

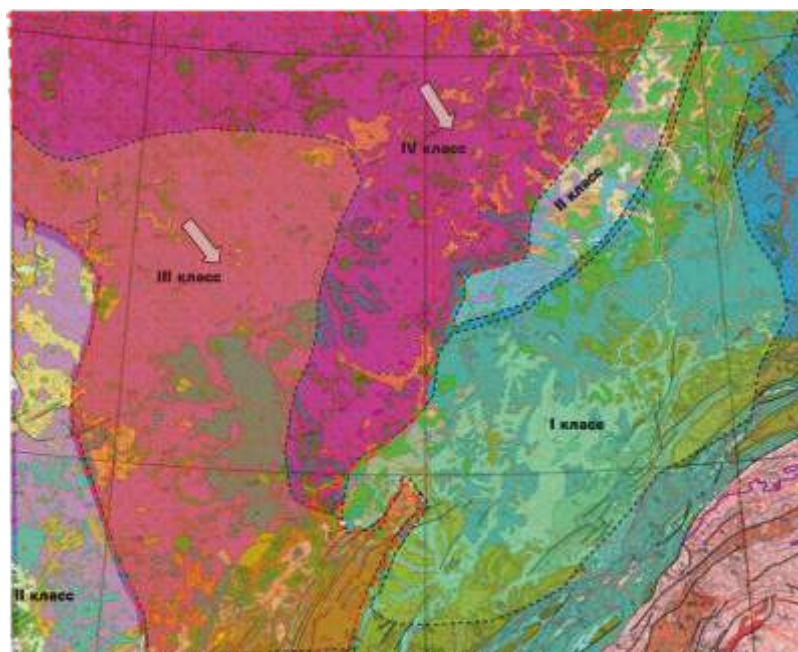
Оптимальный подход к учету статических и кинематических поправок при обработке сейсмических данных в сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири

■ Емельянова К.Л., Твердохлебов Д.Н., Арутюнянц И.В.,
Мостовой Д.В., ООО «РН-Эксплорейшн», г. Москва
■ Степанов П.Ю., МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

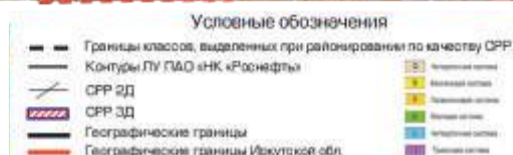
Сложные сейсмогеологические условия Восточной Сибири, зачастую, делают невозможной интерпретацию данных, полученных в этом регионе. На многих сейсмических разрезах выделяются поисковые объекты, но в силу неудовлетворительного качества сейсмического изображения вопрос об усовершенствовании методик обработки и опробовании новых технологий для повышения качества данных на обширной территории Сибирской платформы всегда остается актуальным. В пределах изучаемого региона было выполнено районирование (Рис. 1.), по результатам которого территория разделена на 4 класса согласно сложности приповерхностных условий и качеству данных сейсморазведочных работ (СРР). К I и II классу относятся

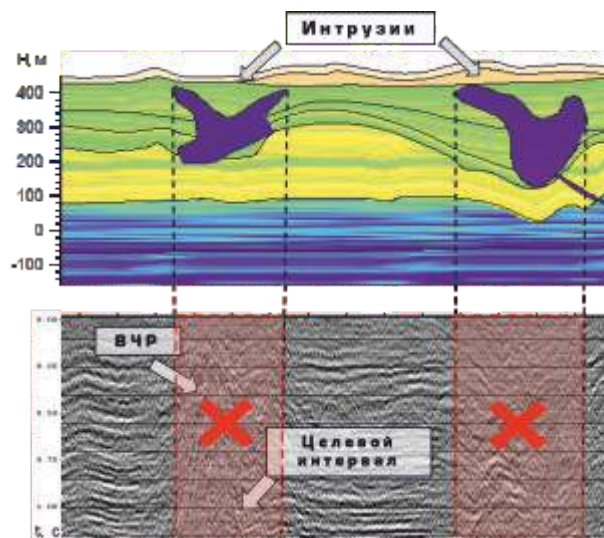
наиболее благоприятные участки. К III и IV – осложненные территории с преобладанием различных аномалообразующих тел в ВЧР (интрузивные и эффузивные тела, многолетнемерзлые породы, моренные отложения и другие скоростные неоднородности). В зонах со сложным и неоднородным строением ВЧР довольно сложно картировать перспективные объекты в сейсмическом волновом поле. На примере осложненных участков в работе рассматривается применение новых технологий обработки сейсмических данных с целью повышения качества последующей обработки и интерпретации данных.

