

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

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

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

Введение и история создания

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

На кафедре сейсмометрии и геоакус-

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

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

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

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

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

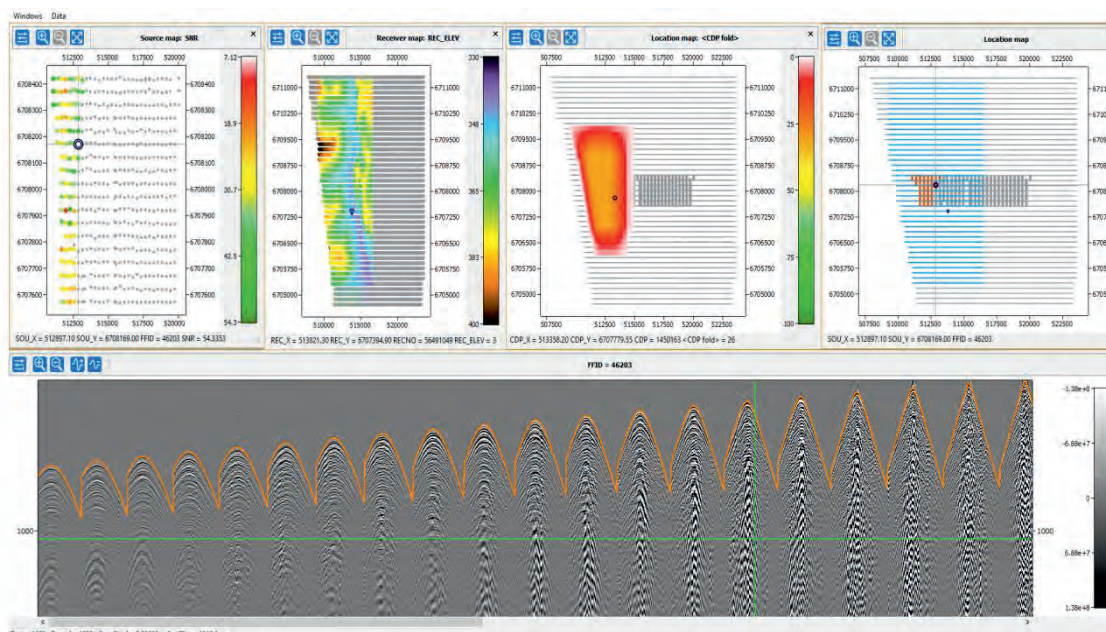
выполнения проектов в различных регионах России и за рубежом.

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

Контроль полевых сейсморазведочных работ

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

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



▲ Рис. 1. Пример карт контроля качества.

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

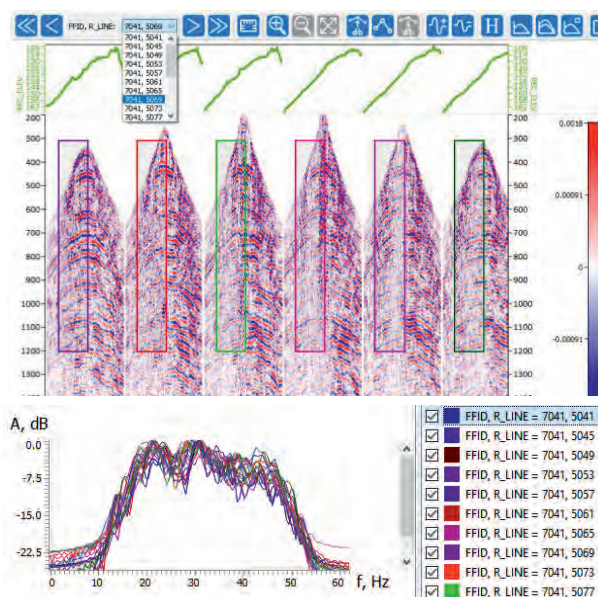
Коллектив геофизиков-разработчиков в течение многих лет занимается вопросами многоволновой сейсморазведки, последовательно расширяя функциональные возможности программного комплекса для обработки и анализа многокомпонентных данных. Наряду со стандартными процедурами обработки, в программном комплексе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

