

ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ

3/2022

Издается с 2002 г.

ISSN 2074-8906



03

9 772074 890221

ТЕМА НОМЕРА:

По материалам конференции

VII

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОЙ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ»

ГЕОФЕСТ



ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

О новых проектах, выполненных с использованием бескабельного оборудования

Революция В Стоимости Сейсморазведки

СОВЕРШАЕТ ПЕРЕВОРОТ В СТОИМОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

работы ведутся
вдвое быстрее

на 50% уменьшается
количество рабочих бригад
и техники на проекте

на 50% снижена
операционная
стоимость проекта

IGU-16 / IGU-16HR



IGU-16HR IES



IGU-BD3C-5



IGU-16HR 3C



IAU-19



ВЫСОКОПЛОТНУЮ СЕЙСМОРАЗВЕДКУ ТЕПЕРЬ МОЖНО ДЕЛАТЬ ДЕШЕВО!

«ВКонтакте»



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

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

Общие глобальные поставки

400,000+
каналов

ТЕМА НОМЕРА:**«По материалам конференции Геофест»****СОДЕРЖАНИЕ:****Наши партнеры** 4**КОЛОНКА РЕДАКТОРА**

Главный редактор Слонов Д.Н. 5

ТЕМА НОМЕРА**Конференция «Геофест» - встреча друзей на юбилее компании «Геосейс»**

Редакция журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» 6

«Трансформация рынка, трансформация сознания»

Воцалевский В.З. 9

Первый опыт применения высокоплотных масштабных производственных работ с использованием нодальной системы STRYDE (АО «БашНефтегеофизика»)

Гафаров Р.М., Сираев И.А. 14

Отвечая вызову времени – новые технологии сейсморазведки в арсенале компании ТСКГ

Камалудинов Р.Р., Шевченко И.И. 27

Возбуждение упругих волн импульсным источником в движении по технологии GLIDE

Федоров А.Б., Бекешко П.С., Копылов М.А. 31

Сервисная электроразведочная компания «Сигма-Гео»: вызовы и современные решения

Агафонов Ю.А., Семинский И.К., Селяев В.А., Агафонов Е.А. 39

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**Основные причины ухудшения динамики возбуждаемых вибросейсмических колебаний в условиях Крайнего Севера**

Кострыгин Ю.П. 44

Реализация комбинированного подхода к оценке качества и обработке полевых сейсмических данных, полученных различным оборудованием в сложных поверхностных условиях участка работ

Калинин А.Ю., Багрова И.А., Гаврилов С.С., Волохов Р.Д. 51

Несостоятельность стандартных подходов к оценке качества сейсмических материалов при использовании высокоплотных методик СРР

Бекешко П.С. 58

Анализ параметров систем наблюдений с перекрытием в инженерной сейсморазведке

Романов В.В., Кауркин М.Д., Иванов А.А. 67

О задачах деконволюции сейсмических записей и возможностях контроля искажений формы сигнала Кунченко Д.С., Овчинников К.Р., Фиников Д.Б.	79
---	----

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

SmartSolo позволяет выполнить проект сейсморазведки 3D в девственных лесах на юго-западе Китая Мингванг Ли.	89
--	----

ЛЮДИ, ДАТЫ, СОБЫТИЯ

Специальному конструкторскому бюро Сейсмического Приборостроения – 60 лет Тарасов Н.В., Кузнецов И.М.	94
Как создать журнал. Из воспоминаний. К 20-тилетию первого номера журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» Михеев Д.С.	101

НАШИ ПАРТНЕРЫ



Главный редактор: Слонов Д.Н.	Руководитель проекта Матвеев С.А.	Обложка и оформление: Мокроусов Д.В.	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.
Редакционная коллегия: к.т.н. Абдулвалиев М.Т. к.т.н. Белоусов А.В. к.г.-м.н. Волкова Е.Н. Воцалевский В.З. д.т.н. Гогоненков Г.Н. к.т.н. Горбачев С.В. Гурьев С.В. к.т.н. Детков В.А. д.т.н. Жуков А.П. Запорожец Б.В. д.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.	Корректор: Матвеева И.Э.	Вёрстка: Мокроусов Д.В.	
	Учредитель: СРО МОО ЕАГО	Тираж отпечатан в типографии ООО «Формат» Тел. +7 (8452) 39-33-77 Тираж: 300 экз.	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: psrgео.ru
	Издатель: ООО «ПСРГео» 	Подписано в печать: 15.09.2022 Дата выпуска: 25.09.2022	
	Адрес издательства: г. Саратов, ул. Крайняя, д. 129 Телефон +7-987-822-68-37		Организатор журнала: Турлов П.А.

Дорогие друзья!

Изначально мы планировали посвятить третий номер журнала в 2022 году теме цифровых технологий и безопасного производства в сейсморазведке. И в следующих номерах мы обязательно вернемся к вопросам уберизации - стремительно набирающей актуальность тенденции нашей жизни.

Однако яркое событие, случившееся этим летом, изменило редакционные планы. Конференция «Геофест», прошедшая в июле в Подмоскowie, собрала очень авторитетную аудиторию профессионалов от геофизики высочайшего уровня. Интересные доклады вызвали оживленную дискуссию с обсуждением глобальных вопросов о судьбах российской (да и мировой) геофизики. И нам показалось нечестным оставить эту дискуссию достоянием только участников мероприятия, длившегося всего четыре неполных дня.

И многие мысли, звучавшие на конференции, мы решили вынести на страницы нашего номера для более широкого обсуждения. Об этом и в редакционной статье, посвященной мероприятию, и в интервью с Владиславом Воцалевским, руководителем центра разведочной геофизики ООО «Газпромнефть ГЕО».

А также мы пригласили участников конференции к публикации своих докладов на страницах журнала, сделав тематикой номера - «По материалам «Геофеста»». Палитра сообщений, ставших журнальными статьями или рекламной информацией, чрезвычайно ярка и разнообразна.

Все больше материалов рассказывает о проектах, выполненных успешно благодаря эргономичности и надежности бескабельного оборудования. Об этом - в информации специалистов «Башнефтегеофизика»: - «Первый опыт применения высокоплотных масштабных производственных работ с использованием нодальной системы SRTYDE» и статье «Использование оборудования СмартСоло для выполнения уникального проекта в горах на Юго-Западе Китая».

Статьи из компаний МиМГО, Сигма-Гео и ТСГК – это не только информация о достижениях названных компаний, это презентация лидеров рынка, определяющих общее технологическое развитие отрасли в своих сегментах.



Журнал «Приборы и Системы» – зеркало российской геофизики – выступление на «Геофесте-2022»

Конечно, как и во всех наших номерах, мы стараемся не ограничивать авторов редакционной тематикой. Статья авторов из компании «Сейсмотек» «О задачах деконволюции сейсмических записей и возможностях контроля искажений формы сигнала» будет интересна не только специалистам, занимающимся обработкой данных, но и всем, кто занимается проблемой амплитудного анализа – от поля до интерпретации.

Сразу три юбилея отмечены публикациями в нашем журнале. Мы рассказываем о том, как 20 лет назад родился журнал «Приборы и системы разведочной геофизики». Четверть века своей истории компания «Геосейс» отметила конференцией «Геофест», об этом в редакционной статье.

И особенно приятно рассказывать о 60-летней истории компании СКБ СП (г. Саратов) – создателей российского сейсморазведочного оборудования мирового класса, и сегодня готовых предложить современные телеметрические системы российского производства. **«Прогресс» - он и в Африке «Прогресс»!** И мы, конечно, не раз еще расскажем об успехах саратовского предприятия.

Следующий номер планируется на тему «Новости рынка и технологий».

А пока – приятного вам прочтения очередного номера журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики»

Суважением,
Главный редактор журнала

Дмитрий Слонов

Конференция «Геофест» - встреча друзей на юбилее компании «Геосейс».

■ От редакции журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики».

25 лет отмечает в 2022 году компания «Геосейс».

За это время компания стала добрым другом и надежным помощником всем, имеющим отношение к сейсморазведке. В «Геосейс» обращались за эти годы, пожалуй, все сейсморазведчики нашей страны, стран СНГ. В «Геосейс» приходят, когда трудно: когда не хватает собственного оборудования, персонала, времени. «Геосейс» - не просто компания, которая сдает в аренду геофизическое оборудование. Это, действительно, «помощь, которая всегда приходит вовремя» - слоган, удивительно точно отражающий бизнес-модель компании. И обратившиеся получают не просто какое-то количество каналов, сейсмоприемников, источников возбуждения и высокклассных специалистов технологической поддержки, коллеги получают глубокой проработку проблемы, и набором решений, необходимых для успешного выполнения проекта.

Команда «Геосейса» — это яркий творческий коллектив профессионалов высочайшего уровня, всегда готовый к развитию и разработке свежих идей, освоиванию новых технологий, появляющихся в мире. Именно в «Геосейсе» рождены и успешно апробированы, многие сейсморазведочные новации, внедрённые далее в технологическую линейку многими геофизическими компаниями России.

Компания «Геосейс» - один из самых верных партнеров журнала, не пропустивший участие ни одного выпуска журнала за 20 лет нашей работы. Коллеги не просто поддерживают издание размещая рекламу, им всегда есть чем поделиться с аудиторией «Приборы и Системы разведочной геофизики».

А еще при активном участии компании «Геосейс» регулярно проходят конференции «Геофест», каждая из которых становится событием для геофизического мира, настоящим праздником, на котором встречаются друзья и коллеги, делаясь своими успехами и достижениями. В доброй и неформальной обстановке проходят выступления докладчиков,



«В каком направлении идет развитие современных технологий сейсморазведки – есть что обсудить», - задает тон конференции Сергей Гурьев, директор компании "Геосейс".

круглые столы по обсуждению острых вопросов, праздничные мероприятия.

Битва экстрасейсов. 7 сезон.

Седьмая конференция «Геофест» прошла в 2022 году в Подмосковье. Основным организатором снова выступила компания «Геосейс». Насыщенная программа: более 40 докладов, более 100 участников, представляющих геофизические компании, компании-производителей геофизического оборудования, заказчиков геологоразведочных работ. Три с половиной дня оживленного и обогащающего общения. В докладах нашли отражение многие проблемы,

стоящие сегодня перед геофизической отраслью.

В каком направлении идет мировое развитие современных технологий сейсморазведки?

Этот вопрос звучал практически во всех выступлениях. Но особо отметим два доклада.

Повышение плотности съемки – общая тенденция, наблюдаемая во всем мире. Увеличивается канальность системы наблюдения, используются десятки тысяч каналов на одном проекте, отдается приоритет точечному приему и точечному возбуждения, - об этом в докладе Анатолия Череповского – «Сейсморазведка высокой плотности: количество переходит в качество».

О современных тенденциях в области вибросейсморазведочной техники в разрезе широкого спектра виброисточников, производимых в Китае под решение широкого спектра геологических задач рассказали специалисты компании «Дельта Гео».

Какие успехи есть в импортозамещении иностранных технологий и оборудования в сейсморазведке?

«Заместим?» - замечательное сообщение Ляндреса А.Ю. («СЖЖ Восток»), несмотря на общий скептицизм в оценке «успехов» импортозамещения оставляет надежду на изменение ситуации в ближайшее время. «Коль им Россию не понять, Аршин придется свой нам делать...» - чудесная цитата Николаева А. Ю., венчающая доклад, является целеопределяющей для отечественных разработчиков геофизического оборудования.

Чего не хватает для развития российского приборостроения геофизического оборудования?

На конференции было представлено разнообразное геофизическое оборудование, производимое в России – телеметри-



Почему буксует широкое внедрение бескабельного оборудования, вариаций которого очень много?

ческие системы: кабельно-бескабельный комплекс SCOUT-НТ (СКБ СП), бескабельный комплекс Геотом (Сейстех, Геосейс), сейсмический беспроводной комплекс телеметрии ТМ, разработанный по заказу ООО «ТМ-Сейсмик» в ФГАОУВО КФУ, малый вибрационный источник и результаты работы с ним – были представлены в докладе компании ГСД.

Большой интерес вызвал доклад «ДОСТИЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ (Росгеология) о работе компании «Геосвип».

Общий вопрос, заданный всем российским производителям – на сколько зависимы наши разработки от импортной элементной базы и какие есть альтернативы, пока остается без ответа, так как требует решений в государственном масштабе. Но внимание, уделяемое этому вопросу на уровне Правительства РФ, о чем рассказали конструкторы СКБ СП (Саратов), сохраняет оптимизм нашим разработчикам.

Почему буксует широкое внедрение бескабельных технологий?

Несколько докладов от специалистов из компаний «Башнефтегеофизика», «ТНГ-Групп», «Геотек Сейсморазведка» рассказывали об успешных проектах с использованием бескабельного оборудования. Эргономичность бескабельных блоков повышает эффективность сейсморазведки на проектах высокой плот-

ности, вот только пока таких проектов очень и очень мало. Однако, и в этих докладах, и в информации от производителей бескабельного оборудования (а их на «Геофесте» было немало), называется основная причина, затрудняющая внедрение бескабельных технологий. Риск потери информации, действующие в отрасли стандарты контроля качества, консерватизм заказчиков, не готовых к кардинальным изменениям в технологиях. То, что эти вопросы сегодня широко поднимаются и горячо обсуждаются, в том числе и на таких мероприятиях, как «Геофест», позволяет надеяться, что перемены не за горами.

Как работать дешевле, не теряя качества?

А вот на такую тему отдельного доклада не было. А жаль. Потому что это ключевой стратегический вопрос, который задает главный вектор развития отечественной геофизики. И вопрос, пожалуй, не столько к геофизикам, уже выжавшим все для себестоимости из разгона своего производственного конвейера с большей или меньшей успешностью. А вопрос к нефтяным компаниям, которым пора заняться разработкой новой парадигмы стандартов качества сейсморазведочных работ. И тогда откроются ворота для технического перевооружения российских геофизиков под решение этого запроса рынка. И об этом звучало постоянно в прениях и дискуссиях.

За какими источниками сейсмических сигналов будущее?

Вопросы, поднятые докладчиками, дали очень важный импульс для обсуждения будущего геологоразведки в России. Причем, жаркое обсуждение продолжилось и на четвертый день, когда «деловой завтрак подведения итогов» превратился в несколько часов



За какими источниками сейсмических сигналов будущее?

горячей дискуссии для всех оставшихся участников конференции. Люди не просто хотели продлить праздник общения. Те мысли, которые звучали в обсуждении, требуют развития и воплощения в жизнь.

Было принято решение, расширить круг дискуссии, пригласив к ней и аудиторию журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики». Не все доклады упомянуты в данном обзоре, поскольку, многие доклады стали статьями, собранными в этот номер, и их содержание авторы презентуют читателям сами.

А мы приглашаем к дальнейшему обсуждению этих и других актуальных вопросов в группе журнала:



t.me/psrgeo

Наиболее интересные мысли будем публиковать и дальше на страницах нашего журнала.



Трансформация рынка, трансформация сознания



*Продолжение дискуссии с руководителем
управления сейсморазведочных работ
«Газпром нефти»
Воцалевским В. З.*

Дмитрий Слонов: *Уважаемый Владислав Збигневич! Ваш доклад на конференции «Геофест-2022» вызвал очень оживленную дискуссию, продолжавшуюся в кулуарах, практически, все время работы конференции. Тема Вашего доклада «ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СРР В «Газпром нефти», но обсуждение вылилось в размышления о том, что сегодня происходит на рынке, как будет меняться российская сейсморазведка в ближайшие годы, к каким переменам необходимо готовиться исполнителям работ, и какую роль в этих трансформациях будет играть заказчик, особенно, в лице крупных компаний.*

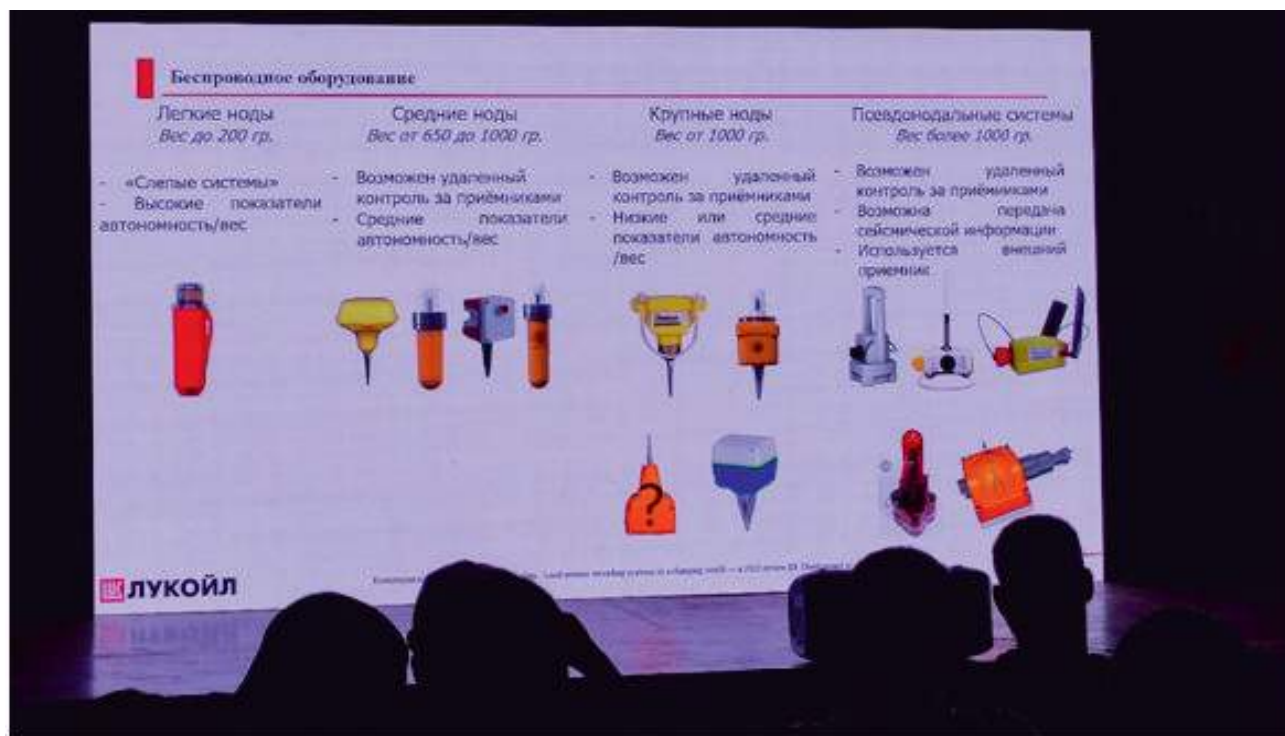
Владислав Воцалевский: Да, действительно, мы много говорили о «судьбах отечественной сейсморазведки». Конференция «Геофест» тем и хороша, что собирает специалистов-практиков и управленцев высокого уровня, создавая дружескую непринужденную атмосферу, позволяя вести умную и интересную дискуссию. Особенно ценным считаю откровенность участников и открытость к диалогу при существенно разных точках зрения. Порадовало, что при всей неопределенности текущего момента, главным лейтмотивом практически всех выступлений была мысль – ситуация на

рынке и в отрасли сложная, но никто не оценивает ее как катастрофическую! Можно констатировать, что почти все крупные недропользователи не собираются полностью сворачивать свои программы исследования недр. Продолжается процесс лицензирования новых участков, на которых обязательно будут вестись сейсмические работы, ищутся альтернативные направления сбыта углеводородов, открывающие перспективы работы в новых регионах. Так что объемы для сервисных компаний будут. И исполнителям надо строить свою стратегию с учетом возможного развития, а не просто выживания с имеющимися ресурсами.

Д. С.: *Давайте еще раз озвучим проблемы, с которыми сегодня сталкиваются сейсморазведчики.*

В. В.: Да, проблем немало. Внешние для подрядчиков проблемы связаны не только с ограничениями доступа к мировому рынку, но и с отсутствием гарантированной долгосрочной загрузки полевых подразделений, позволяющей планировать окупаемость инвестиций. К сожалению, у меня нет рецепта решения. Рынок слишком волатилен для гарантированного долгосрочного планирования.

Внутренние проблемы у разных под-



▲ Рис. 1. Из доклада на конференции.

рядчиков отличаются, но для всех актуальна нехватка персонала и рост затрат на оборудование и расходные материалы.

Решение проблем с использованием реально работающего способа – увеличения расчетной стоимости работ, приводит к сокращению инвестиционной эффективности проектов для заказчика, что уменьшает потенциальные объемы работ для подрядчиков.

Возникает острая конкурентная борьба на нестабильном рынке, требующая повышения эффективности работы. Несмотря на понятные сложности в поставках запасных частей, необходимые для поддержания имеющегося геофизического оборудования, снижать требования по качеству работы заказчик не станет. Так что сегодня необходимо искать реальные альтернативы европейским и американским поставщикам, менять логистические решения для поставок геофизического оборудования, отсекал лишние расходы на непроизводительные службы.

Д. С.: В вашей мысли озвучено сразу две проблемы – как работать эффективнее (дешевле) и как решать проблему обеспечения геофизическим оборудованием. Ответ на оба эти вопроса звучал не раз. По всем докладам конференции красной нитью проходило понимание того, что сегодня происходит революция перехода на бескабельные системы (Рис. 1). И различные китайские производители готовы поставлять на наш рынок несколько типов нодального оборудования. С нодальными системами можно работать быстрее, легче, дешевле. Но, чаще всего, это слепые или полуслепые системы. И геофизики боятся переходить полностью на работу «вслепую», понимая, что все риски будут исключительно лежать на исполнителе. Что Вы думаете, относительно назревшей задачи изменения подхода к контролю качества полевых работ?

В. В.: Да, до сих пор локальные нормы могут быть ориентированы на инструк-

цию по сейсморазведке аж от 1986 года. Более новые версии так и не прошли официального утверждения. Учитывая то, что сегодня системы наблюдения становятся все плотнее, используются десятки тысяч каналов, отказ двух подряд приборов кажется атавизмом. Мы в своих внутренних методических документах предусматриваем возможность индивидуального подхода к каждому конкретным сейсмогеологическим условиям с учетом применяемых методик, но на уровне отрасли единой точки зрения нет. На конференции прозвучал интересный доклад специалистов «Геотек» на эту тему. Не соглашусь с предложением авторов доклада отказаться вообще от полевого контроля качества, но вопрос переоценки подходов и формализованных параметров давно назрел. И решать его необходимо системно с привлечением экспертов как нефтяных, так и геофизических компаний.

Д. С.: «Газпром нефть» заслуженно является компанией, задающей во многом технологические стандарты. Как Вам видится переход на бескабельное оборудование?

В. В.: Прежде всего, отмечу, что бескабельное оборудование давно стало неотъемлемым элементом стандарта «зеленая сейсморазведка». Мы предпочитаем видеть на наших проектах бескабельные регистрирующие системы, позволяющие контролировать работу в режиме реального времени. Однако, широко используем частично контролируемые системы с передачей статуса и допускаем применение иных, в том числе, и «слепых» систем. Правда, в комбинации с телеметрией, обеспечивающей мониторинг сейсмических условий. Например, можно было бы рассматривать полевую систему наблюдения, в

которой 10-20% реализовано кабельной системой, а 90-80% - надежным нодальным оборудованием.

В момент «силового» внедрения бескабельного оборудования на наших проектах мы ставили условие 50%. Облегчая тем самым подрядчикам переход с классического кабельного на современное бескабельное оборудование. На залесенных территориях сейчас предпочитаем иметь максимальный процент бескабельного оборудования.

В комплексе мероприятий мы перешли на регистрацию точечными низкочастотными высокочувствительными геофонами, необходимую для реального повышения эффективности. Компактный бескабельный нод с группой датчиков длиной 50 метров - уже не бескабельная система, мы так не работаем.

Д. С.: Маржинальность сегодняшних проектов редко превышает 10-15%, проекты, в основном, договора заключаются на один объем, выполняемый за один полевой сезон. Как в таких условиях можно планировать серьезное перевооружение в отрасли? Ведь новая партия должна окупаться хотя бы за пять лет, принося при этом прибыль исполнителю. Не кажется ли Вам, что погоня за экономической эффективностью, как заказчика, так и исполнителей стала стопором в технологическом развитии отрасли?

В. В.: Да, мы это понимаем очень хорошо. «Газпром нефть» готова платить за качественную сейсморазведку справедливую цену. Только так можно получить лучшие в отрасли технические решения. Считаю, что переход на новые технологические и методические решения помогут улучшить экономическую эффективность. Это доказано нами за последние годы, когда изначально

подрядчики высказывали сомнения в возможности реализации наших требований, а потом сами стали использовать аналогичные решения для работ на других Заказчиков.

Мы также понимаем необходимость перехода на партнерские отношения с подрядчиками и реализуем все возможные варианты долгосрочного сотрудничества. Практически все сейсморазведочные работы в последние годы выполняются по долгосрочным договорам. В этом году мы заключаем рамочные договоры длительностью до 5 лет. Сохраняя конкурентность распределения объемов работ, мы отбираем лучших, и у таких подрядчиков будет понимание, что их услуги востребованы не на один проект, а на длительный период.

Конечно, есть и другие компании, нуждающиеся в сейсморазведке. Если и они будут готовы выстраивать корпоративные партнерские отношения с геофизиками, это станет серьезным сигналом для внедрения новаций и просто обновления производственной базы геофизических компаний.

Д. С.: Какой Вам видится идеальная сейсмическая партия? И что при выборе стратегических партнеров компании Вы считаете самым важным?

В. В.: Описывать идеального подрядчика можно много, тем более что нужно быть реалистом, и понимать, чем отличается идеал от жизненных реалий. Но хочу снова выделить основное.

Первое и самое главное – в подрядной компании должны понимать, что такое «безопасное производство». Причем, должна работать система, которая строится через изменение сознания. Конечно, техническое обеспечение необходимо, но главное – понимание каждым сотрудником компании-подрядчика, что

жизнь и здоровье человека – ключевая ценность бизнеса.

Второй важный аспект – качественная работа. Разумеется, ни один заказчик не скажет, что ему не нужно качество. Но мы смотрим на подрядчика, с точки зрения его готовности дать самое оптимальное техническое решение для наших геологических задач. И если подрядчик готов превышать тендерную планку по методике и оснащенности, это приветствуется.

И третий аспект – подрядчик должен быть готов к постоянным изменениям и внутреннему развитию. Сегодня действительно идет серьезная трансформация нашей отрасли. И те, кто «работает как всегда», нас уже не устраивают на перспективу.

Д. С.: Вот мы и вернулись снова к структурным переменам в нашей жизни, происходящим сегодня. Какую главную мысль Вы хотели бы донести до нашей аудитории?

В. В.: Мысль короткая – сейсморазведке в России жить и развиваться. И компания «Газпром нефть» хорошо понимает свою роль и как фактора стабильности, и как ориентира для движения вперед. Спасибо организаторам замечательного «Геофеста», создавших отличную площадку для дискуссий, формирующих основу стратегического взаимодействия подрядных организаций, производителей геофизического оборудования и заказчиков геологоразведочных работ.

И пусть таких встреч будет больше!

Geotensis^{((o))}

Эксклюзивный дистрибьютор SmartSolo в России и СНГ

АРЕНДА SmartSolo в России и СНГ



Нодальная система SmartSolo:

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

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

ООО «Геотенсис»
Тел.: +7 927 040-07-39
Тел.: +7 987 822-68-37
geotensis@yandex.ru

smartsolo.com.ru

Первый опыт применения высокоплотных масштабных производственных работ с использованием нодальной системы SRYDE (АО «БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА»)

■ Гафаров Р.М., Сираев И. А., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

В статье подробно описываются компоненты и технические характеристики полевого оборудования Stryde, особенности установки, подмотки и сбора данных. Приведены данные по производительности и представлены полученные геофизические материалы при проведении полевых сейсморазведочных работ в производственном режиме на площади, около 100 квадратных километров. Информация окажется полезной для специалистов, которым предстоит выполнять полевые работы данной системой регистрации.

Введение

Повышение вертикальной разрешённости сейсмической записи достигается не только расширением частотного диапазона регистрируемого сигнала, но и увеличением плотности трасс на квадратный километр [1]. Для этого, в современной сейсморазведке всё чаще практикуется проведение полевых сейсморазведочных работ высокой плотности. Но, если уменьшение шага между пунктами приёма до 12,5 метров может быть достигнуто с применением кабельных систем регистрации (UniQ), то проведение сверхплотных работ с шагом до 6,25 метров немыслимо без внедрения бескабельного полевого оборудования.

На сегодняшний день, производители бескабельного оборудования предлагают широкий спектр, как «слепых», так и «полуслепых» регистрирующих систем [2,3]. Их применение на территории России обычно, с целью знакомства с новым оборудованием, ограничивается проведением опытных работ для сравнения с имеющейся кабельной системой. В производственном масштабе «слепые» системы практически не применяются.

Целью настоящей статьи является подробнее познакомить читателя с устройством и особенностями работы с бескабельным оборудованием Stryde. Статья функционально разделена на две части. В первой части идёт подробное

описание собственно оборудования, во второй – статистика по результатам производственных наблюдений.

Полевое оборудование Stryde

В состав полевого оборудования, кроме нодального сейсмоприёмника, входят устройства для считывания данных и зарядки аккумуляторов, инициализатор, планшет-навигатор и рюкзаки для переноски нодов.

Основными компонентами нода Stryde являются пьезоэлемент, аккумулятор, чип GNSS, преобразователь аналог-код и оптический разъём для считывания данных и зарядки аккумулятора (Рис.1).

Диск пьезоэлемента расположен в нижней части нода. Над пьезоэлементом

▼ Рис. 1. Вид и комплектность нодального приёмника Stryde.



Вес	150 г.
Размеры (Ø x высота)	Ø 41 мм x L 129 мм
Связь	Оптический интерфейс передачи данных
Батарея	Внутренняя литий-ионная
Хранение данных	4 ГБ
Автономность работы	28 дней (24-часовая запись с интервалом выборки 2 мс.) 14 дней (24-часовая запись с интервалом выборки 1 мс.)
Время зарядки и загрузки	< 4 часов
Рабочая Температура	От -40°C до +70°C
Рекомендуемая температура хранения	От -40°C до +35°C
Относительная влажность	Любая (нод герметично закрытый)
Высота эксплуатации	< 2000 м
Материал корпуса	Герметичный пластик
Датчик	1С пьезоэлектрический акселерометр
Пропускная способность	1-125 Гц (+/- 3 дБ)
Выходной интервал выборки (шаг дискретизации)	1 мс, 2 мс
Преобразование A/D	24-битная сигма-дельта
Поддерживаемые GNSS	GPS, ГЛОНАСС (временные метки/самонаведение)
Точность синхронизации	< 0,1 мс (GNSS фиксирует каждые 2 часа)
Код защиты от проникновения	IP68 – 10m, 72 часа, полностью пылезащитный
Полярность	SEG
Форматы вывода	SEGD Rev3.0
Шаги усиления	0 дБ 16 дБ
Максимальный уровень входного сигнала	0,6 г., 0,1 г.
Плотность Шума (1-125 Гц)	65 ng/√Hz, 22 ng/√Hz
Мгновенный динамический диапазон	117 дБ 111 дБ
Дополнительные приспособления	Шип, веревка

▲ Табл. 1.

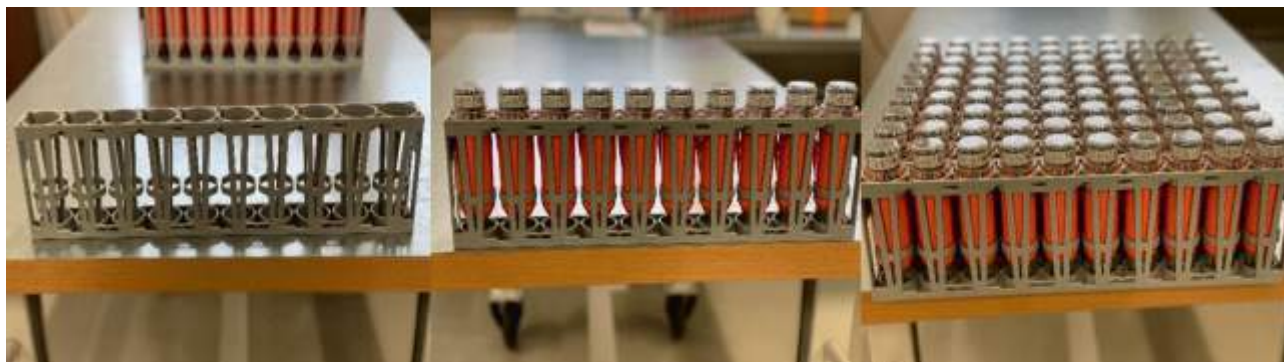
расположен внутренний аккумулятор. Между ними установлена спиралевидная пружина, предотвращающая давление аккумулятора на пьезоэлемент, когда нод находится вертикально в состоянии покоя.

При возникновении колебаний нода в направлении его вертикальной оси, происходят механические воздействия на пьезоэлемент аккумуляторной батареи за счет ее собственного веса. В моменты давления на пьезоэлемент, он, в свою очередь, вырабатывает электри-

ческий ток, который оцифровывается внутренним АЦП, и его сигнатура, с заданной дискретностью, записывается на встроенный элемент памяти сейсмоприемника. Из таких сигнатур и состоят сырые сейсмоданные.

Технические характеристики нода Stryde приведены в таблице 1.

Магазин для нодов – это пластиковое изделие, разработанное компанией STRYDE и предназначенное для хранения и транспортировки нодов. Также, магази-



▲ Рис. 2. Магазин для нодов.

ны используются для загрузки нодов в считывающе-зарядное устройство.

Каждый магазин вмещает в себя до десяти нодов (Рис.1). Конструкция магазинов позволяет жестко скреплять несколько магазинов друг с другом, формируя тем самым «ящики» с плотно установленными в них нодами. Наиболее используемая комбинация – девять магазинов, соединенных вместе. Такой «ящик» позволяет одновременно загружать до 90 нодов в считывающее - зарядное устройство. Для уменьшения объема хранения и транспортировки «ящики» можно сложить штабелями друг на друга высотой не более 9 лотков.

Устройство инициализации представляет собой герметичное портативное устройство, которое позволяет приложению на навигаторе взаимодействовать с нодом. Устройство инициализации подключается к планшету по беспроводной сети через Bluetooth. Когда нод вставляется в устройство инициализа-

ции, для связи используется оптический канал передачи данных. В процессе установки в нод вводятся следующие данные:

- расписание записи (из плана развертывания, загруженного в приложение навигатора)
- метаданные, включая номер текущей линии и точки, интервал выборки и коэффициент усиления
- настройки GNSS для узла, такие как интервал пробуждения GNSS
- временная метка (от приемника GNSS в устройстве инициализации).

В процессе сбора оборудования, инициализатор останавливает запись данных и вводит в нод окончательную временную метку GNSS. Инициализатор также может использоваться для проверки состояния нода во время опроса, например, для проверки уровня заряда батареи нода во время его записи.

В качестве **навигатора** используется портативный планшетный компьютер

▼ Рис. 3. Инициализатор и его взаимодействие с нодом.





▲ Рис. 4. Навигатор с зарядным устройством.

NAUTIZ X6 производства компании Handheld, с установленным на него специализированным программным обеспечением, разработанным компанией STRYDE. Поставляется вместе с зарядным устройством.

Навигатор позволяет бригадам определять местоположение узлов, в соответствии с планом развертывания или поиска и используется вместе с устройством инициализации для связи с узлами. На каждую бригаду требуется один навигационный планшет. Его можно переносить вручную или монтировать на рюкзаки. Планшет следует возвращать на базу в конце каждой смены для подзарядки, управления планами развертывания и поиска, а также создания отчетов о развертывании и поиска. Встроенная GNSS навигационного планшета обеспечивает точность позиционирования ± 5 м. Внешняя система GNSS может быть подключена к планшету для повышения точности позиционирования. Планшет использует Bluetooth для беспроводного подключения к устройству инициализации и внешнему приемнику GNSS (при необходимости). Навигатор сокращает необходимость в съемке перед развертыванием, позволяет развертывать без привязки и снижает общую подверженность HSSE за счет сокращения численности полевых бригад.

В будущем, в качестве навигаторов, для работы с системой Stryde, возможно использование других аналогичных устройств, которые конечный пользователь системы может приобретать локально. Для их применения в составе системы, необходимо будет установить вышеупомянутое специализированное ПО.

Специальные рюкзаки. Возможно использование трех типов рюкзаков специальной конструкции для работы с узлами:

- рюкзак для установки - используется при расстановке узлов (рис. 5, а). Этот рюкзак можно снарядить приборами в количестве до 60 шт., одной катушкой с веревкой, навигатором и инициализатором;

- рюкзак для подбора - используется при подборе узлов (рис. 5, б). Можно снарядить катушкой для смотки веревки, а также переносить до 60 приборов;

- рюкзак для переноски – вспомогательный, используется дополнительно для переноски до 60-ти узлов во время расстановки и подбора (рис. 5, в).

Системный блок (Рис.6) является разработкой компании STRYDE и выполняет следующие основные функции:

- обеспечение графического интерфейса для оператора системы;
- синхронизация и управление считывающе-зарядными устройствами, под-



▲ Рис. 5. Рюкзаки: а - для установки; б - для подбора; в - для переноски нодов.

ключенными к системному блоку;

- первичная аккумуляция сейсмоданных, считанных с нодов через считывающе-зарядные устройства для их дальнейшей записи на портативные цифровые носители (NAS). В настоящее время в качестве портативных цифровых носителей для сейсмоданных используются сетевые накопители TS-873 производства компании QNAP. В будущем, в качестве цифровых носителей для сейсмоданных, возможно использование других аналогичных устройств хранения данных. Такие устройства могут приобретаться конечным пользователем системы Stryde локально.

Составные и сопутствующие компоненты системного блока:

- сервер Fujitsu PRIMERGY RX2540 M5. На данном сервере установлено ПО, разработанное компанией STRYDE и

представляющее собой серверную часть функционала системного блока. Внутреннее дисковое пространство сервера также служит для первичной аккумуляции сейсмоданных с нодов и их последующей записи на портативные цифровые носители (NAS).

- рабочая станция Fujitsu CELSIUS C780. На данной рабочей станции установлено ПО, разработанное компанией STRYDE и обеспечивающее графический интерфейс управления для оператора системы.

- блок синхронизации частоты, времени и фазы IGM-1100o. Данное устройство, в составе системного блока, служит для синхронизации внутренних часов нодов по протоколу PTP, в то время, когда ноды загружены в считывающе-зарядное устройство, подключенное к системному блоку.

▼ Рис. 6. Системный блок - вид спереди и сзади и его характеристики.



Характеристики:

Размер: 116.3 x 68.6 x 52.3 см

Вес: 105 кг

Питание: 220В, 16А



▲ Рис. 7. Считывающе-зарядное устройство.

- коммутатор Cisco Nexus 92348GC-X. Данное устройство, в составе системного блока, служит для коммутации между собой всех компонентов системного блока, а также для коммутации системного блока с подключенными к нему считывающе-зарядными устройствами.

- источник бесперебойного питания APC SRT3000RMXLI. Данный ИБП производства компании APC, поставляется компанией Fujitsu и служит для обеспечения стабильного электропитания всех компонентов в составе системного блока.

Вместе с системным блоком поставляются два компьютерных монитора Dell P2720DC, компьютерная клавиатура Dell KB 216 и компьютерная мышь Dell MS116.

Считывающе-зарядное устройство разработано компанией STRYDE. Его основным компонентом является блок Nest Shelf в сборке. В рабочей поверхности устройства, обращенной внутрь сборки, имеются девяносто упорядоченных углублений типа «ячейка», предназначенных для механического погружения в них верхних прозрачных частей нодов (Рис.7).