Работа с данными III и IV классов в последние 10 лет считается неэффективной. Интрузивные тела рассеивают



◀ Рис. 1.
Обзорная геологическая
карта фрагмента
Восточной Сибири.





▲ Рис. 2. Влияние аномалий ВЧР на корреляцию.

сейсмический сигнал, из-за чего на разрезе пропадает корреляция горизонтов не только в ВЧР, но и в области целевого интервала (рис.2). По этой причине малоамплитудных перспективных объектов (рифов и выступов фундамента для этого региона) в зонах под интрузивными телами не видно на сейсмических разрезах. По статистическим оценкам около 50% данных СРР не используется эффективно.

Опробованные стандартные методики компенсации аномалий ВЧР

Согласно стандартной методике, компенсация неоднородностей ВЧР выполняется путем построения модели ВЧР на основе анализа преломленных волн. Далее выполняется расчет априорных статических поправок по полученной

модели (рефракторным или томографическим методом), которые вводятся в исходные данные с целью компенсации длинно- и среднепериодных аномалий, а также устранения влияния перепадов рельефа. На следующем этапе выполняется корректировка данных остаточными статическими поправками, алгоритмы расчета которых основаны на корреляционных функциях, этот этап компенсирует средне- и короткопериодные аномалии ВЧР.

В случае выходов интрузивных тел сложной конфигурации такая методика не дала успешного результата. Чем сложнее геологическая обстановка, тем сильнее возрастает неопределённость решения обратной задачи, и как следствие, менее однозначно удастся восстановить реальные геологические структуры.

Эффективная методика компенсации аномалий ВЧР

Сузить неопределенность решения обратной задачи при построении модели ВЧР помогает учет эффектов других геофизических методов (грави- магнито- и электроразведки) при выполнении сейсмогеологического моделирования. Последующая коррекция с целью остаточной компенсации аномалий реализуется через учет остаточных кинематических сдвигов при анализе горизонтальных спектров скоростей (рис.3).

- Ввод данных и создание базы данных;
- Контроль качества присвоения геометрии;
- Редакция шумящих трасс и исправление обратной полярности;
- Коррекция амплитуд за сферическое расхождение.

- Расчет статических поправок по первым вступлениям преломленных волн и сейсмическая томография;
- Корректировка ВЧР по данным геофизических методов;
- Предварительный мьютинг и АРФ;
- Скоростной анализ;
- Расчет остаточных статических поправок;
- Коррекция остаточных кинематических сдвигов;
- Получение и оценка контрольных сумм.

- Поверхностно-согласованная коррекция амплитуд;
- Шумоподавление амплитудных волн-помех;
- Шумоподавление когерентных волн-помех;
- Поверхностно-согласованная деконволюция;
- Миграция до и после суммирования;
- Обработка суммарных временных разрезов



◀ Рис. 3. Оптимальная последовательность процедур обработки сейсмических данных в условиях Восточной Сибири.

Комплексирование геофизических методов

По территории Восточной Сибири имеется большой объем различной геофизической информации, в т.ч. данные площадных аэромагнитных съемок масштаба 1:25 000, 1:50 000. При подборе оптимальной методики большинство геофизических методов дает отклик на геологические тела с аномальными свойствами. В первую очередь, это касается интрузивных тел, обладающих высокой плотностью, намагниченностью и высокими сопротивлениями.

