специфике отечественных геологоразведочных задач.

Итоги

Подводя итоги, участники круглого стола отметили, что современное развитие геофизики невозможно без тесной взаимосвязи науки, технологий и производства.

К числу приоритетных направлений были отнесены:

- совершенствование аппаратурной базы и систем наблюдений;
- развитие интегрированных технологических решений;
- расширение применения новых типов датчиков и источников;
- усиление кооперации между научными организациями и промышленностью;
- поддержка отечественных производителей как основы устойчивого развития отрасли.

Круглый стол подтвердил, что именно комплексный подход, интеграция методов и опора на собственные технологические решения являются ключевыми факторами эффективного ответа на современные вызовы геофизики.

Мультидисциплинарность, нейросети, новые регионы и хорошо изученные нефтегазоносные провинции: как меняется геологоразведка в России

- Кирьянова Т.Н., ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»
- Девишева М.М., ООО «Геомодель Развитие»

С 20 по 23 апреля 2026 года в Санкт-Петербурге впервые прошёл Междисциплинарный кластер мероприятий под эгидой Ассоциации геологов, геофизиков и инженеров (АГГИ), организованный компанией Геомодель. В его рамках синхронно состоялись три крупные конференции, выставка оборудования, Молодёжный день, Чемпионат по геологоразведке и добыче, а также III съезд Ассоциации. Главное событие — 12-я конференция «Геонауки: от современных вызовов до решений, открывающих будущее» — задало новые ориентиры для нефтегазовой геологоразведки.

Кластер объединил более 500 участников из академической науки, недропользователей и высокотехнологичного сервиса. Лейтмотивом стала адаптация отрасли к новым реалиям: падение объёмов геологоразведки (ГРР), смена геополитического вектора на Азию и необходимость работать со сложными по строению, мелкими залежами и трудноизвлекаемыми запасами углеводородов (УВ). Один из главных ответов — мультидисциплинарность, итерационность работы в процессе создания сейсмо- и геологических моделей и внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в качестве помощника, для выполнения рутинных процедур.

Новые регионы и старые провинции

На круглом столе «Новые направления поисков нефти и газа в России» (модера-





торы В.А. Балдин и А.М. Фазлиахметов, НПЦ «Геостра») был озвучен следующий тезис: потенциал недр РФ остаётся высоким, но стандартные методы поисков и разведки больше не работают. Как отметил А.М. Фазлиахметов: «Вектор поисков крупных объектов с углеводородами смещается в малоизученные области — это прежде всего север Восточной Сибири. В старых же регионах (Волго-Урал, Западная Сибирь) мы переходим к поиску мелких и сложно построенных объектов и пропущенных залежей. Нужны принципиально новые технологии и методологические подходы».

Эти выводы подтвердили и на сессии «Региональная геология» (председатели: А.Ф. Галимова (АО «Зарубежнефть»), В.В. Пошибаев (ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»)). В ряде докладов были показаны методики обнаружения пропущенных залежей на зрелых месторождениях через литолого-фациальные реконструкции и современные методы доизучения скважин.

Арктический мегабассейн: более 20 млн кв. км и единая тектоническая природа

Сессия «Изучение, геологическое строение и разработка акватории морей» (председатель Д.Г. Кушнир, АО «Таймыргеофизика», группа компаний АО «Башнефтегеофизика») принесла фундаментальное обобщение: осадочные бассейны Арктики объединяются в единый Арктический мегабассейн площадью свыше 20 млн кв. км, существующий более миллиарда лет и продуктивный от протерозоя до кайнозоя.

Практическим прорывом стали результаты гравиметрического мониторинга шельфовых месторождений («Газпром») и уникальные геофизические измерения в ходе дрейфа ледостойкой платформы «Северный полюс-41» (ААНИИ).