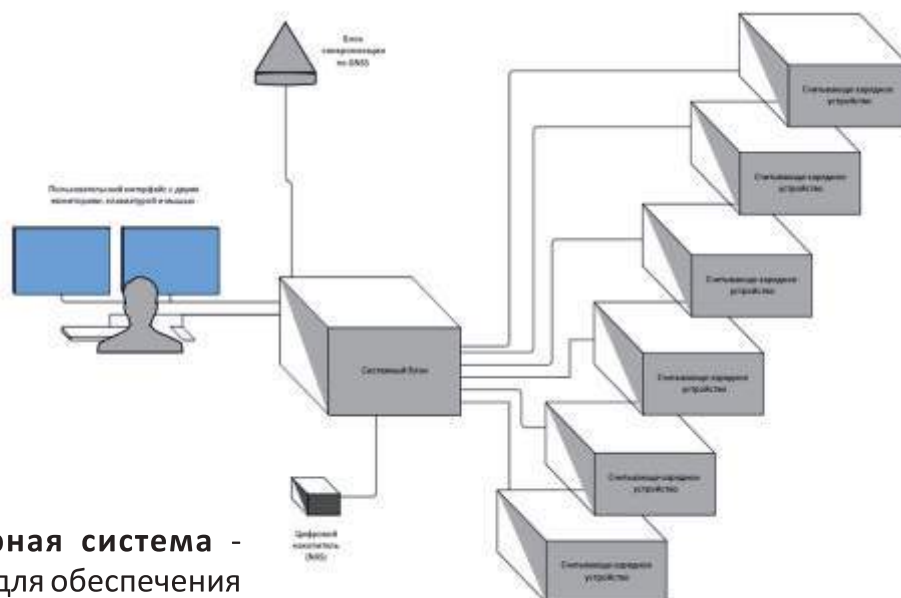
Основными компонентами центральной системы Stryde являются системный блок и считывающе-зарядное устрой-

ство. Система является модульной. В конфигурации “Nimble”, в состав системы могут входить до шести считывающих-зарядных устройств, одновременно подключенных к системному блоку. Количество компонентов, используемых в составе одной системы: магазинов, навигаторов, инициализаторов, портативных цифровых носителей, а также других необязательных аксессуаров не регламентируется и остается на усмотрение конечного пользователя. Необходимое количество данных компонентов, в основном, будет определяться геофизическими параметрами, условиями и целями планируемых сейсморазведочных работ. Например, количество нодов, используемых в составе одной системы Stryde, может варьироваться от одного нода до нескольких сотен тысяч.

В настоящее время производители поставляют три типа систем Stryde:

Nimble – ультрапортативная система, до 30 000 каналов. Зарядка и сбор данных могут выполняться одним оператором с использованием оборудования, размещенного в защитных кейсах, создавая модульную систему. Возможности для ротации нодов в системе Nimble до 3240 каждые 24 часа. Данная конфигурация использовалась при проведении настоящих производственных работ.

► Рис. 8. Архитектура системы STRYDE.



Сопраст контейнерная система - система предназначена для обеспечения эффективных масштабных 3D-сейсмических работ. Оборудование системы зарядки нодов, загрузки данных и записи, включая систему тестирования узлов shaker table, размещено в одном 20-футовом транспортном контейнере, который может поддерживать количество каналов до 150 000, ротацией до 12 960 нодов каждые 24 часа.

Pro мультиконтейнерная система - предназначена для крупномасштабных сейсмических работ с высокой скоростью переброски и ротации оборудования. Система состоит из специальных контейнеров для:

- очистки нодов по мере их возвращения с поля;
- зарядки нодов, загрузки и тестирования данных и для работы с системами записи.

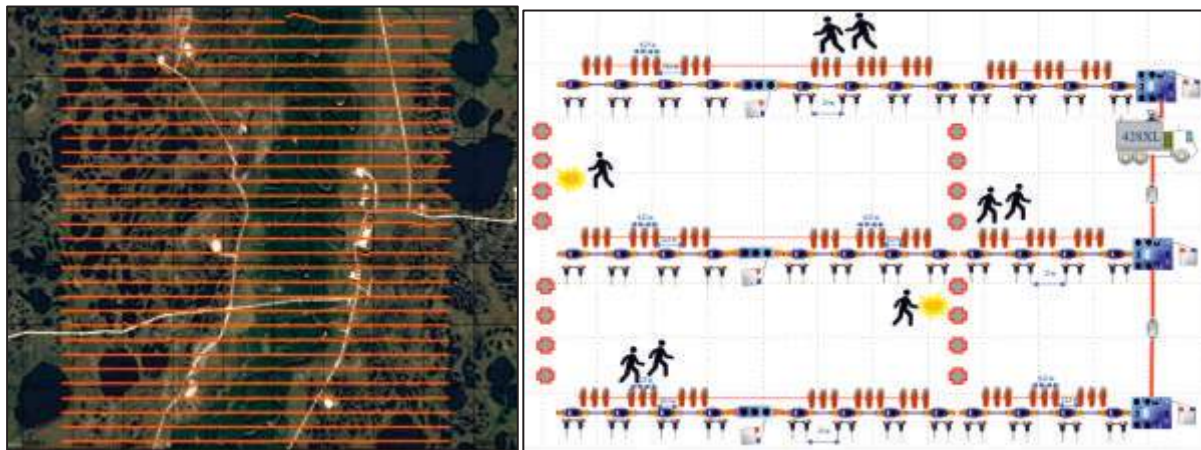
К системе Pro Seismic можно подключить до двух контейнеров для зарядки и загрузки данных, каждый из которых поддерживает до 500 000 каналов и ротацией до 19 440 нодов каждые 24 часа.

Проведение производственных работ 3D с использованием системы Stryde

В зимнем полевом сезоне АО «Башнефтегеофизика» провело произво-

дственные работы с использованием новой «слепой» нодальной системы Stryde. Количество применяемого оборудования составило внушительную цифру – около 24 000 одновременно регистрирующих каналов. По масштабу используемого бескабельного оборудования на одной площади, данный проект можно отнести в лидеры на территории Российской Федерации. Проведённые работы преследовали две цели: в основном производственную, определяемую геологическим заданием, по которому было необходимо закрыть высокоплотной сетью участок со сложным глубинным строением и, в меньшей мере опытную – знакомство с новым оборудованием. Площадь участка составила порядка 100 квадратных километров, который по ландшафту представляет собой район междуречья, где были известные проблемы с расположением взрывных скважин. Поэтому, ожидаемым решением явилось максимальное уплотнение пунктов приёма.

Участок входил в основную площадь, отрабатываемую кабельной системой регистрации Sercel-428XL. В стандартную расстановку кабельной системы с шагом ПП – 25м была интегрирована нодальная



▲ Рис. 9. Схема совместной активной расстановки.

расстановка Stryde с шагом ПП – 6,25м с общим количеством в 24 000 активных каналов. Таким образом, суммарное количество активных каналов на данном участке составило 32 000 (Рис.9).

Так как система Stryde является «слепой» и ноды полностью автономны, то во избежание потерь, их перед установкой в грунт обвязывают между собой полипропиленовой мультифиламентной нитью. Для погружения в снежный покров использовались специальные установочные шесты с металлическим наконечником. Средняя производительность составила 60-80 нодов в час, при этом в бригаде размотки было 2 человека, а при подмотке 3 (Рис.10), где первый сотрудник шёл впереди и откапывал приборы из глубокого снега.

Статистика потерь информации по результатам проведённых работ:

- 7 нодов были неисправны по прибытию в партию;
- 41 нод утерян;
- 16 нодов были повреждены гусеничной техникой (с 7 из них удалось получить информацию);
- 5 нодов не регистрировали данные после установки, либо произошел сбой регистрации по каким-либо причинам;
- 1 нод при подборе был с севшей батареей, но 15 дней данных с него считали.

По итогам ОМР потери информации с активной расстановкой 23970 нодов составили 64 нода (менее 0,3%).

Процесс считывания данных и контроль качества

Stryde является «слепой» нодальной системой и не предоставляет возможности контроля качества в режиме реаль-

▼ Рис. 10. Процесс установки и сбора оборудования.



ного времени. Таким образом, возможность вмешательства и замены неисправного оборудования существует только во время зарядки и считывания данных. Во время считывания данных выполняется контроль качества записанного сигнала, с целью определения возможности дальнейшего развертывания или прибор следует удалить из производства.

Результаты контроля качества также могут помочь в принятии производственных решений (приемка ФН или корректировка обработки данных), однако это не является основным предназначением контроля качества в системе Stryde. Контроль качества нодов осуществляется на ранних этапах потока данных, в процессе считывания.

В «слепой» системе данные для каждого ПП пишутся постоянно (по оси времени на рисунке 11). Трассы могут быть развернуты в направлении ЛП (голубые прерывистые линии на рисунке 11), а соседние линии будут формировать записи ФН. Во время считывания данных, каждый нод обрабатывается индивидуально, так как на этот момент не имеется информации о соседних приёмниках. Информация о развертывании, подборе и источниках также, к этому моменту недоступна. Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что преобладающий объём данных на момент считывания является пассивной сейсмикой из-

► *Рис. 11.
Контроль
качества
и мониторинг
Stryde.*

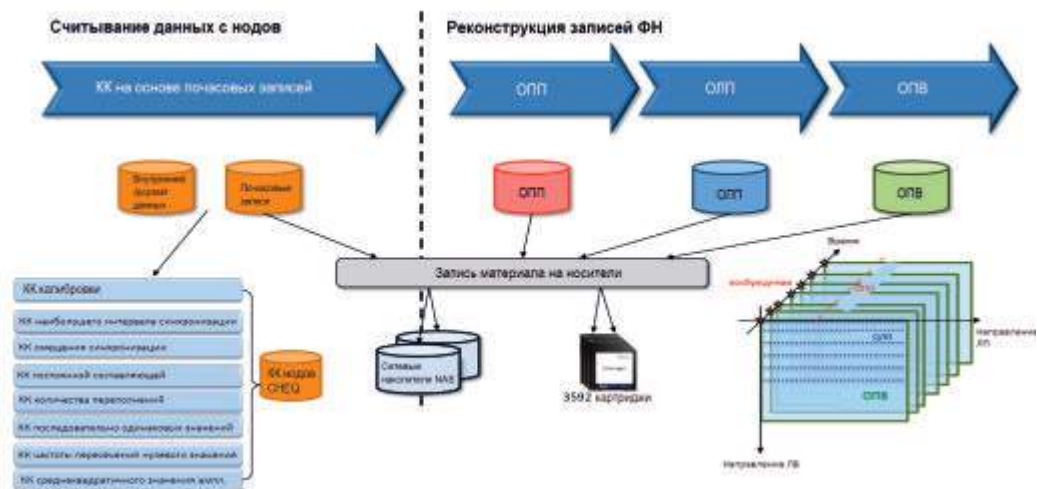
за отсутствия источника возбуждений, включающий в себя время простоя между отстрелами, время простоя по погодным условиям и т.д.

Данные во внутреннем формате системы (Protobuf) являются непрерывными массивами данных, в то время как почасовые записи (time-aligned) являются нарезками длиной в 1 час с небольшим перекрытием порядка одной минуты в конце каждой записи. Эти записи инициируются с началом каждого часа.

После того, как почасовые записи произведены, реконструктор физических наблюдений считывает план реконструкции записей, содержащий информацию об активной расстановке, и выделяет полезные данные. При создании записей общего пункта приёма (ОПП), обычно, отфильтровывается достаточной большой объём данных. Запись ОПП символически обозначена красной прерывистой линией на рисунке 11.

После того, как данные с целой или части линии приёма считаны, может быть реконструирована запись общей линии приёма (ОЛП), содержащая один пункт возбуждения и данные со всей или части соответствующей линии приёма (на рисунке 11 несколько ОЛП представлены в виде синих прерывистых линий).

После того, как считаны данные со всей активной расстановки, может быть реконструирована полноценная запись общего пункта возбуждения (ОПВ) для



этой активной расстановки. На рисунке 11, области светло-зеленого цвета символически обозначают записи ОПВ.

Почасовые записи и реконструированные записи ОПП, ОЛП и ОПВ пишутся в формате SEG-D rev3. Обычно, в качестве выпускаемого материала, на носители пишутся почасовые записи для всех ПП и один из типов реконструируемых записей.

Контроль качества (КК) осуществляется в процессе считывания данных, результаты которого аккумулируются в рапорте *Aggregated harvesting QC per deployment* (Агрегированный контроль качества по пунктам приема). Данный рапорт содержит все комбинированные результаты КК для каждого ПП. Каждый ряд данных соответствует отдельному ПП (от момента инициализации нода на позиции, до момента его деинициализации). Порядок сортировки данных в рапорте не обязательно соответствует порядку серийных номеров или моментов инициализации нодов. Первый ряд в этом CSV файле представляет собой заголовок. Ниже перечислены атрибуты КК, содержащиеся в данном рапорте:

Serial number – серийный номер нода.

Line – номер ЛП., **Point** – номер ПП.

StartGpsUs – GPS время момента инициализации нода в микросекундах.

StartTime – GPS время момента инициализации нода в читаемом формате: «гггг-мм-дд ЧЧ:мм:сс.ссс».

LengthShotUs – длина периода регистрации в микросекундах.

HarvestingTime – GPS время считывания данных с нода по данному конкретному ПП в читаемом формате: «гггг-мм-дд ЧЧ:мм:сс.ссс».

StartVoltagemV – начальный заряд батареи нода в мВ на момент инициализации в данном конкретном ПП.

EndVoltagemV – остаточный заряд батареи нода в мВ на момент де-

инициализации в данном конкретном ПП.

InitialVoltageDecayInmVPerDay – просадка заряда батареи в мВ/день. Рассчитывается за первые 72 часа (3 дня) регистрации или за полный период регистрации, если нод регистрировал в данном ПП менее 3 дней. Разница между начальным и остаточным зарядами делится на период времени наблюдения.

MinNoGpsEventsPerDay – минимальное значение, полученное по вышеописанной формуле, за весь период регистрации в данном ПП.

MaxNoGpsEventsPerDay – максимальное значение, полученное по вышеописанной формуле, за весь период регистрации в данном ПП.

AvrNoGpsEventsPerDay – значение, равное: $(\text{сумма}(\text{NoGNSSEvents})/(\text{сумма}(\text{ShotLengthUs})/1000000/3600)) \times 24$, где *NoGNSSEvents* и *ShotLengthUs* взяты из рапорта Raw Trace QC для всех почасовых записей для данного конкретного ПП.

MaxDistanceTimeReading – наибольший период времени между двумя последовательными успешными GPS синхронизациями. Используется для выявления нодов с большими интервалами синхронизации, что может повлиять на успешную коррекцию смещения по синхронизации.

AvrTimeBetweenGNSSFfixesSec – средний интервал между GPS синхронизациями в секундах.

MinTemperatureCelsius – минимальная температура, зарегистрированная нодом в данном ПП.

MaxTemperatureCelsius – максимальная температура, зарегистрированная нодом в данном ПП.

AvrTemperatureCelsius – средняя температура, зарегистрированная нодом в данном ПП.

MaxClockDriftuSecPerSec – максимальный темп смещения по синхронизации, зафиксированный для нода в данном ПП.

AvrClockDriftuSecPerSec – средний темп смещения по синхронизации, зафиксированный для нода в данном ПП.

MinRMS – минимальное часовое среднеквадратичное значение амплитуды в данном ПП.

AvrRMS – среднее часовое среднеквадратичное значение амплитуды в данном ПП.

MaxRMS – максимальное часовое среднеквадратичное значение амплитуды в данном ПП.

MinDCOffset – минимальное значение постоянной составляющей сигнала в данном ПП.

AvrDCOffset – среднее значение постоянной составляющей сигнала в данном ПП.

MaxDCOffset – максимальное значение постоянной составляющей сигнала в данном ПП.

MinOverflowCount – минимальное показание счетчика переполнений шкалы сигнала в данном ПП. В идеале, равно нулю.

AvrOverflowCount – среднее показание счетчика переполнений шкалы сигнала в данном ПП. В идеале, очень малое или равно нулю.

MaxOverflowCount – максимальное показание счетчика переполнений шкалы сигнала в данном ПП. В идеале, очень малое или равно нулю. Переполнения шкалы сигнала могут возникать во время установки и подбора датчика, а также при работе источников возбуждений в непосредственной близости от нода.

MinZeroCrossingPerSecond – минимальное число пересечений нулевого значения амплитуды в секунду, выбранное по всем почасовым записям в данном ПП.

AvrZeroCrossingPerSecond – среднее число пересечений нулевого значения амплитуды в секунду, выбранное по всем почасовым записям в данном ПП.

MaxZeroCrossingPerSecond – максимальное число пересечений нулевого значения амплитуды в секунду, выбранное по всем почасовым записям в данном ПП.

Gain – параметр усиления для данного ПП (1 или 6).

MaxConsecutiveSame – максимальное количество последовательных дискрет сигнала с одинаковой амплитудой за все время регистрации в данном ПП.

Методика приведения разнотипных сейсмических данных

Как было сказано выше, система Stryde была интегрирована в сеть профилей кабельной системы, использующей группу из двух сейсмоприёмников YF-SOLO-5 HZ с шагом 25м, которые по сути являются велосиметрами (измерителями скорости). Сейсмоприёмники Stryde, с активным пьезоэлементом являются акселерометрами (измерителями ускорения), таким образом, были зарегистрированы принципиально отличные данные (Рис.12), что впоследствии, на этапе обработки, потребовало их согласования.

Для анализа характеристик сигнала и расчета фильтра согласования, были выбраны соседние пункты приёма «STRYDE» и «YF» из центральной части съёмки (ПП 53091397 и 53091398). После чего, были рассчитаны АКФ сигналов «YF» и «STRYDE» и их ФВК. Далее, путем сопоставления корреляционных функций, был рассчитан оператор приведения (фаза, амплитудно-частотный спектр) двух видов сигналов. В результате работ, было рассчитано три варианта фильтра согласования (Рис.13):

1. при расчёте использовались суммарная трасса «STRYDE» и суммарная трасса «YF» с введенной поправкой за сферическое расхождение ($T=2$);
2. при расчёте использовались суммарная трасса «STRYDE» и суммарная

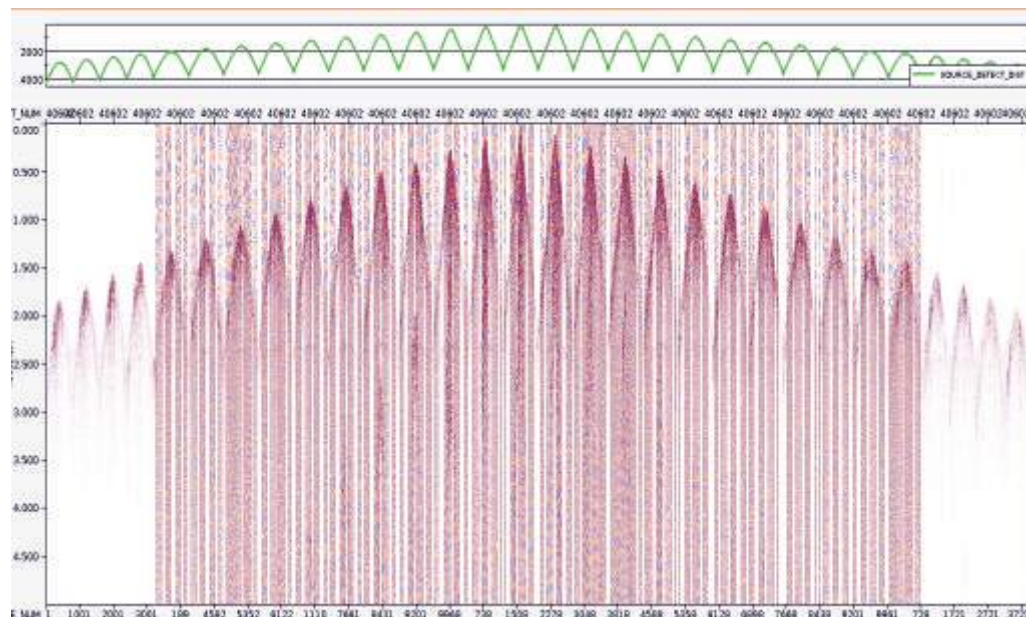


Рис. 12.
Сейсмограмма
ОПВ,
полученная
после
объединения
трасс массивов
данных «YF»
и «STRYDE».

трасса «YF» без учета сферического расхождения;

3. при расчёте использовались центральная трасса «STRYDE» и центральная трасса «YF» без учета сферического расхождения.

По результатам тестирований, фильтр согласования №3 позволил получить максимальное совпадение анализируемых сигналов, после чего был получен совместный куб данных (Рис.14).

Заключение

Традиционно, при исследованиях нового оборудования, сопоставляются выявленные положительные и отрицательные стороны.

Для системы Stryde это:

Положительные стороны:

- система беспроводная;

- малый вес и габариты оборудования – 24 тыс. каналов весят 7.5 тонн, помещаются в 2 стандартных вагон-дома, что в 12 раз легче аналогичной кабельной системы;

- имеется возможность установки узлов, используя топографическое оборудование, без предварительной разбивки и установки пикетов топоотрядом;

- при сопоставимых затратах получаем большую плотность исследуемого участка;

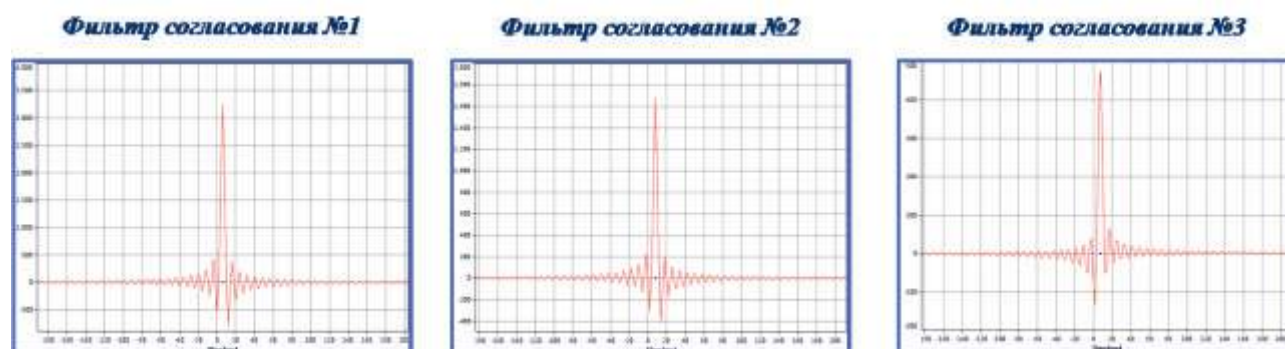
- возможность ручной размотки ведёт к сокращению валочных работ;

- спектр регистрируемых частот системы Stryde – шире в сравнении с геофонами YF SOLO 5Гц.

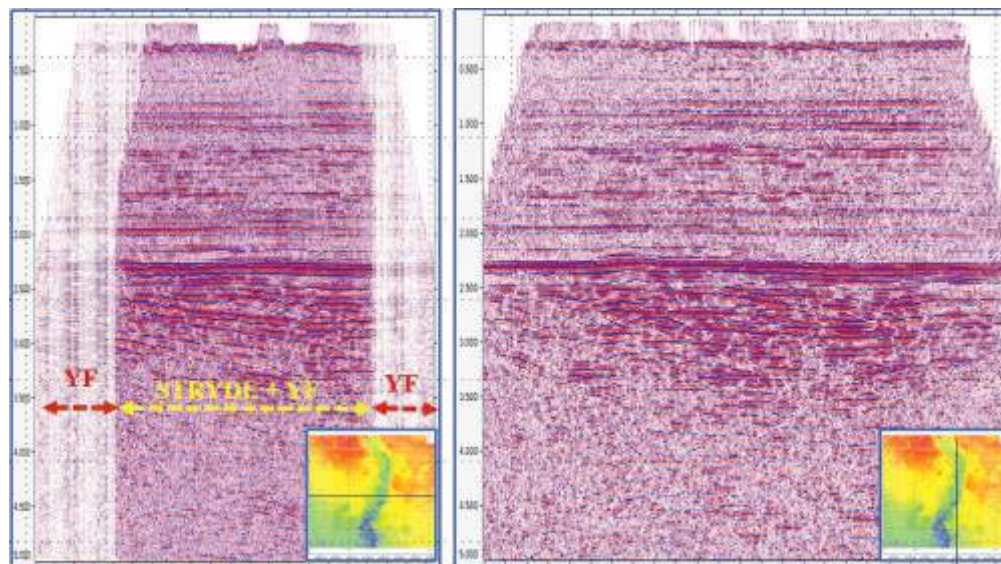
Отрицательные стороны:

- система «слепая» – нет возможности

Рис. 13. ФВК различных типов фильтров согласования.



► Рис. 14.
Вертикальные
сечения куба
амплитуд после
второй
итерации
поверхностно-
согласованной
коррекции
амплитуд
с АРУ.



контролировать расстановку, отсутствует контроль уровня микросейсм, получаемый материал возможно увидеть только при полной подмотке;

- для соблюдения необходимой точности определения высот – требуется проведение воздушного лазерного сканирования;

- хрупкий корпус прибора – наезд транспортного средства «фатален»;

- при шаге дискретизации 1мс не достаточен объём памяти нода – только на 14 дней записи;

- каждый нод требуется обвязывать верёвкой, что является единственным способом поиска. Потеря нода – потеря материала.

Отметим, что главным результатом данного опыта, является успешное комбинирование различных типов сейсморегирующего оборудования с подбором процедур, позволяющих увязать данные в единый массив. А также, показана высокая перспективность идеологии использования нодальных систем для значительного уплотнения системы наблюдения на целевых объектах съемки при «традиционной» кабельной сейсморазведке.

Литература:

1. Череповский А.В. Учебный курс наземной сейсморазведки нового техно-

логического уровня, Тюмень, EAGE, 2016;

2. Тарасов Н.В., Гнатюк А.И. Современные технологии выполнения сейсморазведочных работ с использованием БТСС семейства «SCOUT» // Приборы и системы разведочной геофизики. 2021. №01(68). С. 78-85

3. Абдулвалиев М.Т., Тиссен А.П., Толкачёв В.М., Череповский А.В. Первая отечественная нодальная бескабельная система «Открытие» с электронно-молекулярными датчиками // Приборы и системы разведочной геофизики. 2020. №03(66). С. 46-53

Подробнее об авторах



Гафаров
Радий Марсович

Главный геофизик
Дирекции разведочной
геофизики
АО «Башнефтегеофизика»



Сираев
Ильнур Айратович

Первый заместитель
генерального директора -
директор Дирекции
разведочной геофизики
АО «Башнефтегеофизика».

Отвечая вызову времени – новые технологии сейсморазведки в арсенале компании ТСГК

■ Камалтдинов Р. Р., Шевченко И. И., Тюменская Сервисная Геофизическая Компания, г. Тюмень

«Тюменская Сервисная Геофизическая Компания», входящая в группу «Геосервис 360°», сегодня является самой динамичной и развивающейся геофизической компанией в России. Объемы производства, несмотря на нестабильный рынок, растут из года в год. Расширяется география проектов. Появляются новые направления деятельности и новые услуги, предлагаемые заказчикам. Инновационная стратегия развития, готовность к экспериментам и успешная реализация смелых идей – вот слагаемые стабильного успеха предприятия.

В компании не только внимательно следят за новинками в оборудовании и технологиях, появляющиеся на рынке, изучая положительный опыт успешных проектов других геофизиков, но и активно иницируют свои новые разработки, задавая тем самым общий тренд в развитии отрасли. В компании успешно развиваются «зеленые технологии», о чем мы уже рассказывали в №2 за 2022 год журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики». В линейке источников возбуждения давно и успешно используются импульсные источники, в том числе, и при работе «в движении». Организовывается собственная сборка импульсных источников.

Работа по технологическому развитию компании идет в рамках системной стратегии, выстроенной под запросы рынка в лице ключевых заказчиков. Партнерство с компанией «Газпром-нефть» развивается на протяжении нескольких лет. И ряд технологических новшеств появился именно благодаря совместной работе со специалистами одного из новационных лидеров российской геологоразведки. В настоящей

статье не ставится задача презентовать полностью стратегию развития ТСГК. Но показывая технологические новинки, интегрируемые в арсенал нашей компании, мы приглашаем других участников рынка оценить преимущества компании ТСГК как мобильной, динамичной и успешной геофизической компании.

Испытания МБУ ШС 0.4 и ШС 0.6.

Важными составляющими эффективной и безопасной работы, позволяющие иметь преимущества перед другими участниками рынка, являются легкие мобильные буровые установки.

Развитие «зеленых технологий» невозможно без решения вопроса движения буровых станков по узким, в том числе, и слаломным просекам. Станок должен быть не просто узкий в своей базе. Мобильные станки должны быть маневренные и проходимые, и при этом, должны иметь достаточную мощность для бурения скважин, обеспечивая хорошую производительность. Наша компания участвует в разработке двух модификаций бурового оборудования, проводя анализ возможностей станков, организовывая опытную эксплуатацию данного оборудования.

В 2022 году проведены работы по анализу работоспособности станков типа МБУ ШС 0.4 и МБУ ШС 0.6 в различных условиях, максимально приближенным к производственным.

В планах на ближайший полевой сезон:

- проведение финального этапа доработки буровой установки
- запуск в производство 4 единицы МБУ на базе ШС 0.6
- производственное бурение по слалом профилям.



Испытания УБШМ-1Л.

Установка буровая гидромеханизированная УБГМ-1Л на базе вездехода "ВУ"-206 (Лось) предназначена для решения комплекса задач по бурению скважин различного назначения в грунтах 1-4 категории. Основными отличительными преимуществами данной буровой установки являются сравнительно не большие масса (около 4т) и габариты (ширина установки менее 2,55 м), при эффективности бурения соизмеримого с большими станками. Данные массогабаритные характеристики позволяют раньше начать производственное бурение на заболоченных участках, за счет уменьшения времени на проминку профилей. Ширина же установки позволяет сократить объемы вырубаемого под профиля леса.

Установка УБГМ-1Л помимо малых габаритов, экономична и выполнена исключительно на российской производственной базе. В текущем производственном сезоне планируется опытно-промышленная эксплуатация нового оборудования. Установка легче «традиционных» буровых установок на базе

Рис. 1.
Анализ эксплуатационных характеристик станков ШС 0.4 и ШС 0.6.



МТЛБ. И после производственной доводки на реальном проекте, будет готова к промышленной эксплуатации в составе сейсмической партии ТСГК.

Рис. 2. Установка УБГМ-1Л показывает отличную проходимость.



Рис. 3. Буровая установка УБГМ-1Л способна показывать высокую производительность.



Мониторинг техники и персонала/уберизация.

Цифровые технологии сегодня становятся стандартом жизни в самых различных ее аспектах. Можно много долго иронизировать над желанием оцифровать все и вся, но в сейсморазведке процесс замены субъективного фактора цифровыми решениями – это основа безопасного производства. Уберизация или юберизация — замена посредников (людей или организаций) цифровыми платформами. Термин произошёл от названия компании Uber.

В нашей компании уже реализованы следующие элементы уберизации:

- Контроль работы бригад и техники в реальном времени;
- Контроль применения СИЗ после смены;
- Передача данных через цифровой радиоканал;
- Навигация в поле по сети ПГН ➤ Точность – 5м/Дальность радиосвязи – 10 км;
- Создание геоинформационной базы ТСГК;
- Планирование, контроль и отчетность СКК;
- Интерактивная карта прогресса.

В планах компании реализация следующего этапа уберизации:

- Прокладка маршрута наладчика ГФО по профилям;
- Замена системы «Умных касок» - на мультисистему мониторинга/Mesh-система;
- Разработка модуля интерпретации данных «Черных ящиков» на месте производства работ;
- Разработка прототипа кросс-платформы «Цифровой диспетчер»;
- Внедрение интерактивной сводки во все подразделения.

«Умный дом» - цифровые решения при организации полевого лагеря сейсмо-партии.

Для формирования «цифровой партии» разработана и тестируется система удаленного мониторинга широкого спектра параметров инфраструктуры полевого лагеря сеймопартии на основе mesh технологий. Дома оборудуются системой датчиков, информация с которых собирается в единый центр. Каждое устройство в системе является, как передатчиком, так и приемником данных, организуя связь с объектами от одного к другому, как система ретрансляторов.

К устройствам имеется возможность подключения любого вида датчиков и устройств для удаленного управления. Данные передаются на диспетчерский пункт по беспроводному каналу в реальном времени.

На первом этапе проведено тестирование мониторинга энергопотребления в жилых вагон домах, определение температуры и влажности внутри помещений, а также работа системы пожарного оповещения.

▼ *Рис. 4. Контроль за условиями отдыха персонала – важное слагаемое общего успеха в работе.*



Трансформация сейсмопартии, трансформация идеологии сейсморазведки.

Конечной целью реализации стратегической программы развития является смена принципов работы сейсмопартии, формирование совершенно новой парадигмы выполнения сейсморазведочных работ.

1. Комплектование партии под конкретные проектные задачи, исходя из оптимального технического решения, а не наличной техники и оборудования. Такой подход требует широкой линейки разнообразного оборудования либо в компании, либо у внешних соисполнителей.

2. Уберизация всех производственных элементов в работе сейсмопартии – как производственных, так и инфраструктурных.

3. Формирование парка буровой техники, для работы в любых регионах и условиях – от тяжелых буровых станков на мощной вездеходной техники, до ручных мобильных буровых установок, работающих в горной местности.

4. Широкое внедрение бескабельных систем с возможностью организации контроля работоспособности оборудования и мониторинга получаемой сейсмической информации.

5. Формирование однотопливной партии, использующей только один вид топлива (ДТ) – уход от необходимости содержания как бензинового, так и дизельного топливного парка;

6. Приоритет при формировании партии в использовании «зеленых» технологий сейсморазведки (ширина техники не больше 1,5 м, слаломное профилирование, внедрение бескабельных технологий с контролем качества получаемой информации).

7. Снижение размера партии на 15-

20% за счет оптимизации технических решений и снижения доли тяжелой техники на любом проекте.

8. Использование экологичных решений при генерации электричества в партии, при общем снижении энергопотребления сейсмопартией, уменьшение вредных выбросов.

9. Сокращение объемов вырубленной древесины.

10. Снижение себестоимости работы за счет оптимизации производственной базы, отлаживания технологических процедур, повышения производительности на 30%.

Мы понимаем амбициозность поставленных целей. И мы понимаем, что для достижения поставленных целей требуется огромный труд всей нашей команды. Но уже сегодня можно утверждать, что поставленные цели достижимы. И, прежде всего, благодаря сформированной команде профессионалов высочайшего класса.

Подробнее об авторах



Камалтдинов
Рустам Робертович

Генеральный директор,
Тюменская Сервисная
Геофизическая
Компания.



Шевченко
Илья Игоревич

Первый заместитель
генерального
директора-главный
инженер, Тюменская
Сервисная Геофизическая
Компания.

Возбуждение упругих волн импульсным источником в движении по технологии GLIDE

- Федоров А.Б., ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», г. Тюмень
- Бекешко П.С., ООО «ГЕОПРАЙМ», г. Санкт-Петербург
- Копылов М.А., ТЗСГО «Импульс», ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», г. Тюмень

В статье описаны история создания высокоплотной и высокопроизводительной технологии импульсных невзрывных электромагнитных источников «Енисей-СЭМ-100» в движении — GLIDE. Приведено детальное описание реализованной технологической схемы и представлены результаты обработки данных высокой плотности полученной по разработанной технологии.

Введение

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

Факторы, сдерживающие внедрение технологии высокоплотной сейсморазведки: стоимость проведения работ, экологическая нагрузка на среду, и сохраняющийся профессиональный и технологический консерватизм.

Специалистами ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» предложен новый вектор развития данной тематики: использовать для возбуждения упругих волн невзрывной импульсный электромагнитный источник «ЕНИСЕЙ» в движении (СЭМ-100). Это позволяет внедрять высокоплотные и высокоэффективные методики производства сейсморазведочных работ уже сейчас.

Основные преимущества применения импульсных электромагнитных источников:

- Экологичность — верхние слои грунта не разрушаются;
- Универсальность — возможность работы в любых климатических и повер-

хностных условиях, в том числе в условиях техногенной застройки;

- Энергоэффективность — потребляемая источником мощность не превышает 2–5 кВт, что в 20–30 раз меньше вибрационного источника;
- Экономичность — для реализации проекта необходимо гораздо меньше задействованных ресурсов и оборудования в сравнении с вибрационными или взрывными методиками для сейсморазведочной партии, включая этап мобилизации.

Компания ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» на собственных мощностях (рис.1) выпускает широкий модельный ряд источников «Енисей», который представлен тремя модификациями для производства наземных работ и работ на акваториях (рис.2). Наши источники применимы практически в любых регионах проведения сейсморазведочных работ.

Эволюционное развитие источников, как следствие, привело к увеличению производительности сейсморазведочных работ при применении импульсной невзрывной технологии.

Сезонные объёмы выполненных работ 3D с применением импульсной технологии на сегодняшний день по классическим методикам производства сейсмических работ составляют в среднем 30 000 ФН. При использовании

**Токарный обрабатывающий центр
Hi-TECH 300L**



**Координатно-сверлильный центр
GRD50Z CNC 3012**



**Портальный станок
плазменно-газовой резки металла ECKERT**



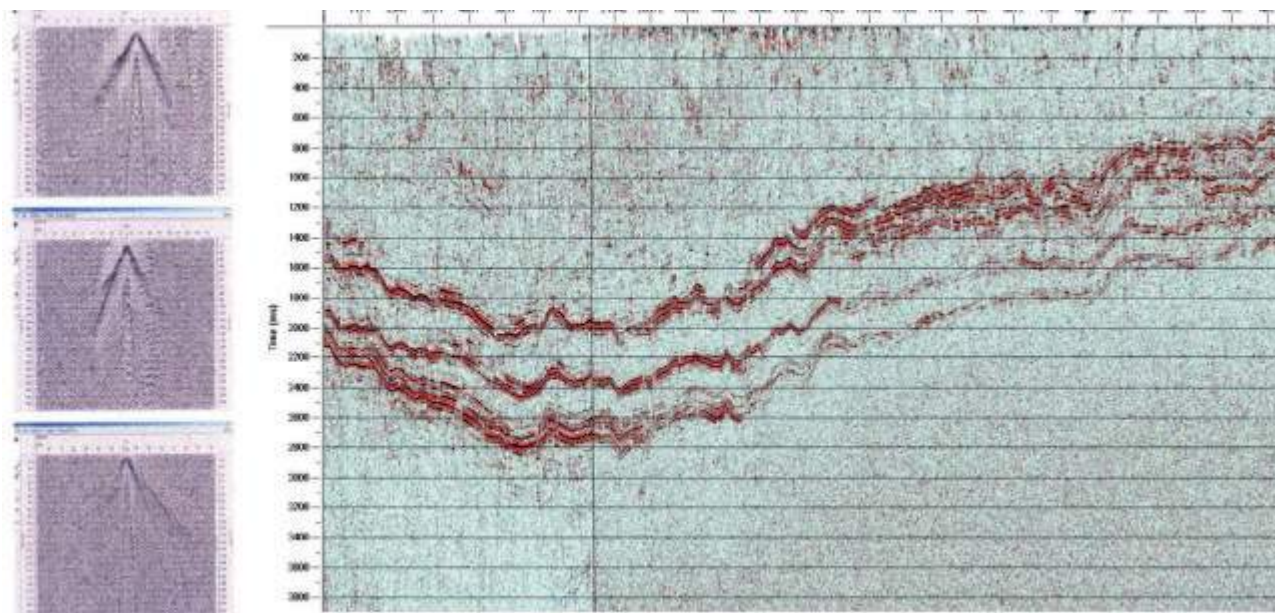
**Станок гибки металла
AMADA HFE M2 1704**



▲ Рис. 1. Производственные мощности ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка».