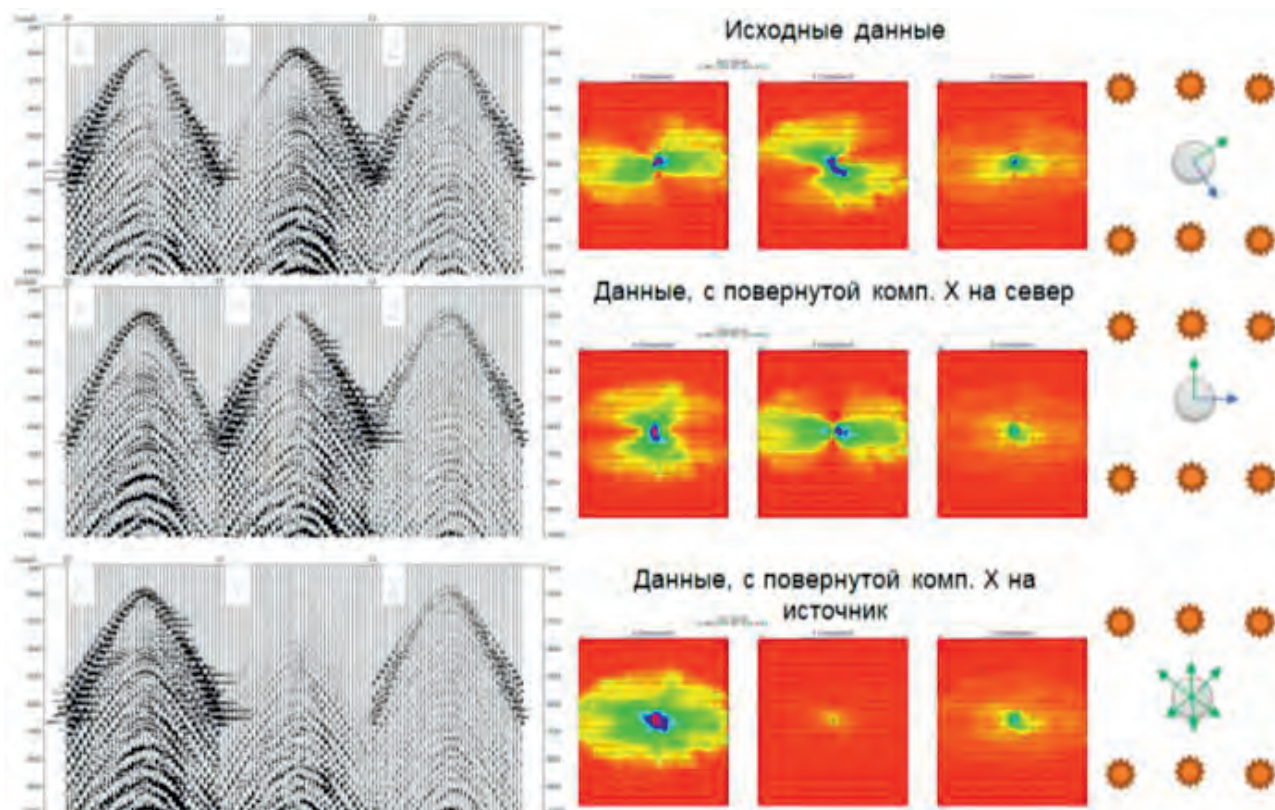
трасс в направлении источника возбуждения, что приводит к более равномерному распределению энергии по основной компоненте и минимизации амплитуд по ортогональной Y-компоненте.

Контроль в реальном времени

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

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





▲ Рис. 3. Пример разворота 3D данных и контроля энергии.