Обработка сейсмических данных: полноволновая инверсия (FWI) становится стандартом

Круглый стол «Образ будущего в обработке сейсмических данных» (модераторы: А.А. Оболенская, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» и Р.Р. Мурзин, ООО «Газпромнефть-ГЕО») и сессия по обработке данных сейсморазведки под председательством М.С. Денисова (ООО «ГЕОЛАБ») и И.В. Романченко (ООО «ТНГ-Информационные технологии») показали, что ключевая задача сегодня — сверхточные глубинно-скоростные модели, особенно верхней части разреза. Технология полноволновой инверсии (FWI) становится отраслевым стандартом. Усложняются графы работы, все чаще используются различные ветки постмиграционной обработки для разных целевых интервалов разреза. Интерпретаторы включаются в работу на ранних стадиях обработки. И только единой командой возможно получение итоговых сейсмических данных высокого качества. Планирование работ на пять и более лет вперёд даст сервисным компаниям возможность инвестировать в технологии, ПО и людей.

Сейсмическая инверсия: новые задачи

Панельная дискуссия «Сейсмическая инверсия: современное состояние, вызовы и перспективы» (модератор Д.А. Данько, РГУ нефти и газа им. Губкина) стала одной из самых резонансных. Участники из «Газпром нефти», ИНГГ СО РАН, «Сахалинморнефтегаз-Шельфа» и сервисных компаний констатировали: технология инверсии вышла на новый уровень.

Большое развитие получили новые алгоритмы и новые области применения: прогноз аномально-высокого пластового давления (АВПД), геомеханика, мониторинг подземных хранилищ углеводородов и т.д.

Сейсмическая интерпретация, геологическое моделирование и оценка запасов: от отдельных отчётов к единой цифровой модели

На сессии «Геологическая интерпретация сейсмических данных» (председатель Т.Н. Кирьянова, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг») прозвучал ключевой организационный вывод: в каждом проекте нужны мультидисциплинарные группы. Отдельные отчёты по результатам обработки и интерпретации данных сейсморазведки уходят в прошлое. На сегодняшний день нефтяникам требуется трехмерная геологическая модель, которая создается в результате итерационной работы единой команды специалистов разных направлений. Необходим учет всех данных: региональных, исследований керна (в том числе седиментологических), сейсмических, геофизических и гидродинамических исследований в скважинах, геолого-промысловых и даже данные о деталях бурения той или иной скважины. Вся работа должна быть выстроена итерационно, и только в таком случае мы сможем приблизиться к пониманию сложного геологического строения изучаемых объектов. В современных реалиях, когда падают объемы геологоразведки, на первый план выходят проекты, где перед сейсмиками ставят свои задачи разработчики месторождений. Все более отчетливо звучит тренд — «Детальная сейсморазведка для разработки».

Вектор на полную интеграцию в единый проект сейсмической интерпретации и трехмерного моделирования был продолжен на сессии «Геологическое моделирование, концептуальные модели и запасы» (председатели: А.А. Калугин и В.В. Пошибаев, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»). В ряде докладов был озвучен тезис - на зрелых месторождениях с плотной сеткой скважин фациальное моделирование становится ключом к локализации остаточных запасов. Это напрямую влияет на план геолого-технических мероприятий и коэффициент извлечения нефти (КИН).

Круглый стол «Геологические запасы: между теорией и практикой» под модераторством А.Ф. Галимовой (АО «Зарубежнефть») зафиксировал системную проблему: при повороте на Азию российские подходы к подсчёту запасов должны быть гармонизированы с классификациями азиатских стран. Без этого международные проекты будут малоэффективными.

Геотермальная энергетика: первое за много лет поисковое бурение на Камчатке

Сессия по комплексированию геофизических методов (председатель И.В. Буддо, ИЗК СО РАН) зафиксировала важный сдвиг: геотермальная тематика перешла в практическую плоскость. Впервые за многие годы выполнены не только геофизические исследования, но и поисковое бурение на термальные воды на Камчатке. Это прямой путь к возобновляемой энергетике.

Искусственный интеллект: в промышленной эксплуатации

Круглый стол «Автоматизация процессов с помощью ИИ» (модератор С.В. Зайцев, Nedra Digital (ООО «НЕДРА»)) еще раз подтвердил, что нейросети уже давно и успешно применяются для выявления тектонических нарушений, расчета карт сейсмофаций, прогноза карт и кубов литологии/пористости, восстановления пропущенных участков кривых различных видов каротажей и т.д. На сегодняшний день реализованы новые решения



для выделения различных геологических объектов в сейсмических кубах и даже формализованный прогноз рудных объектов по потенциальным полям.