▼ Рис. 2. Эволюционное развитие импульсных источников.





а) исходные данные б) временной разрез

▲ Рис. 3. Составной временной разрез по типу источников импульс-пневно.

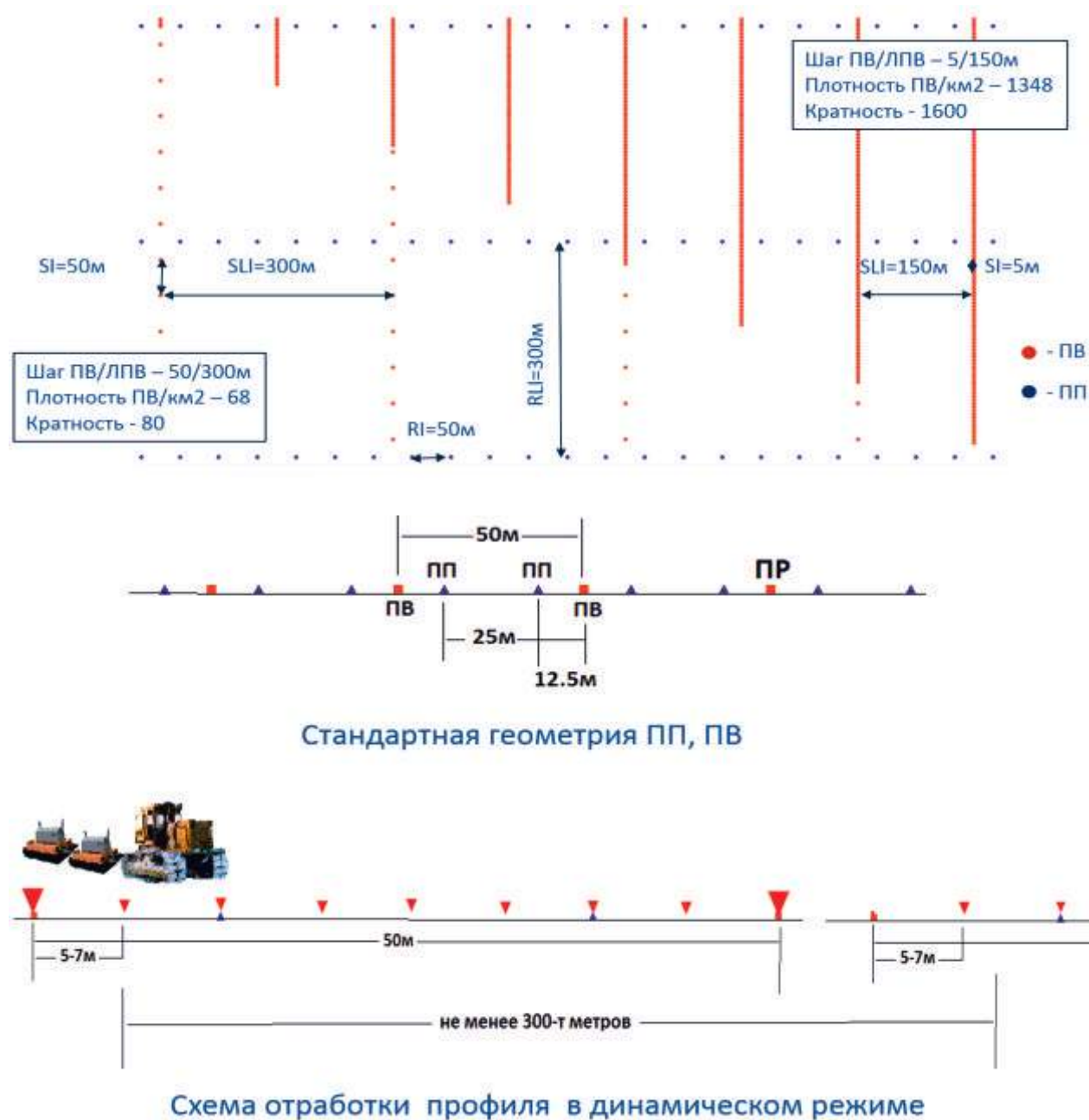
методики GLIDE возможно существенно увеличить производительность и нарастить сезонные объемы работ, либо существенно сократить сроки выполнения работ. Практическое применение данной технологии в сравнении со стандартной показало двойной выигрыш в производительности, а именно 23 кв.км. производственных работ 3D по стандартной технологии накопления в статическом режиме был отработано за 8 дней, тот же объем 3D в режиме GLIDE был выполнен за 4 дня (при работе одной группой источников), подробнее результаты работ будут представлены далее.

Предпосылкой к проверке возможности использования импульсного источника для возбуждения упругих волн в движении послужил опыт проведения сейсморазведочных работ на акваториях с применением водных электромагнитных источников (ВЭМ). Исследования, проведенные на реках Бирюса, Чуна, Нижняя Тунгуска показали, что даже при очень низком отношении сигнал/помеха, на первичных данных получению качественных и информативных временных

разрезов способствует высокая плотность трасс на единицу пространства (рис.3). Кратность МОГТ составила, в среднем 1500 единиц на бин 25 метров.

Наметившаяся стратегия по проведению проектов высокоплотной сейсморазведки требует повышения производительности возбуждения и повышения мощности единичных источников. Под эти цели разработана технология динамического (непрерывного) возбуждения наземными источниками Енисей СЭМ-100 — GLIDE. Технология разработана коллективом ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка».

Несмотря на высокую плотность ФН, существенно снижается экологическая нагрузка. Отработка происходит в движении, что существенно снижает потребление ГСМ и выбросы CO₂, так как используется меньшее количество единиц техники. Проведение сейсморазведки с использованием невзрывных источников по технологии возбуждения в движении позволяет упростить полевые работы, снизить их стоимость, существенно увеличить производительность и исклю-



▲ Рис. 4. Сравнительные схемы наблюдений при переходе к высокоплотным методикам.

чить или свести к минимуму ущерб, наносимый окружающей среде при лучшем качестве суммарных сейсмических данных в сравнении со стандартными методиками.

В отличие от классических методик отработки со статичным накоплением на ПВ от 2 до 16 воздействий, при методике GLIDE возбуждение единичных воздействий происходит с шагом 5-7 м, который зависит от скорости движения и группы и зарядки конденсаторов (рис.4).

На рис.5 показана блок-схема производства работ: станция ведет непрерывную запись с фиксацией GPS-времени; источник осуществляет возбуждение колебаний в движении, записывает время воздействия; пакет программ выполняет синхронизацию на основе отметок момента возбуждения на основе GPS-времени, производит разбиение на файлы стандарта SEG-D; определение местоположения источников осуществлялось в движении. Система синхро-

Параметры съемок	Стандартная полевая методика,	OMP «GLIDE»
Шаг ЛПВ и ЛПП, м	300x300	300x300
Шаг ПВ и ПП, м	50x50	~5x50
Кратность (бин 25x25м)	64	640
Источник возбуждения	«Енисей СЭМ-100» 4 источника в группе	«Енисей СЭМ-100» 2 источника в группе

▲ Табл. 1. Сравнение ключевых параметров систем наблюдений.

ния. В зимнем полевом сезоне 2022г. ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» впервые выполнены сейсморазведочные работы в производственном режиме. Работы были проведены в Красноярском крае, в непосредственных пределах г. Норильск.

На текущий момент времени выполнена не только апробация технологии, но и полноценный производственные работы в Восточной Сибири. Специалисты компании ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» обладают уникальным опытом выполнения, как полевых, так и камеральных работ по обработке данных высокой плотности. Фактически, мы представляем готовую технологию проведения высокоплотных высокопроизводительных сейсморазведочных работ.

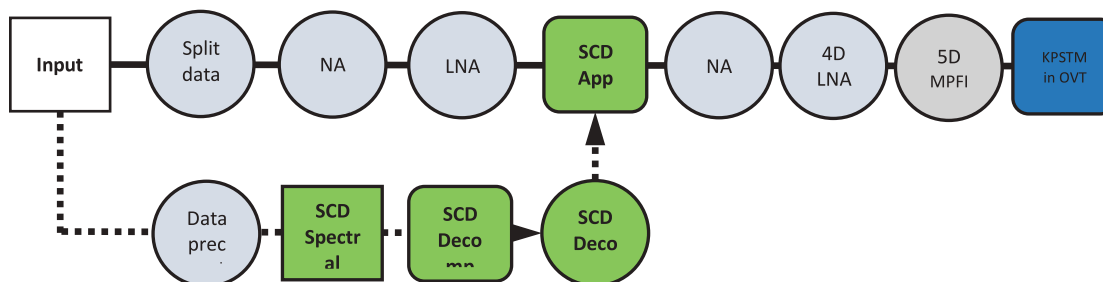
Исследуемый участок находится на территории Восточной Сибири. На нем

были проведены полевые сейсморазведочные работы с двумя типами методик: стандартная и GLIDE при одинаковой приемной расстановке. В таблице 1 ниже представлены параметры систем наблюдений.

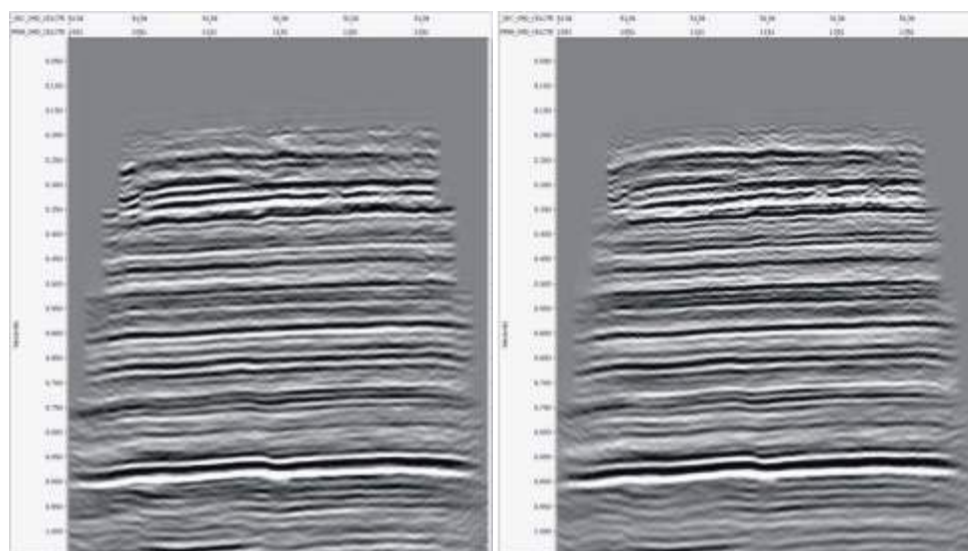
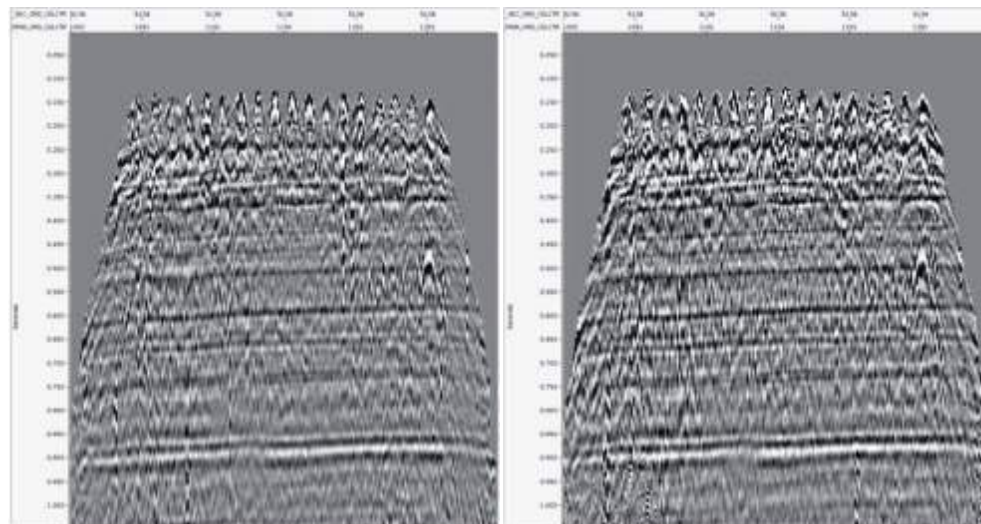
Для оценки применимости технологии GLIDE была выполнена обработка двух массивов данных. Последовательность обработки данных (рис. 7.) в полной мере отвечает современным подходам позволяющим выполнять последующую динамическую оценку сейсмических данных.

На рисунке 8 приведены исходные временные разрезы, на которых видно, что все особенности волнового поля, включая регулярные волны-помехи, схожи. На рисунке 9 видно, что на временах 250–400 мс запись хорошо разрешена по времени и имеет больше простран-

▼ Рис. 7. Граф обработки сейсмических данных по двум методикам.



► Рис. 8. Пример исходных временных разрезов: стандартная методика (слева) и методика GLIDE (справа).



◄ Рис. 9. Пример финальных временных разрезов: стандартная методика (слева) и методика GLIDE (справа).

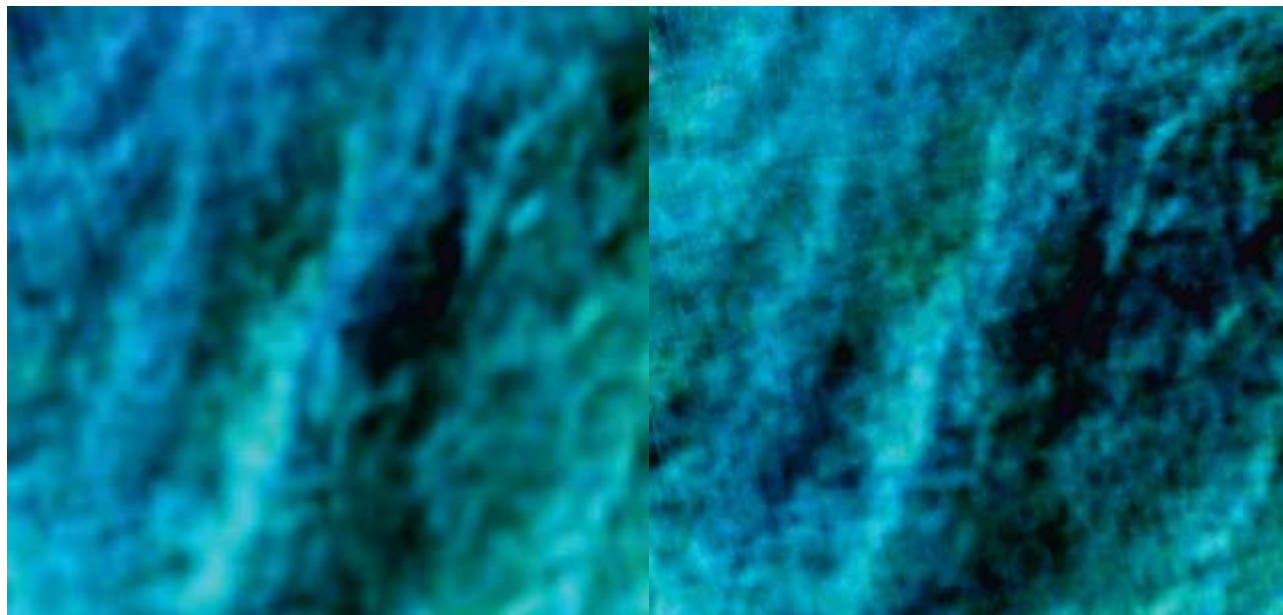
нственных особенностей на данных полученных по высокоплотной методике, чем на стандартной методике. При этом стоит отметить, что данные характеризуются сопоставимым отношением сигнал/помеха во всех диапазонах частот. При этом в некоторых диапазонах, особенно по низкочастотной составляющей, заметны существенные преимущества результирующих материалов, полученных после обработки высокоплотных данных GLIDE.

Финальные временные кубы были переданы в группу интерпретации для выполнения расширенного анализа данных. Результаты анализа показали, что динамические и кинематические характеристики кубов близки друг к

другу. На рисунке 10 представлен срез кубов спектральной декомпозиции. Видно, что пространственная разрешенность и детальность волновой картины существенно выше у данных полученных по методике GLIDE, чем по стандартной.

Выводы

В заключении хотелось бы отметить, что постепенный переход к высокоплотным системам наблюдений будет планомерно развиваться на территории нашей страны. Не принципиально, с какой стороны будет происходить уплотнение сейсмических съемок: ПП или ПВ, но это случится. За долгое время компания ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» прошла этап от идеи до реализации и промышленного внедрения технологии с импульсными



▲ Рис. 10. Временные срезы кубов спектральной декомпозиции: стандартная методика (слева) и методика GLIDE (справа).

электромагнитными источниками в движении, что позволяет создать высокоэффективную методику СРР позволяющую сократить цикл ГРП и обеспечить раннюю разработку месторождений нефти и газа. Данный факт должен позволить всем нефтяным компаниям своевременно получить возврат инвестиций и начать раньше срока получать прибыль.

Литература

1. Николя Телье и др. «Методика xDSS для достижения высочайшей производительности при вибросейсмических операциях», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2022.
2. Детков В.А., Баландин П.В., Копылов М.А., «Технология возбуждения упругих колебаний в движении Glide», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2020.
3. Кузнецов Е.С., Баландин П.В., Дробинский А.А., Череповский А.В. «Результаты анализа полевых данных ОМР МОГТ-3D, Полученных по технологии возбуждения сигнала в движении GLIDE», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2021.

Подробнее об авторах



Федоров
Андрей Борисович

Главный геофизик,
Дирекция главного
геофизика.
ПАО "ГЕОТЕК
Сейсморазведка»



Бекешко
Павел Станиславович

Главный геофизик,
Служба главного
геофизика, ООО
"ГЕОПРАЙМ"
Руководитель НТЦ,
ПАО "ГЕОТЕК
Сейсморазведка»



Копылов
Михаил Александрович

Управляющий директор,
ЗАВОД ИМПУЛЬС.
ПАО "ГЕОТЕК
Сейсморазведка»

Современная нефтегазопроисследовательская электроразведка в комплексе геологоразведочных работ

■ Агафонов Ю.А., Семинский И.К., Селяев В.А., Агафонов Е.А., Буддо И.В.,
ООО «СИГМА-ГЕО», г. Иркутск

При формировании программы геологоразведочных работ (ГРП) недропользователи зачастую сталкиваются с проблемой выбора оптимального комплекса и объемов работ, стараясь с одной стороны оптимизировать затраты на ГРП, а с другой – решить задачу оценки перспектив участка и составления плана его разработки. Причем ГРП необходимо проводить в максимально сжатые сроки, выигрывая время для бурения.

Оптимальное решение при формировании программы ГРП - комплексирование сейсморазведки (СРП) с быстровыполнимыми электроразведочными работами (ЭРП). Оценка эффективности применения такого комплекса доказана многими успешными проектами, когда применение электроразведочных методов повышает подтверждаемость прогноза насыщения до 80%.

Электроразведка имеет в своем арсенале более двухсот методов, различающихся характером решаемых геологических задач, типом возбуждения электромагнитного поля, способами обработки/интерпретации данных и

прочим. Место электромагнитных методов в общем комплексе геологических исследований определяется индивидуально для каждого Проекта, исходя из проблематики и экономической обоснованности их включения в комплекс исследований территории. **Электроразведка применяется на всех стадиях геологоразведочного процесса – от регионального изучения геологического строения района до оценки типа насыщения коллектора, подсчета запасов сырья и 4D-мониторинга разработки (Рис. 1).**

К сожалению, приоритет при принятии решения о включении электроразведочных работ в комплекс геофизических исследований остается за желанием выполнить ГРП с минимальными, а не с оптимальными затратами. В программу ГРП редко включают электроразведку в качестве обязательного элемента комплекса исследований, ограничиваясь сейсморазведкой и бурением. Не имея внешних требований в проведении обязательной электроразведки, недропользователь нечасто стремится расши-

▼ Рис. 1. Решаемые электроразведкой задачи на всех этапах ГРП.



ритель комплексные исследования, несмотря на потенциал снижения рисков при реализации Проекта. Зачастую такая экономия в конечном итоге ведет к потере денег, а главное, времени.

Путем минимизации рисков может послужить применение 2D/3D/4D электроразведочных сервисов, предлагаемых компанией «СИГМА-ГЕО», в частности:

- поиск нефти и газа (определение промышленной значимости месторождения; прогноз коллекторских свойств и типа насыщения; снижение неопределенностей положения водо-нефтяного контакта);
- прогноз горно-геологических условий бурения (рекомендации по точкам заложения поисковых и разведочных скважин; картирование зон АВПД и АНПД);
- проведение малоглубинных исследований (поиск подземных вод; построение скоростной модели ВЧР, картирование разломов, магматических образований, структуры многолетне-мерзлых пород; инженерно-геологические исследования; решение геоэкологических задач);
- проведение 4D мониторинга на нефтегазовых месторождениях (определение фактического фронта распространения воды; регулирование добычи; геометризация межскважинного пространства).

Электроразведочные сервисы и высокотехнологичные продукты Компании успешно применяются на многих участках недр в России (Восточная и Западная Сибирь) и по всему миру. Высокий спрос на услуги и продукцию Компании подтверждается внушительными объемами работ, выполненными в 2019-2022 гг. – десятки тысяч погонных километров (свыше 100 000 физических наблюдений).



▲ Рис. 2. Электроразведочная аппаратура FastSnap на льду оз. Байкал.

Репутация «СИГМА-ГЕО» базируется на высокой подтверждаемости геологических прогнозов и удовлетворенности Заказчика работ, а также постоянном совершенствовании интерпретационных технологий. Техническая оснащенность Компании позволяет выполнять широкий спектр электромагнитных исследований, среди которых модификации зондирования становлением поля в ближней зоне, магнитотеллурического и вертикального электрического зондирования.

Помимо полного цикла электроразведочных работ, «СИГМА-ГЕО» осуществляет разработку и выпуск цифровой аппаратуры и программного обеспечения для выполнения электромагнитных исследований с целью изучения геологического разреза в диапазоне глубин от поверхности до 20 км и более.

Помимо передовой приборной базы, Компания «СИГМА-ГЕО» оснащена новейшим автопарком, в составе которого автомобили семейства «Урал Next» и «КАМАЗ», современные модифицированные вездеходы МТЛБ, снегоходы и квадроциклы (Рис. 3). Жилые и технические помещения автотранспорта проектировались и изготавливались по специальному заказу, исходя из специфики электроразведочных работ, в частности



▲ Рис. 3. Техническое оснащение инновационной сервисной геофизической компании «СИГМА-ГЕО».

они оборудованы: мощными генераторными установками до 150 кВт, способными обеспечивать силу тока в генераторной петле более 250 А, смоточными агрегатами и т.д. Также в составе колесной партии имеются автомобили, оборудованные такими помещениями, как столовая, баня, жилые модули, места работы операторов-геофизиков и др. Полевая электроразведочная партия оснащена комплектом спутниковой связи и интернета, а также запасом топлива, продуктов, медикаментов, средств индивидуальной защиты и запчастей, позволяющим находиться в режиме автономной работы до одного месяца. Полевые специалисты Компании обеспечены всем необходимым для работы в соответствии с принципами эргономичности и промышленной безопасности, отвечающими мировым требованиям, предъявляемыми многими российскими и зарубежными компаниями (Газпром, Роснефть, ИНК, Газпромнефть, Сургутнефтегаз, НОВАТЭК, Петронас и др.).

Миссия Компании - вывести технологии разведки недр на принципиально новый уровень благодаря постоянному совершенствованию существующих методов и технологий интерпретации, а также комплексирования электроразведки и сейсморазведки. По результатам исследований недропользователи получают достоверную информацию о геологическом строении участка исследования, при этом комплекс работ оптимизируется под задачи и бюджет Проекта. Применение электроразведочных сервисов «СИГМА-ГЕО» позволяет Заказчику получить преимущество вследствие снижения геологических рисков, возникающих на всех этапах разработки и эксплуатации месторождений.

Заключение

Электроразведка — геофизический метод с доказанной эффективностью и отработанной технологией, апробированной в различных геологических условиях районов работ. Атлас примени-

мости ЭРР в комплексе с СРР позволяет оптимально планировать ГРР в зависимости от геологических и природных условий и стадии изучения участка работ.

Добиться наилучшего результата при решении геологических задач возможно путем применения комплекса методов электро- и сейсморазведки, который позволяет:

- получить достоверную геолого-геофизическую информацию в кратчайшие сроки;
- оптимизировать сроки выполнения работ на каждом этапе ГРР;
- значительно снизить риски непродуктивного / аварийного бурения и увеличить параметр геологического успеха при незначительном увеличении стоимости комплекса работ.

Компания «СИГМА-ГЕО» обладает необходимыми компетенциями, опытом, техническим обеспечением и современным оборудованием собственной разработки для выполнения электроразведочных работ на всех этапах ГРР.



▲ Рис. 4. «СИГМА-ГЕО» инновационная геофизическая компания.

▼ Табл. 1. Атлас применимости электроразведки.

Этап	Западная Сибирь	Восточная Сибирь
Региональный	- Региональная геоэлектрическая модель разреза. - Оценка перспектив нефтегазоносности.	- Региональная геоэлектрическая модель разреза. - Оценка перспектив нефтегазоносности.
Поисково-оценочный	- Оценка перспектив нефтегазоносности. - Выделение пластов-коллекторов. - Определение территорий для постановки детальных исследований с повышенной плотностью. - Изучение ММП.	- Оценка перспектив нефтегазоносности. - Оценка типа насыщения и коллекторских свойств пластов. - Прогноз условий бурения глубоких скважин.
Разведочный / Эксплуатационный	- Оценка типа насыщения и коллекторских свойств пластов. - Поиск подземных вод для системы ППД. - 4D мониторинговые исследования фронта заводнения. - Изучение ВЧР, исследования ММП.	- Прогноз условий бурения для оптимизации положения кустов скважин. - Поиск подземных вод для системы ППД. - 4D мониторинговые исследования фронта заводнения.



ГЕОФОНЫ БЕЗ КОРПУСА

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

ГРУППЫ ГЕОФОНОВ

- Полевые;
- Трёхкомпонентные;
- Болотные.

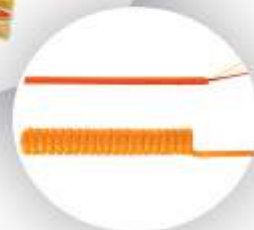


РАЗЪЕМЫ

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

КАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ

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



Основные причины ухудшения динамики возбуждаемых вибросейсмических колебаний в условиях Крайнего Севера

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

Специфические особенности волнового поля, регистрируемого при вибросейсмических наблюдениях в условиях Крайнего Севера в зимний период, в значительной степени связаны с существованием на дневной поверхности мощного снежного покрова, а также с большим количеством озёр, рек, ручьёв, покрытых слоем льда толщиной 60 – 110 сантиметров. В тундровой зоне на характер возбуждаемых волновых полей дополнительно может влиять фактор повышенной шероховатости дневной поверхности.

Одной из первых организаций, исследовавших в начале восьмидесятых годов влияние слоя лёд-вода на качество вибросейсмических записей, было объединение «Союзморгео». В это время значительно возросли объёмы сейсморазведочных работ в пределах арктических морей. Вместе с тем большая часть акваторий таких морей, как Карское море, море Лаптевых, Восточно – Сибирское море и Чукотское море, практически круглый год была покрыта льдами, что делало невозможным проведение сейсморазведочных работ с использованием геофизических судов. И в связи с этим руководство объединения «Союзморгео» приняло решение отработать несколько профилей по технологии ОГТ с применением вибросейсмического метода на льдах Баренцева моря и оценить эффективность таких наблюдений. На основании проведённых исследований было показано, что система лёд-вода

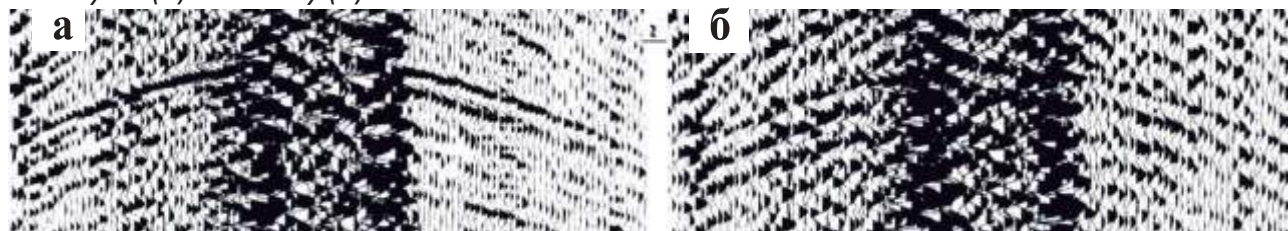
имеет весьма низкочастотный собственный колебательный процесс. Поэтому вибросейсмические записи, полученные на льдах морской акватории, характеризовались по сравнению с сейсмограммами, зарегистрированными на суше, существенно более низкочастотным составом колебаний, худшей разрешённостью и значительно меньшей информативностью. Таким образом было очевидно, что использовать вибросейсмический метод в пределах ледяных полей арктических морей не целесообразно [1].

Аналогичные выводы о влиянии слоя лёд-вода на качество вибросейсмических записей были сделаны и в условиях Западной Сибири [3].

Так, на рисунке 1 сопоставлены отражения, зарегистрированные на Южно-Ярэйской площади от горизонтов Баженовской нефтеносной свиты при установке вибраторов на суше (а) и на льду (б) при неполном промерзании водоёма. Толщина льда на участке исследования равнялась 70 см, толщина слоя воды – 15 см. Расстояние между пунктами возбуждения не превышало 50 м. Из рисунка можно видеть, что при установке вибраторов на суше целевые отражения динамически значительно более выражены. При установке же излучателей на льду динамика отражений существенно ухудшается.

В связи с этим возникает вполне естественный вопрос: «Будут ли происходить искажения динамики колебаний при

▼ Рис. 1. Баженовская группа отражений, зарегистрированная при установке вибраторов на суше (а) и на льду (б).

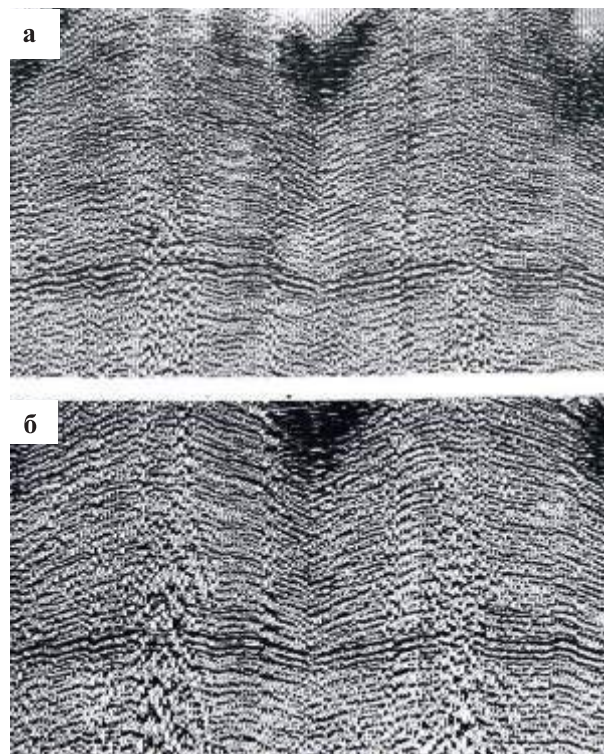


переходе с суши на лёд в случае использования буровзрывного источника?». Из рисунка 2 следует вывод о том, что смещение взрывного скважинного излучателя с суши на лёд практически не приводит к ухудшению динамики регистрируемых колебаний. В данном случае масса тротила составляла 0,5 кг, а глубина заложения заряда равнялась 8 м.

Таким образом, если при установке вибраторов на льду водоёмов, которые не промёрзли до дна, наблюдается весьма заметное ухудшение динамики возбуждаемых колебаний, то для буровзрывных излучателей с переходом с суши на лёд качество материалов практически не снижается. Такое обстоятельство, безусловно, необходимо учитывать при реализации наиболее значимых сейсмических проектов путём организации двух - отрядных партий. Вибросейсмический отряд целесообразно использовать исключительно на сухопутных участках исследуемой площади, а буро – взрывной отряд в пределах водоёмов. Именно так были организованы фактически первые в Российской Федерации работы 3D на Сугмутской площади, что обеспечило в основном равноценное качество сейсмических материалов в пределах всей территории исследования.

Интересно также отметить, что при полном промерзании водоёмов перемещение вибраторов с суши на лёд не только не приводило к ухудшению сейсмических материалов, но и позволяло несколько улучшить динамику регистрируемых колебаний. Так, на рис. 3 сопоставлены коррелограммы, полученные при установке вибраторов на льду. В одном случае (рис. 3, а) под слоем льда, толщиной 70 см, оставался незамерзающий слой воды, толщиной 10 см, а в другом - озеро промёрзло до дна (рис. 3, б). Расстояние между пунктами возбуждения равнялось 50 м.

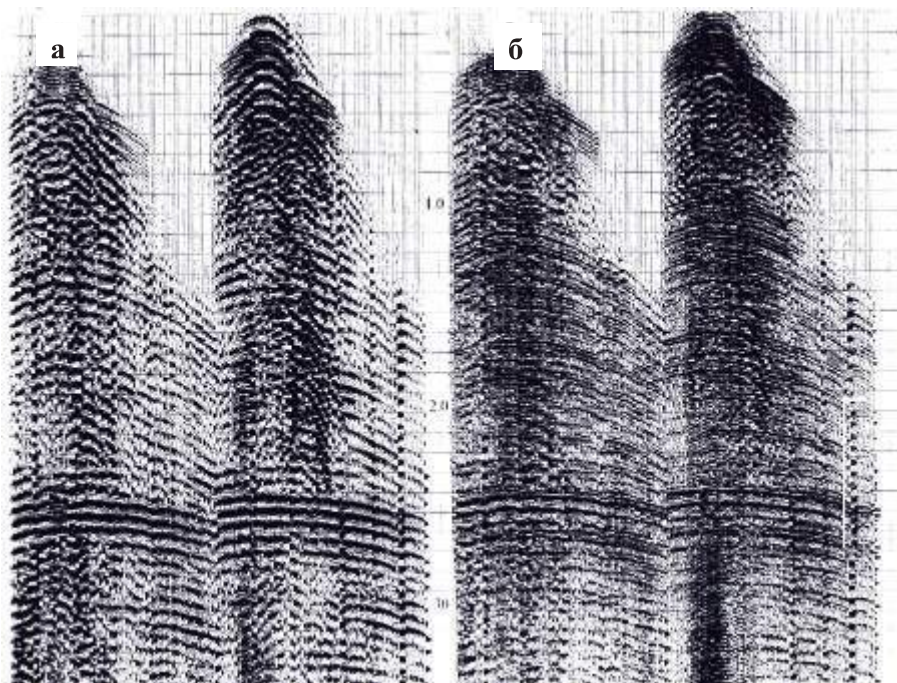
Из рис. 3 видно, что вибросейсмические записи, регистрируемые при полном



▲ Рис. 2. Сейсмограммы, зарегистрированные с использованием взрывного скважинного источника ($h_{взр} = 8$ м). а - взрыв в условиях суши; б - взрыв в пределах водоёма.

промерзании водоёма, характеризуются значительно более высокочастотным составом колебаний, более низким уровнем доминирующих поверхностных волн и несоизмеримо большей информативностью по сравнению с записями, зарегистрированными при двухслойной модели водоёма.

В отдельные годы участки с полным промерзанием озёр в условиях Крайнего Севера занимают весьма значительные площади, что целесообразно учитывать при проектировании систем наблюдения. В этой связи практический интерес представляет методика полевых наблюдений 3D, которую в 2001 году использовала ООО «Новосибнефтегазгеофизика» в пределах Губкинского нефтегазоносного района, позволившая существенно повысить геологическую эффективность сейсмических исследований. Для реализации конкретной методики обществом был приобретён и установлен на гусеничном вездеходе радиоледомер, с использованием которого достаточно оператив-



◀ Рис. 3. Коррелограммы, полученные при установке вибраторов на льду.
а – под слоем льда, толщиной $h_{\text{льда}} = 70$ см, оставался слой воды, толщиной 10 см;
б – озеро промёрзло до дна ($h_{\text{льда}} = 80$ см).

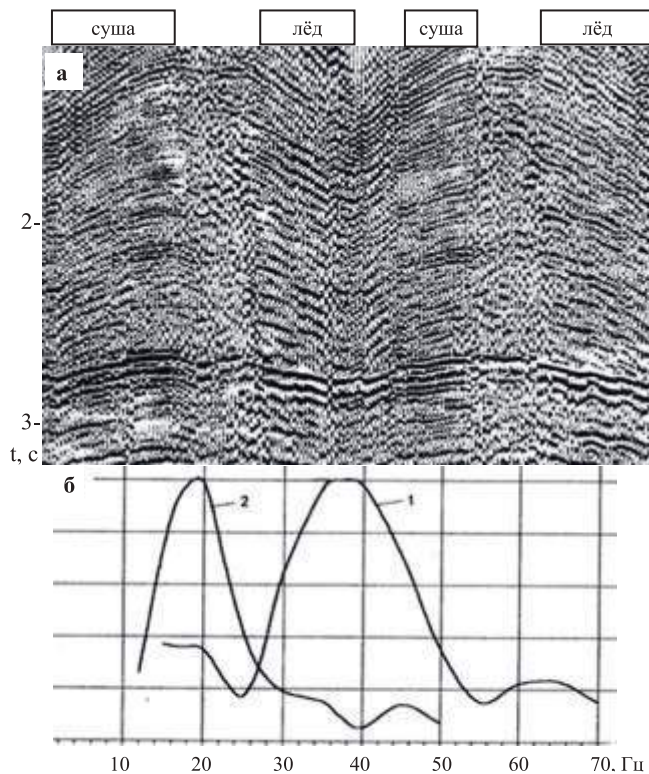
но определялась геометрия участков, на которых водоёмы промёрзли до дна. А далее с использованием способа, предложенного в работе [5], проектировались и отрабатывались системы наблюдений 3D, при которых большая часть пунктов возбуждения располагалась на участках с полным промерзанием водоёмов.

Вибросейсмические работы, проведённые в условиях Крайнего Севера, свидетельствуют также о том, что не столь значительное, как при установке вибраторов на льду, но тем не менее достаточно заметное ухудшение качества сейсмических записей, происходит и в результате смещения с суши на лёд расстановки сейсмоприёмников. При расположении сейсмоприёмников на льду водоёма, который не промёрз до дна, регистрируемые колебания становятся более низкочастотными и менее разрешёнными.

Так, на рис. 4, а представлены коррелограммы, полученные на юге Сугмутской площади. Западная часть расстановки сейсмоприёмников располагалась в данном случае на суше, а восточная - на льду водоёма. Из приведённого рисунка можно видеть, что при установке сейсмоприёмников на льду, динамика

отражённых волн претерпевает заметные изменения. Так, если при регистрации колебаний на суше основная энергия отражённых волн была сосредоточена в полосе частот 25 - 55 Гц (см. рис. 4, б, график 1), то на льду аналогичные колебания имели эффективную полосу спектра в диапазоне 12 - 30 Гц (график 2).