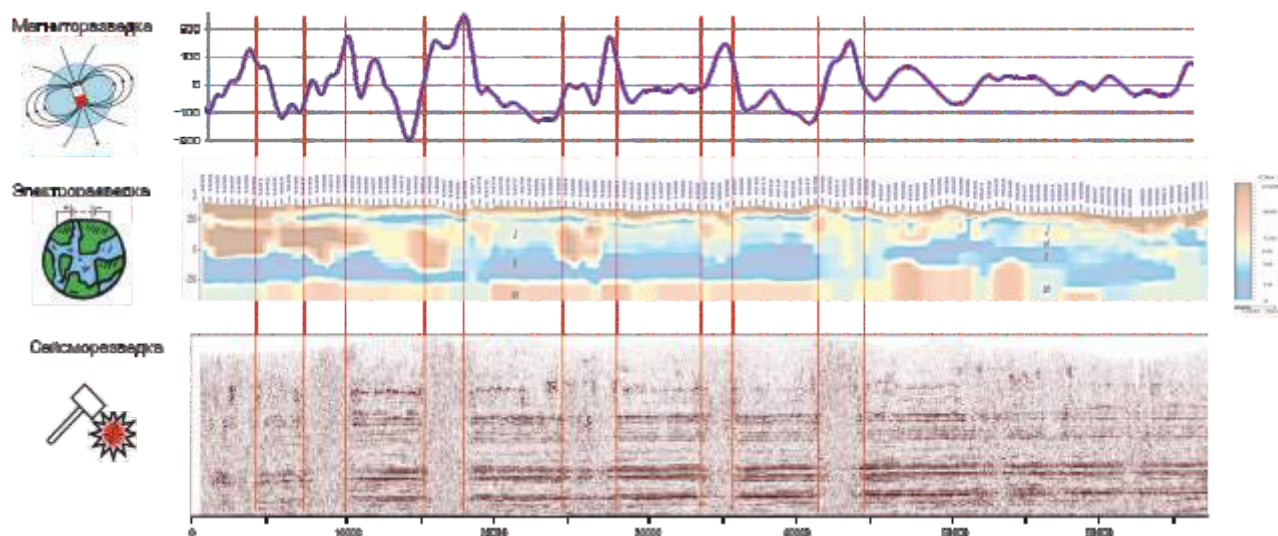
Первичный анализ основывается на данных магниторазведки, в которых наиболее явно выделяются магматические образования. Только этот геофизический метод позволяет быстро и с относительно небольшими затратами получить информацию о площадном распространении интрузивов в ВЧР. Применение современных компьютерных средств обработки данных позволяет выделить из архивных аналоговых записей высокочастотную составляющую аномального магнитного поля. В ходе качественного ее анализа локализуются области распространения магнитных объектов, которые сопоставляются с сейсмическими разрезами, аномалиями гравитаци-

онного поля и электроразведочными материалами. В первую очередь, уделяется внимание зонам потери корреляции на сейсмических разрезах и их связи с магнитными аномалиями. Если прямая связь устанавливается, то с высокой вероятностью можно считать, что причина низкой информативности сейсморазведки – магматические тела. Следующим этапом является проверка выраженности аномальных по магнитному полю и сейсморазведке зон в аномалиях гравитационного поля и геоэлектрических разрезах.

В зависимости от размера магматических тел, их глубины залегания, степени аномальности физических свойств (относительно вмещающих пород) эффективность проявления в потенциальных полях и разрезах УЭС оказывается различной. В частности, отсутствие аномалий гравитационного поля над предполагаемыми интрузивными телами может свидетельствовать о том, что тела находятся внутри или вблизи кровли комплексов близких по плотности.

На практике корреляционные связи геофизических методов выглядят следующим образом. В результате совместного анализа временного сейсмического разреза с поведением геофизических

▼ Рис. 4. Корреляционные связи геофизических методов.



	Сейсморазв.	Электроразв.	Гравиразв.	Магниторазв.	ГИС
Кровля	+	+		+	
Подошва		+	+		
Скорость	+				+

▲ Табл. 1. Определение параметров аномалий ВЧР по данным геофизических методов.