Главные тренды конференции

- Новая жизнь старых провинций — детальное изучение неантиклинальных ловушек и пропущенных залежей на зрелых месторождениях.

- Технологический прорыв в Арктике и на шельфе — от фундаментальной тектоники до промышленного мониторинга залежей.

- Сейсморазведка для целей разработки месторождений — в условиях падения объемов геологоразведки (ГРР) фокус смещается с поисково-разведочного этапа на эксплуатационный.

- Сейсмическая инверсия как стандарт — обязательный элемент количественной динамической интерпретации, важный этап в обработке данных сейсморазведки, использование результатов для задач геомеханики и мониторинга подземных хранилищ УВ.

- Мультидисциплинарный итерационный подход как обязательное условие изучения месторождений углеводородов на всех этапах их жизни.

- ИИ и машинное обучение — активное движение к производственным инструментам.

Конференция «Геонауки 2026» зафиксировала зрелый, прагматичный поворот российской геологоразведки. В условиях сжатия бюджетов отрасль делает ставку не на экстенсивный поиск новых гигантов, а на интеллектуальное извлечение ресурса из уже известных зон — через мультидисциплинарные команды, инверсию, FWI, ИИ и новые подходы к обработке и созданию сейсмо-, геологических моделей. Арктика остаётся стратегическим резервом, но его освоение требует технологий завтрашнего дня, создаваемых уже сегодня.

По материалам пост-релиза АГГИ и 12-й международной конференции «Геонауки: от современных вызовов до решений, открывающих будущее» (Санкт-Петербург, 20–23 апреля 2026 г.).

Геофизкаталог - поиск технологий, компетенций и решений

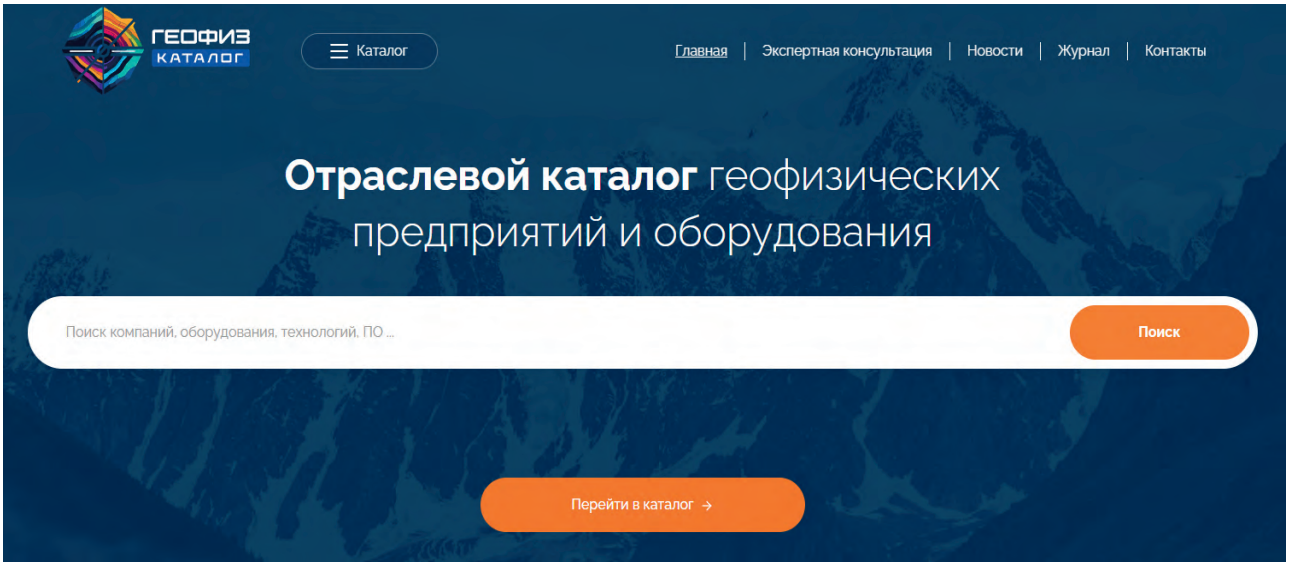
ГЕОФИЗ
КАТАЛОГ
геофизкаталог.рф

Когда геофизику необходимо найти информацию о технологии, оборудовании или исполнителе работ, первым инструментом обычно становится поисковая система. Однако очень быстро выясняется, что найти нужную информацию значительно сложнее, чем кажется.