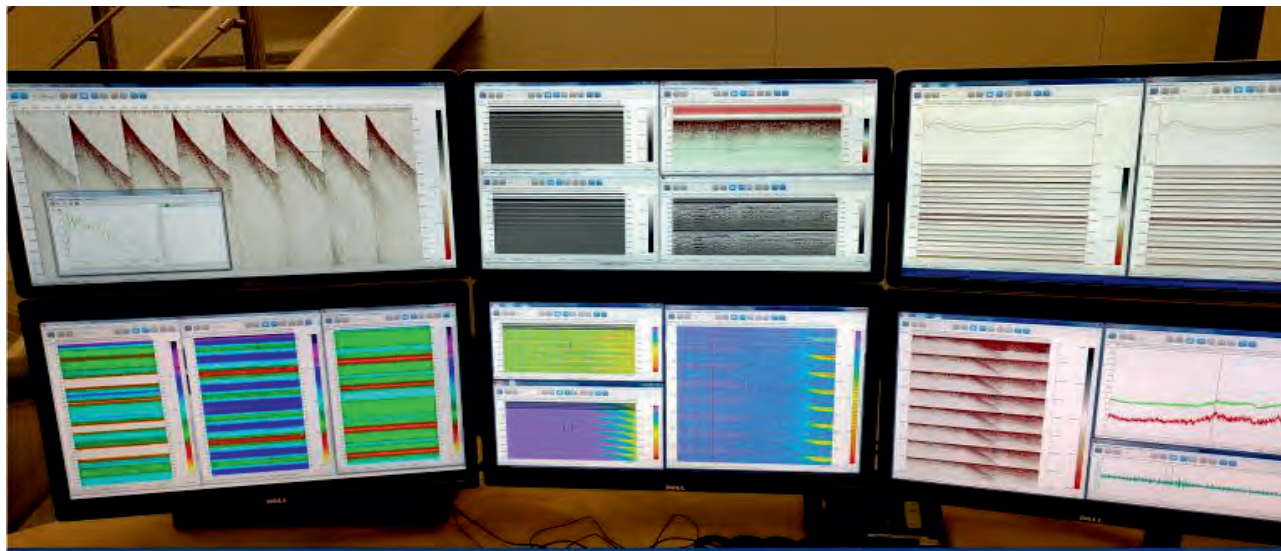
поступающей информации для своевременной оценки соответствия данных требованиям технического задания и принятия решений о необходимости переотработки. Для решения указанных задач функционал стандартной системы контроля качества был расширен за счет создания специализированных программных модулей, обеспечивающих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

Разработанная технология уже применяется на морских сейсморазведочных проектах, обеспечивая оперативное выявление отклонений и повышение эффективности принятия производствен-

ных решений, что способствует сокращению временных и экономических затрат.

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

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



▲ Рис. 4. Контроль качества в реальном времени.