полей (рис.4) была выявлена следующая корреляционная зависимость: в зоне отсутствия аномалий в ВЧР горизонты на сейсмическом разрезе видны четко, а поведение полей спокойно, без резких перепадов и выраженных аномалий; в зонах сложного строения ВЧР корреляция отражающих горизонтов нарушается, вместе с ней и характер полей становится беспокойным, выделяются аномалии и резкие перепады значений.

Анализируя особенности и области чувствительности каждого метода была составлена таблица (табл.1), в которой наглядно представлен комплекс методов, при помощи которых можно определить положение кровли и подошвы аномалий в ВЧР, а также оценить значение скоростей [Мостовой Д.В. и др., 2021].

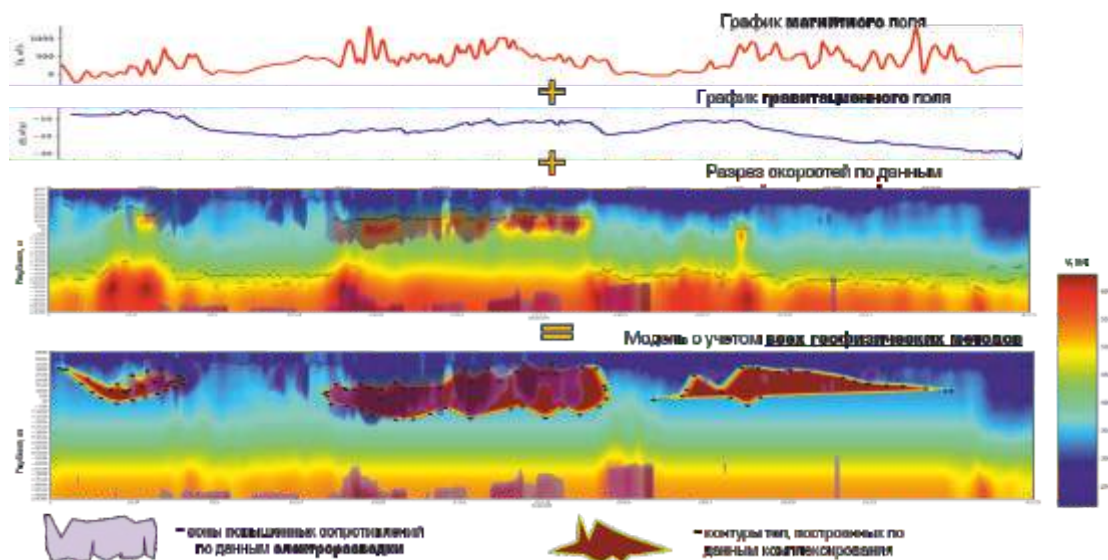
Используя полученную информацию согласно таблице 1 становится возмож-

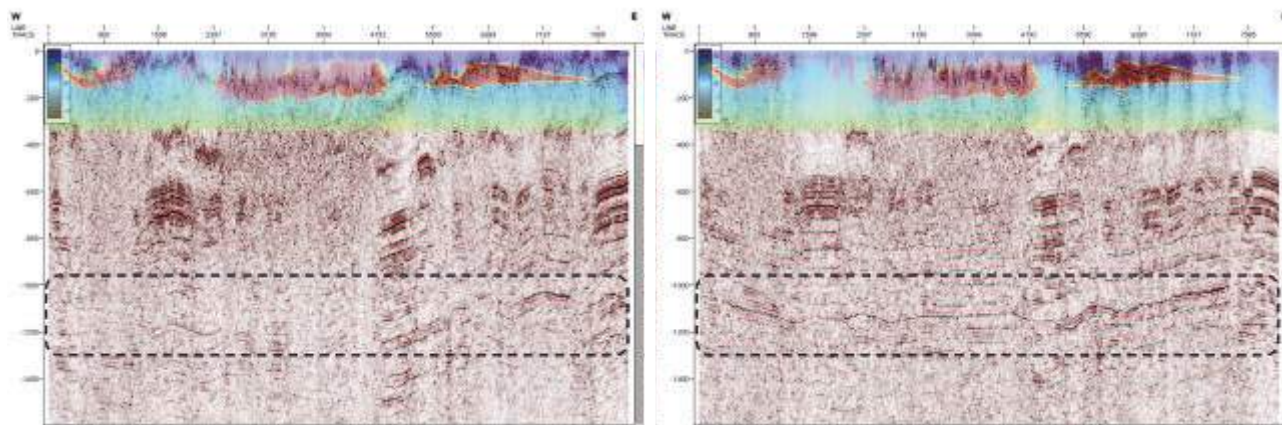
ным более точно восстановить модель ВЧР для расчета статических поправок, компенсирующих влияние неоднородностей.