Весьма интересной с практической точки зрения является оценка взаимосвязи между мощностью снежного покрова и динамикой вибросейсмических записей. Результаты таких исследований свидетельствуют о том, что при хорошей накатке снега, с увеличением исходной мощности снега от 0 до 1 м качество первичных вибросейсмических материалов изменяется весьма незначительно [3]. Вместе с тем качественная накатка позволяет в 2-3 раза увеличить амплитуду возбуждаемых колебаний и соответственно повысить помехоустойчивость метода. Так, на рис. 5 приведены коррелограммы, зарегистрированные без предварительного уплотнения снега (а) и с уплотнением снега (б). В данном случае высокочастотные звуковые помехи от дизельных установок вибраторов оказывали достаточно сильное мешающее влияние на полезную запись. В результа-



▲ Рис. 4. Изменение динамики коррелограмм при переходе расстановки сейсмоприёмников с суши на лёд водоёма: а – исходные сейсмограммы; б – амплитудные спектры отражений ($t = 1,9 - 2,3$ с) при установке сейсмоприёмников на суше (1) и на льду (2).

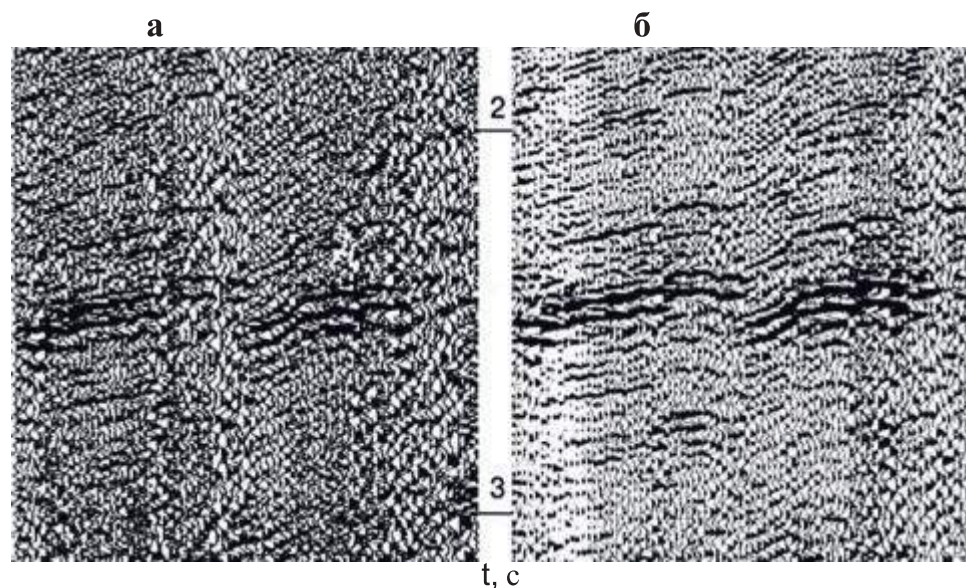
те предварительного уплотнения снега удалось увеличить уровень возбуждаемых упругих колебаний и тем самым ослабить влияние звуковых помех.

Таким образом, существование в условиях Крайнего Севера мощного слоя

снега и необходимость его уплотнения несколько усложняет технологию проведения работ. Вместе с тем выполненные к настоящему времени исследования свидетельствуют о том, что однородный мощный слой снега существенно уменьшает дисперсию характеристик колебательной системы вибратор-грунт вдоль профиля. Поэтому, сигналы, возбуждаемые на участках суши при вибросейсмических наблюдениях в районах Крайнего Севера отличаются, как правило, высокой стабильностью динамических параметров, что, безусловно, способствует повышению эффективности сейсмической разведки.

При этом важно отметить, что уплотнение снега вдоль профиля необходимо не только для того, чтобы повысить уровень сейсмических колебаний, но и для уменьшения амплитудно-частотных и фазовых искажений сигнала. Так, на рис. 6 приведены результаты тестирования одного из вибраторов СВС-15/150 на участке профиля, для которого накатка осуществлялась тяжёлой гусеничной техникой ежедневно в течение двух недель (а), а также на участке профиля, на котором накатка осуществлялась в течение одного дня (б).

Из рис. 6, б можно видеть, что в конкретном случае вследствие некачественного уплотнения снега абсолютные фазовые искажения вибросейсмического сигнала



◀ Рис. 5. Влияние уплотнения снега на интенсивность колебаний: а – уплотнение снега не проводилось; б – снег уплотнялся путём предварительных вибрационных воздействий.

превышали 25 градусов (см. график 2), неравномерность же силовой амплитудно-частотной характеристики в полосе частот развёртки достигала 10 дБ (см. график 3). Столь значительные искажения формы вибросейсмического сигнала, возникающие при установке вибраторов на рыхлом снегу, приводили к искажениям формы корреляционной функции. Так, в области главного максимума корреляционной функции уровень побочных пульсаций возрастал в 2 раза (см. рис. 6, а, б, график 1). В дальней зоне корреляционной функции также формировались интенсивные помехи корреляционного преобразования.

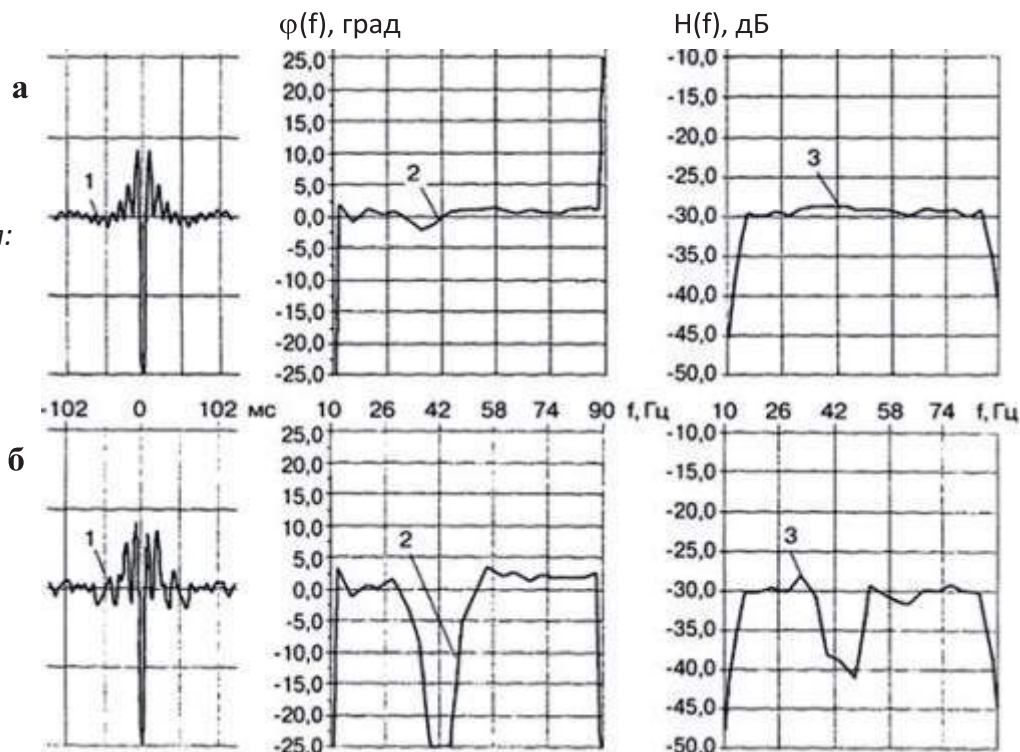
В тундровой зоне Крайнего Севера значительные искажения динамики возбуждаемых вибросейсмических колебаний могут быть связаны с повышенной шероховатостью дневной поверхности. Так, поздней осенью и на начальных стадиях зимнего периода, когда верхний слой грунта уже промёрз, однако снег ещё в достаточной мере не выровнял дневную поверхность, тундра во многих случаях представляет из себя ландшафт, состоящий из бесчисленного числа кочек. При этом существующие на сегодня экологи-

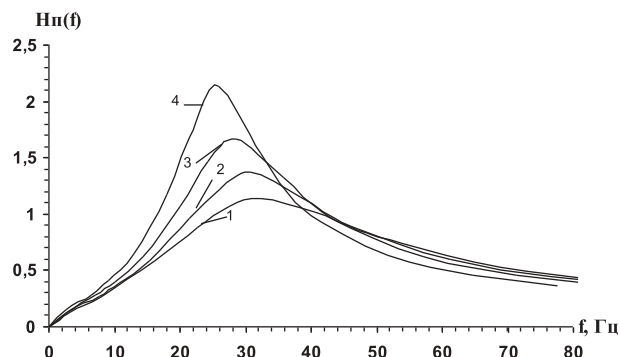
ческие требования запрещают сглаживать поверхность профиля путём срезания приповерхностного слоя. Поэтому вибросейсмические исследования, выполняемые в тундре в это время года, могут проводиться при установке вибраторов на грунте, отличающемся повышенной шероховатостью.

Теоретические оценки частотных искажений вибросейсмического сигнала в зависимости от шероховатости грунта были выполнены с использованием аналитического выражения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) вибратора для опорной плиты, приведённого в работе [4] и полученного на основании решения системы уравнений динамики силовой части излучателя. Графики АЧХ вибратора для излучающей плиты при различных значениях шероховатости грунта L приведены на рис. 7.

Под шероховатостью грунта понималось соотношение $L = (S_{\Pi} - S_K) / S_{\Pi}$, где S_{Π} – площадь плиты, а S_K – площадь плиты, контактирующая с грунтом. При вычислении графиков параметры возбuditеля вибраций задавались с учётом конструктивных особенностей арктического вибратора CBC24/PC27: масса инерционного

► Рис. 6. Искажения вибросейсмического сигнала, связанные с некачественной накаткой профиля: а, б – тесты вибратора на хорошо (а) и плохо (б) накатанном профиле.





▲ Рис. 7. Теоретические графики АЧХ колебательной системы вибратор - грунт для излучающей плиты, рассчитанные при различных значениях шероховатости грунта L : 1 – $L = 0$; 2 – $L = 0,2$; 3 – $L = 0,4$; 4 – $L = 0,6$.

груза $m_H = 4000$ кг; масса плиты $m_H = 2500$ кг; масса транспортного средства $m_T = 25000$ кг; $S_H = 2,7$ м². Коэффициенты упругости и демпфирования в системе «инерционный груз – плита» задавались соответственно равными: $k_H = 0,5 \cdot 10^6$ н/м и $f_H = 0,2 \cdot 10^5$ н с/м, а в системе «плита – транспортное средство» $k_T = 1 \cdot 10^6$ н/м и $f_T = 1,2 \cdot 10^4$ н с/м. Физико-механические свойства грунта определялись параметрами: модуль Юнга $E = 5 \cdot 10^7$ н/м²; плотность грунта $\rho = 1600$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Из рис. 7 следует, что по мере увеличения шероховатости грунта происходит усиление резонансных свойств колебательной системы вибратора. Так, ширина полосы пропускания на уровне 0,7 от максимальных значений АЧХ для конкретной модели уменьшается на 17% при шероховатости грунта $L = 0,2$; на 33% при $L = 0,4$ и на 54% при $L = 0,6$.

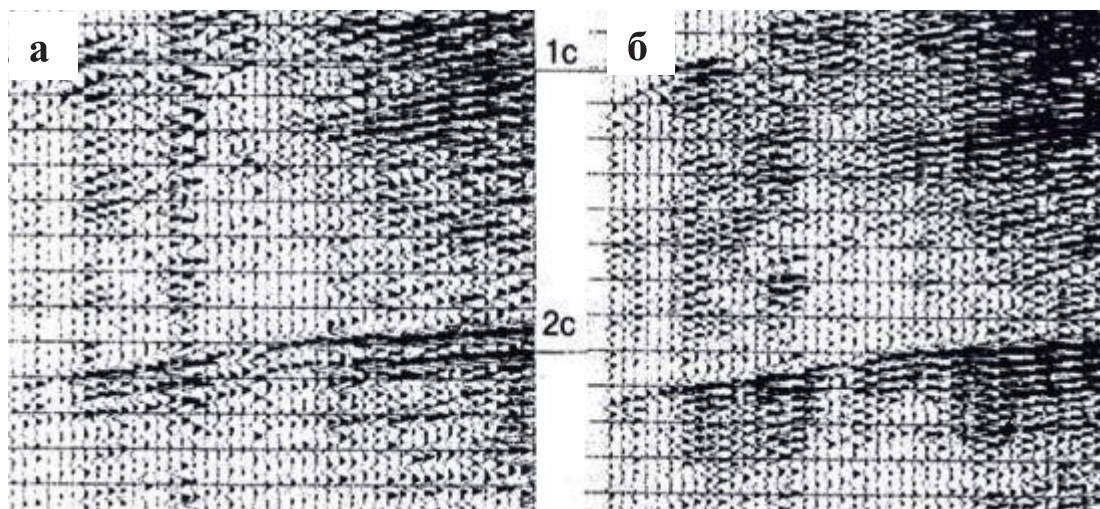
Эксперименты по оценке влияния шероховатости грунта на параметры возбуждаемых колебаний были выполнены на участках Западно-Губкинской площади, характеризующихся благоприятными сейсмогеологическими условиями. Работы проводились ЗАО «Сибнефтегазгеофизика» по заказу ОАО «Роснефть-Пурнефтегаз». Для возбуждения колебаний использовались 3 вибратора СВС24/РС27.

При проведении экспериментов сейсмические наблюдения выполнялись дважды: в первом случае, вибраторы располагались на ненарушенном грунте (на кочках, $L \approx 0,5 - 0,6$), во втором смещались на 3 – 5 м перпендикулярно линии профиля и устанавливались на специально подготовленных площадках с плоской поверхностью. Выравнивание поверхности грунта на таких площадках осуществлялось путём срезания приповерхностного слоя бульдозером.

Типичные сейсмограммы, зарегистрированные в результате проведённых экспериментов, приведены на рис. 8. Сравнительный анализ сейсмограмм свидетельствует о том, что при переходе на грунт повышенной шероховатости регистрируемые сигналы практически не изменяются по интенсивности, однако становятся более узкополосными и по этой причине, более многофазными и менее разрешёнными. Подобные результаты эксперимента физически вполне объяснимы результатами выполненного теоретического анализа и, в основном, не противоречат зависимостям, приведённым на рис. 7.

Незначительные различия теоретических и экспериментальных оценок влияния шероховатости на динамику возбуждаемых сигналов заключаются в том, что в первом случае резонансная частота колебаний с ростом шероховатости смещается на единицы герц влево, а во втором - вправо, в область высоких частот. Физически такое несоответствие связано с тем, что рост шероховатости обуславливает в свою очередь уменьшение присоединённой массы грунта и, как следствие, незначительное повышение резонансной частоты системы вибратор-грунт. Это обстоятельство в использованной теоретической модели не учитывалось.

Итак, по мере увеличения шероховатости грунта происходит усиление резонансных свойств колебательной системы



▲ Рис. 8. Коррелограммы, зарегистрированные при различной шероховатости грунта: а – шероховатость грунта $L = 0$; б – $L = 0,5 - 0,6$.

вибратор-грунт. Регистрируемые вибросейсмические сигналы при этом практически не изменяются по интенсивности, однако, становятся более узкополосными и многофазными, то есть повышение шероховатости грунта приводит к ухудшению динамических характеристик формируемых колебаний.

Помимо обострения резонанса колебательной системы вибратор-грунт с увеличением шероховатости при прохождении высокочастотных интервалов развёртки усиливаются, так называемые, изгибные вибрации опорной плиты, формирующие повышенный фон чётных гармоник. Дополнительно такие вибрации формируют турбулентные потоки в гидравлической системе вибратора, что в свою очередь приводит к нестабильности работы сервоклапана и к повышению уровня нечётных гармоник [2].

Таким образом, вибросейсмические наблюдения в тундровой зоне целесообразно начинать лишь после того, как снег достаточно толстым слоем покрывает землю и после накатки поверхность профиля не будет зависеть от присутствия кочек.

Литература

1. Дьяченко В.Ф., Кострыгин Ю.П., 1985, Некоторые результаты вибросейсмических наблюдений, проводимых на льду. Сб.

Нефтегазовая геология, геофизика и бурение, №7, М., ВНИИОЭНГ, с. 20-23.

2. Зхоухонг Вэй, 2008, Совершенствование сейсмического вибратора продольных волн для повышения разрешённости сейсморазведки. Приборы и системы разведочной геофизики, 01 (23).

3. Кострыгин Ю.П., 2000, Особенности волнового поля, регистрируемого при вибросейсмических наблюдениях в условиях Крайнего Севера: Российский геофизический журнал, 19-20, с. 13-20.

4. Кострыгин Ю.П., Михайлов В.В., 2002, Теоретический анализ компонент форс-сигнала, формируемого гидравлическим вибратором: Российский геофизический журнал, 25-26, с. 74-78.

5. Кузьмин П.Г., Кострыгин Ю.П., 2007, Способ сейсмической разведки при наблюдениях на поверхности льда. Россия, патент №2308057.

Подробнее об авторе



Кострыгин
Юрий Петрович

Доктор технических наук,
директор
ООО «Новоросморгео».

Реализация комбинированного подхода к оценке качества и обработке полевых сейсмических данных, полученных различным оборудованием в сложных поверхностных условиях участка работ

- Калинин А.Ю., Багрова И.А., Гаврилов С.С., Ревяко А.В., Сариева, М.Ф., ЗАО «МимГО», г. Москва.
- Волохов Р.Д., «Славнефть-Мегионнефтегаз», г. Мегион.

Тенденцией последнего времени является проведение сейсморазведочных работ МОГТ-3D в районах с развитой инфраструктурой, где применяемые стандартные методики полевых работ и подходы к оценке качества сейсмике становятся нерезультативны для дальнейшего уверенного определения свойств и характеристик продуктивных пластов.

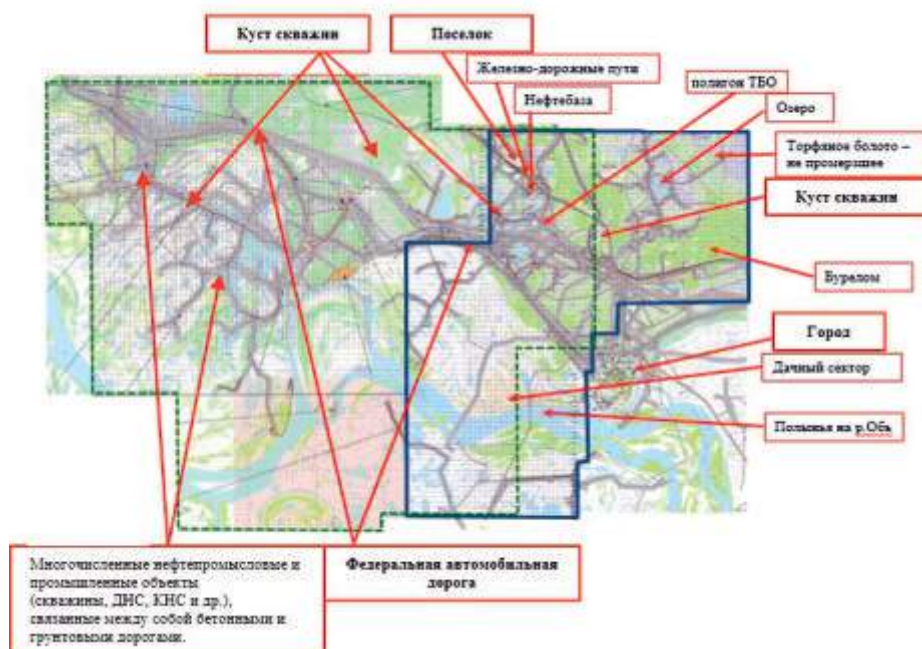
В данной статье показана эффективность применения гибкого подхода к выбору методики полевых работ, критериев оценки кондиционности полевых сейсмических материалов в эксклюзивных зонах, связанных с влиянием техногенных и поверхностных условий, а также продемонстрирован комплексный подход оценки зон риска в процессе камеральных работ для решения поставленных геологических задач.

Исследуемый участок находится в Западной Сибири в зоне крайне развитой

инфраструктуры (автомобильные трассы, железнодорожные дороги, непосредственно территория города и поселка). На всей территории присутствуют постоянно работающие скважины, многочисленные нефтепромысловые и промышленные объекты, связанные между собой бетонными и грунтовыми дорогами. На юге площади находится река Обь (рисунок 1). Все перечисленные факторы негативно влияют как на качество регистрируемых сейсмических данных, так и наличие обширных пропусков.

Полевые работы выполнялись компанией ООО «ТСГК», обработка и интерпретация – ЗАО «МимГО», контроль и оперативное сопровождение на всех этапах работ осуществлялся представителями ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» и ООО «Газпромнефть НТЦ».

Система наблюдений, примененная на данной площади, стандартная для ХМАО:



◀ Рис. 1.
Абрис
площади
работ.

центрально-симметричная «крест», расстояние между линиями приема – 300 м, между линиями возбуждения – 300 м, 2904 активных каналов, шаблон съемки – 22 приемных линии по 132 канала, расстояние между ПВ 50 м, расстояние между ПП 50 м, база группирования сейсмоприемников – «в точку», номинальная кратность ОГТ – 121. Перед началом работ проводилось воздушное лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка, по результатам чего была создана цифровая модель с точностью масштаба 1:5000. Полученная модель позволила спрогнозировать необходимость применения различных систем регистрации и видов источников возбуждения сейсмического сигнала, что дало возможность скомпенсировать снижение плотности исследований.

Производство сейсморазведочных работ выполнялось с применением технологии «Зелёная сейсмика». Использовалось беспроводное регистрирующее оборудование RT System 2 в комбинации со стандартным кабельным телеметрическим оборудованием ARAM ARIES II. Обе сейсмостанции работали в «синхронном режиме», ARAM-ARIES II являлась ведущей, а RT System 2 – ведомой. Объём используемого беспроводного оборудования по проекту был не менее 50% от общего объёма.

Основной массив данных получен при помощи взрывного источника с глубиной заложения заряда 18 м. На незамерзших участках болот, на участках, ограниченных инфраструктурой с невозможным заездом тяжелой вездеходной техники – глубина источника была уменьшена до 12 м. В области верховых болот на северо-востоке глубина источника увеличена до 21 м. В населенных пунктах, охранных зонах коммуникаций, акватории р. Обь, озёрах были использованы импульсные источники.

Следует также отметить, что полевые данные получены последовательно в

течение 3-х полевых сезонов (с запада на восток). При оценке качества материала производился многоступенчатый комбинированный подход. Сейсмические данные оценивались изначально на полевом вычислительном центре (ВЦ), далее после окончания полевого сезона уже на обрабатывающем ВЦ проводился детальный анализ. Данные, которые по каким-либо атрибутам сейсмической записи были ниже допустимых значений, дополнительно проходили предварительную обработку и анализ.

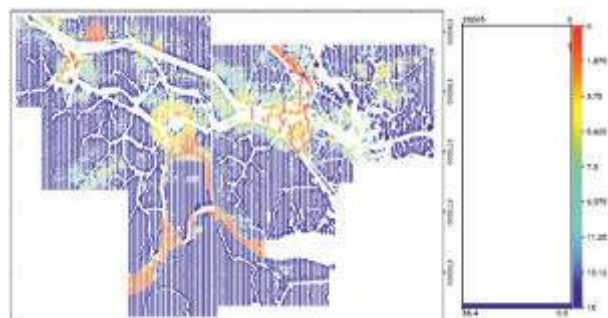
Вышеупомянутые поверхностные условия и особенности съемки отразились в первую очередь на картах отношения сигнал-помеха. Данные самого низкого качества (отношение сигнал/помеха < 2) – это данные импульсных источников (рисунок 2).

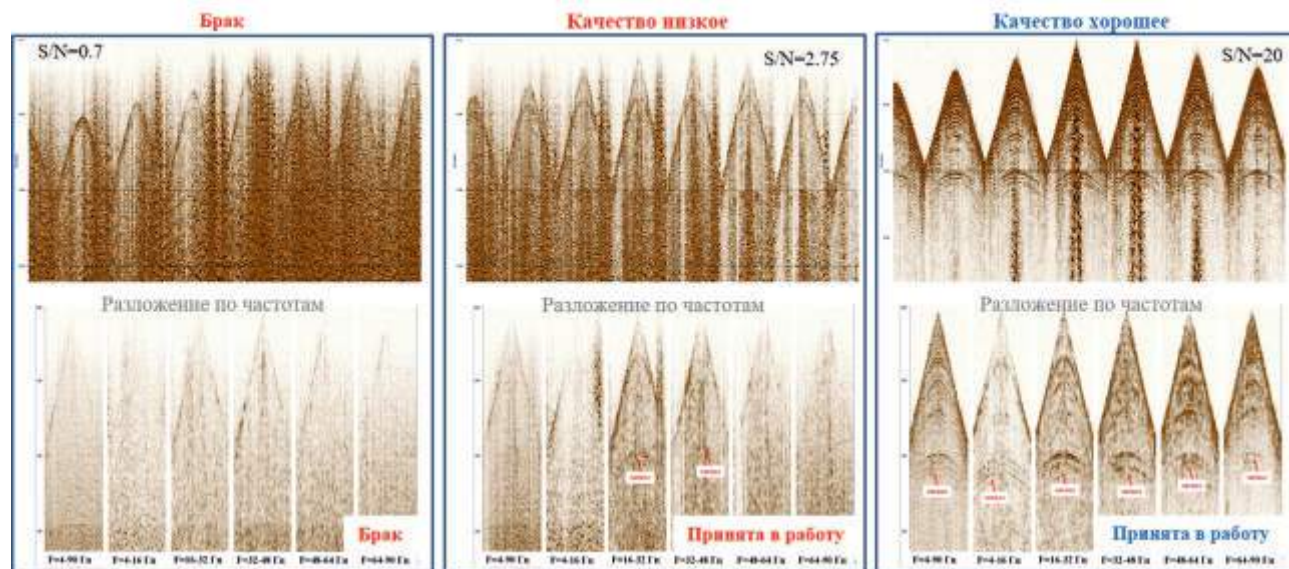
Согласно формальному критерию качества, указанному в задании на регистрацию (отношение сигнал/помеха не менее 5 и 15 для данных, полученных с различными типами взрывных источников и не менее 3 – с импульсными источниками), по оценке S/N не соответствует более 25% данных.

Реализуя комбинированный подход к оценке качества исходного полевого материала с целью сохранения максимально возможной информации и исключения формирования обширных пропусков, специалистами были сформированы внутренние критерии качества.

В ручном режиме были просмотрены все сейсмограммы с $S/N < 3$, по ним выпол-

▼ Рис. 2. Карта отношения сигнал/помеха.





▲ Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм разного качества во всем зарегистрированном частном диапазоне (сверху), с разложением по частотам (снизу).

нено разложение по частотам для оценки наличия сигнальной составляющей. В случае полного отсутствия полезной информации, сейсмограмма браковалась. В результате было отбраковано только 0,8% данных, полностью не содержащих сигнал (рисунки 3).

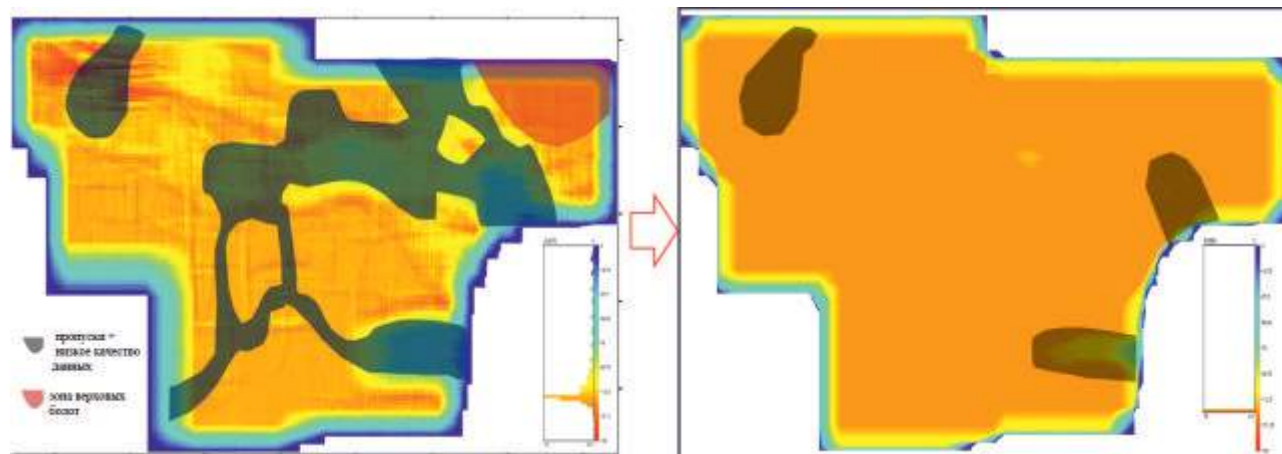
По результатам выполненного анализа были приняты в работу данные низкого качества, что не позволило увеличить и без того достаточное количество пропусков ПВ, но с условием определения и формирования «зон риска» для решения задач структурной и динамической интерпретации. «Зоны риска» – области с совокупным влиянием негативных факторов, к

которым отнесли наличие уже существующих обширных зон пропусков, низкое качество сейсмического материала в локальных зонах, наличие интенсивного техногенного шума, зону верховых не промерзших болот (рисунки 4).

Необходимо отметить, что оконтуренные области с данными низкого качества попадают в предполагаемые зоны развития русловых отложений дельтовой системы продуктивного пласта Ю1 и, в частности, в контуры залежей и перспективных объектов.

Негативное влияние обозначенных факторов было ожидаемо также и на процедуры обработки как для статических

▼ Рис. 4. Карты фактической кратности с выделенными «зонами риска» на этапе приемки полевого материала (слева), на этапе завершения обработки (справа).



решений (отсутствие данных для расчета статических поправок в местах пропусков), так и для динамической задачи (увязка всего объема сейсмического материала по АЧХ и отдельное шумоподавление в зонах техногенных помех).

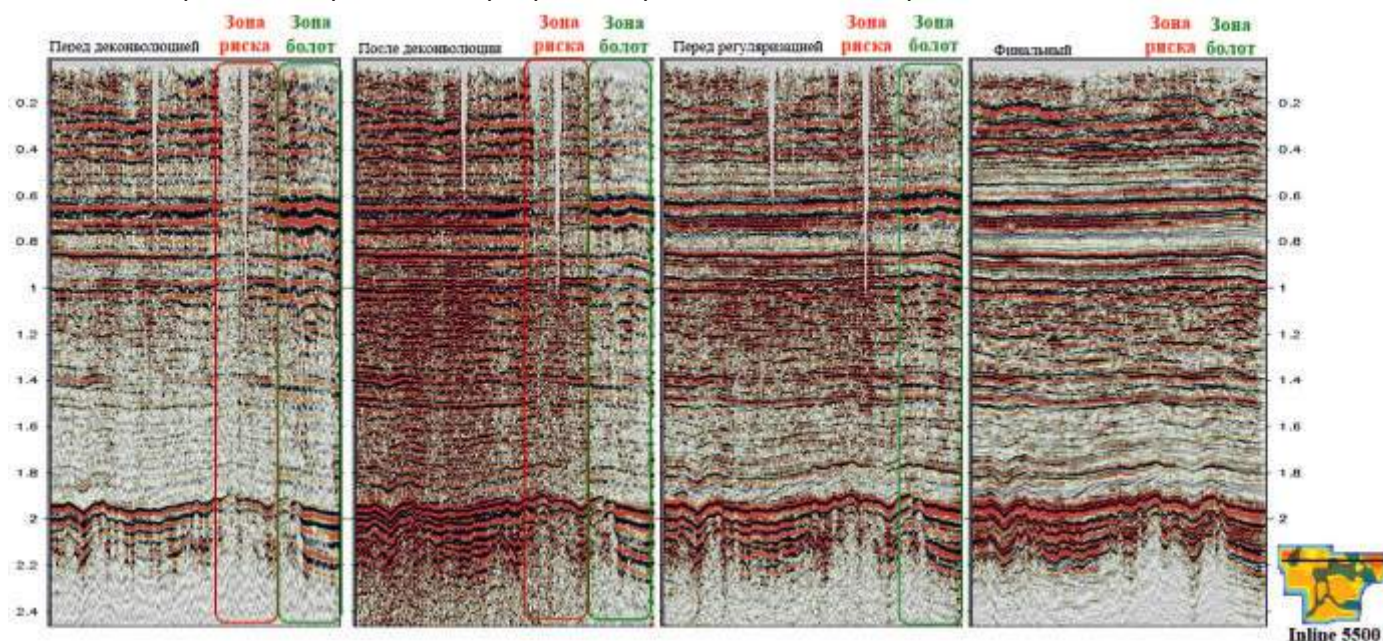
Обработка каждого последующего сезона выполнялась вместе с данными предыдущих сезонов, т.е. с каждым новым полевым сезоном материалы прошлого подлежали переобработке. Объединение данных выполнялось на начальном этапе с целью исключить возможное проявление контуров съемок на картах атрибутов, а также получения единой согласованной модели ВЧР. В рамках обработки материалов 1-го сезона было выполнено тестирование основных процедур и подходов, составлен оптимальный граф обработки. Однако, с поступлением материалов следующих сезонов граф обработки корректировался из-за объективного ухудшения качества последних. Третий полевой сезон отличался аномально теплой зимой, что повлияло на качество материалов в районе не промерзших верховых болот на северо-востоке площади. Также не применялись импульсные источники на ледовой поверхности р. Обь, что явилось причиной значительного

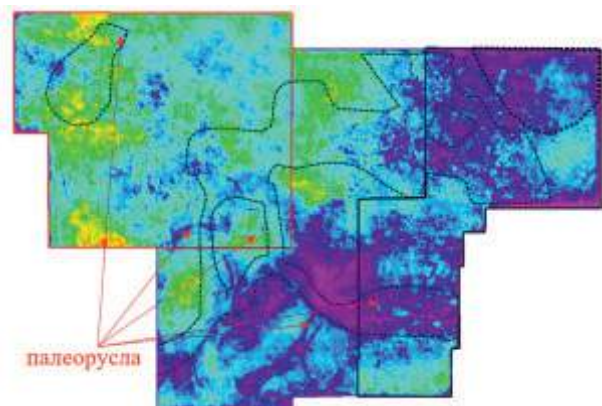
пропуска в данной области.

В процессе обработки особое внимание уделено как кинематической, так и динамической составляющей. Для ПВ низкого качества перед деконволюцией был применен отдельный, расширенный граф по шумоподавлению, чтобы скомпенсировать различия в качестве данных. После деконволюции выполнялось поэтапное подавление помех в различных сортировках для эффективного удаления случайного и когерентного шума за счет замешивания в одну сортировку данных с разных ПВ.

В рамках интерпретационного сопровождения обработки выполнялся контроль фазовых характеристик сигнала на основе одномерного моделирования и AVO-распределения, анализировались карты сейсмических атрибутов в различных окнах, формулировались выводы о влиянии процедуры обработки на амплитудно-частотные характеристики разреза, наличия или отсутствия следов поверхностных условий на картах атрибутов, рассчитывались кроссплоты время-глубина для опорных горизонтов, с помощью скважинных данных строились карты невязок для ОГ. Особо пристальное внимание в процессе ИСО уделялось анализу данных, попадающих в «зоны риска» и их корреля-

▼ Рис. 5. Фрагмент временного разреза на разных стадиях обработки.



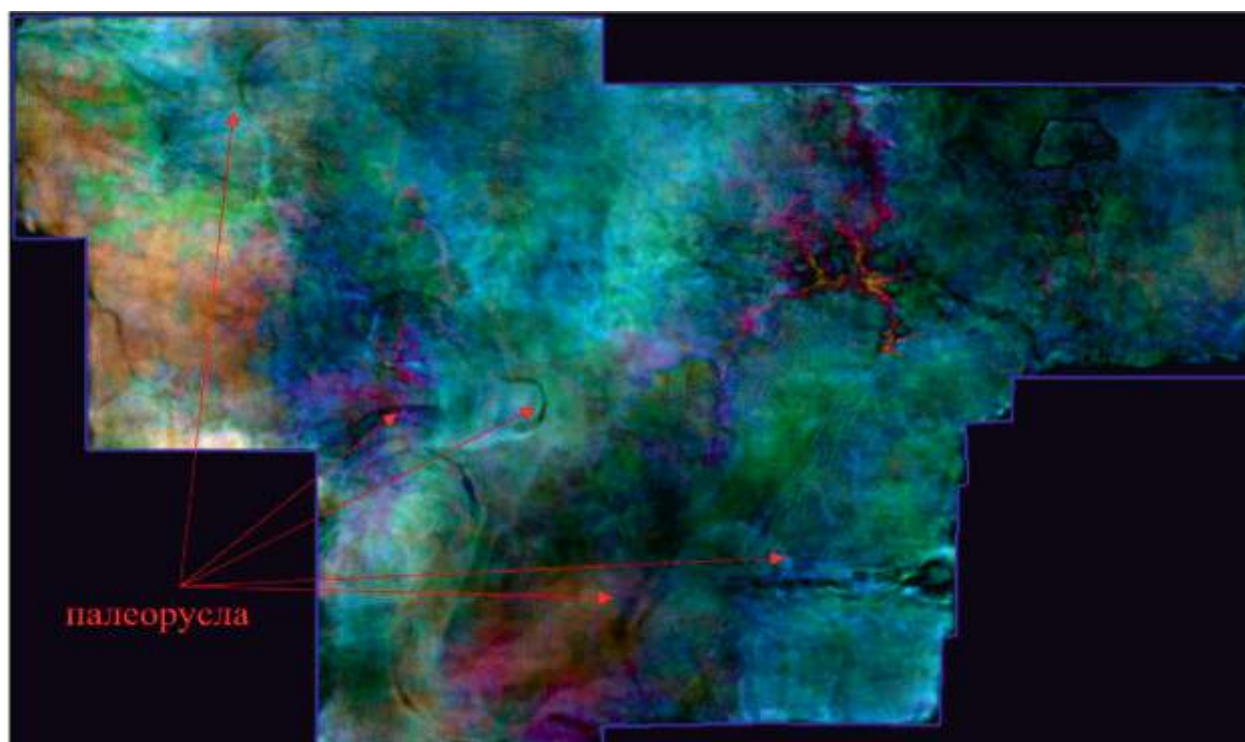


▲ Рис. 6. Карта RMS амплитуд в интервале пласта Ю1 с нанесенными «зонами риска».

ных зонах следы поверхностных условий отсутствуют.

На картах среднеквадратичных амплитуд и на карте RGB в интервале пласта Ю1 одинаковым образом прослеживались следы палеорусел как в обозначенных эксклюзивных зонах, так и в остальной части площади (рисунки 6, 7).

Удалось выровнять амплитудные и частотные характеристики в зонах пропусков, размер которых не превышал 1300м.



▲ Рис. 7. RGB смешивание частот 25-35-45 Гц, интервал. ция с остальной частью площади.

Обозначенное на начальном этапе интенсивное влияние поверхностных условий фактически полностью отсутствует на финальных данных. Отмеченные риски в основном удалось устранить полностью и лишь некоторые минимизировать (рисунки 4, 5). В пойме р. Обь, где пропуски сейсмических наблюдений составляли более 2км, удалось частично, в рамках целевого интервала, уменьшить пропуск.

На этапе последующей интерпретации в целевом интервале было отмечено присутствие остаточных следов в пойме р. Обь и части зоны техногена. В других эксклюзив-

Таким образом, ограничений для структурной и динамической интерпретации по итогу реализации комбинированного подхода, заключающегося в выработке критериев оценки качества материалов, определения «зон рисков» по совокупности факторов, проработки необходимого графа обработки с учетом принятых в работу материалов плохого качества и соответствующим контролем посредством ИСО, практически не было. В рамках проекта была выполнена акустическая и синхронная инверсия, сейсмофациальный анализ. По результатам работ созданы

сейсмогеологические модели продуктивных пластов, уточнена геометрия залежей и оценены запасы.

В течение проекта специалистами были даны рекомендации на бурение 3 разведочных скважин. По первым двум, расположенным на территории первого сезона отстрела, на данный момент получены фактические результаты.