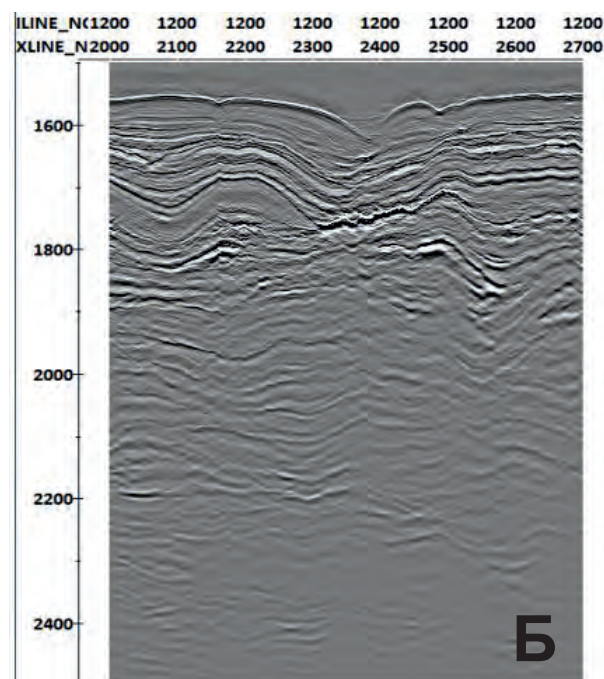
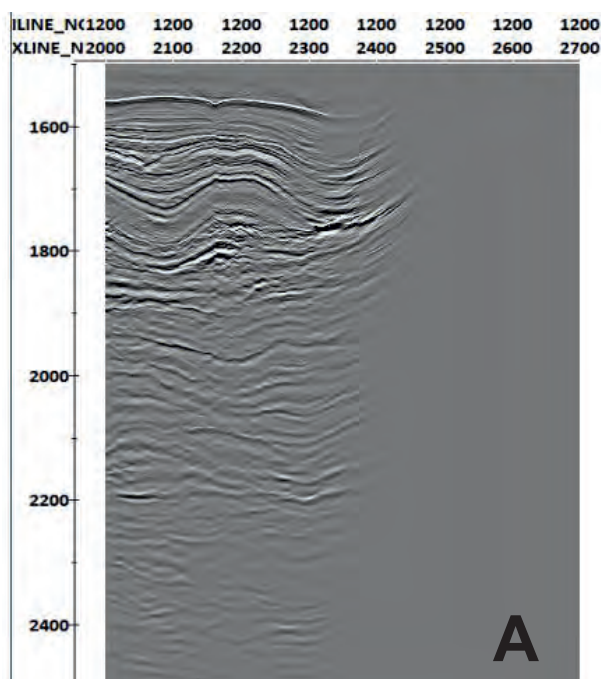
ния данных. На рисунке 5а представлен суммарный временной разрез, построенный по части исследуемого участка. После поступления данных со следующего участка выполняется их досуммирование без необходимости повторного полного пересчета всего массива данных, что существенно ускоряет процесс экспресс-обработки.

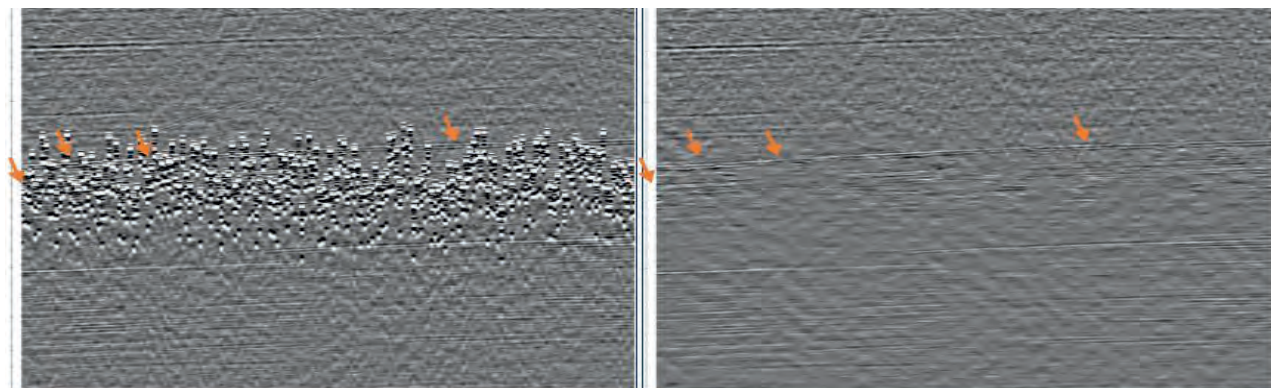
С внедрением высокопроизводительных технологий сейсмических работ на шельфе, предусматривающих одновременную работу нескольких групп источ-

ников возбуждения, одной из актуальных задач становится корректное разделение зарегистрированных сигналов. В программном комплексе «SeisPro» реализован алгоритм Deblending, прошедший многократную апробацию на различных типах сейсмических данных. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 6.