Проблема заключается не в недостатке информации. Напротив, сегодня она распределена между сотнями сайтов компаний, производителей оборудования, разработчиков программного обеспечения, научных организаций и сервисных предприятий. Проблема в том, что поисковые системы ищут веб-страницы, а не профессиональные сущности.

Google или Яндекс могут найти сайт компании, PDF-презентацию или новость. Но они не понимают, что между собой связаны конкретный метод исследований, оборудование, программное обеспечение, услуга и компания, которая обладает соответствующими компетенциями. В результате пользователь получает набор ссылок, которые ему еще предстоит самостоятельно изучить, сопоставить и превратить в решение своей задачи.

Именно эту задачу призван решить проект «Геофизкаталог.рф».



Геофизкаталог.рф — место, где технологии находят своих пользователей, а специалисты находят нужные решения.

Важно отметить, что Геофизкаталог.рф создается не сторонней IT-компанией и не маркетинговым агентством, далеким от геофизики. Проект развивается командой журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» — одного из ведущих специализированных отраслевых изданий России.

Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» - авторитетное издание для специалистов-практиков

На протяжении многих лет журнал остается площадкой, объединяющей



разработчиков оборудования, производителей программного обеспечения, сервисные компании, научные организации и заказчиков геофизических работ. Через редакцию проходят сотни публикаций, посвященных сейсморазведке, электроразведке, гравиметрии, магниторазведке, ГИС, обработке и интерпретации данных. Такой опыт позволяет видеть отрасль не по отдельным компаниям или технологиям, а как единую систему взаимосвязанных решений и компетенций.

Об актуальности и востребованности такой информации говорит и статистика. Только за последний год сайт журнала посетили более 50 тысяч уникальных пользователей. Это специалисты геофизических компаний, нефтегазовых и горнодобывающих предприятий, научных организаций, вузов, производителей оборудования и сервисных компаний. Такой интерес подтверждает, что профессиональному сообществу необходимы современные инструменты поиска и систематизации отраслевой информации.

По сути, Геофизкаталог является логичным продолжением работы журнала. Если журнал рассказывает о технологиях, публикует опыт их применения и знакомит читателей с новыми разработками, то Геофизкаталог позволяет быстро найти эти технологии, оборудование, программные продукты, услуги и компании в едином информационном пространстве.

Главная идея проекта состоит в том, чтобы перейти от поиска страниц к поиску решений. Не искать сайты по ключевым словам, а находить технологии, оборудование, программные продукты, услуги и специалистов, необходимые для решения конкретной производственной задачи.

Современная геофизика представляет собой сложную экосистему, в которой работают сотни компаний, используются десятки методов исследований, сотни видов оборудования и программных комплексов. Сейсморазведка, электроразведка, гравиразведка, магниторазведка, геофизические исследования скважин, обработка и интерпретация данных — каждое направление имеет собственных разработчиков, подрядчиков, производителей оборудования и программного обеспечения.

При этом специалист редко ищет просто название компании. Гораздо чаще он ищет решение задачи.

Например:

— подобрать бескабельную систему регистрации для проекта 3D;

— найти подрядчика для магнитотеллурических исследований;

— выбрать программное обеспечение для обработки сейсмических данных;

— найти поставщика магнитометров или гравиметров;

— определить компании, выполняющие работы методом вызванной поляризации;

— подобрать исполнителя для инженерно-геофизических исследований.

Для поисковой системы это набор отдельных запросов. Для Геофизката-

лог.рф — связанные между собой сущности.

В каталоге компания связана со своими услугами, оборудованием и программным обеспечением. Оборудование связано с методами исследований и областями применения. Программные продукты связаны с технологиями обработки и интерпретации данных. Благодаря этому пользователь может двигаться по логике решения своей задачи, а не по случайному набору ссылок, сформированному поисковой выдачей.