Расхождение в прогнозных и фактических значениях глубин пласта (в данном примере речь идет о пласте Ю1-1) находится в пределах рассчитанной оценки точности. Восстановление истинного положения геологических границ, что было основной задачей кинематической обработки данных, выполнено корректно.

Так же все использованные методы и инструменты обработки позволили получить динамическую картину с последующим прогнозом эффективных толщин, которые в целом подтверждаются бурением. В скважине 1 расхождение составляет всего 4м, в скважине 2 – менее полуметра.

Заключение

Выполненная работа показала, что реализация данного подхода, включающего проведение сейсмических съемок с использованием различных источников возбуждения сейсмического сигнала и регистрирующих систем для уплотнения сети наблюдения в условиях сложной инфраструктуры и поверхностных условий в комбинации с детальной проработкой методов к анализу качества материалов и графов обработки является оптимальной для получения геологических результатов, соответствующих требованиям, выдвигаемым для обоснования оптимальных точек под бурение поисковых и разведочных скважин (прогнозирование структурного плана и свойств коллекторов) и рекомендуется для применения в различных сейсмогеологических условиях.

Подробнее об авторах



Калинин
Алексей Юрьевич

главный геофизик
ЗАО «МиМГО»,
кандидат технических наук



Багрова
Ирина Александровна

руководитель группы
интерпретационного
сопровождения
обработки ЗАО «МиМГО»



Гаврилов
Сергей Сергеевич

директор
ЗАО «МиМГО»,
кандидат геолого-
минералогических наук



Ревяко
Александр Валерьевич

заместитель директора
по геологии и геофизике
ЗАО «МиМГО»



Сариева
Марина Файзуловна

ведущий специалист
сектора интерпретации
сейсмических данных
ЗАО «МиМГО»



Волохов
Роман Дмитриевич

руководитель проекта
по формированию
бизнес-кейсов
ОАО «Славнефть-
Мегионнефтегаз»

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



NEGEO



ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»

- предлагает новые технологии и
оборудование в сейсморазведке,
геофизике и нефтяной отрасли.



- единственный официальный представитель
в России и СНГ ряда заводов, реализующих
новейшие разработки.



- участвует в инновационных
разработках под потребности своих
клиентов

<http://new-eastgeo.ru/>
techgeoservice@mail.ru

Несостоятельность стандартных подходов к оценке качества сейсмических материалов при использовании высокоплотных методик СРР

■ Бекешко П.С., ООО «ГеоПрайм», г. Санкт-Петербург.

В статье рассматривается ряд тезисов, встречающиеся в локально-нормативных документах (ЛНД) нефтегазовых компаний для проведения сейсморазведочных работ, которые базируются на «Инструкции по сейсморазведке», утв. МинГЕО СССР в 1986. В работе так же представлены некоторые примеры результатов обработки, которые, по мнению авторов, могут быть использованы, как доказательная база для изменения имеющихся регламентов или же позволит супервайзерам принять более взвешенное решение при обсуждении спорных вопросах при проведении СРР.

Введение

За последних два десятилетия рынок сейсморазведочных работ несколько преобразился. Все изменения были связаны с переходом на новые типы вибрационных источников, излучаемые свип-сигналы, отказ от группирования источников и переход на точечные приемники, использование новых систем регистрации, которые способны обеспечить поддержку большого количества активных каналов, широкоазимутальные системы наблюдения, использование высокочувствительных широкополосных сейсмоприемников, высокопроизводительные методики flip-flop/slip-sweep, слепые и полуслепые нодальные системы регистрации, увеличение плотности трасс на квадратный километр съемки за счет уменьшения шага между ПП и ПВ, технологии «быстрых» источников (ISS) и все это с учётом минимального влияния на окружающую среду при проведении СРР.

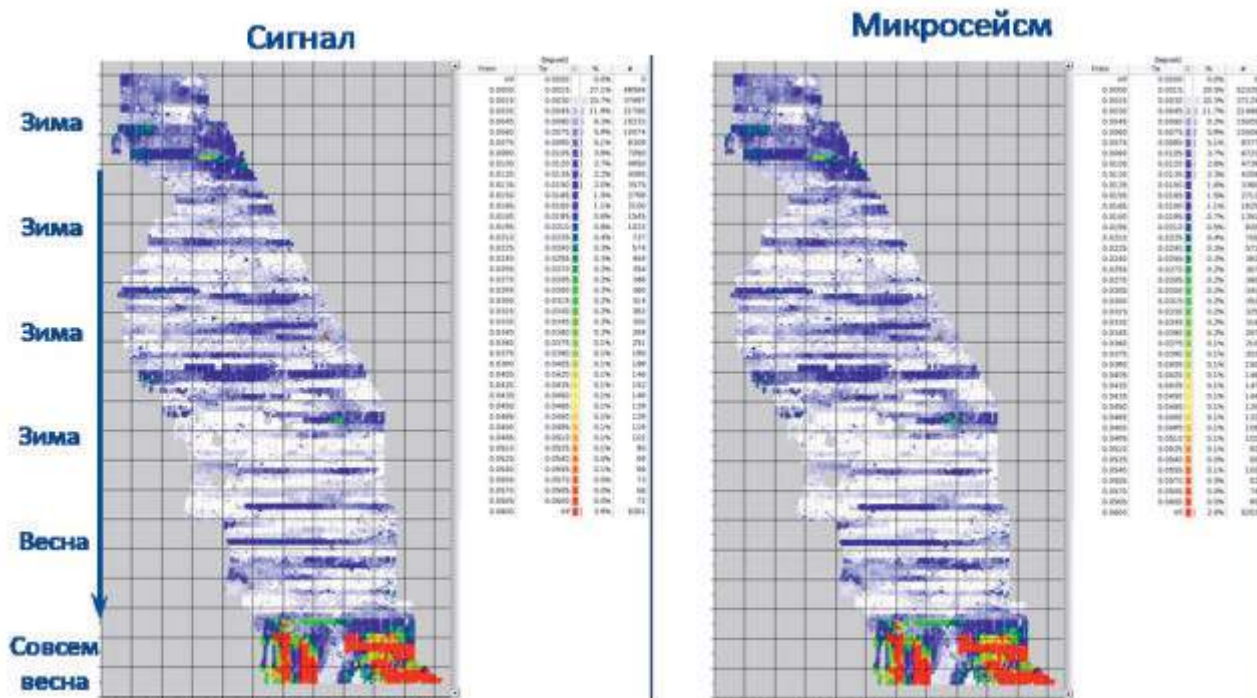
Не смотря на такие колоссальные изменения технологий и методик, требования к проведению полевых работ и качеству исходных сейсмических данных в России остаются такими же, как и 30 лет назад, либо еще сильнее ужесточаются. Это обусловлено тем, что многие опираются на архаичные инструкции и локальные нормативные документацы (ЛНД), разработанные на заре 3D сейсморазведки РФ и слабо коррелирующие с актуальными методиками проведения сейсморазведочных работ, изменение

которых требуют большой инвестиции времени и сил отдельных специалистов нефтегазовых компаний. К сожалению, часть технологий до сих пор не получила широкого применения на отечественном рынке из-за ряда причин:

- Наличие рисков при внедрении новых технологии, который никто из специалистов не может брать на себя
- Экономическая целесообразность при разведке в определенных регионах
- Общий консерватизм геофизического сообщества

Примеры

Первый пример затрагивает самую распространённую количественную оценку качества данных — отношение RMS-амплитуд сигнал к микросейсам. При этом во всех заданиях на регистрацию указано, что данная величина не должна быть ниже определенного значения или может быть уточнена во время проведения ОМР перед основными работами. Имея разнообразный накопленный опыт обработки сейсмических данных с различными системами наблюдения, можно однозначно утверждать, что при использовании высокочувствительных одиночных сейсмоприемников без группирования, мы всегда будем иметь очень низкие значения отношения сигнал / микросейсм. При достаточной плотности трасс этот «недостаток» может быть полностью нивелирован современными процедурами

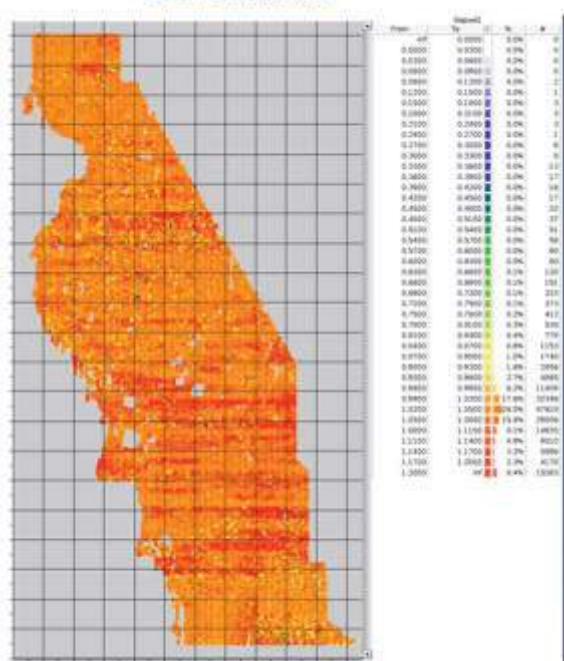


▲ Рис. 1. Карты RMS-амплитуд в окне полезного сигнала (слева) и в микросейсм (справа).

обработки, о которых разработчики «Инструкции по сейсморазведке» в 1986 году ничего не могли знать. На рисунке 1 приведен пример карт RMS-амплитуд сигнала, микросейсм и их отношения, рассчитанные в соответствующих пространственно-временных окнах. Данные были получены по технологии UniQ, с использованием приемников типа GAC, плотность трасс составила порядка 11 млн. на квадратный км.

Визуально можно видеть, что две карты почти не отличаются друг от друга. Слева на рисунке отмечено направление и указаны временные отметки, в южной части площади наблюдается увеличение амплитуд, что связано в первую очередь с изменением качества данных из-за нестабильной работы активной расстановки, таянья снега и увеличения шумов от окружающей среды. На рисунке 2 представлена карта отношения амплитуд сигнала к микросейсмам, а также приведены примеры исходных сейсмических данных. На карте видно, что основное множество значений лежит в диапазоне 0.95–1.2, что является показателем «плохого» качества сейсмических данных или же может квалифицироваться как безусловный брак по большинству стандартных требований. Как было отмечено ранее, данный

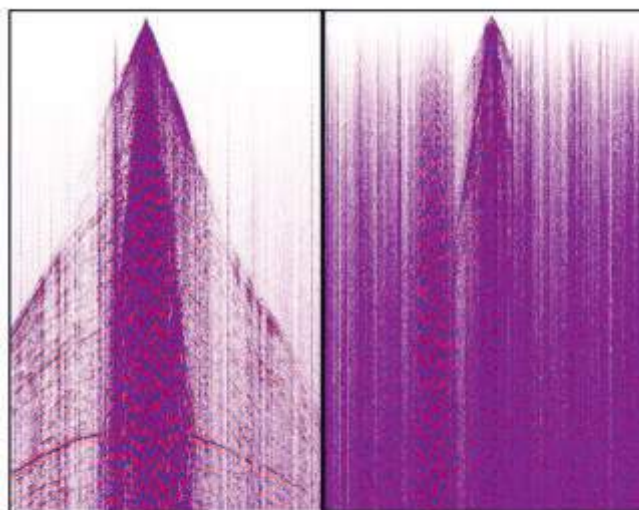
критерий не может в полной мере дать однозначную и объективную оценку будущему результату, так как он не учитывает имеющейся плотности трасс и возможности современных алгоритмов обработки данных, а также особенностей работы ряда процедур при работе с данными высокой плотности. Анализируя сейсмограммы ОПВ можно видеть, что на сейсмограмме с низким отношением сигнал/шум тяжело проследить оси синфазностей отражённых волн. Любой специалист или супервайзер могут забраковать подобный материал, т.к. его опыт и знания говорят, что это некондиционный материал. На рисунке 3 представлен исходный временной разрез в южной части площади, которая была отработана в весенний период времени, и временной разрез после предварительной обработки с использованием современных алгоритмов шумоподавления: частотно-зависимые фильтрации и трансформации волнового поля, алгоритмы сейсмической интерферометрии для моделирования поверхностной волны в реальных координатах ПП/ПП и адаптивные вычитания в различных сортировках и пространствах. Смотря на результат ослабления шумовой составляющей на рисунке 3, можно однозначно утверждать,



▲ Рис. 2. Карта отношения RMS-амплитуд сигнал/микросейсм и примеры сейсмограмм.

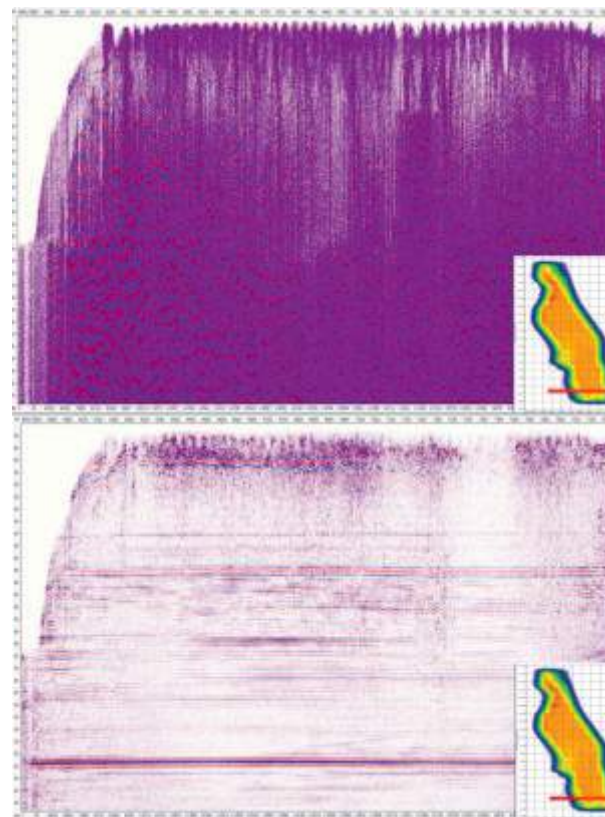
что любые предварительные количественные и качественные оценки данных не могут предсказать какого качества будет финальный продукт. Причина проста: у большинства специалистов отсутствует опыт и понимание, как же плотность трасс может влиять на результат работы современных алгоритмов ослабления помех для данных высокой плотности.

Второй случай, который бы хотелось рассмотреть — шумы, носящие переменный характер (техника, автомобильный транспорт), которым уделяется большое внимание во время проведения СРР, и каждый раз они становятся причинами отбраковки хорошего материала и последующей бесполезной повторной отработки ПВ, либо к ожиданию снижения влияния данных помех в рабочей расстановке в процессе регистрации сейсмических данных, что приводит к существенному снижению темпов работ. В данном случае всегда появляется вопрос: мы позволяем себе иметь стационарные источники шума на площади, т.к. ничего не можем с ними поделать, но очень ревностно относимся к переменным источникам шума. Однако, это большое заблуждение, связанное с общепринятым восприятием и анализом сейсмических данных. Большинство геофизиков



считает, что обработчики работают с сейсмограммами ОПВ, но это не так. После получения материалов на ВЦ, в первую очередь данные преобразуются из сейсмограмм ОПВ в сейсмограммы кросс-спред (крестовые сейсмограммы). Сейсмограммы

▼ Рис. 3. Примеры временных разрезов до и после предварительной обработки.



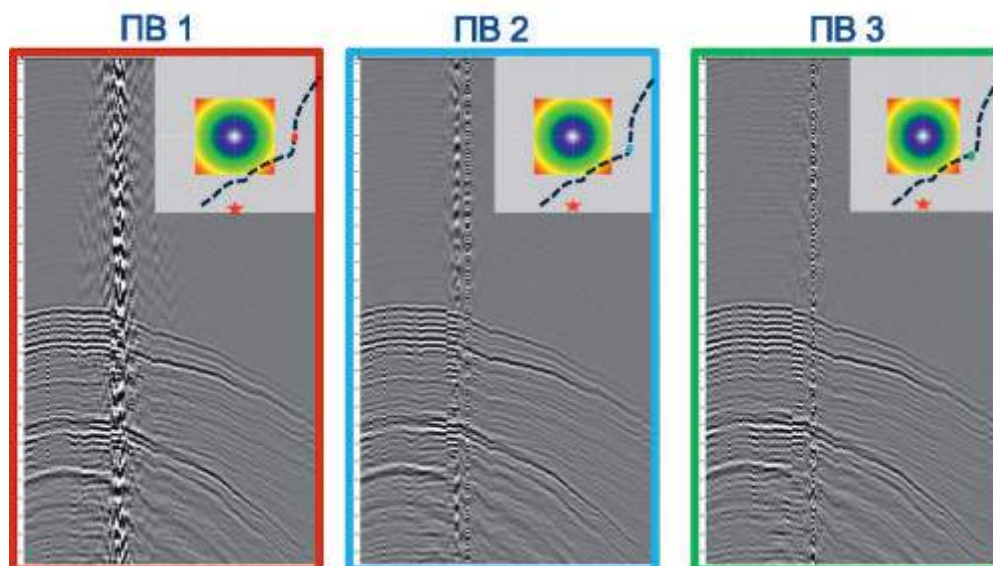


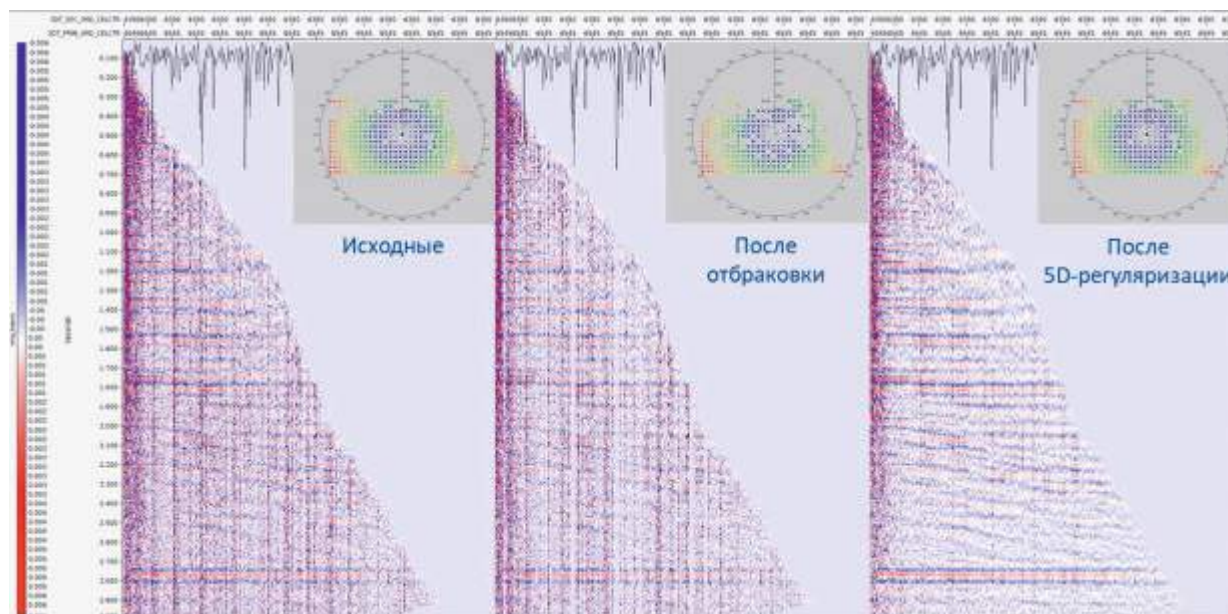
Рис. 4.
Пример
фрагментов
сейсмограмм
ОПВ при
перемещении
транспорта
вблизи
ЛПП.

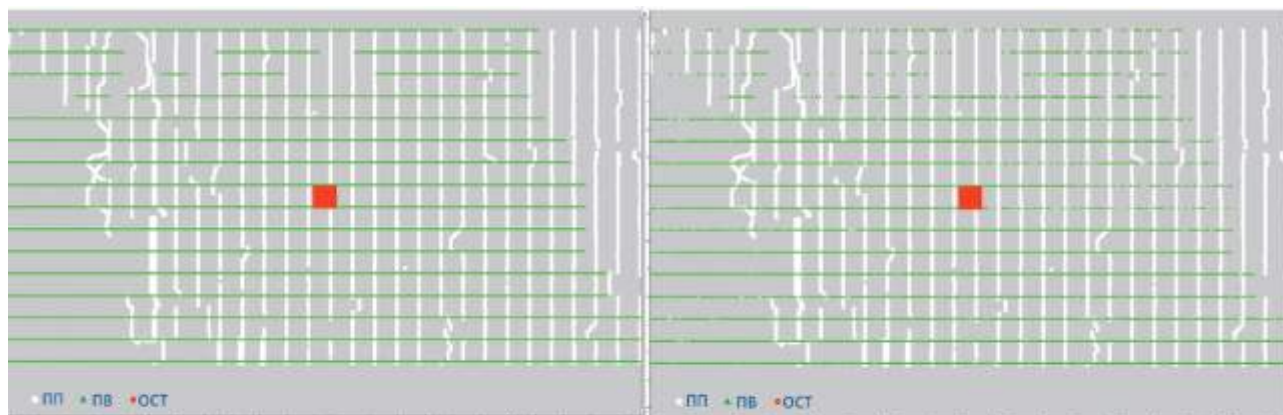
кросс-спред — трехмерная выборка сейсмических данных с равномерным распределением трасс по двум пространственным направлениям. Равномерность обеспечивается за счёт шага по ПВ и ПП. При этом каждый ПВ в этой выборке имеет уникальный номер, что позволяет получить фрагменты сейсмограмм ОПВ отстреленные в разные промежутки времени, что делает ее случайной в пространстве времени, а регулярные помехи от автомобильной техники становятся внутри такой выборки нерегулярными. Получается, что данная выборка содержит в себе сейсмограммы ОПВ и может быть легко пересортирована в сейсмограммы ОПП. На

рисунке 4 представлен фрагмент трех сейсмограмм ОПВ из выборки кросс-спред. Видно, что для ПВ-1 случайная помеха от транспорта занимает большой диапазон, но на ПВ-2 и ПВ-3 её интенсивность уже спадает, т.к. транспорт смещается в сторону от линии приёма. Применять процедуры ослабления шума в сортировке ОПВ будет не эффективно, но переход в выборке кросс-спред и применение трехмерных процедур, работающих одновременно в трех ортогональных направлениях, решает эту задачу.

Третий пункт, которому хотелось бы уделить внимание — потери кратности (не более 10%), наличию нескольких подряд

Рис. 5. Сейсмограммы ОСТ до, после отбраковки приемников по углу наклона и после восстановления.





▲ Рис. 6. Схема распределения ПП для супер-сейсмограммы ОСТ до (слева) и после (справа) отбраковки по углу наклона.

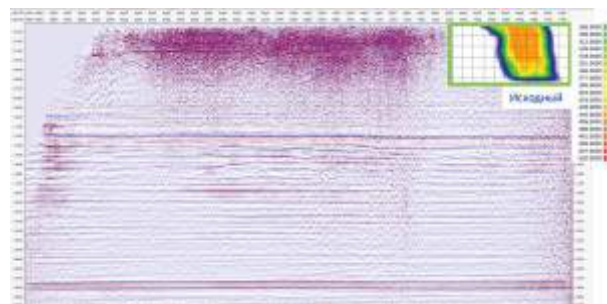
неработающих каналов в линии ПП, и более 2% неработающих каналов в расстановке. За последнее время в арсенале обработчиков появились алгоритмы 5D-регуляризации с защитой от пространственного наложения зеркальных частот. Такие алгоритмы позволяют восстанавливать данные в тех частях площади, где их не было изначально из-за пропусков, они были отбракованы или удалены в процессе обработки. Этот этап является базовым при обработке 3D данных. Поэтому потери даже трех-семи трасс подряд не являются для обработчиков чем-то невозможным. Ниже представлен пример теста, в котором сначала были отбракованы часть трасс из-за увеличения допусков по наклону сейсмоприемников, а затем восстановлена по средствам 5D-регуляризации. Пример сейсмограмм ОСТ до и после представлен на рисунке 5. Важно отметить, что отбраковка трасс имела не хаотичное распределение, а определенную систематичность.

Для наглядности на рисунке 6 приведены схемы расположения ПП и ПВ для супер-сейсмограммы ОСТ, которые показывают, какие пары источников и приемников были исключены с помощью критерия угла наклона. На схеме после отбраковки видно, что теряются протяженные области пунктов приема, которые могут достигать до 12-16 ПП подряд (200м). На рисунках 7–9 представлены временные разрезы, фрагменты карт кратности и гистограммы её распределения. Даже при поверхностной оценке этих мате-

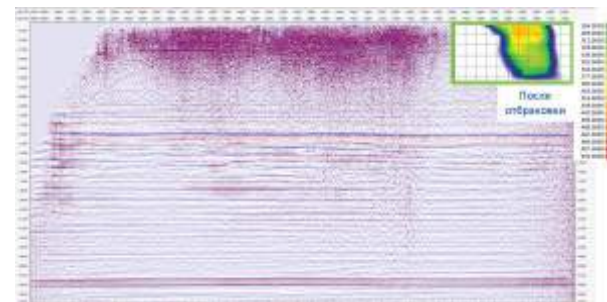
риалов можно видеть, что регуляризация успешно восстанавливает исходную информацию и потерянную кратность, снижение которой достигают почти 30%, при этом дополнительно обеспечивается ослабление случайной шумовой составляющей в процессе многомерных преобразований.

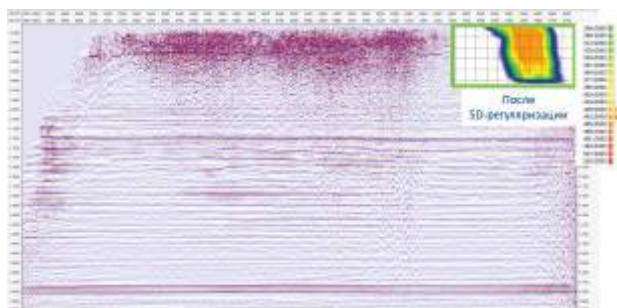
На основании данного теста можно сказать, что потери кратности свыше 10%, два подряд неработающих канала, либо

▼ Рис. 7. Временной разрез до отбраковки приемников по углу наклона, фрагмент карты кратности и гистограмма ее распределения.



▼ Рис. 8. Временной разрез после отбраковки приемников по углу наклона, фрагмент карты кратности и гистограмма ее распределения.



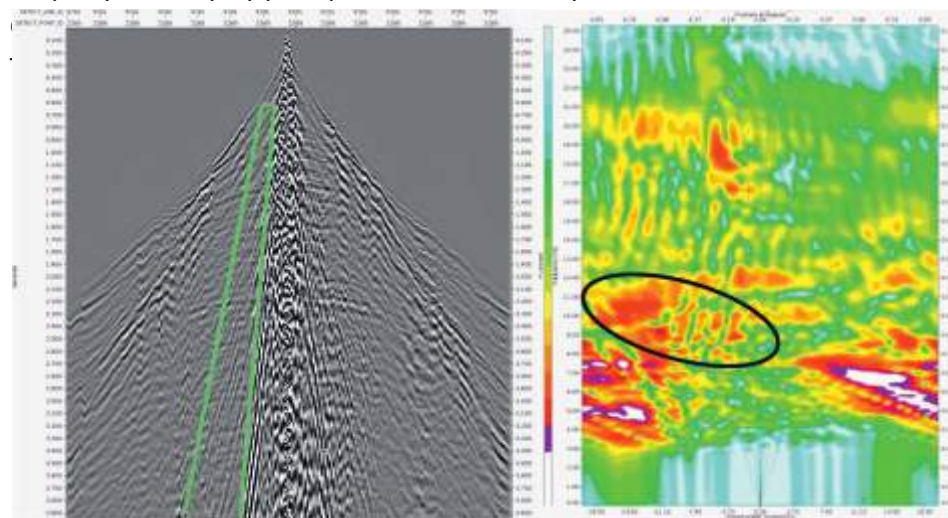


▲ Рис. 9. Временной разрез после восстановления отбракованных трасс, фрагмент карты кратности и гистограмма ее распределения.

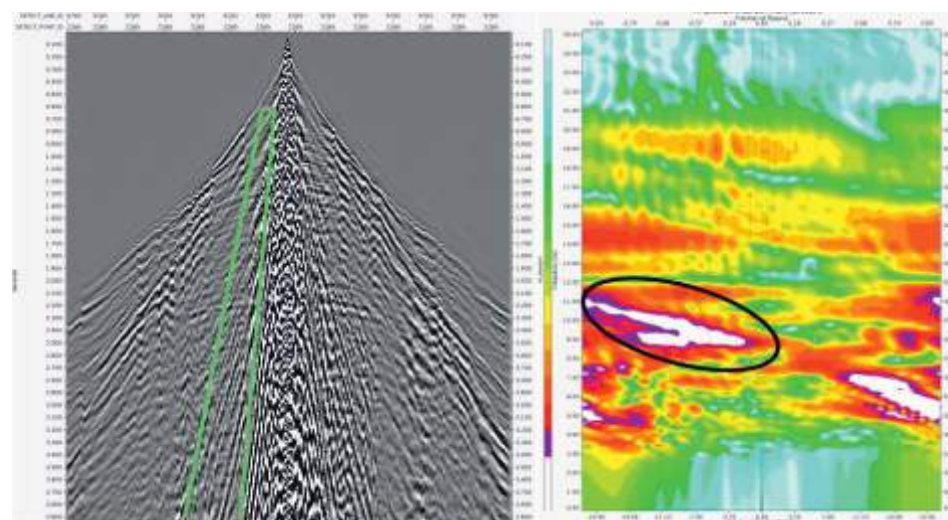
2–3% неработающих трасс — чрезмерные требования. Для современных алгоритмов регуляризации, некритичные потери кратности могут достигать 15–10 процентов. Безусловно, оптимальным вариантом было бы случайное распределение потерянных каналов, но это не достижимо.

Одним из последних пунктов хотелось бы затронуть тему группирования сейсмопри-

что многие геофизики проводили тесты, и каждый раз так или иначе этот тест показывал положительные результаты, т.к. регулярные волны-помехи ослаблялись в процессе группирования и результирующий материал имел высокие значения отношения сигнал/помеха. При переходе к 3D работам, группирование сейсмоприемников вдоль линии приема — грубая ошибка. Причина кроется в ориентации такой приемной антенны и появления у неё направленности, что обеспечивает успешное ослабление помехи только на ЛПП, которая находится ближе всего к ПВ. Но даже в этом случае возникает проблема, связанная с тем, что определенная расстановка приемников и их ориентация позволяет ослаблять только определенный диапазон частот поверхностной волны, т.к. будет эффективно справляться только с определенными длинами волн, а длина волны зависит от частоты и скорости. Дополнительная сложность,



◀ Рис. 10. Сейсмограмма ОПП и ее FK-спектр при группировании сейсмоприемников на базе 50 м.



◀ Рис. 10. Сейсмограмма ОПП и ее FK-спектр без группирования сейсмоприемников.

которая делает группирование неэффективным инструментом шумоподавления в полевых условиях, — латеральное изменение скоростей поверхностной волны и наличие зависимости скорости распространения волн от частоты, т.к. волна Рэлея является дисперсионной волной. Текущее состояние алгоритмов обработки позволяет успешно моделировать и адаптивно вычитать такие помехи, если их кинематические и динамические характеристики не были искажены группированием. На рисунке 10 приведен пример сейсмограммы ОПП и ее FK-спектр с использованием группирования сейсмоприемников на базе 50м. При сравнении с рисунком 11, где группирование отсутствовало, можно увидеть, что интенсивность поверхностной волны в выделенном полигоне существенно выше, когда группирование не использовалось. Это же можно наблюдать на FK-спектрах, где при группировании была ослаблена только часть поверхностной волны в частотном диапазоне 7–12 Гц. Единственный, который можно сделать из анализа рисунков 10 и 11: нужно регистрировать все помехи без искажений, и это позволит успешно бороться с ними на этапе углубленной обработки данных.

Выводы

Существует множество способов оценки качества исходных сейсмических данных таких как: RMS-амплитуды в различных окнах и их отношения, ширина амплитудно-частотного спектра и доминантная частота записи. Все эти оценки не могут однозначно сказать, какое качество будет у окончательного сейсмического материала после цикла камеральной обработки. Зачастую, все вышеописанные характеристики сейсмической записи отражают только погодные условия, либо сейсмогеологические особенности региона.

На основании представленных материалов можно уже сейчас однозначно утверждать, что настало время для пересмотра ряда требований, которые были сформулированы три десятилетия назад и не учитыва-

ли такого стремительного изменения отрасли, технологического прогресса и развития алгоритмической базы. Это должно коснуться только тех требований, которые являются серьезной помехой для внедрения и реализации новых технологий, а также являющимися необоснованными сдерживающими факторами при производстве сейсморазведочных работ, невыгодными как Заказчикам, так и Подрядчикам. Данные требования являлись попыткой формализации подхода оценки исходных сейсмических данных. На текущий момент времени имеются технологии быстрых электромагнитных источников в движении и слепые нодальные системы регистрации, которые могут позволять решать задачи СРР в кратчайшие сроки, с более высоким качеством окончательных материалов несмотря на то, что исходные данные обладают низким значением отношения сигнал/шум из-за особенностей технологий. Слепые регистрирующие системы не могут быть применены сейчас, либо не в полной мере раскрыть свой потенциал, т.к. требуется выполнить формальные оценки качества исходных сейсмических данных, а их получить невозможно до тех пор, пока не завершатся полевые работы. Следующий вопрос, который возникает: а нужны ли все эти бесконечные оценки, если известно, что данные с низким отношением сигнал/шум могут позволить получить более высокое качество на результирующих этапах камеральной обработки при высокой плотности трасс на квадратный километр. Это подводит нас к тому, что всем сервисным компаниям, которые занимаются СРР, необходимо отказаться от архаичных подходов в полевых методиках: настаивать на трансформации методик в сторону увеличения плотности ПП и ПВ с уменьшением количества воздействий на одном пикете до 1–2 накоплений и полный отказ от группирования приемников и источников, а также пересмотру требований и ЛНД к производству сейсморазведочных работ большинства нефтегазовых компаний.

Литература

1. Никола Телье и др. «Методика xDSS для достижения высочайшей производительности при вибросейсмических операциях», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2022.
2. Детков В.А., Баландин П.В., Копылов М.А., «Технология возбуждения упругих колебаний в движении Glide», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2020.
3. Кузнецов Е.С., Баландин П.В., Дробинский А.А., Череповский А.В. «Результаты анализа полевых данных OMP МОГТ-3D, Полученных по технологии возбуждения сигнала в движении GLIDE», Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №1, 2021.
4. A. Ourabah, [2020] From nimble node to STRYDE — a brief history of a disruptive nodal technology. — Second HGS and EAGE Conference on Latin America, Dec 2020, Volume 2020, p.1–5
5. О.О. Адамович, П.С. Бекешко, С.Е. Жуков, Я.В. Лаптев, И.Л. Альмендингер, А.В. Ермолаев. Высокоэффективные съемки GLIDE как потенциальный инструмент повышения качества сейсмических изображений и ускорения цикла ГРП. Тезисы конференции ПроГРРесс 2021
6. П.С. Бекешко, С.Е. Жуков, Я.В. Лаптев, И.Л. Альмендингер, А.В. Ермолаев, Е.С. Кузнецов, П.В. Баландин, А.А. Дробинский, А.В. Череповский. Результаты обработки сейморазведочных данных 3D полученных по технологии GLIDE на одном из участков Восточной Сибири. Тезисы конференции Геомодель 2021.

Подробнее об авторе



Бекешко
Павел Станиславович

Главный геофизик,
Служба главного
геофизика, ООО
"ГЕОПРАЙМ"
Руководитель НТЦ,
ПАО "ГЕОТЕК
Сейсморазведка»



xPORT GROUP



многофункциональная
бескабельная система

AllSeis – 1C, 3C, 4C



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



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

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

Анализ параметров систем наблюдений с перекрытием в инженерной сейсморазведке

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

Аннотация: сейсморазведка часто применяется в инженерно-геофизических исследованиях из-за высокой помехоустойчивости и обширной группы решаемых задач. С помощью инженерной сейсморазведки картируется кровля скальных и мерзлых грунтов, уровень грунтовых волн; выделяются техногенные полости, зоны повышенной или пониженной трещиноватости, проявления карста и суффозии; определяются физико-механические свойства грунтов. В современной сейсморазведке востребована сейсмотомография, методы отраженных и преломленных волн. В результате реализации этих методов формируются сейсмические изображения грунтовой толщи – глубинные разрезы, качество которых во многом определяется перекрытием – важнейшим параметром любой регулярной системы наблюдений. Кратность перекрытия определяет степень подавления случайных сейсмических колебаний и мешающих регулярных волн при суммировании трасс, имеющих общую среднюю точку. Поэтому, когда в методах отраженных и преломленных волн реализуется автоматическая обработка, система наблюдений должна обеспечить высокое значение кратности и максимальную равномерность распределения этого параметра по профилю. Инженерная сейсморазведка реализуется томографическими системами наблюдений, когда пункт возбуждения размещается во многих позициях по отношению к неподвижной приемной линии. Значение и равномерность распределения кратности зависит от малости шага возбуждения и конфигурации шаблонов. На краях шаблонов кратность закономерно уменьшается и качество сейсмических разрезов пропорционально падает. Это проблема решается перекрытием приемных линий смежных шаблонов и добавлением в систему наблюдений выносных расстановок. В публикации рассматриваются подходы к оптимизации и стандартизации систем наблюдений, выравнивания кратности, предлагается терминологическая база в данной предметной области, учитывающая специфику выполнения инженерной сейсморазведки.

Ключевые слова: инженерная сейсморазведка; метод отраженных волн; сейсмотомография; метод преломленных волн; системы наблюдений; кратность перекрытия.

Введение

Методы сейсморазведки активно применяются в инженерно-геофизических исследованиях из-за небольшой чувствительности к электромагнитным помехам и широкого круга решаемых задач. Эти особенности сейсморазведки особенно актуальны при инженерно-геофизических исследованиях в крупных городах, где фон помех очень велик, а

инженерно-геологические условия отличаются большим разнообразием. С помощью инженерной сейсморазведки определяется рельеф и сохранность кровли скальных и мерзлых грунтов, определяется уровень грунтовых волн, выделяются локальные неоднородности – техногенные полости, зоны повышенной трещиноватости и разуплотнения, проявления карстово-суффозионного

процесса; определяются физико-механические свойства грунтов в естественном залегании [12]. Основной объем работ в инженерной сейсморазведке выполняется сейсмотомографией (СТ), методом отраженных волн в модификации общей средней точки (МОВ-ОСТ), в меньшей мере – методом преломленных волн в модификации общей глубинной площадки (МПВ-ОГП) [10].

В настоящее время в инженерной сейсморазведке активно применяется динамическая обработка данных, когда изображение среды формируется на основе обработанных и просуммированных трасс полевых сейсмограмм [7]. Подобные изображения содержат информацию не только о форме границ, но и о динамических свойствах целевых волн. Такие параметры, как амплитуда, частота и форма импульса на глубинных разрезах являются индикаторами общего состояния грунтов вблизи границ и наличия локальных неоднородностей [20]. Для создания разрезов с достаточной для уверенной интерпретации амплитудной разрешенностью, используются системы наблюдения с перекрытием. В таких системах каждой глубинной точке (площадке) соответствует несколько трасс и их суммирование позволяет ослабить уровень случайных и регулярных помех [3]. Кратность систем определяет, при правильной обработке, качество формируемых сейсмических разрезов. Системы с перекрытием также применяются в сейсмотомографии, в которой определяющее значение имеет равномерность и частота покрытия изучаемого объекта устройствами для возбуждения и приема поля [5, 13].