Объединение данных всех геофизических методов позволило построить более точную модель ВЧР. За основу была взята модель, полученная по методу сейсмической томографии, а при помощи других геофизических методов, модель уточнялась (рис.5) при помощи ПО «Tomplex», которое было разработано в ООО «РН-Эксплорейшн» [Гуренцов Н.Е. и др., 2021].

Критерием корректности построенной модели ВЧР может служить согласованность геофизических моделей и эффективность восстановления временного разреза в результате ввода рассчитанных по модели статических поправок. В качестве дополнительного анализа решается прямая задача: рассчитываются геофизические поля по построенной

▼ Рис. 5. Построение оптимальной модели ВЧР при помощи комплексирования различных геофизических данных.





▲ Рис. 6. Сейсмические разрезы, полученные после ввода статических поправок стандартной методикой (а) и оптимальной с применением комплексирования (б).

модели и сопоставляются с реальным геофизическими данными. Если поля совпадают – модель не противоречит исходным данным, может считаться корректной и входит в область решения неоднозначной обратной задачи.

Применение комплексирования для построения модели ВЧР позволило снизить влияние приповерхностных неоднородностей и восстановить отражающие горизонты в целевом интервале эффективнее по сравнению со стандартной методикой (рис. 6).

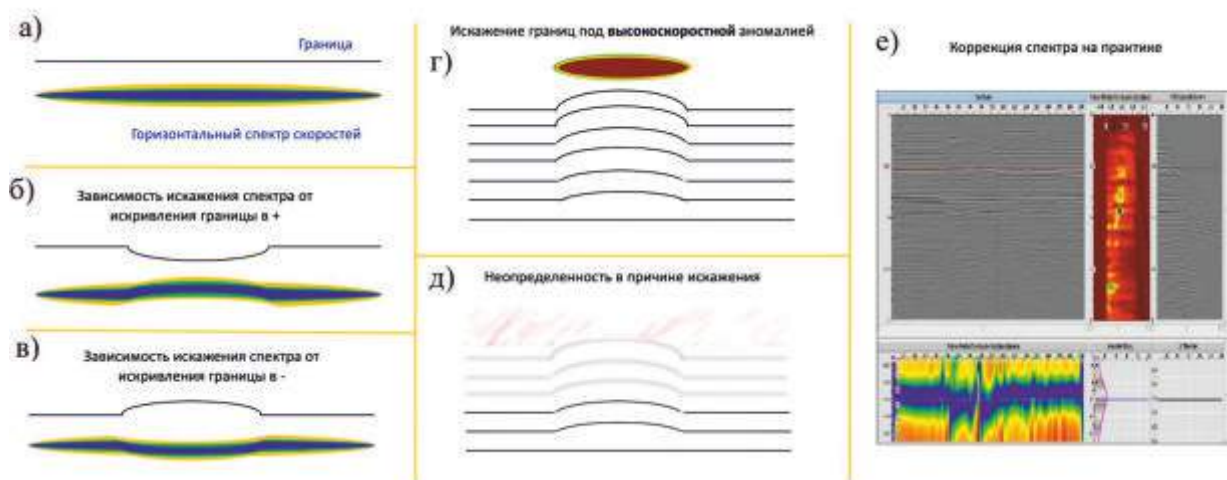
Кинематическая коррекция статических поправок

В случаях, когда восстановление ВЧР (стандартной методикой или при помощи комплексирования) с последующим вводом априорных и остаточных статических поправок не позволяет получить оптимальный результат, необходимо усовершенствование предлагаемой методики.