Например, карточка бескабельной системы регистрации может быть связана с производителем, поставщиком, сервисными компаниями, использующими эту систему, публикациями о ее применении и услугами, в которых она используется. Аналогичным образом карточка метода МТЗ может связывать компании-исполнители, используемое оборудование, программное обеспечение обработки и практику применения.

Фактически Геофизкаталог формирует цифровую карту геофизической отрасли, где основными элементами являются не веб-страницы, а реальные отраслевые объекты: компании, методы, оборудование, программные продукты, услуги и компетенции.

Особую актуальность такой подход приобретает сегодня, когда на рынке присутствует большое разнообразие технологий и решений. Российские сейсморегистрирующие системы, электроразведочная аппаратура, программные комплексы обработки и интерпретации данных, буровое оборудование, специализированные сервисы и научные разработки зачастую известны лишь ограниченному кругу специалистов. Геофизкаталог позволяет сделать такие решения более заметными и доступными для профессионального сообщества.

Важной особенностью проекта является его открытая модель развития. Ни одна редакция и ни одна организация не способны самостоятельно поддерживать актуальную информацию обо всех компаниях, технологиях и разработках отрасли. Поэтому Геофизкаталог создается как проект профессионального сообщества.

Мы приглашаем геофизические компании, производителей оборудования, разработчиков программного обеспечения, научные организации, образовательные учреждения и сервисные предприятия принять участие в его наполнении.

Наша задача — создать не очередной справочник компаний и не еще один сайт с перечнем организаций. Мы создаем отраслевую систему знаний, в которой можно искать не страницы, а решения. Геофизкаталог создается для отрасли и вместе с отраслью.

Если ваша компания выполняет полевые работы, занимается обработкой и интерпретацией данных, разрабатывает программное обеспечение, производит оборудование или оказывает специализированные услуги для геофизической отрасли — расскажите о своих решениях профессиональному сообществу.

Разместить информацию можно как о компании в целом, так и об отдельных услугах, программных продуктах, приборах, технологиях и компетенциях.

Геофизкаталог

формируем отраслевой стандарт вместе

геофизкаталог.рф
geofizcatalog@mail.ru

pts64.ru

ooo.pts64@mail.ru

ПРОМТЕХСЕРВИС

ДЕФЕКТОСКОПИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ООО ЛНК «ПромТехСервис» - услуги дефектоскопии

Неразрушающий контроль – это способ проверки объекта, при котором проверяется его соответствие требованиям и сохраняется целостность и пригодность к использованию после проверки. Наша лаборатория имеет официальное свидетельство об аттестации, которая позволяет проводить дефектоскопию большинства объектов. Наша компания сотрудничает уже более чем с 20-ю организациями.

Объем выполняемых работ и преимущества:

- 500-600 сварных швов в день. Диаметр - до 159 мм включительно
- Документы в электронном виде на следующий день
- Оригиналы документов через два-три дня (в зависимости от удаленности)
- Доступные цены за услуги

Область аттестации:

Виды (методы) неразрушающего контроля:

- Визуально - измерительный (ВИК);
- Радиографический контроль (РК).

Наименование оборудования (объектов):

- Объекты котлонадзора;
- Системы газоснабжения (газораспределения);
- Оборудование нефтяной и газовой промышленности.

ООО «ПромТехСервис».

г. Саратов, 410019, г. Саратов, ул. Крайняя, дом 129.

+7 (967) 504-54-06



EURASIA OIL SERVICES

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

В ЧЕМ СУПЕРСИЛА ПИСАТЕЛЯ?



Сейсморегистрирующая бескабельная система ГЕОТОМ

- Высокоточная сейсморегистрация
- Контроль приемной расстановки
- Контроль уровня микросейсм
- Российская, импортоопережающая
- Адаптируется под любые геофизические задачи и условия работы

ГЕОТОМ

Программно-аппаратный комплекс «ГЕОТОМ»

GEOSENS

Производство и аренда:
ХОЛДИНГ «ГЕОСЕЙС»
Тел: +7 (495) 694-1940
www.геосейс.рф

сейстех

Разработчик ГЕОТОМа:
ООО «СЕЙСТЕХ»
Тел: +7 (495) 737-9285
www.сейстех.рф