В инженерной сейсморазведке работы традиционно ведутся отрядами из двух-трех человек [2], число кос не превышает двух, операции по смот-

ке/размотке кабеля и установке/сбору приемников выполняются вручную, применяются мобильные ручные ударные источники. Поэтому возбуждение колебаний и перемещение источника по профилю выполняется значительно быстрее, чем перемещение косы и установка приемников в новых пунктах. Эта особенность предопределила технологию регистрации сейсмограмм при многих положениях пункта возбуждения относительно одного участка профиля, где находятся пункты приема, аналогично приемной антенне с развитой апертурой [4].

Специального названия для этой технологии в нормах инженерной сейсморазведки не приведено, терминология в данной области также вызывает вопросы. В частности, при описании системы наблюдений в работах [1, 18] использовано несколько неоднозначных или избыточных по формулировке терминов: «приемная расстановка (стоянка)», «число каналов» «шаг между пунктами приема (сейсмоприемниками)», «система – встречные и нагоняющие годографы», «промежуточные пункты возбуждения». Обозначенные ситуации во многом определяются несовершенством нормативной базы в области инженерной сейсморазведки, особенно – в области терминов и определений.

В статье будут использованы термины: «приемная линия», «линия возбуждения», «шаблон», заимствованные из трехмерной сейсморазведки [14, 23], но достаточно точно отражающие суть базовой технологии инженерной сейсморазведки. Приемной линией будет назван участок профиля, где находятся пункты приема с одновременно работающими сейсмическими приемниками. Неподвижная приемная линия используется для регистрации сейсмограмм с

пунктов, образующих линию возбуждения [14]. Расстояния между соседними элементами в линиях будут названы «шаг приема» и «шаг возбуждения», соответственно. Количество элементов – «порядок приемной линии» и «порядок возбуждения». Система из одного пункта возбуждения и приемной линии будет обозначена как «расстановка», множество расстановок с общей приемной линией – «шаблон». Дистанцией будет называться расстояние между пунктом приема и возбуждения, удалением разность их координат, то есть дистанция – это модуль удаления.

Сама технология будет условно называться «томографической», т.к. такая система наблюдений отвечает требованием сейсмотомографии, весьма распространенной сейчас в практике инженерной сейсморазведки. После отработки всех пунктов возбуждения (ПВ) одной линии, приемная линия перемещается по профилю встык или с перекрытием, после чего шаблон реализуется повторно. Целью работы является анализ особенностей реализации томографических систем наблюдений с перекрытием в инженерной сейсморазведке, а также влиянию параметров систем на качество получаемых динамических разрезов.

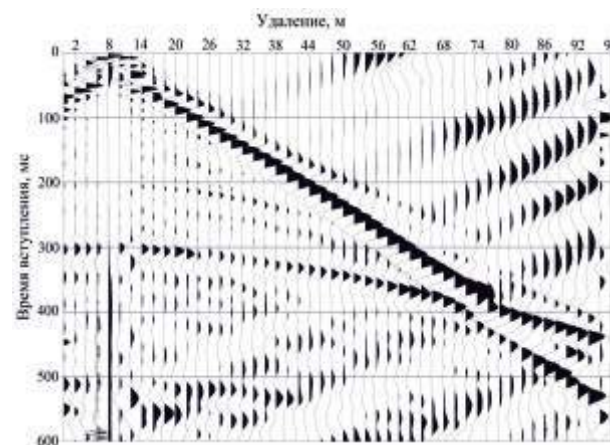
Методика полевых работ и результаты обработки данных

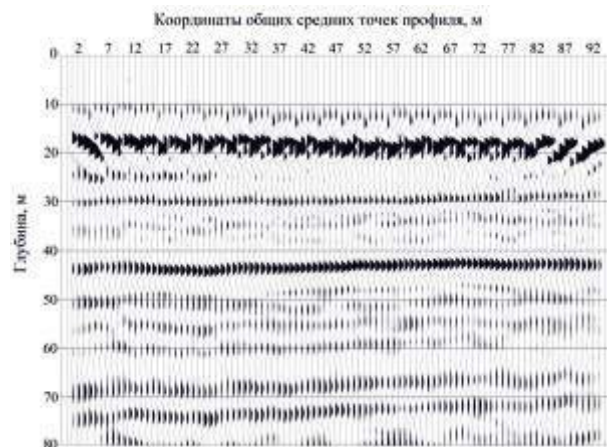
При составлении конфигурации шаблона в первую очередь выбирались шаг пунктов приема (ПП) $\Delta x_{ПП}$ и порядок приемной линии N . От них зависит глубинность сейсморазведки и горизонтальная разрешающая способность получаемых изображений. Для изучения глубин до 10-15 м применялась приемная линия ($N = 24$, $\Delta x_{ПП} = 1-2$ м) [18], для увеличения глубинности порядок линии увеличивался до $N = 48$. Шаг возбужде-

ния выбирался кратным шагу пунктов приема (1-3) $\Delta x_{ПП}$. В шаблон включались фланговые, центральные и выносные расстановки, шаг возбуждения выносных расстановок также выбирался кратным шагу приема [11]. При работах на нормальных скоростных разрезах и при картировании неглубоко залегающих границ (< 10 м), получаемые данные обрабатывались по МПВ-ОГП, на частично – инверсных, когда первый слой разреза имел повышенную скорость, по МОВ-ОСТ [16]. Пример полевой сейсмограммы МОВ, полученной на юго-западе г. Москвы, приведен на рис. 1.

Несмотря на относительно высокий уровень полезного сигнала (интервал времени 200-300 мс), на необработанной сейсмограмме заметно влияние помех – поверхностных и боковых волн, шума. На рис. 2 показан динамический глубинный разрез, полученный с кратностью 2 на удалениях 14-20 м путем настройки сортировки трасс до суммирования. Заметно влияние поверхностной волны Лява, подавленной из-за малой кратности [9] на «глубинах» 10-25 м. Поверхностные волны – это основные сейсмические волны-помехи, которые значительно осложняют прослеживание отраженных волн, выделяемых в последующих вступлениях. Однако, они отли-

▼ Рис. 1. Полевая сейсмограмма с записью отраженных волн.

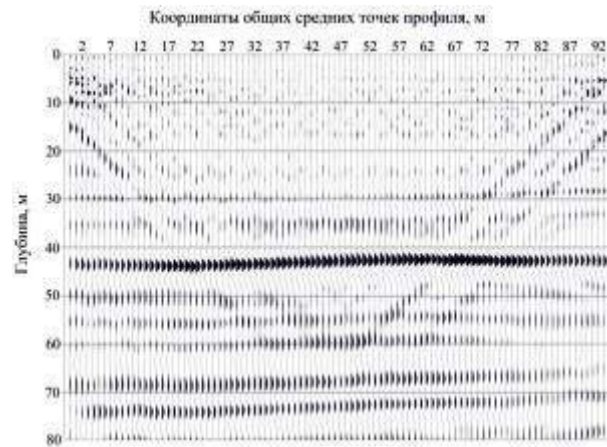




▲ Рис. 2. Глубинный динамический разрез МОВ-ОСТ с фиксированной кратностью 2.

чаются от полезных отраженных волн по частоте (F) и волновому числу (K). Разделение волн по указанным признакам реализуется F - K фильтрацией. Однако методически обоснованные шаги приема в инженерной сейсморазведке (1-2 м) для F - K фильтрации слишком велики и поверхностные волны подавляются недостаточно [22]. Полезные отражения приурочены к кровле юрских глин и каменноугольных известняков на глубине 29-30 м и 40-43 м, соответственно.

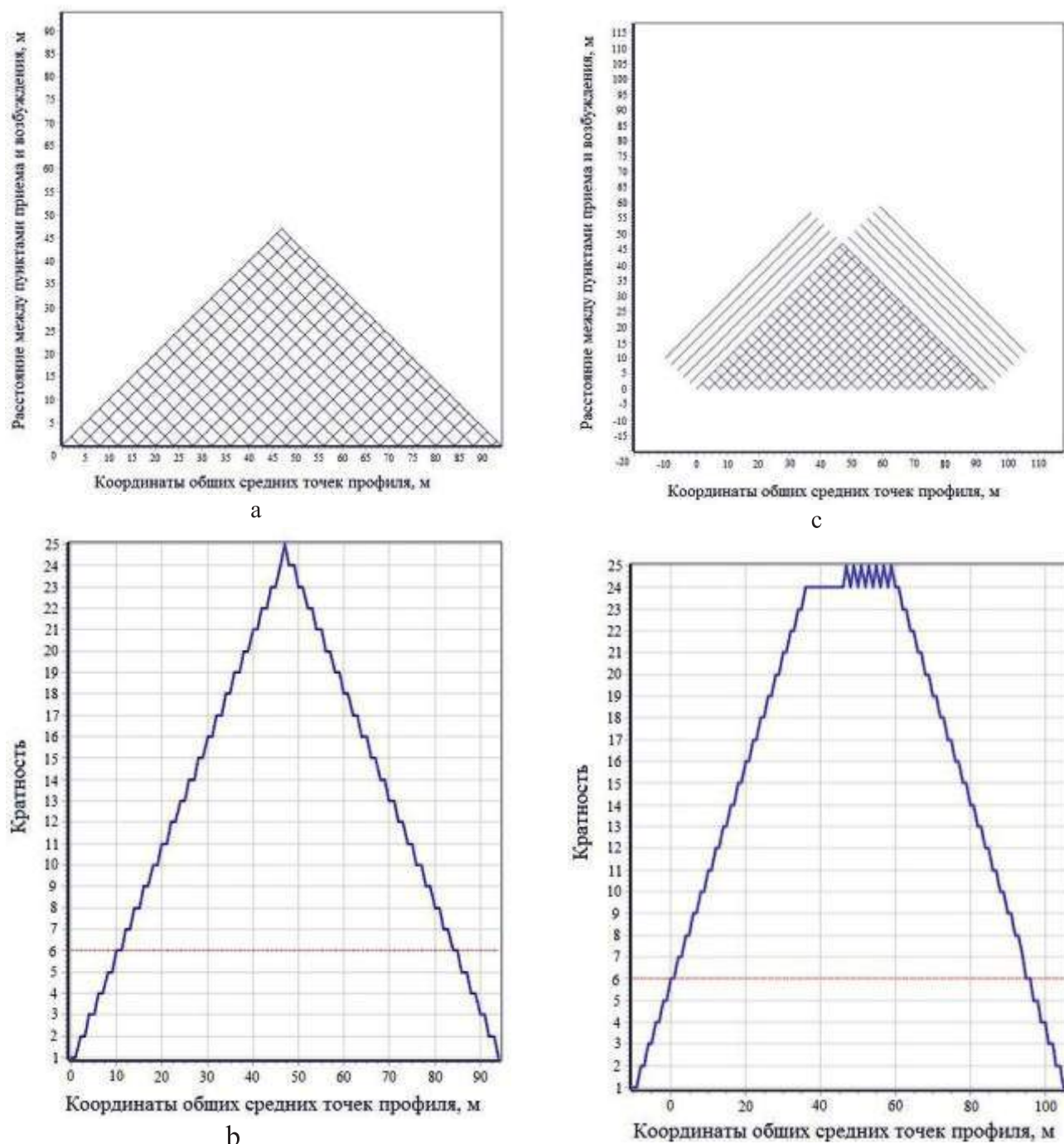
С увеличением кратности степень подавления поверхностных волн возрастала (рис. 3), однако падающая частота отражений уменьшалась. Это хорошо заметно при сравнении рельефа границы, выделяемой на глубинах 40-43 м на рис. 2 и рис. 3 при разном распределении кратности. Отражения от неглубоко залегающих горизонтов выделялись хуже, так как на трассах с большими удалениями они перекрывались поверхностными волнами [8]. В частично-инверсных разрезах [6] эта проблема не возникала. На концах приемной линии наблюдались неполнократные зоны с повышенным уровнем шума, неподавленных помех и низким уровнем полезного сигнала. Это объяснялась с одной стороны низкой кратностью системы наблюдений на краях линии, с другой



▲ Рис. 3. Глубинный динамический разрез МОВ-ОСТ с переменной кратностью 1-25.

стороны – высоким уровнем шума и низкой частотой сигнала на трассах с высокими удалениями. Свой вклад вносили и стандартные алгоритмы кинематики, приводящие к сильному растяжению импульсов отраженных волн, образованных на неглубоких границах. Применение верхнего мьютинга для устранения чрезмерно растянутых импульсов приводило к падению эффективной кратности на небольших временах нормального отражения [15]. Неравномерность кратности отрицательно сказывалась на качестве получаемых сейсмических изображений и возможности выделения аномалий по динамическим признакам. Наибольшее качество отражений наблюдалось в центре приемной линии, что характерно для томографических систем. В таких системах кратность линейно растет от начала приемной линии к ее середине, после чего линейно убывает. На концах приемной линии кратность равна 1, в центре – порядку приемной линии N .

При определении размеров интервалов набора и сброса кратности – неполнократных зон, применялось условие $k \leq M$, где k – кратность в данном пункте профиля, M – минимальная кратность, обеспечивающая достаточный уровень амплитудной разрешенности сейсмичес-



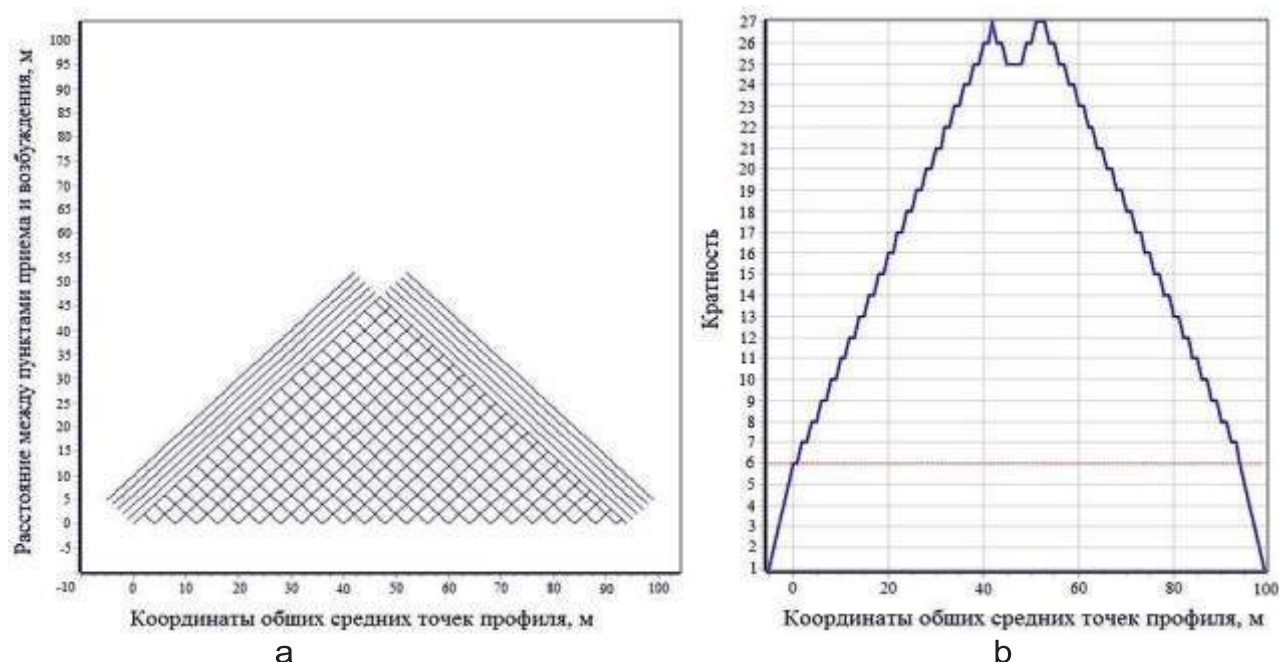
▲ Рис. 4. Системы наблюдений на обобщенной плоскости: а - шаблон без выносных расстановок, с - с пятью выносными расстановками слева и справа от приемной линии; b, d - карты кратности. Обозначения: красной пунктирной линией проведен уровень минимальной кратности.

кого разреза. В качестве M было выбрано значение 6 – половина от минимальной номинальной кратности в соответствии с СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ». Размер неполнократной зоны $L_{НК}$ определялся по формуле:

$$L_{НК} = (M - 1) \Delta x_{ПВ} = 5 \Delta x_{ПВ}$$

где $\Delta x_{ПВ}$ – шаг возбуждения.

Для сокращения суммарной протяженности неполнократных зон $L_{НК}$ до 10% от длины приемной линии ($N = 48$, $\Delta x_{ПВ} = 2$ м) потребовалось бы шаг пунктов возбуждения уменьшить до $\Delta x_{ПВ} = \Delta x_{ПВ} \cdot 0.1$.



▲ Рис. 5. Системы наблюдений на обобщенной плоскости (а) и карта кратности (b).
Обозначения: красной пунктирной линией проведен уровень минимальной кратности.

С увеличением шага пунктов возбуждения до $\Delta x_{пв} = 2 \cdot \Delta x_{пп}$ протяженность неполнократных зон $L_{нк}$ возрастала бы уже до 20% от длины приемной линии. В качестве эффективного инструмента для уменьшения неполнократных зон $L_{нк}$ использовались выносные расстановки, включаемые в конфигурацию шаблона. Если количество выносных расстановок по обеим сторонам приемной линии достигало M , то неполнократные зоны $L_{нк}$ исчезали полностью.

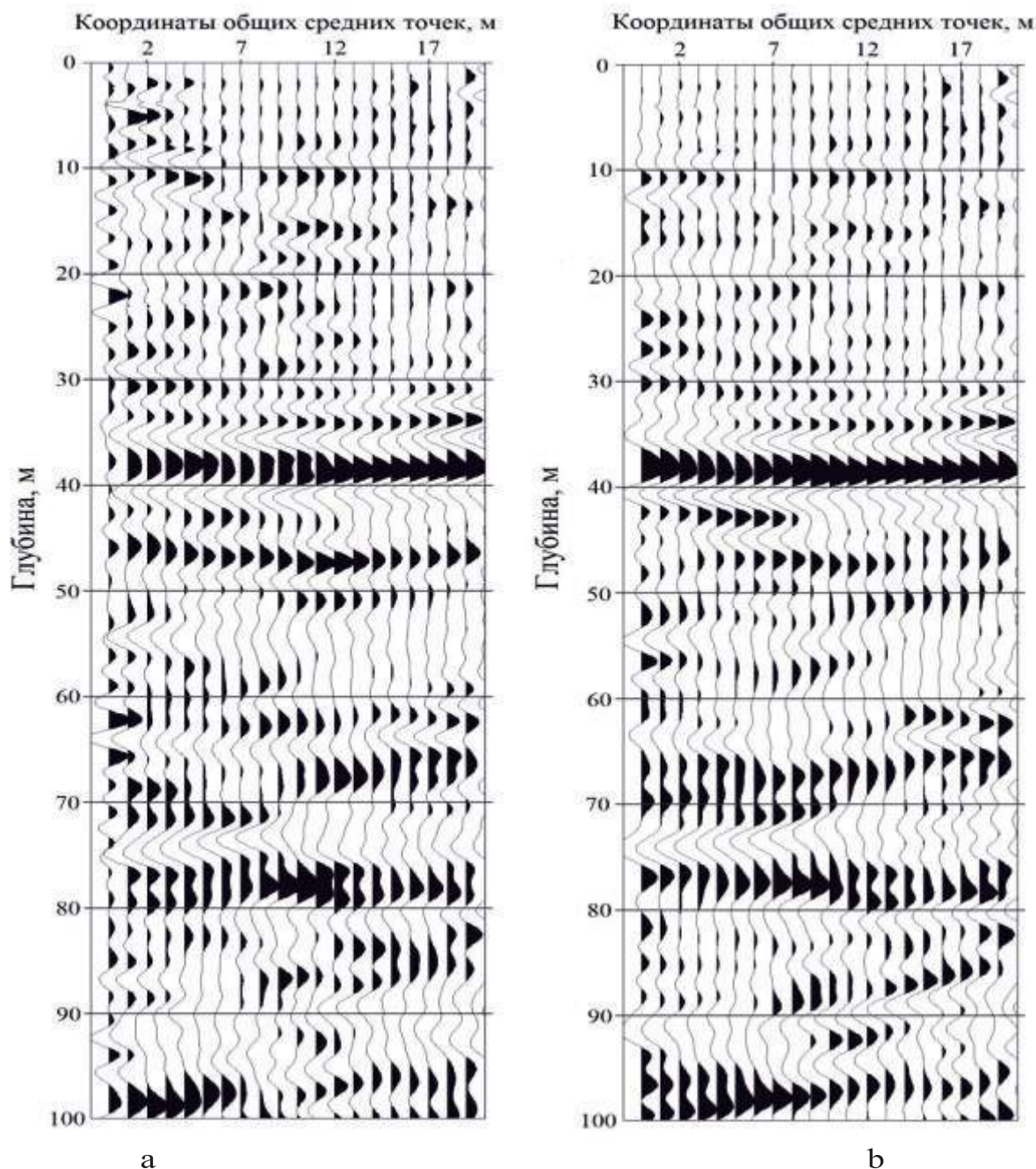
На рис. 4 сравниваются: система наблюдений из одного шаблона без выносных расстановок и с пятью выносными расстановками по краям приемной линии. Шаг возбуждения на выносах сохранялся таким, как и на приемной линии $\Delta x_{пв} = 2 \cdot \Delta x_{пп} = 4$ м. Выносные расстановки позволили выйти на кратность шесть на краях приемной линии и выровнять кратность в центральной части линии. На максимальную (номинальную) кратность ($k = 25$) выносные расстановки не повлияли.

Во многих случаях для размещения проектируемого количества выносных

пунктов возбуждения на профилях не хватало места. В этих ситуациях шаг возбуждения сокращался без уменьшения количества выносных пунктов (рис. 5). Неполнократные зоны по краям в том случае тоже отсутствовали.

На рис. 6 показаны краевые фрагменты глубинных разрезов. На рис. 6, б приведен разрез, полученный по шаблону без выносных расстановок, 6, а – с пятью выносами по обе стороны приемной линии. Во первом случае недостаточная кратность в интервале 0-10 м привела к увеличению помех на глубинном разрезе и изменению в форме импульса полезного отражения (39 м), что могло быть ошибочно проинтерпретировано как аномалия. Использование выносов в системе наблюдений позволило нарастить кратность в начале приемной линии и сделать сейсмический разрез более регулярным.

Интересны результаты, полученные при анализе разрезов, сформированных из одного массива полевых данных, но с разной кратностью перекрытия. Данное исследование было выполнено для

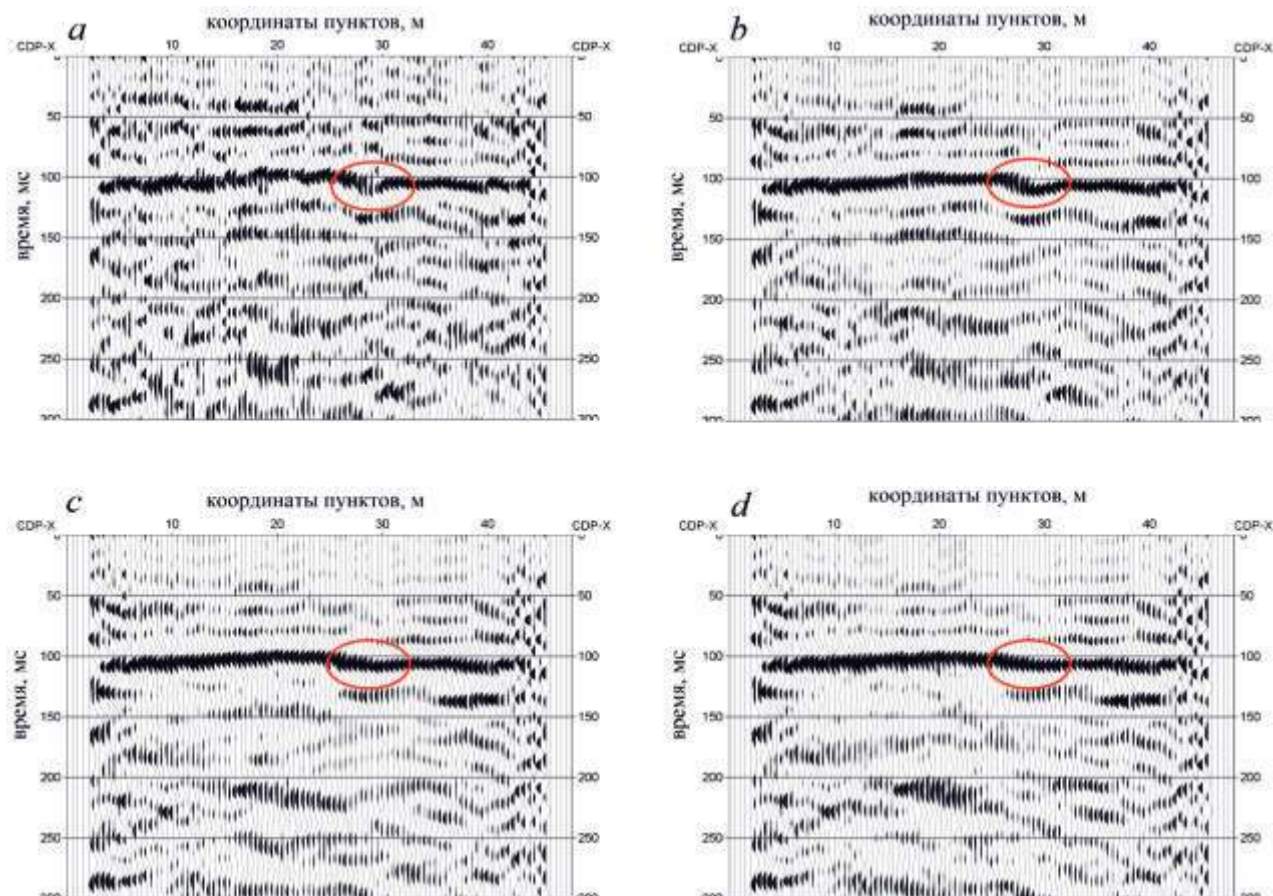


▲ Рис. 6. Фрагменты глубинных разрезов:
а – по системе без выносных расстановок, б – с выносами.

выявления отрицательного влияния избыточной кратности на разрешающую способность сейсморазведки МОВ–ОСТ. Выбранный профиль был отработан приёмной линией с порядком 48, шаги возбуждения и приёма составили 1 м. Такая система наблюдений обеспечила номинальную кратность $K=48$.

При обработке число суммированных трасс с общей средней точкой ограничивалось значениями 1, 3, 6 ... 48. Ограни-

чение кратности при суммировании трасс дало несколько положительных эффектов. Во-первых, из-за уменьшения кратности качество разреза также становилось более равномерным, а размеры неполнократных зон уменьшались. Треугольное распределение кратности заменялось на более предпочтительное, трапециевидное. Во-вторых, снижение кратности позволило увеличить разрешающую способность и выделить боль-



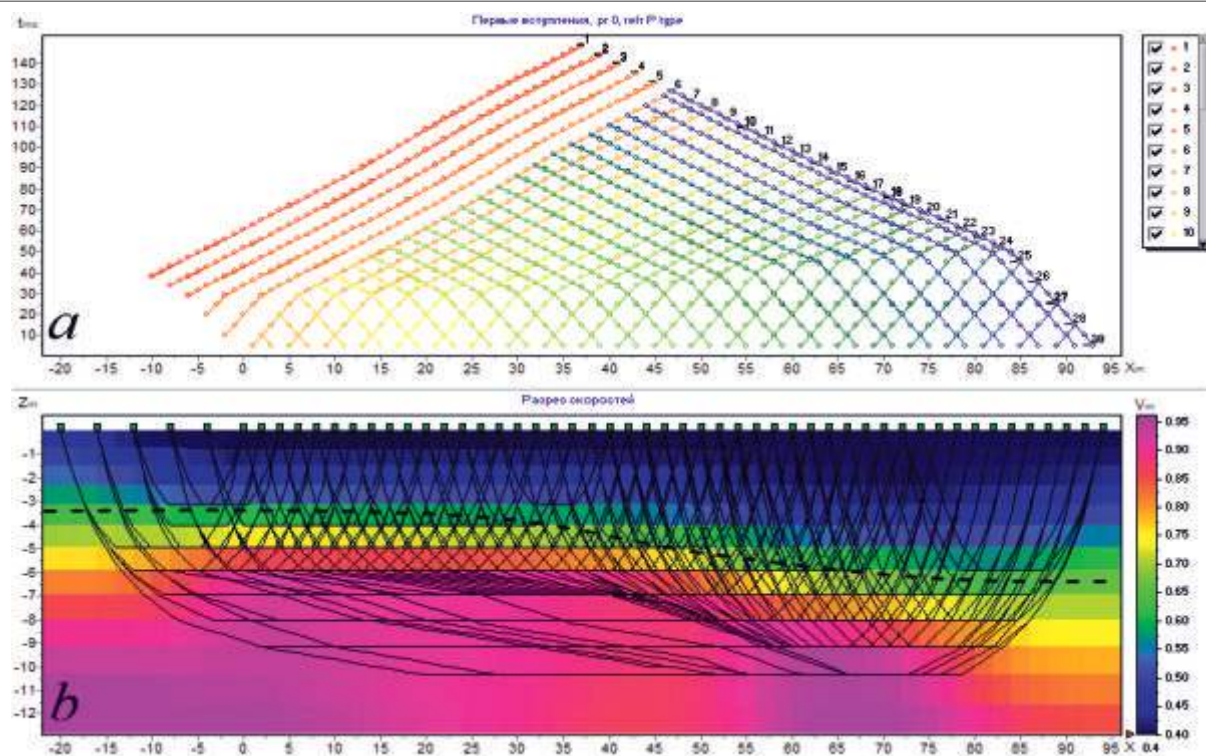
▲ Рис. 7. Временные разрезы, полученные по одному массиву данных с разной максимальной кратностью а — 1, b — 6, c — 12, d — 48. Обозначения: по горизонтали — координаты пунктов профиля, по вертикали — время нормального отражения, мс; красным выделена аномалия — тектонический разлом в кровле известняков касимовского яруса (Москва).

ше мелких деталей разреза, чем при максимальной кратности. Было установлено, что наиболее значимые изменения в содержании временных разрезов наблюдались при увеличении кратности в диапазоне 1–12, дальнейшее рост кратности уже не влияет на качество прослеживания отражающей границы. Наоборот, рельеф границы при кратности больше 12 выполаживался, контуры аномалий, выделенных при меньшей кратности, расплывались из-за падения вертикальной и горизонтальной разрешённости. Этот пример показывает, что при высоком отношении «сигнал / помеха» полезных волн уменьшение шага возбуждения следует рассматривать как способ повышения горизонтальной разрешенности разрезов небольшой

кратности, а не наращивания количества суммируемых трасс.

При изучении сред со значительным вертикальным градиентом скорости, а также при отсутствии отражённых волн на сейсмограммах применялась сейсмическая томография (СТ). В основе алгоритма обработки СТ лежит инверсия — автоматизированное восстановление распределения истинной скорости сейсмических волн в равномерной сети ячеек по полю годографов первых вступлений. Под разрешающей способностью томографии понимается возможность разделения близко расположенных аномалий скорости и выделения аномалий небольшого размера.

Разрешающая способность сейсмотомографии зависит от лучевого покрытия

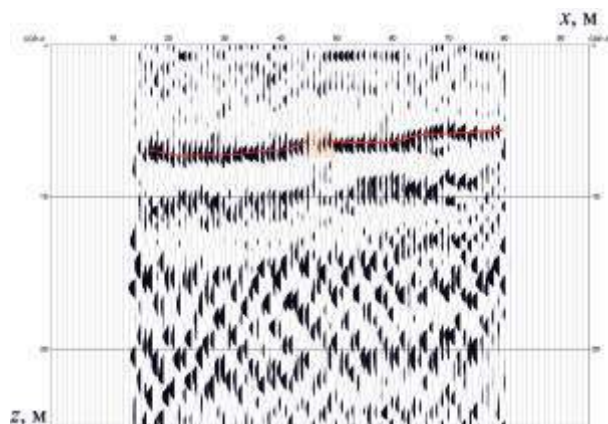


▲ Рис. 8. Поле годографов первых вступлений (а) и результат инверсии сейсмотомографии при изучении структурной аномалии уступообразной формы (b). Обозначения: а: по горизонтали — координаты пунктов профиля, по вертикали — время вступления, мс; ; b: по горизонтали — координаты пунктов профиля, по вертикали — глубина, м; пунктирной линией показан реальный рельеф границы, цветной заливкой — показаны значения истинной скорости. Обработка была выполнена в ПО Zond2DST (автор — А. Каминский).

— количества независимых лучей волн, пересекающих каждую ячейку сетки, в которой определяется истинная скорость сейсмических волн. Если лучевое покрытие неравномерно, то в ячейках с малым количеством лучей возникают артефакты — ложные аномалии, не обусловленные исходными данными[21]. Не меньшее значение имеет угловое покрытие — степень разброса направлений лучей, проходящих через каждую ячейку. Основное влияние на разрешающую способность оказывали шаги возбуждения и приёма, значения которых должны быть в несколько раз меньше размера выделяемых неоднородностей[17]. Наибольшая разрешающая способность достигалась при выборе шага возбуждения, равного шагу приёма. Это требование совпадает с критерием максимальной достижимой кратности в МОВ–ОСТ, что облегчало проектирование системы

наблюдений в ситуациях, когда структура волнового поля изменялась в пределах объекта исследования. В качестве примера можно привести ситуации, когда полевые работы выполнялись на частично заасфальтированных площадках.

Глубинность сейсмической томографии составляла 1/10 – 1/6 длины приёмной линии, в зависимости от распределения истинной скорости в изучаемой грунтовой толще. Основное экранирующее влияние на глубину проникновения лучей оказывали неглубокие и резкие преломляющие границы — уровень грунтовых вод, кровля скальных грунтов и тд. Также, как и в МОВ–ОСТ, качество результата инверсии падало по краям приёмной линии из-за закономерного уменьшения лучевого покрытия. Как правило, в зонах с недостаточным покрытием наблюдалось ложное «заваливание» рельефа изучаемых границ на



▲ Рис. 9 Глубинный разрез МПВ–ОГП. Обозначения: *а*: по горизонтали — координаты пунктов профиля, по вертикали — глубина, м; сплошной линией показан рельеф границы, заштрихованным прямоугольником — зона потери корреляции. Данные получены в Нижегородской области, при картировании кровли гипсов и выделении проявлений карстовых процессов.

концах приёмной линии, из-за они приобретали форму, напоминающую перевёрнутое корыто (Рисунок 8). Из-за того, что выносные пункты возбуждения располагаются за пределами приёмной линии, значительного увеличения лучевого покрытия за счёт выносов в сейсмотомография не происходило. Поэтому, включение большого количества выносных расстановок в систему наблюдений оказалось нецелесообразным. Результат инверсии поля годографов показан на рисунке 8.

При работах по методу МПВ–ОГП существенной проблемой является необходимость выделения целевых волн в первых вступлениях. Годограф первых вступлений имеет форму ломаной линии и прослеживание каждой волны возможно на дистанциях, превышающих дистанцию соответствующей точки излома d_{II} . Это расстояние примерно равно утроенной глубине картируемой сейсмической границы. На разрезах МПВ–ОГП, получае-

мых системами наблюдений без выносных расстановок, вначале и конце приёмной линии формировались зоны нулевой кратности общей протяжённостью $2d_{II}$ (Рис. 9). Для заполнения информацией этих пустых фрагментов разреза в систему наблюдений включались выносные расстановки, их количество определялось по формуле:

$$M = d_{II}/\Delta x_{ПВ} + 1$$

При реализации многоканального анализа поверхностных волн (MASW) использовались сейсмограммы, полученные по схеме Z-Z и содержащие записи поверхностных псевдорэлеевских волн.

По сейсмограммам автоматически строилось дисперсионное изображение, на нём вручную коррелировались дисперсионные кривые фундаментальной и высших мод. По дисперсионным кривым путем подбора определялись подходящие слоистые модели и строился разрез скоростей поперечных волн. Каждая сейсмограмма обрабатывалась отдельно от других, поэтому кратность перекрытия и наличие выносов напрямую не влияла на детальность и протяжённость получаемых сейсмических изображений.

Однако следует учитывать, что количество и положение точек записи результатов MASW зависит от шага возбуждения на приёмной линии и за её пределами.

Например, при расположении источника на 1 пункте приемной линии с длиной 94 м, точка записи MASW оказывалась на пункте с координатой 24 м. Чтобы заполнить пропуски в начале и конце приёмной линии, в систему наблюдения добавляли выносные расстановки. Для обработки применялся специализированный модуль программы Zond2DST (автор — А. Каминский)

Выводы

Анализ получаемых разрезов позволил выбрать оптимальное значение шага возбуждения в системах наблюдений с перекрытием – один или два шага приема. Для компенсации падения качества сейсмических разрезов на краях приемных линий оптимальным решением является введение выносных расстояний в шаблоны. При реализации подобных систем обеспечивается формирование сейсмических изображений высокого качества в методах отраженных и преломленных волн, а также в сейсмотомографии.

Литература:

1. Артемьев Г.В., Рылов Е.С., Криволапчук М.Л., 2021. Опыт работы с цифровой инженерной сейсмостанцией ТЕЛЛС-3 для уточнения грунтовых условий в долине реки Авача (Елизовский городской округ). Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки, Том 35, № 2, с. 81-90, <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2021-35-2-81-90>.
2. Бабкин А.И., 2016. Апробация компактного механизированного ударного источника сейсмических волн для малоглубинных исследований в условиях вечной мерзлоты. Стратегия и процессы освоения георесурсов, Сборник научных трудов, Пермь, 2016, с. 218-220.
3. Герасимова И.Ю., Калашникова М.М., Бобров В.Ю., 2019. Сейсмический мониторинг свойств и строения верхней части разреза в зоне влияния карстового провала методом преломленных волн. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 8, с. 169-179, <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-08-0-169-179>.
4. Заславский Ю.М., Заславский В.Ю., 2020. Оценка пространственной разрешающей способности при акустических исследованиях грунтов. Вычислительная механика сплошных сред, Том 13, № 1, с. 23-33.
5. Зеркаль С.М., Хогоев Е.А., 2005. Итерационная технология сейсмотомографической диагностики на основе кинематики рефрагированных волн. Доклады Академии наук, Том 401, № 4, с. 526-528.
6. Крылатков С.М., Крылаткова Н.А., Крылевская А.Н., 2013. Расчет теоретических сейсмограмм при наличии высокоскоростного приповерхностного слоя. 9th EAGE International scientific and practical Conference and Exhibition on Engineering and Mining Geophysics. European Association of Geoscientists & Engineers, 2013, cp-346-00053.
7. Пирогова А.С., Замотина З.С., Чегодаева А.Е. и др., 2021. Динамический анализ данных 3D-сейсморазведки для характеристики потенциально опасных геологических процессов и явлений на шельфе Охотского моря. Геофизика, № 6, с. 76-86.
8. Пригара А.М., Царев Р.И., Коноплев А.В. и др., 2014. Инженерно-геологическая оценка гидротехнических сооружений методами неразрушающего контроля. Фундаментальные исследования, № 11-2, с. 348-352.
9. Ли В.О., Владов М.Л., 2012. Анализ эффективности 2D сейсморазведки методом ОГТ при изучении приповерхностной части разреза. Вестник Московского университета. Серия 4. Геология, № 3, с. 52-60.
10. Рагозин Н.А., Пашко В.Ф., 2008. Проблемы обработки данных метода преломленных волн (МПВ) в инженерной сейсморазведке. 4th EAGE International scientific and practical Conference and Exhibition on engineering and mining geophysics. European Association of Geoscientists and Engineers, 2008. cp-199-

00072.