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

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





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

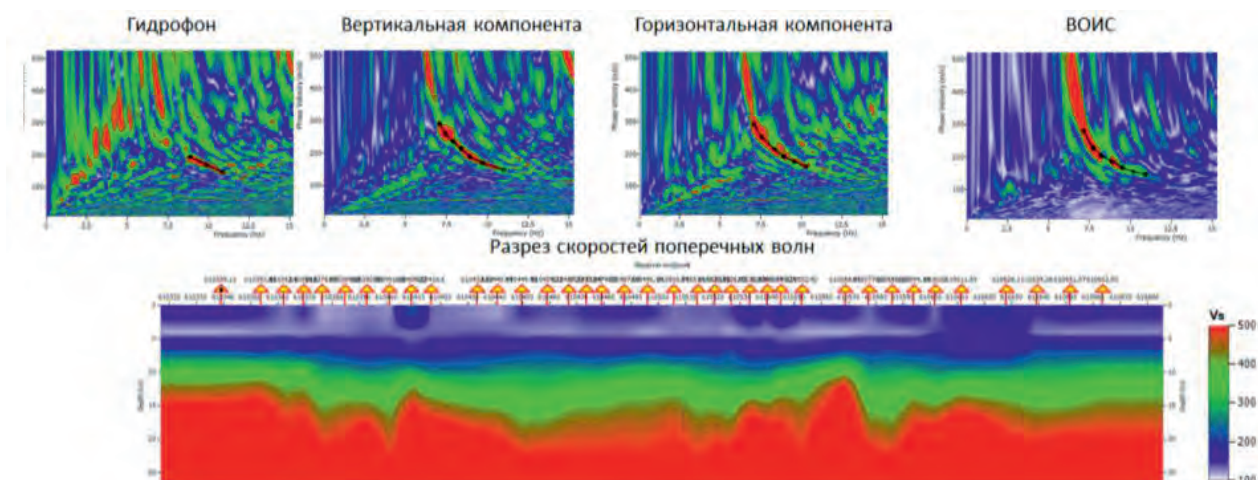
но хотелось обратить внимание на метод многоканального анализа поверхностных волн (MASW), предназначенный для построения разрезов скоростей поперечных волн в верхней части геологического разреза. Метод основан на использовании «граничных» волн и инверсии их дисперсионных характеристик. Высокая энергия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

скоростей поперечных волн. Практическое применение метода показало его высокую эффективность при выявлении опасных геологических процессов и инженерно-геологических неоднородностей в условиях газонасыщенных разрезов на мелководном шельфе.

Оперативный контроль результатов обработки и ИСО

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

▼ Рис. 7. Пример спектров и разрез V_s .

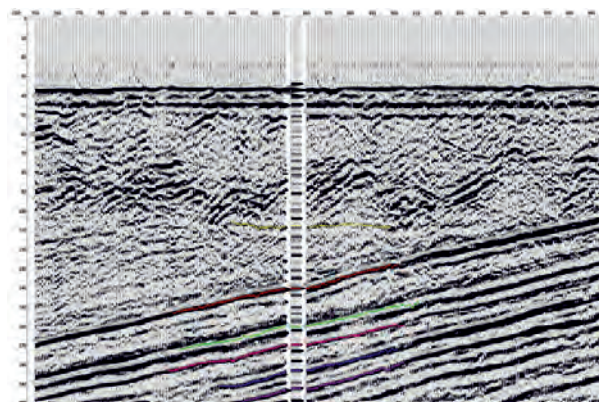


позволяет эффективно использовать его для решения задач ИСО, как со стороны исполнителя работ, так и со стороны заказчика и супервайзера, обеспечивая комплексный анализ результатов обработки на различных этапах технологического процесса.