Для улучшения корреляции отражений на суммарных разрезах и последующего обнаружения перспективных объектов в зоне поиска необходимо полное спрямление годографов ОГТ отражённых волн. Наличие скоростных приповерхностных аномалий зачастую не позволяет это реализовать только за счёт скоростного анализа и ввода статических поправок. Для наиболее опти-

мального спрямления годографов отражённых волн и последующего эффективного суммирования предлагается к рассмотрению метод ввода остаточных кинематических сдвигов.

В данном способе коррекции с привлечением априорных данных прослеживается один выбранный горизонт. Вдоль выбранного горизонта рассчитывается горизонтальный спектр остаточных кинематических поправок и интерактивно величины этих поправок. После этого формируются разрезы ПП и ПВ по всему сейсмическому профилю и для каждого разреза вводится процентная доля остаточных кинематических поправок. Процентные доли вводятся для постепенного спрямления осей синфазности отражённых волн, чтобы минимизировать шанс переискажений корректируемых границ. После ввода выполняется суммирование по ОГТ и подбор оптимальных значений $VOGT(t_0)$, а также автоматический расчёт остаточных статических поправок. На этом этапе снова прослеживается выбранный горизонт по уже скорректированному разрезу ОГТ, рассчитывается горизонтальный спектр, остаточные кинематические поправки и так далее. Количество итераций коррекции остаточных кинематических поправок зависит от сложности сейсмогеологических условий рассматриваемого региона. Результатом эффек-



▲ Рис. 7. Теоретические положения горизонтальных спектров в зависимости от различных искажающих факторов.

тивной коррекции служит спрямленность годографов ОГТ и компенсация аномалий на временном сейсмическом разрезе.

Описанная методика позволяет выполнить доучет статики на целевых горизонтах и дополнительно улучшить прослеживаемость отражений. На рис. 7 показано теоретическое положение горизонтальных спектров в левой части. При ровном положении границы (рис. 7а) спектр скорости также выглядит ровным. При наличии аномалий скорости или искривления границы спектр искажается в зависимости от времени пробега луча в + или в – сторону (рис. 7б, в).

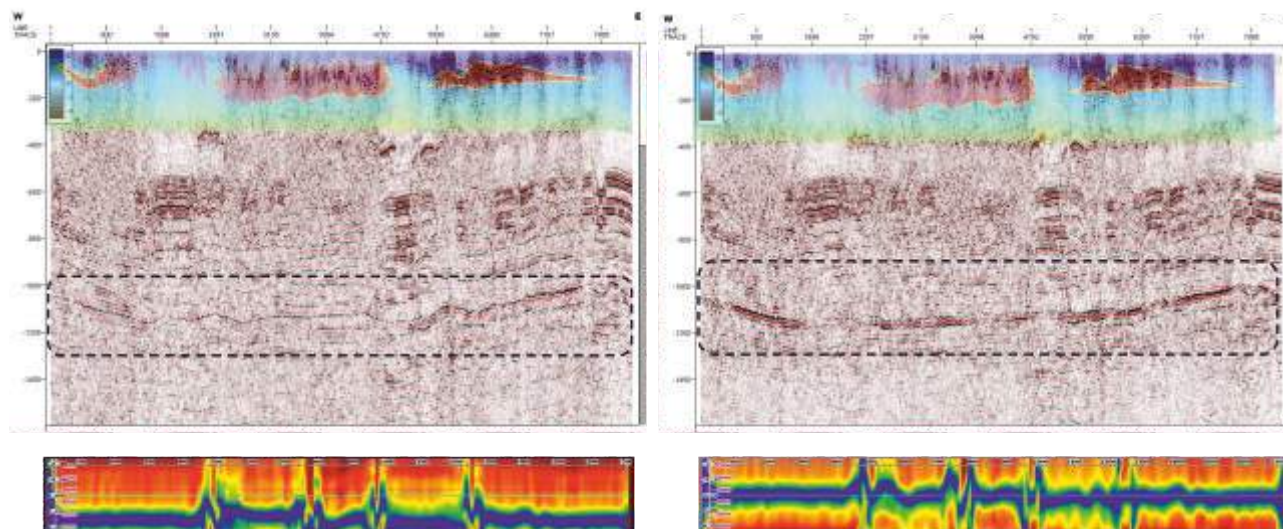
При наличии неоднородности в ВЧР в зоне под аномалией будут наблюдаться искажения геометрии границ (рис. 7г), однако в силу особенностей методики сейсмической съемки (например, слишком редкий шаг по профилю) и описанных в предыдущем разделе причин – корреляция в ВЧР может быть нарушена (рис. 7д). Как следствие – весьма проблематично установить причину, вызвавшую искривления: это аномалия в ВЧР подтягивает горизонты ниже или таково естественное положение границ.