11. Романов В.В., Иванов А.А., Шматкова А.А., 2018. Опыт применения инженерной сейсморазведки МОВОГТ для оценки карстовосуффозионной опасности на территории Москвы и Московской области. Инженерная сейсморазведка-2018, Сборник тезисов научно-практической конференции, Москва, 2018, с. 20-24.

12. Романов В.В., Иванов А.А., Кауркин М.Д., 2021. Комплексирование электротомографии, георадиолокации и сейсморазведки при исследованиях проявлений сульфатного карста на примере Нижегородской области. Электроразведка 2021, Сборник тезисов научно-практической конференции, Москва, 2021, с. 64-68.

13. Сальников А.С., Канарейкин Б.А., Долгова С.В., Дунаева К.А., Сагайдачная О.М., Харламов А.С., 2012. Технология и результаты сейсмотомографических исследований на проходящих волнах в угольных шахтах Кузбасса. Технологии сейсморазведки, № 2, с. 74-88.

14. Санфиоров И.А., Жикин А.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И., Чугаев А.В., Герасимова И.Ю., 2019. Малоглубинная сейсморазведка 3D на участках со сложным геологическим строением. Вестник Пермского федерального исследовательского центра, № 2, с. 18-28, <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.2>.

15. Санфиоров И.А., Мухамедшин А.М., Ярославцев А.Г., 2010. Сейсморазведочные исследования глубинного строения габбрового массива в центре мегаполиса. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 12, с. 124-130.

16. Скворцов А.Г., 2018. Возможности и специфика использования отраженных волн в инженерной сейсморазведке. Инженерная сейсморазведка-2018. с. 8-12.

17. Тихоцкий С. А., Фокин И. В., Шур Д. Ю. Активная лучевая сейсмическая томография с использованием адаптивной параметризации системой вэйвлет-функций //Физика Земли. – 2011. – №. 4. – С. 67-67.

18. Телегин А.Н., Яковлев А.С., 2011. Основные требования к параметрам методики малоглубинных сейсморазведочных работ МОВ-ОГТ для решения инженерно-геологических задач. Записки Горного института, Том 189, с. 72-75.

19. Турчков А.М., Дерюгина Е.П., Забелян И.Г., 2010. Опыт применения 9-компонентной инженерной сейсморазведки. 6th EAGE International scientific and practical Conference and Exhibition on engineering and mining geophysics, European Association of Geoscientists and Engineers, 2010, pp-193-00058.

20. Федотов С.А., 2006. Технология малоглубинных геофизических исследований методами многоволновой сейсморазведки и электроразведки. Разведка и охрана недр, № 3, с. 51-54.

21. Шишкина М. А., Фокин И. В., Тихоцкий С. А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой сейсмической томографии //Технологии сейсморазведки. – 2015. – Т. 1. – С. 5-21.

22. Яковлев А.С., 2011. Обоснование применения сейсморазведки методом отраженных волн способом общей глубинной точки для решения инженерно-геологических задач в Санкт-Петербурге и пригородах, дис. ... канд. геол.-мин. наук, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург.

23. Turchkov A.M. et al, 2021. Seismic 3D-4C CDP reflection method using shear waves for estimation of karst-suffusion gazard estimation in the moscow city area. Engineering and mining geophysics 2021. European Association of Geoscientists and Engineers, No. 1, pp. 1-9.



Проект реализуется участником проекта «Сколково»
при грантовой поддержке Фонда «Сколково»

О задачах деконволюции сейсмических записей и возможностях контроля искажений формы сигнала

■ Кунченко Д.С., Овчинников К.Р., Фиников Д.Б., ООО «Сейсмотек», г. Москва

Введение

К обработке сейсмических данных предъявляют всё более жесткие требования в отношении сохранения динамики полезных волн. Это касается как амплитуд, так и формы сигналов отраженных волн (эти параметры, конечно, взаимосвязаны). Искажения амплитуд в ходе подавления помех обычно контролируют, рассматривая отдельно поля вычтенных помех, наблюдая не «просочились ли» в них полезные отражения. После коррекции амплитуд изучают карты корректирующих множителей. А вот на что смотреть при коррекции формы сигнала не очень понятно.

Труднее всего контролировать искажения, возникающие в ходе адаптивной обработки. Здесь под подозрение попадают, в первую очередь, процедуры деконволюции и корректирующей фильтрации. Этим объясняется тот факт, что при проведении обработки с сохранением динамики процедуры деконволюции вообще исключают из графа обработки, оставляя только т.н. факторные деконволюции.

Факторные деконволюции – это процедуры коррекции формы записи за влияние конкретных физически обоснованных факторов. На море – это сигнатурная деконволюция, подавление пульсации газового пузыря, часто с этой точки зрения рассматривают и подавление спутника. На суше – это коррекция за поверхностные условия (поверхностно-согласованная деконволюция), при обработке вибросейсмических данных – различные манипуляции с импульсом

Клаудера. К факторным деконволюциям относят и коррекцию частотно-зависимого поглощения.

Полноценную деконволюцию за форму сигнала относят уже к интерпретационному этапу, сопряженному с инверсионными преобразованиями и с привлечением скважинной информации (т.н. «стратиграфическая деконволюция»).

Аппарат многие десятилетия развиваемых в сейсморазведке методов «слепой деконволюции» стараются не использовать. Эти процедуры себя сильно сомпрометировали в обработке с сохранением динамики. С другой стороны, без них обработка не обходится, но их используют в крайне завуалированной форме. В сущности, когда факторные деконволюции делают адаптивными (а это почти неизбежно), то опираются на те же предположения, что и в традиционных методах коррекции формы сигнала.

Почему многие методы деконволюции не используются в процессе обработки? Практически все они основаны на статистической модели свёрточной сейсмической трассы, т.е. описании записи, как реализации случайного процесса определенной структуры (образуют Пуассоновский поток сигналов). Основные теоретические факты, касающиеся обобщённой свёрточной модели [1,3,5, 6, 8, 10, 11]. Обобщение статистической свёрточной модели на нестационарный случай сводится к параметрическому описанию изменчивости динамических параметров во времени.

Реальные наблюдения, конечно, не удовлетворяют статистическим предпо-

ложениям. Собственно, мы даже не можем судить об этом, т. к. не имеем соответствующих объемов выборок, не можем соблюсти условия эксперимента необходимые для обоснованности статистических выводов и т. д. Статистические соображения привлекаются за неимением другого аппарата описания столь сложных явлений.

Суть задачи деконволюции тесно связана с задачей оценивания формы сигнала на которую и строится обратный фильтр. Для этого из записей извлекаются статистики, которые связаны со смешанными моментами сигнала, чаще всего вторыми моментами, т.е. корреляционными функциями [10]. Все они содержат определенные погрешности, которые можно интерпретировать и как следствие невыполнения статистических предположений, ограниченности объема данных, наличия разного рода помех.

Это может приводить к тому, что результаты обработки могут содержать артефакты, плохо поддающиеся контролю. Это и привело к тому, что сложилось мнение, что для обработки с сохранением динамики арсенал средств деконволюции следует ограничить коррекцией за физически обоснованные характеристики сигнала. Однако, как уже было отмечено, эти методы, хотя и используют более жесткую параметризацию формы сигнала – не могут считаться свободными от недостатков традиционных решений.

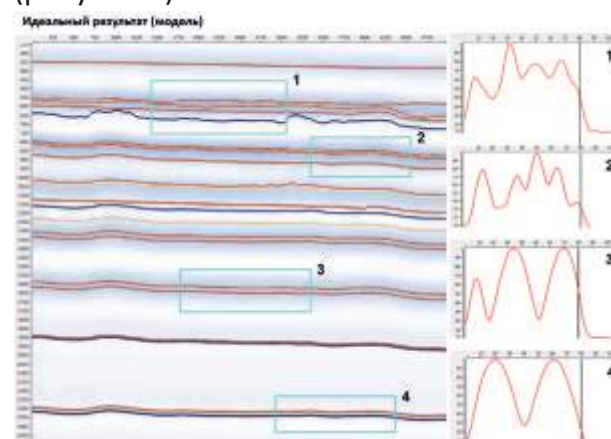
Как сделать деконволюцию более безопасной и контролируемой процедурой? Универсального рецепта нет. В работе говорится о некоторых приемах, которые носят скорее методический, нежели, алгоритмический характер и применимы ко всем способам адаптивной деконволюции, используемым на практике.

Пример с модельными данными

Реальные примеры при всей их содер-

жательности, могут увести в сторону от существа процедуры и плохи недостаточными возможностями верификации результатов. Тщательная подборка таких примеров – дело будущего. Однако предлагаемую методику авторы уже сейчас применяют на практике. Поскольку методику можно использовать в любой системе и комплексе программ, то, если она покажется интересной, каждый читатель может попробовать её на своих реальных или модельных данных.

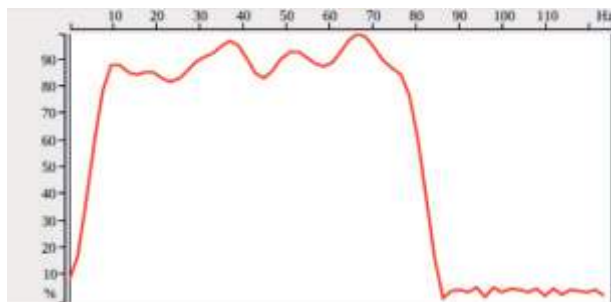
Модель на которой будем демонстрировать метод состоит из нескольких пачек отражений. Конечно, эти трассы трудно назвать реализациями случайного процесса. При этом каждая пачка имеет свой спектр, который отнюдь не равномерен (рисунок 1).



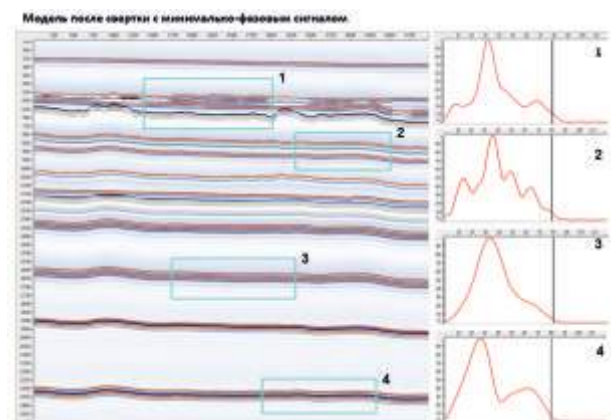
▲ Рис. 1. Идеальный результат (модель).

Однако все вместе они обеспечивают вполне близкий к равномерному спектр (рисунок 2) и этот пример неплохо иллюстрирует суть теоремы Кэмпбела для случайного импульсного процесса (вывод теоремы для пуассоновского потока сигналов можно найти в монографии [2]).

Чем больше разнообразных фрагментов трассы участвует в формировании спектра, тем он ближе к равномерному. Это значит, что если форма сигнала выдержана (стационарна) по времени, то лучше использовать при расчёте оператора обратного фильтра как можно большие окна.



▲ Рис. 2. Амплитудный спектр, полученный по всему временному разрезу модели.

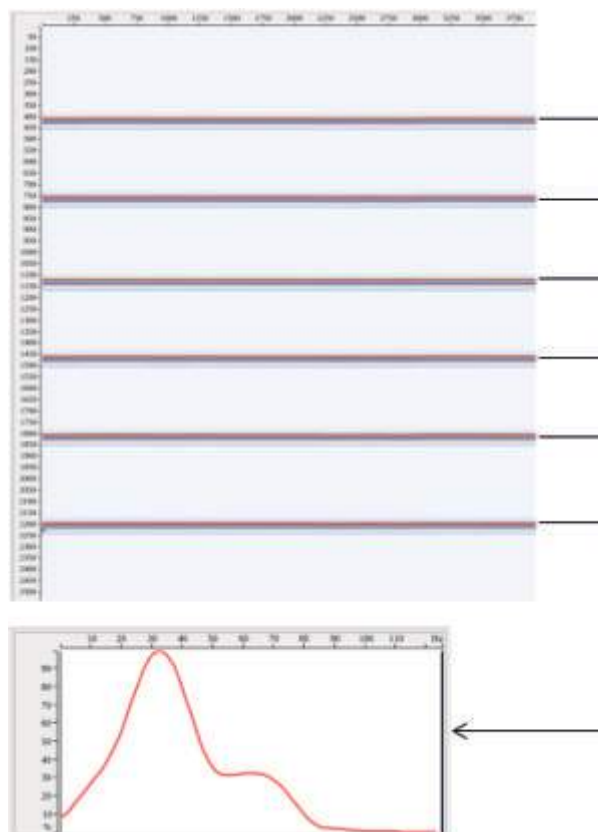


▲ Рис. 3. Модель после свёртки с минимально-фазовым сигналом.

На следующем рисунке показан тот же разрез, свернутый со стационарным сигналом (рисунок 3). Сигнал минимально-фазовый в диапазоне частот 5-75 Гц.

Итак, мы имеем практически идеальные условия для обратной фильтрации. Спектр импульсной трассы почти равномерен, помехи отсутствуют, форма сигнала постоянна, сигнал минимально-фазовый в диапазоне частот. Стационарная предсказывающая деконволюция вполне справляется с задачей.

Предлагается смотреть на оценку формы сигнала на основе которой строится обратный фильтр. На рисунке 4 показаны шесть искусственно сгенерированных синфазностей, представляющих собой оценённую форму сигнала. Она получена путем свёртки нуль-фазовых сигналов (с равномерным спектром) с формой импульса, извлеченной из результата деконволюции и исходного поля.



▲ Рис. 4. Оцененный сигнал и его спектр при стационарной деконволюции.

Для получения этих оценок используется процедура **matching**. Схема на рисунке 5 иллюстрирует методику.

Подбирается линейный (стационарный или нестационарный) фильтр, который наилучшим образом обеспечивает вычитание деконволированного поля из исходного. Этот же фильтр применяется к модельным сигналам. Получаем оценки формы сигнала, которые были неявно использованы при деконволюции. Это можно сделать для любых алгоритмов обратной фильтрации.

По этим оценкам можно судить насколько обоснованы способы деконволюции, насколько они обеспечены данными, насколько выдержаны оценки по пространственным координатам. В данном случае оценки почти идеальны. И все же и здесь оценки показаны после небольшого усечения во временной области, в результате которого были



◀ Рис. 5. Схема получения оценки формы сигнала

устранены некоторые осцилляции. Поэтому, основываясь на этих оценках, можно улучшить и результат деконволюции. Очевидный ход – применить еще раз **matching**: найти оператор, переводящий полученные оценки в заданные сигналы (например, дельта-функцию в диапазоне частот) и применить его к исходному полю.

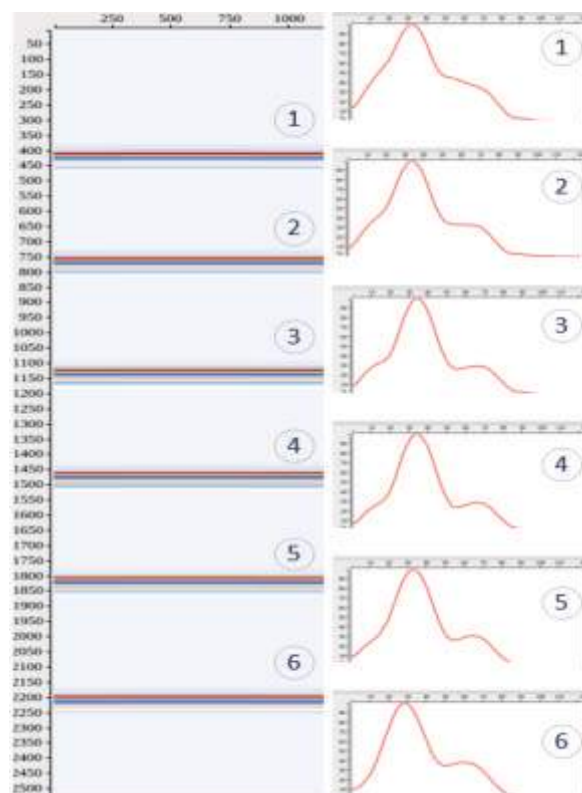
Можно предложить множество способов деконволюции и корректирующей фильтрации с использованием этих оценок. Можно обсуждать их применимость для решения инверсионных задач. Важно, что при этом мы можем контролировать искажения амплитуд в любой интересующей нас норме. Авторы часто используют **matching** так, как это было описано. Далее обсудим и некоторые другие возможности.

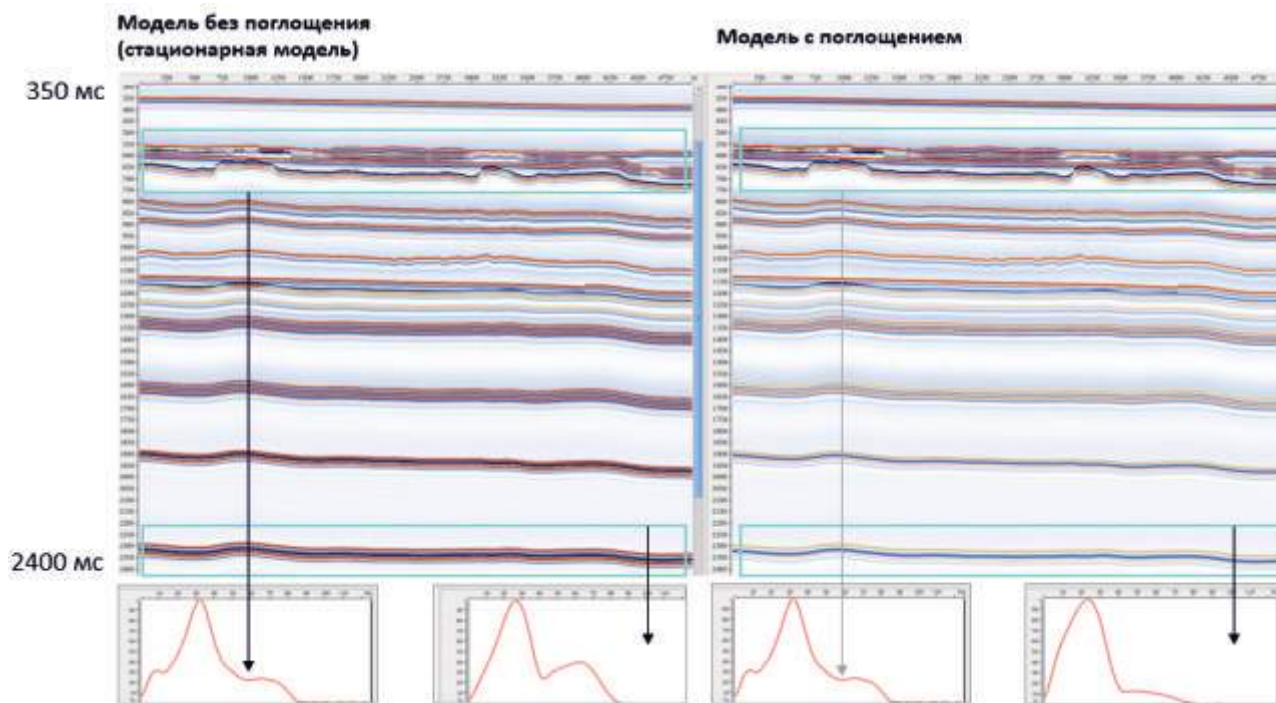
В этой технике есть некоторые особенности. Так деконволюция для оценки формы сигнала может быть выполнена с более жесткими параметрами, чем та, что обычно применяется для обработки. Подбор параметров процедуры **matching** контролируется остатком от вычитания адаптированного поля из исходного. Выбор параметров осреднения на всех этапах определяется поставленной задачей обработки (требуется ли устранить или идентифицировать быстрые флуктуации формы сигнала или речь идет о гладких компонентах). Методи-

ческие особенности подхода могут быть разнообразны.

Теперь рассмотрим результаты нестационарной деконволюции в стационарной модели. В самом деле, в реальной жизни мы не знаем априори – стационарна запись или нет (точнее знаем, что она всегда нестационарна, но меру этой нестационарности не знаем). Ясно, что оценки статистик будут хуже и оценки сигналов нам это покажут. На рисунке 6 показаны такие оценки.

▼ Рис. 6. Оцененный сигнал и его спектр при нестационарной деконволюции стационарной модели.





▲ Рис. 7. Слева – модель без поглощения (стационарная модель), справа – модель с поглощением.

Видно, что они изменчивы по времени, хотя дисперсия и не очень велика. Результат деконволюции будет хуже (хотя он всё равно неплохой, когда используется описанная технология с применением процедуры **matching**). Не будем рассматривать результаты стационарной деконволюции, чтобы не перегружать статью подробностями, а отметим, что по флуктуациям оценок мы можем видеть, что они не обусловлены каким-либо физически обоснованным эффектом и, глядя на них, можно понять, что разумно использовать стационарный режим фильтрации.

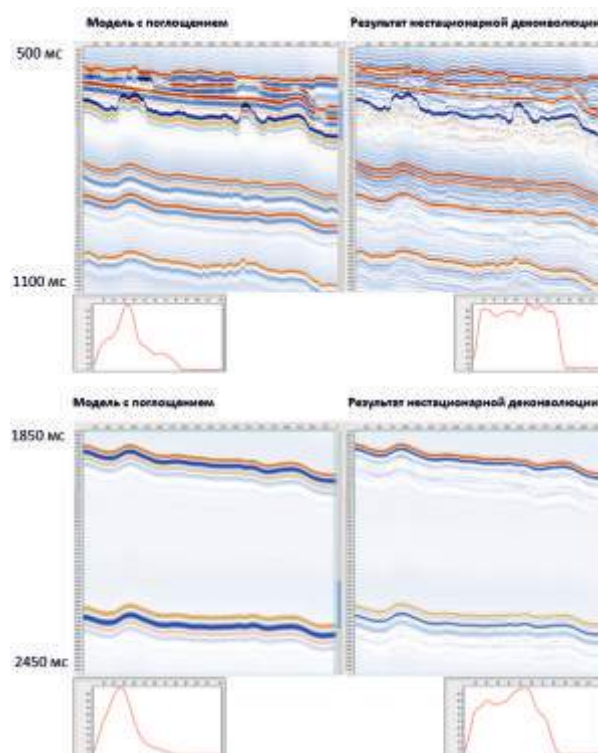
Перейдем к нестационарной модели сейсмической трассы. Для этого введем в запись поглощение. На рисунке 7 показаны модели сейсмической трассы без поглощения и с поглощением. Спектры показывают, как изменился частотный состав записи. Видно, что и амплитуды стали затухать со временем.

Результат стационарной деконволюции этих данных также приводить не будем, он вполне ожидаемый. На рисун-

ке 8 показан результат нестационарной деконволюции.

Сверху – модельный разрез с поглощением, снизу – полученный в результате деконволюции. Прежде всего мы видим,

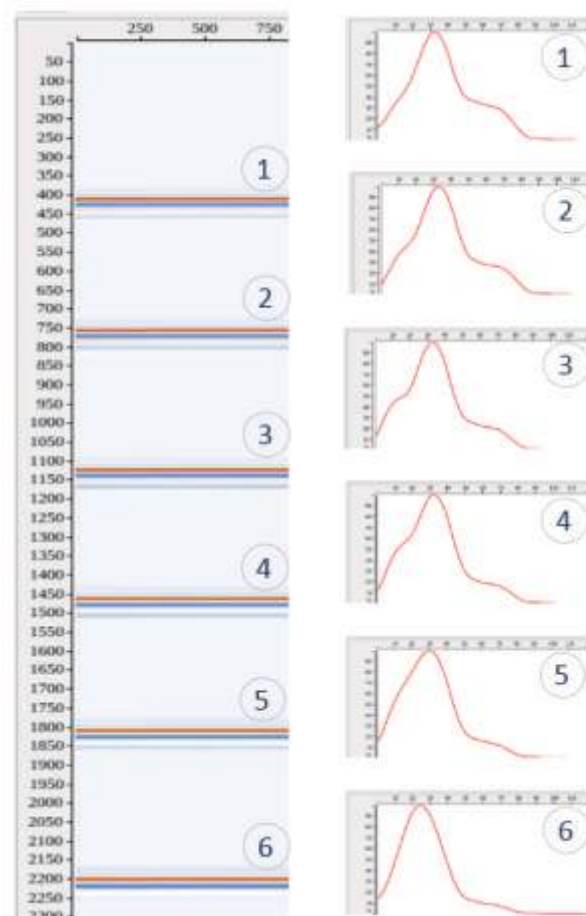
▼ Рис. 8. Сверху – модель без поглощения (стационарная модель), снизу – модель с поглощением.



что результат деконволюции сильно отличается амплитудами. Это и понятно – деконволюция выравнивает амплитудный спектр сигналов, но амплитуды не восстанавливает. Здесь, правда, фрагменты в окнах выровнены по средним энергиям для визуализации, поэтому эффект не столь заметен, но он всем хорошо известен и не нуждается в подробном иллюстрировании. Более того, после деконволюции падение амплитуд, обусловленное поглощением, только усиливается. В этом один из главных упреков к обратной фильтрации. Сейчас, однако, обратим внимание на то что уровень артефактов деконволюции тоже возрос. К влиянию импульсной трассы (невыполнению статистических предположений) – нестационарная деконволюция более чувствительна. В самом деле, наиболее простой и очевидный способ нестационарной деконволюции – многооконная. На нем особенно очевидна ущербность процедуры, обусловленная недостаточностью статистики. В самом деле, если бы мы назначили семь окон вокруг пачек отражений, то получили бы семь фильтров, компенсирующих не изменчивость формы импульса, а эффекты интерференции, что недопустимо. Мы, конечно, применяем здесь алгоритм, основанный на разумных моделях нестационарности, а именно нестационарную предсказывающую деконволюцию с параметризацией нестационарности гладкими функциями времени [9], но и эту процедуру нельзя считать вполне безобидной, хотя в данном случае результат выглядит не плохо.

Посмотрим на оценки формы сигнала, полученные по изложенной выше методике. Они показаны на рисунке 9.

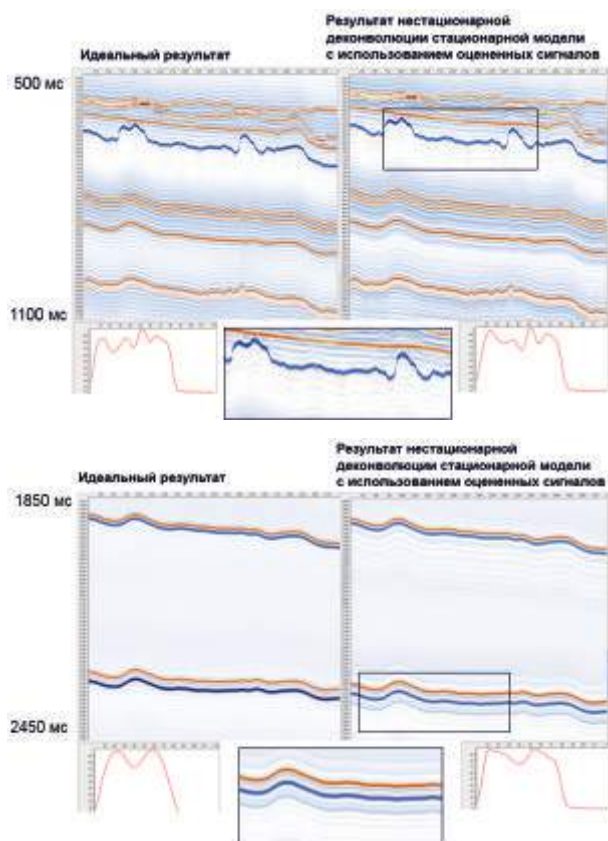
Из этих оценок убраны некоторые осцилляции (простым «усечением» с помощью весовой функции). Оценки



▲ Рис. 9. Оцененный сигнал при нестационарной деконволюции модели с поглощением.

вполне похожи на идеальные, хотя и с точностью до неизвестного пока множителя. На следующем рисунке 10 показаны результаты обработки посредством **matching**-деконволюции. Видно, что артефакты деконволюции существенно меньше.

И вот теперь мы переходим к наиболее важному тезису работы. Как мы видим, деконволюция приводит к вполне закономерному и понятному изменению амплитуд сигналов. В данном случае оно носит нестационарный характер и обусловлено эффектом поглощения. Мы имеем оценки формы сигнала, полученные с точностью до множителя. Их можно выравнивать по амплитуде и, применив к ним тот же оператор деконволюции, скомпенсировать искажения амплитуд. Этот прием очевиден и его иллюстра-



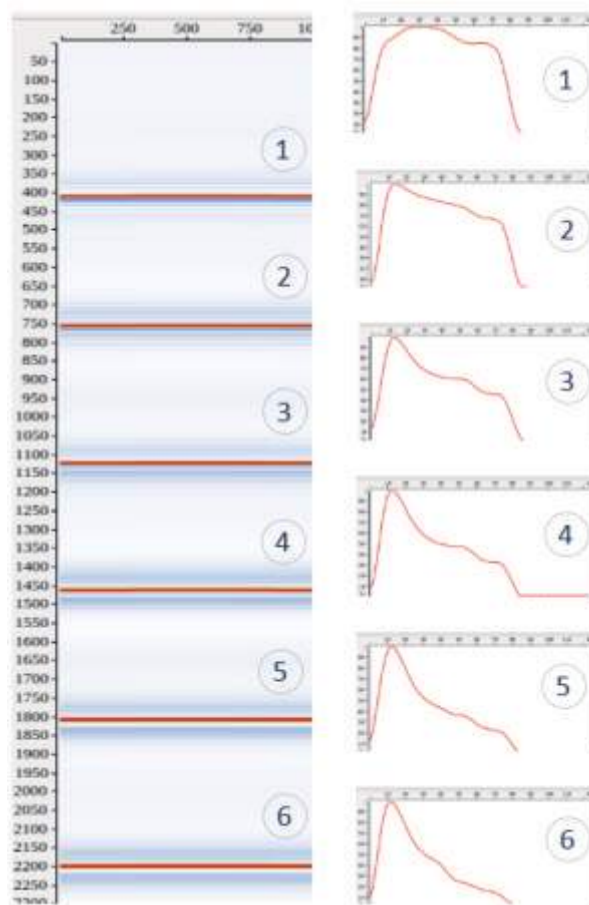
▲ Рис. 10. Сверху – идеальный результат, снизу – результат нестационарной деконволюции с использованием оцененных сигналов.

цию мы тоже пропустим, поскольку наиболее интересной становится возможность сделать «слепую» деконволюцию – «факторной».

В данном случае мы показываем, как можно скомпенсировать эффекты поглощения.

На следующем рисунке показана форма сигнала после стационарной деконволюции за «верхнюю часть» разреза (рисунок 11). Показаны амплитудные спектры, в которых эффект поглощения выявлен настолько очевидно, что оценка параметров декремента сложностей не представляет.

На следующем рисунке показан результат приведения трассы к стационарному виду за счет коррекции поглощения (рисунок 12). Оценка параметров декремента производилась отдельным этапом, на котором здесь останавливать-



▲ Рис. 11. Формирование оператора поглощения.

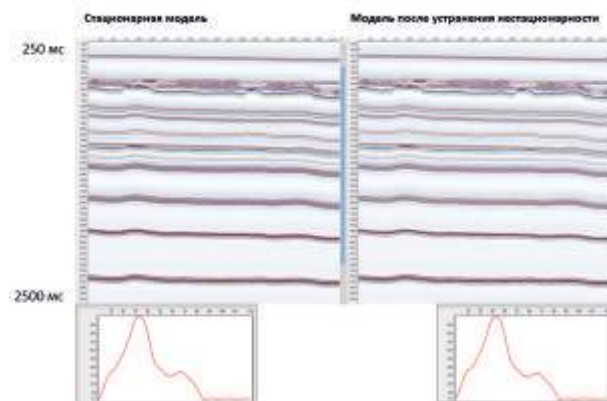
ся не будем, поскольку, по нашему мнению, здесь годится любой работоспособный алгоритм оценки параметров частотно-зависимого затухания, т. к. модельные трассы свободны от интерференции по построению.

В данном случае был применен алгоритм, описанный в [3], но, как отмечено выше, годится и любой другой (например, по оценке наклона логарифма отношения амплитудных спектров сигналов, приписанных к заданным горизонтам).

Сопоставление со стационарной моделью показывает, что компенсация поглощения выполнена почти идеально.

Наконец, на рисунке 13 показан окончательный результат деконволюции с коррекцией поглощения.

Это лишь одно из приложений методики, которое представляет самостоятель-

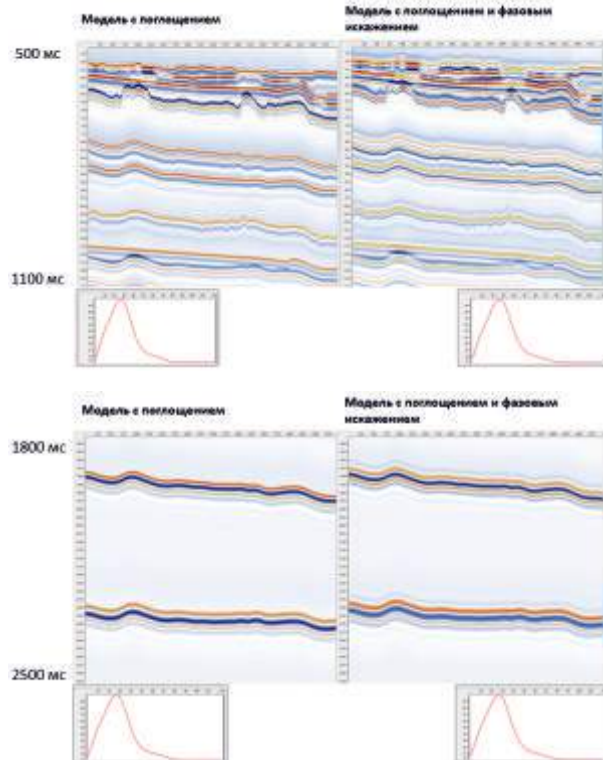
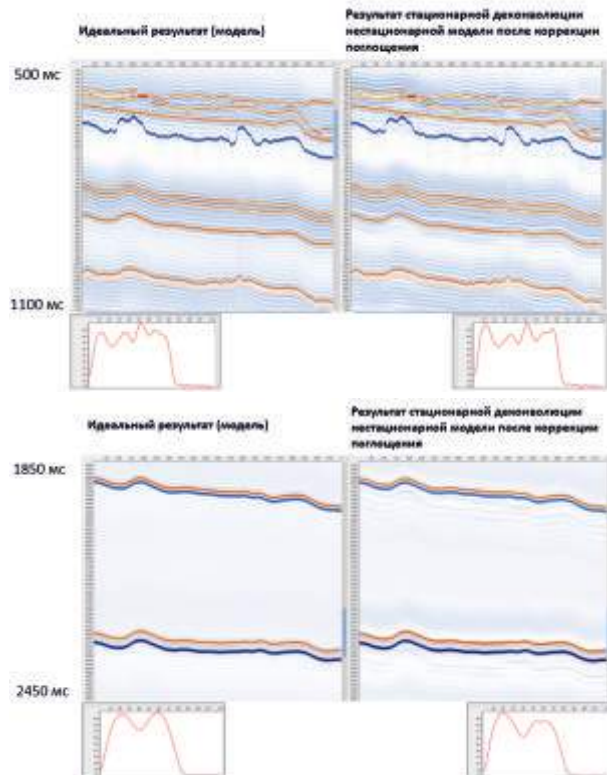


▲ Рис. 12. Формирование оператора поглощения.

ный интерес. Главная идея состоит в том, чтобы сопровождать деконволюционные процедуры оценками формы сигнала и контролировать по ним искажения динамики записей.

Понятно, что оценки здесь делаются в тех же предположениях, в рамках которых делалась деконволюция. Так, если деконволюция была нуль-фазовой, то и оценки формы сигнала будут нуль-

▼ Рис. 13. Сверху – идеальный результат (модель), снизу – результат стационарной деконволюции нестационарной модели после коррекции поглощения.



▲ Рис. 14. Сверху – модель с поглощением, снизу – модель с поглощением и фазовым искажением.

фазовыми, а, если как в приведенных экспериментах, форма сигнала предполагалась минимально-фазовой, то и оценки будут минимально-фазовыми.

Над ними можно производить дополнительную обработку, сглаживать по пространству, взвешивать по времени, отсекая осцилляции и т. п.

Важно понимать, что, хотя фазовые характеристики сигнала мы получаем в согласии с модельными предположениями, – это не отменяет возможности их последующей коррекции.

На рисунке 14 показан тот же разрез с нестационарной формой сигнала, свёрнутой с некоторым чисто «фазовым» фильтром.

Характеристика фильтра и его фазовый спектр показаны на рисунке 15.

Характер волновой картины не очень усложнился, т. к. амплитудный спектр сигнала сравнительно узкий. А вот после минимально-фазовой деконволюции,

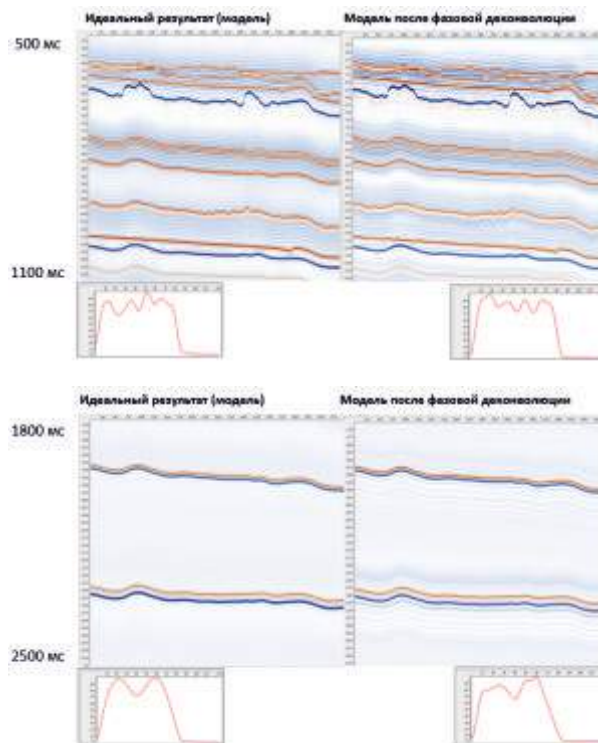
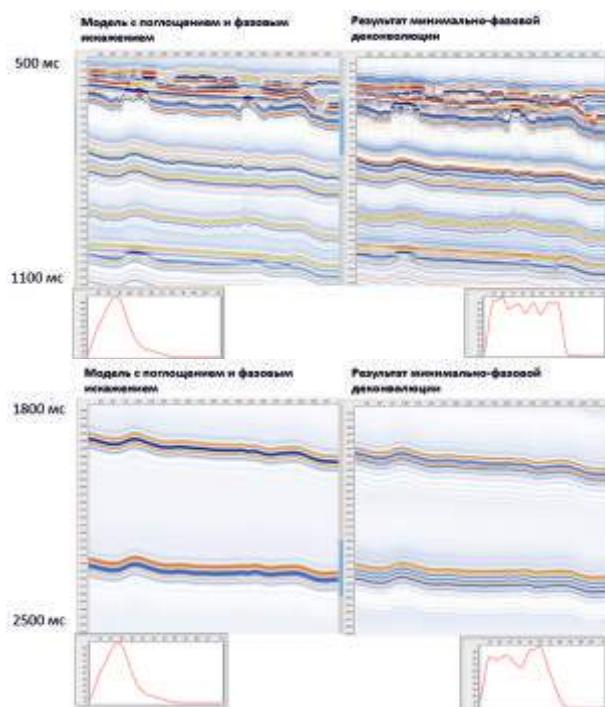


▲ Рис. 15. Характеристика фазового фильтра.