ВСП и ВОИС

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

В программном комплексе «SeisPro» реализована возможность обработки



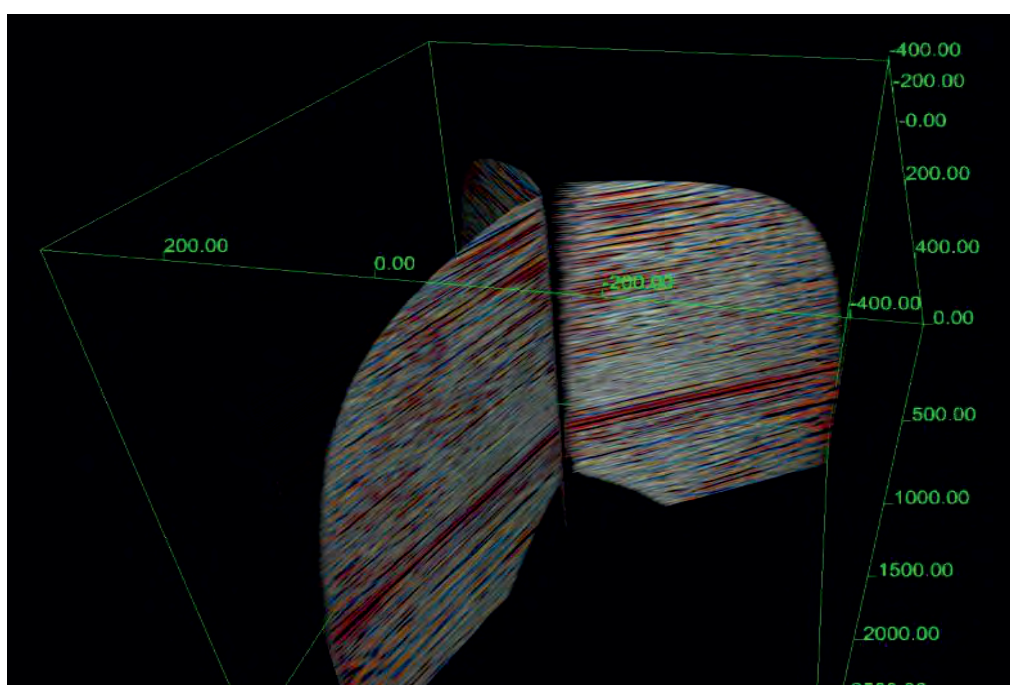
▲ Рис. 8. Фрагмент включения трассы коридорного суммирования ВСП-ВОИС в сейсмический разрез при работах на шельфе [Судакова, 2021].

различных типов ВСП-данных:

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

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

► Рис. 9. Визуализация азимутального НВСП.



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

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

Технические требования

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

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

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

Интерфейс программного комплекса ориентирован на практическое применение и обеспечивает удобную организацию рабочих процессов при выполнении

различных этапов обработки и анализа данных. Для пользователей доступны руководство по эксплуатации и техническая поддержка на русском языке.

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

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

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

Заключение

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

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

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

Благодарности

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

Литература

1. Белов М.В., Потемка А.К., Токарев М.Ю., Понимаскин А.И., Понимаскин А.О. Обработка данных ВОИС-ВСП в программном пакете Seis Pro // Доклад VIII Международной геолого-геофизической конференции и выставке «ГеоЕвразия-2025», Москва, 14-16 мая 2025.
2. Владов М.Л., Токарев М.Ю., Старовойтов А.В., Шалаева Н.В. Становление и развитие георадиолокации в МГУ // Разведка и охрана недр. № 5, 2004, с. 13-15.
3. Владов М.Л., Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Шалаева Н.В., Старовойтов А.В. Сейсмоакустические исследования на кафедре сейсмометрии и геоакустики // Разведка и охрана недр. № 5, 2004, с. 10-13.
4. Горбачев С.В., Оболенская А.А. Состояние и перспективы рынка обработки сейсмических данных в России // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №4, 2023, с 22-28.
5. Горбачев С.В. Состояние и перспективы ВСП // Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №2, 2024, с 56-63.
6. Горбачев С.В., Терёхина Я.Е., Токарев М.Ю., Соловьева М.А., Буланова И.А. О необходимости изучения верхней части разреза на начальных этапах геологоразведочных работ на шельфе Печёрского моря с применением методики специальной обработки и интерпретации // Геофизика, №3, 2025, с 11-19. DOI 10.34926/geo.2025.41.26.002
7. Половков В.В., Карпенко В.А., Рахимов Э.А., Терёхина Я.Е., Горбачев С.В., Пономаренко А.В., Сакулина Т.С. Применение нейронных сетей для обработки поверхностных волн, зарегистрированных при проведении сейсмических работ на акватории // Геофизика, №3, 2025, с 34-41. DOI 10.34926/geo.2025.82.56.005

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

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

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

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

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

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