когда спектр расширился – запись стала гораздо сложнее. Это видно из рисунка 16.

При этом, оценки формы сигнала, конечно, получатся теми же. Они извлекаются из того же минимально-фазового оператора. Последующая коррекция фазового спектра, как видно из рисунка 17, полностью решает задачу. Применен способ, описанный в [11].

▼ Рис. 16. Сверху – модель с поглощением и фазовым искажением, снизу – результат минимально-фазовой деконволюции.



▲ Рис. 17. Сверху – модель с поглощением и фазовым искажением, снизу – модель после фазовой деконволюции.

Получаем и оценки формы сигнала уже смешанно-фазового в той же технике с применением **matching**'а.

Надо сказать, что применение фазовой деконволюции требует особого контроля: фазовый фильтр определяется с точностью до знака и подвижки и значит может приводить даже к структурным искажениям результатов. Конечно, в программах предусмотрено множество защит от такого рода искажений. Но все же, необходимо иметь возможность контролировать работу процедуры, особенно при площадных наблюдениях. Предлагаемая методика позволяет это делать (и, кстати, всегда применялась нами при фазовой деконволюции 3D данных [13]).

Выводы

Предлагается методика сопровождения процедур деконволюции оценками формы сигналов, на которых базируются эти алгоритмы. На основе этих оценок

можно развивать новые способы обратной фильтрации, но, главное – появляется возможность контроля искажений динамики в ходе обработки.

Получаемые оценки позволяют сделать «слепую» деконволюцию – «факторной», что может не только реабилитировать традиционные подходы в графах «динамической обработки», но и повысить эффективность и надежность процедур.

Matching – сам по себе становится эффективным средством деконволюции и развитие алгоритмов этой группы так же представляет интерес с точки зрения совершенствования способов обратной и корректирующей фильтрации.

В работе подробно рассмотрен пример нестационарной деконволюции, одной из наиболее «подозрительных» процедур с точки зрения искажений динамических параметров. Кроме того, продемонстрирован новый инструмент оценивания параметра поглощения, крайне востребованный в современной обработке. Конечно, основной смысл работы состоит в том, что метод полезен для контроля динамики при использовании любых свёрточных процедур в общем, и деконволюционных в частности.

Литература

1. Ампилов Ю. П. Поглощение и рассеяние сейсмических волн в неоднородных средах. – 1992. – 154, [1] с.: ил.; 20 см.; ISBN 5-247-03382-5: Б.
2. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику, Ч. 1, Случайные процессы, М., 1976.
3. Денисов М. С., Оберемченко Д. М., Фиников Д. Б. Амплитудная деконволюция сейсмических записей с учетом частотно-зависимого поглощения // Геофизика. – 1999. – №. 4. – С. 25-29.
4. Кондратьев О. К. Сейсмические волны в поглощающих средах. – Недра, 1986. – 174, [2] с.: ил.; 22 см.
5. Кунченко Д. С., Родин И. В., Фиников Д. Б. Оценивание параметров поглоще-

ния и Q-деконволюция в пластовой модели среды в обобщённой статистической модели сейсмической трассы.

6. Кунченко Д. С., Фиников Д. Б. О задачах деконволюции сейсмических записей и возможностях контроля формы сигнала // ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. – 2018. – С. 579-582.

7. Кунченко Д. С., Фиников Д. Б., Шалашников А. В. Влияние фазового спектра сигнала на результаты робастной деконволюции // ГеоЕвразия 2020. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. – 2018. – С. 45-48.

8. Малкин А. Л. Негауссовская статистическая модель сейсмической записи // Геология и геофизика. – 1989. – №. 1. – С. 106-115.

9. Полубояринов М. А., Фиников Д. Б. Предсказывающая деконволюция в задаче коррекции нестационарных сейсмических записей // Технологии сейсморазведки. – 2006. – №. 1. – С. 24-32.

10. Сильвия М. Т., Робинсон Э. А. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ: пер. с англ. – Недра, 1973. – 413 с.

11. Фиников Д.Б. Симметризирующие фильтры // Технологии сейсморазведки. – 2007. – № 1. – С. 26-36.

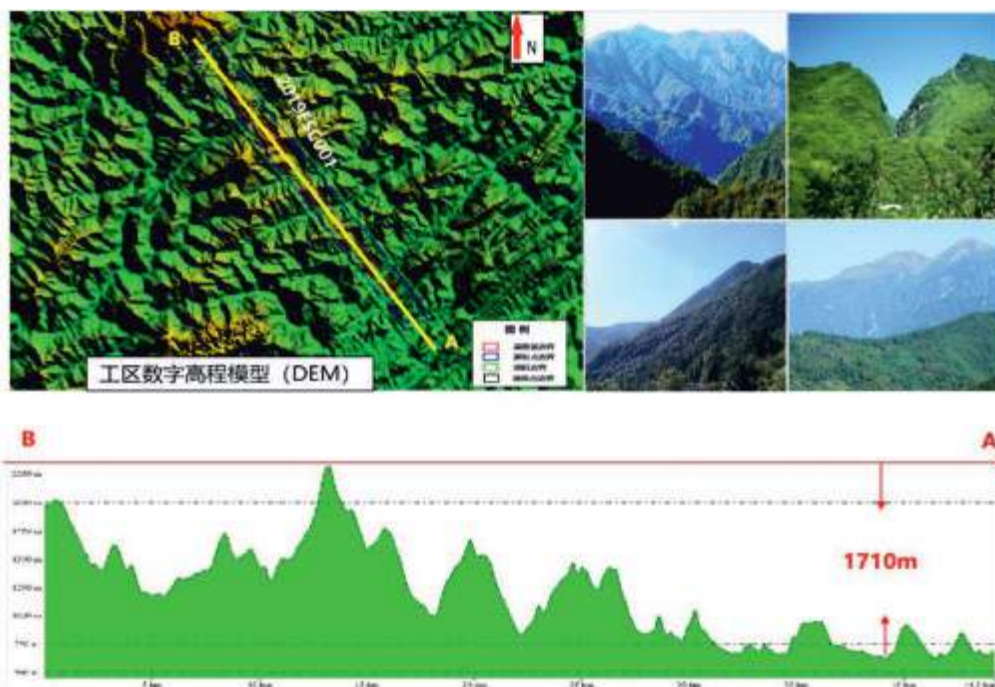
12. Фиников Д.Б., Сорин А.Я. Возможности определения формы сигнала в рамках традиционной модели сейсмической трассы. // Деп. ВИНТИ. № 3625-84 деп.

13. Овчинников К.Р., Фиников Д.Б., Рябинский М.А. фазовая деконволюция 3d-данных сейсморазведки. Технологические и методические аспекты применения статистического алгоритма коррекции фазового спектра // Геофизика, выпуск №3 2022г. с. 16-22.

SmartSolo позволяет выполнить проект сейсморазведки 3D в девственных лесах на юго-западе Китая

■ Мингванг Ли, инженер технической поддержки SMARTSOLO INC.

► Рис. 1.
Типичный ландшафт на площади работ.

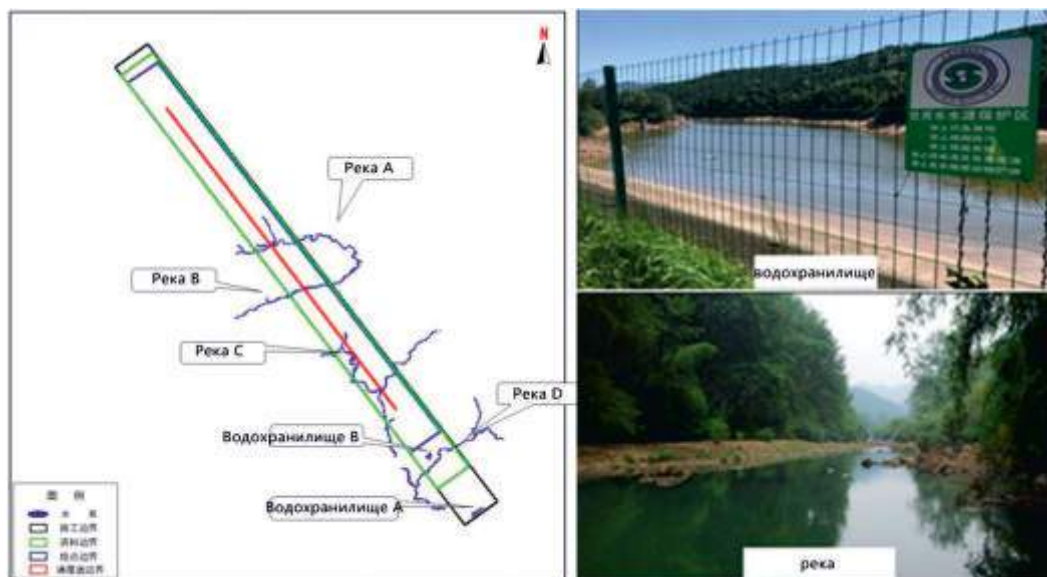


Благодаря современным надежным нодальным системам, которые весят немного, легки в обслуживании, гарантированно фиксируют сейсмическую информацию, становится возможным выполнение проектов в местах, недоступных ранее для кабельных систем.

В 2021 году компания BGP (Bureau of Geophysical Prospecting INC., China National Petroleum Corporation) исполь-

зовала более 40,000 каналов интеллектуальных сейсмических датчиков SmartSolo IGU-16 для проведения проекта трехмерной сейсморазведки на юго-западе Китая. Общая площадь исследования составила 100 кв.км. Основной источник возбуждения был взрывной, при этом 300 ПВ были отработаны вибрационным источником. Всего было отработано 5520 ПВ. Девственный лес, много-

► Рис. 2.
Водные препятствия.



численные водные преграды, крутые ущелья, практически, отсутствие дорог и безлюдная зона — вот с чем пришлось столкнуться сейсморазведчикам. Несмотря на то, что площадь исследования очень сложная, требования по безопасному ведению работ не были снижены. Скорее, наоборот.

Рельефный перепад в пределах площади работ: максимальная альтитуда около 2,320 м, минимальная альтитуда около 610 м, перепад высот 1,710 м.

Четыре реки пересекают центральную и южную части площади исследования, ширина реки около 30-50 м. Кроме того, два небольших водохранилища и рыбные хозяйства также присутствовали на площади работы. Одно из водохранилищ еще и является особо охраняемой территорией источника питьевой воды.

В процессе реализации проекта возникли следующие основные технические трудности:

- Работы проходили в густом девственном лесу на крутом рельефе, что осложняло прохождение сигнала GPS;
- Сложные сейсмогеологические условия, связанные с большими углами наклона отражающих горизонтов и разломной тектоникой;
- Невозможность движения техники в связи с изрезанным рельефом и большое количество ручной размотки обуславливали высокий риск при сейсмических операциях;
- Сложности обеспечения равномерной расстановки регистрирующей системы наблюдения;
- Высокий риск потери оборудования при смотке

Для минимизации данных рисков на проекте были реализованы следующие решения:

- Проект был отработан практически без коммутации, так как было использо-



▲ Рис. 3. Работа по подготовке оборудования Smart Solo на проекте.

вано достаточное количество оборудования для покрытия датчиками почти всей площади работ;

- На проекте была использована беспроводная сейсморазведочная система SmartSolo, имеющее встроенный высокоточный и качественный GPS-модуль, который успешно осуществлял привязку GPS в девственных лесах.

- Оборудование SmartSolo позволяло осуществлять расстановку вручную, на рельефе любой крутизны, что дало возможность реализовать регулярную систему наблюдения. Бескабельное сейсморазведочное оборудование отличается малым весом, отсутствием необходимости подключения кабелей и простотой развертывания, что значительно снижает сложность расстановки и

▼ Рис. 4. Восемь точек, где проводится эксперимент поиска GPS.





▲ Рис. 5. Отношение "сигнал/шум".



▲ Рис. 6. Дрейф часов.

риски для персонала. Оборудование SmartSolo может работать автономно, а его аккумуляторы могут обеспечивать бесперебойное питание более 25 дней.

- При установке приборов под каждый прибор готовится ровная площадка, несмотря на крутизну склонов и нестабильные рыхлые грунты, каждый прибор устанавливается плотно, что обеспечивает устойчивый прием сейсмической информации.

Для уверенности в надежности работы GPS, на проекте были проведены опытные работы по проверке способности позиционирования оборудования SmartSolo.

В ходе эксперимента было выбрано 8 точек, где поиск GPS мог быть осложнен и проведен анализ работы оборудования. Экспериментально доказано, что оборудование SmartSolo обладает отличными способностями поиска GPS в девственных лесах, и может нормально выполнять работу по сбору данных без потерь отметок абсолютного времени.



▲ Рис. 7. Сейсмотригада за работой.

Экспериментальные данные показывают, что количество спутников GPS, найденных устройством SmartSolo, отношение сигнал/шум, дрейф часов и целостность данных во время эксперимента были кондиционными.

В этом проекте бескабельное сейсморазведочное оборудование SmartSolo сыграли самую существенную и положительную роль в повышении эффективности сбора данных и снижении рисков НСЕ.

Преимущества оборудования SmartSolo, повышающие эффективность работы:

- Оборудование SmartSolo имеет встроенный высокоточный и качественный GPS-модуль, его способность поиска GPS очень высока.
- SmartSolo оборудование избавлено от шумов, связанных с лежащими на поверхности кабелями.
- Погружая приборы в грунт (до 30-40 см) можно обеспечить лучшую шумоза-



◀ Рис. 8.
Прибор надежно
установлен
в рыхлый грунт
на склоне
горы.

щиту полевой системы наблюдения без потерь точности наблюдения;

- Оборудование автономно и не требует дополнительных аккумуляторов на профилях.
- Нет необходимости в больших транспортных средствах для перевозки оборудования и людей, что снижает транспортные риски, повышая безопасность проекта.

Оборудование SmartSolo подходит для таких задач, как поиск углеводородов и других полезных ископаемых методами сейсморазведки, исследование подземного городского пространства, естественный мониторинг сейсмической активности, мониторинг фонового шума и т.д.

В настоящее время произведено уже 420,000 каналов оборудования SmartSolo, которые были использованы более чем в 60 крупномасштабных проектах 3D-сейсморазведки по всему

миру. Оборудование SmartSolo может легко работать в различных сейсмогеологических условиях: таких как девственный лес, горы, глубокий снег, город, сельскохозяйственные угодья и т. д. Оборудование SmartSolo помогает эффективно и безопасно проводить сейсморазведочные работы в самых суровых и экстремальных условиях.

Подробнее об авторе



Мингванг
Ли

инженер
технической
поддержки
SMARTSOLO INC.



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

SCOUT-NT

*кабельно-бескабельный
сейсморазведочный комплекс*

Комплекс разработан для выполнения следующих проектов:



3D проекты любой сложности



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



Любые 2D проекты в любых условиях.



Проекты по изучению ВЧР.



Инженерные изыскания с минимальным интервалом квантования 0.25 ms.



Специальному конструкторскому бюро Сейсмического Приборостроения – 60 лет



■ Тарасов Н.В., Кузнецов И.М. АО «СКБ СП», г. Саратов.

К юбилею АО «СКБ СП».

СКБ сейсмического приборостроения (СКБ СП) было организовано на основании Постановления СовМина СССР № 763 от 23 июля 1962г. и Постановления СовМина РСФСР № 1048 от 2 августа 1962г. в составе треста «Нижволгонефтегеофизика». 01.01.1970 г. СКБ СП было выведено из состава треста «Нижволгонефтегеофизика» и подчинено непосредственно Главному Управлению нефтепромысловой и полевой геофизики Миннефтепрома СССР. В 1994 г. СКБ СП преобразовано в Открытое акционерное общество «СКБ сейсмического приборостроения» (ОАО «СКБ СП»).

На базе СКБ были в последствии организованы Краснодарское КБ и Гомельской СКТБ, которые стали самостоятельными структурами.

Задача организации на тот момент стояла конкретная - осуществить разработку нового оборудования для организации перехода на цифровую запись геофизических данных и разработка устройства для перезаписи аналоговых сейсмограмм в цифру.

Таким образом, в этом году АО «СКБ сейсмического приборостроения» исполняется 60 лет. В то время небольшая группа энтузиастов, работавшая в тресте «Нижволгонефтегеофизика», по инициативе управляющего трестом Николая Леонидовича Гущина занялась проблемой создания машины для автоматического построения сейсмических разрезов. Во главе группы был поставлен Борис Львович Лернер (1923-2003), ставший инициатором создания СКБ СП и бесменно возглавлявший конструкторское бюро в период с 1962 по 1992 г.

Работа Лернера и коллектива СКБ СП были высоко оценены государством. Борис Львович стал Лауреатом Государственной премии СССР (1970, в составе коллектива) — за коренное усовершенствование и повышение геологической эффективности поисков и разведки месторождений полезных ископаемых



▲ Рис. 1. Борис Львович Лернер (1923-2003).

сейсмическим способом; Лауреатом Премии Совета Министров СССР (1986, в составе коллектива) — за разработку, освоение серийного производства и внедрение в отечественную сейсморазведку унифицированных цифровых станций «Прогресс». Заслуженным работником нефтяной и газовой промышленности РСФСР (1980). Награжден орденом Отечественной войны II степени (06.04.1985).

Надо признать, что в успех начатого дела верили немногие. Однако энтузиазм занятых в проекте людей помогли преодолеть все трудности и в 1960 г. первый построитель сейсмических разрезов **ПСЗ-1** появился на свет. А в 1961 г. его модификация — **ПСЗ-2** была запущена в производство. Появление данной машины произвело в геофизической

среде эффект разорвавшейся бомбы. Многие геофизики приезжали в Саратов посмотреть на это чудо и, не веря глазам своим, смотрели, как машина сама, считывая с магнитной ленты полевые сейсмические записи, строила сейсмический разрез.

Именно это изделие положило начало первому этапу научно-технической деятельности СКБ СП – этапу создания комплекса аналоговой аппаратуры для регистрации и автоматической обработки сейсморазведочных данных. Этот этап продлился с 1962 г. по 1970 г.

На данном этапе были разработаны и внедрены в производство:

- миниатюрные сейсмоприемники (СМГ010, СМВ-15, СМВ-20, СМВ-30);
- преобразователи сейсмических записей для автоматической обработки сейсмозаписей на магнитных лентах (ПСЗ-1, ПСЗ-2, ПСЗ-2М, ПСЗ-4);
- магнитные сумматоры для обработки сейсмозаписей на магнитных лентах методом РНП (МС-1, МС-2);
- ряд фотопостроителей для представления сейсмической информации в форме, наиболее удобной для последующей геологической интерпретации (ФБ-1, ФБ-2, ФБ-3, ФБ-4, ФБШД);
- ряд полевых сейсмостанций с записью сейсмоданных в аналоговом виде на магнитную ленту (СМ-24, СМ-48, СС-24-61М, СС-24МН, СС-48М, СС-48МН, СМП-24, СМП-48, СМП-48н).

Передовые технические решения, использованные в сейсмостанциях ряда СМП, и, в частности, широкое использование самой современной на то время полупроводниковой элементной базы, позволили существенно снизить вес аппаратуры и создать портативные и чрезвычайно надежные сейсмостанции.

Выпуск сейсмостанций ряда СМП стал на то время самым массовым в мире. Всего было выпущено более 2300 сейсмостанций. Аппаратурой, входящей в данный комплекс, были оснащены все геофизические предприятия страны и это произвело технический переворот в отечественной геофизической отрасли. В частности, была обеспечена возможность внедрения в повсеместную практику выполнения сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки (МОГТ).

Перевооружение отечественной геофизики новой аппаратурой резко сократило, а, в значительной части, и ликвидировало отставание отечественной сейсморазведки от уровня данной отрасли в США и Франции. Аппаратура, сделанная в Саратове, успешно использовалась и в ряде зарубежных стран (Польша, Болгария, Куба, Югославия, Индия, Сирия, Пакистан, Вьетнам).

На следующем этапе своей деятельности (1971 – 1974 г.г.) СКБ СП разработало и внедрило в производство аналого-цифровой комплекс сейсмоаппаратуры. Необходимость в данном комплексе была вызвана наметившимся переходом сейсморазведки к использованию цифровой вычислительной техники в области обработки сейсморазведочных данных.

Главным результатом работ, выполненных СКБ СП на данном этапе, явилось создание и массовое внедрение в геофизическое производство комплекса специализированных вводно-выводных устройств (**ПОТОК-1, ПОТОК-2**) к универсальным ЭВМ второго поколения. Вводно-выводные устройства ряда ПОТОК обеспечивали считывание сейсмической информации с аналоговых магнитных лент, ввод оцифрованных данных в ЭВМ, а также вывод результатов обработки на

фотопостроитель. Создание и внедрение в производство вводно-выводных устройств обеспечило возможность организации цифровых вычислительных центров во всех геофизических предприятиях Министерства нефтяной промышленности и Министерства геологии. На этой базе геофизические предприятия страны уже с начала семидесятых годов получили возможность вести цифровую обработку сейсморазведочных данных в промышленном масштабе, что обеспечило существенное повышение геологической достоверности и экономической эффективности сейсморазведки. Всего было выпущено более 200 комплексов вводно-выводных устройств «ПОТОК-1» и 60 вводно-выводных устройств «ПОТОК-2».

Последующий этап деятельности СКБ СП, начавшийся в 1975 г., связан с разработкой и внедрением в производство цифровых сейсморегистрирующих систем.

В начале данного этапа основной задачей являлось создание базовой модели ряда цифровых сейсмостанций, а затем – организация серийного производства сейсмостанций данного ряда в масштабах, обеспечивающих потребности геофизического производства страны. В результате успешно проведенных научно-исследовательских и конструкторских работ была создана цифровая сейсмостанция «ВОЛЖАНКА», ставшей первой отечественной цифровой сейсмостанцией, широко внедренной в геофизическое производство страны.

Разработка и внедрение в производство сейсмостанции «ВОЛЖАНКА» положили начало переходу геофизических предприятий страны на цифровую

регистрацию в процессе выполнения полевых сейсморазведочных работ.

В феврале 1978 г. ведущие специалисты Миннефтепрома, Минприбора, Мингео СССР и АН СССР разработали научно-техническую концепцию по созданию современных цифровых сейсморазведочных комплексов, а также предложения по организации их промышленного производства и внедрения в практику разведочных работ. Совместным приказом трех министерств и Академии Наук СССР № 34/118/185/38 от 07.04.78 г. и последующим Постановлением Совета Министров СССР № 343 от 12.04.79 г. «О повышении технического уровня и эффективности геологоразведочных работ» были определены основные этапы по созданию цифровых сейсморазведочных комплексов. При этом, основным исполнителем было назначено СКБ СП.

Выполняя Приказ, в период с 1978 по 1982 г.г. СКБ СП разработало и успешно внедрило в производство цифровые сейсмостанции «ПРОГРЕСС-1», «ПРОГРЕСС-2» и «ПРОГРЕСС-3», предназначенные для работы с различными источниками возбуждения. Одновременно была разработана и внедрена в производство система синхронизации возбуждения «ССВ-2». Дальнейшим развитием сейсмостанций ряда «ПРОГРЕСС» явились цифровые сейсмостанции «ПРОГРЕСС-96» и «ПРОГРЕСС-96В» (1988 г.). Производство сейсмостанций ряда «ПРОГРЕСС» было организовано на 5 заводах Министерства приборостроения. В чрезвычайно сжатые сроки новой аппаратурой были переоснащены все сейсмопартии страны. Объемы производства достигали более 200 сейсмостанций в год. Всего было выпущено более 1500 сейсмостанций данного ряда.

Не будет преувеличением сказать, что все открытия месторождений нефти и газа в СССР с использованием сейсморазведки, практически, вся ресурсная база страны, происходили с использованием аппаратуры, произведенной в СКБ СП.

Решение задачи широкого внедрения цифровой регистрации при выполнении сейсморазведочных работ потребовало создания в СКБ СП Центра подготовки операторов цифровых сейсмостанций. В чрезвычайно сжатые сроки были разработаны соответствующие учебные программы. В качестве преподавателей выступали ведущие специалисты СКБ СП. Всего в учебном центре СКБ СП прошли обучение несколько тысяч геофизиков.

За создание, успешное внедрение в производство и решение задачи переснащения геофизических предприятий страны сейсмостанциями ряда «ПРОГРЕСС» группе ведущих специалистов СКБ СП была присуждена премия Совета Министров СССР. Несколько специалистов СКБ СП были удостоены государственных наград.

Одновременно с разработкой сейсморегистрирующих систем СКБ СП разработало и поставило геофизическим предприятиям различные аппаратные и программные средства диагностики и ремонта аппаратуры – «ТЕСТ-1», «ТЕСТ-1М», «ТЕСТ-4» программный комплекс «КОНТР».

Широкое внедрение в геофизической отрасли цифровой обработки сейсмоданных вызвало необходимость создания в широкоформатных быстродействующих устройствах вывода результатов обработки на твердые носители. И эта задача была блестяще решена путем создания ряда черно-белых электростатических графопостроителей (ЭСПУ-1,

ЭСПУ-2, ЭСПУ-2М, ЭСПУ-К), а также ряда цветных электростатических графопостроителей (ЦГП-1, ЦГП-2, ЦГП-3, ЦГПЭ-К). О сложности решенной задачи говорит тот факт, что до этого подобные устройства производились только в одной стране в мире – в США.

Высокая деловая репутация СКБ СП создавалась и поддерживалась усилиями и талантом работников предприятия на протяжении всех 60-ти лет существования СКБ СП. Но конечно же, следует вспомнить и назвать имена тех, кто стоял у истоков создания Специального Конструкторского Бюро Сейсмического Приборостроения – **Н.Л. Гущина, Б.Л. Лернера, В.А. Углова, Ю.В. Коваленко, И.Ю. Клугмана, Г.П. Барышникова, Г.С. Соколова, З.Х. Шехтера.**

В середине 80-х годов политическая и экономическая обстановка в стране радикально изменилась. Эти изменения привели к разрушению существовавшей в стране сети отраслевых НИИ и КБ. Лишь немногие КБ сумели приспособиться к новым экономическим реалиям и работать в условиях жесткой конкуренции со стороны ведущих западных компаний. Одним из таких исключений является СКБ СП, которое сумело сохранить и упрочить свое положение на российском рынке геофизического оборудования, предназначенного для поиска углеводородного сырья, и успешно сотрудничать как с отечественными, так и зарубежными геофизическими компаниями.

В девяностые годы, когда СКБ было под патронажем Минтопэнерго, была поставлена задача и выделено финансирование на разработку телеметрических сейсмосистем. Первой была станция «Прогресс 1», которых выпустили 10 штук. После 1996 года СКБ перестало получать бюджетное финансирование и,

имея колоссальный опыт разработки геофизического оборудования и целеустремлённый и достаточно молодой коллектив, в короткие сроки создало новую телеметрическую сейсмосистему **«Прогресс-Т2»**, которая до настоящего времени продолжает работать в ряде организаций.

Традиции советской школы приборостроения, уникальный опыт создания аппаратуры мирового уровня в условиях рынка, причем, практически без чьей-либо поддержки, позволили разработать и создать абсолютно конкурентноспособное оборудование для выполнения геофизических исследований широкого спектра решаемых задач.

В настоящее время номенклатура продукции, производимой и поставляемой АО «СКБ СП» российским и зарубежным потребителям, включает:

- Сейсморегистрирующие системы кабельного типа **«Прогресс-Т3»**;
- Сейсморегистрирующие системы кабельного типа **«Прогресс-Т155»**;
- Сейсморегистрирующие системы бескабельного типа семейства **«SCOUT»**, включая:
 - бескабельную сейсмосистему **SCOUT**;
 - бескабельную сейсмосистему **SCOUT-3C** для микросейсмического мониторинга с использованием геофонов, 3C геофонов и активных сейсмографов;
 - 48-канальную бескабельную сейсмосистему **«SCOUT-L»** для решения задач ВЧР с любым шагом расстановки и передачей данных в режиме реального времени.
 - сейсмостанцию **«SCOUT-MCK»**,
- Система синхронизации возбуждения сейсмических колебаний **ССВ-3**;
- Системы ускоренного электропрофилирования с использованием дипольных емкостных линий **БИКС** и **БИКС-М**.

- Сервисное оборудование, предназначенное для контроля технического состояния узлов и блоков сейсморегистрирующих систем.

- Различное тестовое оборудование: тестер геофонов, обрывоискатель телеметрических кос, тестер боевой линии для системы синхронизации.

Все перечисленные выше изделия относятся к постоянной номенклатуре продукции АО «СКБ СП», и пользуются спросом у российских и зарубежных геофизических предприятий, выполняющих поиск нефтяных и газовых месторождений, а также оказывающих различного рода геофизические услуги на действующих месторождениях углеводородов. География поставок оборудования СКБ СП охватывает практически все страны СНГ, а также ряд стран дальнего зарубежья.

Традиционно оборудование, поставляемое СКБ СП, отличается современным уровнем технических параметров, высокая надежность и удобство в работе. В СКБ СП действует хорошо отлаженная система сервисного обслуживания. При необходимости СКБ СП проводит пусконаладочные работы и обучение специалистов геофизических предприятий.

Кроме кабельной телеметрии в СКБ не прекращается работа по развитию передовой бескабельной сейсмосистемы **БАРС** со встроенными геофонами. Опытный образец данной телеметрии выходит на испытания. В СКБ все разработки высокого исполнения в части технических требований к параметрам, которые характеризуют качество и надежность оборудования. Таким образом, преданность своему делу, умение решать поставленные задачи при выполнении НИОКР, это присуще разработчикам нашей организации.

В настоящее время АО «СКБ СП» при поддержке Министерства промышленности Российской Федерации разработало и внедряет в геологоразведочные предприятия страны самую современную телеметрическую сейсморазведочную кабельно-бескабельную сейсмосистему SCOUT-HT с возможностью регистрации до 100 000 активных каналов. Оптоволоконная передача данных между линиями, использование коммутаторов с энергонезависимой памятью, синхронизация модулей через GPS/GLONASS, использование в единой расстановке кабельных полевых модулей, бескабельных полевых модулей SCOUT с передачей данных по радиоканалу, автономных бескабельных модулей БАРС со встроенным геофоном, технология перенаправления и сохране-

ния данных в случае обрыва межкабельных и межлинейных соединений, делает SCOUT-HT максимально гибкой и надежной в работе.

В СКБ СП продолжают трудиться опытные специалисты, ровесники самой организации, и уже пришло другое поколение, обладающее современными знаниями и умением применять в разработках мировые технологии приборостроения.

Поздравляя коллектив АО «СКБ СП» с юбилеем, хочется пожелать этим талантливым и преданным своему делу профессионалам продолжать славные традиции отечественного приборостроения, смело внедрять новейшие технологии, творчески подходить к решению поставленных задач и помнить, что нет ничего невозможного!

Оборудование мирового класса производится в СКБ СП уже 60 лет



ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ **2022**



26–28 октября, г. Москва

Приглашаем Вас принять участие во
II научно-практической конференции

«Электроразведка 2022»

*Теория, методы,
практика*



Тематические направления конференции:

I. Электроразведка полезных ископаемых и геотермальных ресурсов: поиски и разведка рудных, россыпных, нефтегазовых месторождений, угля и термальных вод.

II. Электроразведка на акваториях: теория, методы, решаемые задачи.

III. Инженерная и гидрогеологическая электроразведка, геоэкология и геотехнические исследования.

IV. Электроразведка криолитозоны: прикладные и фундаментальные исследования.

V. Скважинная и наземно-скважинная электроразведка.

VI. Аппаратура, оборудование и программное обеспечение.



www1.elektrozvedka.ru/
тел. +7 (985) 411-45-26

Как создать журнал. Из воспоминаний. К 20-тилетию первого номера журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики»

■ Михеев Д. С., ООО "СамараНИПИнефть", г. Саратов.



Михеев Денис Сергеевич
первый выпускающий
редактор журнала
«Приборы и Системы
разведочной
геофизики», к.г.-м.н.,
главный эксперт по
геологии ООО
"СамараНИПИнефть"

В Саратовском Государственном Университете в конце девяностых - начале двухтысячных проводилось множество научно-практических конференций. На одной из них во время перерыва в коридоре я увидел высокого улыбающегося человека, который оживленно рассказывал окружающим про технические возможности станций «Прогресс». Это был Павел Алексеевич Турлов.

Речь его была наполнена фразеологическими оборотами, анекдотами и высказываниями, нетипичными для технического языка. Одобрительный громкий смех, активная жестикуляция, кивки головами интриговали окружающих. Сформировавшийся вокруг него круг с каждой минутой разрастался.

«Вкусно, свежо» - зачастую произносил Павел Алексеевич, когда оппоненты высказывались о новаторстве в отечественном приборостроении. Несколько вопросов удалось задать и мне. После чего он пригласил продолжить беседу в «СКБ Сейсмического приборостроения» («СКБ СП»). И так получилось, что я пришел. Сходу мне было рассказано несколько забавных историй, связанных с работой геофизиков, а потом плавно произошел переход на то, что Павел

Алексеевич много лет вынашивал мысль издать не имеющий аналогов в России журнал. Спросил не хотел бы я в этом поучаствовать. На мое «Да интересно, но никогда ничем подобным не занимался», Павел Алексеевич рассказал еще несколько анекдотов, затем познакомил с главным бухгалтером СО "ЕАГО" Мокроусовой Екатериной Ивановной, представив меня сразу в роли выпускающего редактора планируемого журнала. Затем Павел Алексеевич совершил звонок, и вскоре в кабинете появился Роман Голубев, который сходу сказал – «Ну все! Поехали. Журналу быть!».

То, что журнал появился именно в Саратове – не случайность. Школа саратовской геофизики в те времена высоко котирировалась в России (а ранее и в СССР). Университет с мощной кафедрой и славными традициями, чьи выпускники и сегодня в числе ведущих специалистов отрасли, две крупные геофизические организации – Трест «Саратовнефтегеофизика» и институт «НВ НИИГГ», несколько предприятий геофизического приборостроения - создавали благоприятную среду для свежих геофизических идей и интересных открытий.

В создании трибуны для приборостроителей было крайне заинтересовано «СКБ СП» – предприятие, создавшее знаменитые «Прогрессы» - сейсмостанции, на которых работало большинство советских геофизических компаний.

««Прогресс» - он и в Африке «Прогресс»» - слоган компании, появившийся именно во времена работы Турлова в этой организации заместителем дирек-



▲ Турлов П. А. за работой.

тора по науке. База и традиции, а также потенциальные читатели в Саратове были. Но Павел Алексеевич хотел именно всероссийское геофизическое издание для специалистов-практиков.

И все закрутилось стремительным образом.

Мы все горели этой темой. Турлов умел всех поджечь. Аналогов такого рода журналов в России не было в принципе. Поэтому и подсмотреть что-либо было не где. У членов новоиспеченной редакции перед глазами лежали только самобытные «Каротажник» и «Недра Поволжья и Прикаспия». Но в качестве эталона нужен был современный, цветной, гляцевый журнал. И чтобы интересный был и красочный. Но такого не было. Все делалось с нуля - шли по интуиции и в соответствии с собственным вкусом и предпочтениями. А они были у всех разные. Компромиссы рождались в обсуждениях и спорах.

Павел Алексеевич начал обзванивать потенциальных авторов, оживленно рассказывая про то, что журнал будет выпускаться под эгидой СО "ЕАГО", что аналогов нет, и что он будет инновационным и востребованным. Меня посадил за



▲ Свидетельство о регистрации средства массовой информации.

компьютер записывать основные моменты состоявшихся переговоров с потенциальными авторами. Затем, начали систематизировать приходящие материалы и отклики, находя в них что-либо общее. В связи с тем, что наибольшее количество статей было связано со станциями, было принято первый номер посвятить линейной телеметрии.

У Турлова был настолько разносторонний подход что все это было очень тяжело облечь в какую-то форму. Моя основная роль в происходящем процессе - была сдерживать полет фантазии редакции журнала, приводя все в единую концепцию в рамках весьма ограниченного запланированного бюджета.

И вот благодаря общим усилиям – мы сверстали текстовую часть первого номера.

Павел Алексеевич направил материалы в "ЕАГО", и получил одобрение на издание журнала. Издательство было официально зарегистрировано.

На издание журнала нужны деньги -

основная спонсорская поддержка поступила от «Саратовнефтегеофизика». Мичурин Алексей Витальевич – генеральный директор компании, горячо приветствовал идею журнала, также предложив несколько тем для развития проекта. Помимо этого, неоценимую поддержку оказали ЗАО «Геосвип»тр, «Sersel» и др. А компания «Геосейс» сразу оценила перспективы издания и «застолбила» для себя последнюю страничку обложки на первый и все последующие номера. Всех Павел Алексеевич околдовал и очаровал своей идеей нового журнала.

Большую помощь в переговорах с авторами и спонсорами Павлу Алексеевичу оказывал Роман Голубев. Он задорно воодушевлял на подвиг, когда Павел Алексеевич начинал сомневаться в успехе задуманного мероприятия.

Екатерина Ивановна Мокроусова вела строгий подсчет финансов на блуждающие в воздухе идеи сделать журнал еще круче, констатировала – «Коллеги, на это у нас нет денег». Сразу одна идея сменялась другой, менее затратной - в общем - оптимизация. Екатерина Ивановна кропотливо собирала деньги на безудержную фантазию редакционной коллегии журнала. Финансы требовали учитывать не только число листов каждого номера, но и оценивать многочисленные идеи по бумаге и типографии.

В качестве объединяющего все статьи номера начала была придумана рубрика "Колонка редактора", в которой Павел Алексеевич красочными словами вкратце описывал основные моменты номера, темы будущих изданий, обеспечивая живой диалог нашего коллектива и читательской аудитории. Затем, коллегиально были приняты решения и по названию рубрик.

И вот настал тот момент, когда все собрано воедино и пора было это обернуть в красивую оболочку. Тут на горизонте появился дизайнер Данила Мокроусов. Он покори нас своими возможностями. Выдергивая из статей рисунки, далеко не всегда хорошего казачества, путем различных манипуляций он превращал их в высокоразрешенные шедевры. Затем, на его вопрос о идеях дизайна мы все немного растерялись, взяли паузу. Я начал искать в интернете наиболее интересные дизайнерские решения, применяемые в импортных журналах.

Боковые поля подсмотрели в каком-то международном компьютерном журнале, но как их стилизовать - придумали сами. Фишка с полукругом на обложке - чисто наша с Данилой дизайнерская находка.

По итогу на суд коллектива был вынесен ряд вариантов оформления дизайна журнала, один из которых был единодушно принят «За».

Был выбран финальный срок передачи журнала в типографию. Однако, временные критерии верстки первого номера в связи отсутствием у редколлегии опыта были нарушены. По итогу, финальная верстка первого номера журнала выполнена ночью, а утром уставшие, но довольные передали сверстаный вариант в печать. К сожалению, финальную выверку на предмет ошибок выполнить не удалось, что привело к непомерно большому количеству разного рода ошибок.

Но наша аудитория благодушно и с восторгом приняла итоговый результат. Журнал был настолько красочным и не тривиальным, что ошибки были прощены и вызвали только добрую улыбку у читателей.



Первый номер журнала «Приборы и Системы Разведочной Геофизики» и его последующие выпуски.

Соединение двух составляющих: понимающей грамотной аудитории специалистов-практиков и яркая идея современного красочного издания для геофизиков, которое приятно взять в руки и интересно читать, позволяют журналу жить и развиваться вот уже 20 лет!



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

Сейсморазведка своих не сдает. Разве что в аренду.



Аренда сейсморазведочного оборудования

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

Aram Aries II – телеметрический комплекс

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

GEOTON – семейство невзрывных импульсных сейсмоисточников

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

G-SOURCE / BOLT – пневматический сейсмоисточник

Судно шутер «Скат» для сейсморазведки в транзитных зонах

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

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



ХОЛДИНГ ГЕОСЕЙС