Учитывая особенности строения изучаемого региона, а также экспертное

мнение интерпретатора, было установлено, что в случае рассматриваемого сейсмического профиля (рис. 7е) имеет место дополнительное осложнение в ВЧР, которое можно скомпенсировать остаточными кинематическими сдвигами при помощи анализа горизонтального спектра скоростей.

По итогам коррекции остаточных кинематических сдвигов общее качество сейсмического разреза значительно повысилось (рис. 8). Улучшилась корреляция отражений в целевом интервале, повысилась надежность интерпретации и увеличилась вероятность обнаружения перспективных объектов на изучаемом участке.

Контроль качества данных является неотъемлемой частью любого этапа из цикла геофизических работ, в т.ч. обработки сейсмических данных. На каждом этапе обработки качество данных может быть улучшено с применением тех или иных процедур, поэтому всегда есть необходимость в контроле изменения качества материала, чтобы добиться максимально возможного улучшения на всех этапах. Система критериев, выбранная для проведения контроля качества, должна включать в себя параметры, позволяющие на количественном уровне оценить качество сейсмического матери-



▲ Рис. 8. Сейсмические разрезы и соответствующие им горизонтальные спектры (а) до и (б) после коррекции кинематических сдвигов.

ала. Объективную оценку может предложить ПО QCVision [Гуренцов Н.Е. и др., 2021].

Количественная оценка качества полученных данных выполнялась по геофизическому атрибуту «прослеживаемость» (определяется по латеральной протяженности события). На рисунке 9 представлены результаты расчета атрибутов для сейсмических разрезов, полученных (а) – стандартной методикой, (б) – при помощи комплексирования геофизических методов и (в) – с дополнительным учетом коррекции остаточных кинематических сдвигов.

Прирост качества изображения по итогам применения только комплексирования составил 17%, а с применением комплексирования и последующей кинематической коррекцией статических поправок – 30%. Полученные результаты позволяют значительно повысить надежность интерпретации за счет улучшения прослеживаемости целевых горизонтов.

Заключение

Описанный комплекс методик позволяет:

- уточнить модель ВЧР и сузить область решения обратной задачи;

- улучшить прослеживаемость горизонтов в ВЧР, а также целевых горизонтов;
- повысить надежность последующей интерпретации;
- повысить достоверность выделения уже обнаруженных стандартной методикой объектов;
- увеличить вероятность обнаружения новых целевых объектов в продуктивных горизонтах.

Описанная методика является универсальной и пригодна для опробования не только в условиях Восточной Сибири, но и в других регионах, изучение которых осложнено аномалиями ВЧР.

Литература

1. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С., Молчанов А.Б., Мостовой Д.В., Емельянова К.Л. Новые технологии – ключ к получению качественных данных сейсморазведки// Геофизика, №3. С. 31-37
2. Емельянова К.Л., Арутюнянц И.В., Твердохлебов Д.Н. Технология восстановления верхней части разреза при помощи коррекции статических и кинематических поправок на основе сейсмогеологического моделирования в условиях

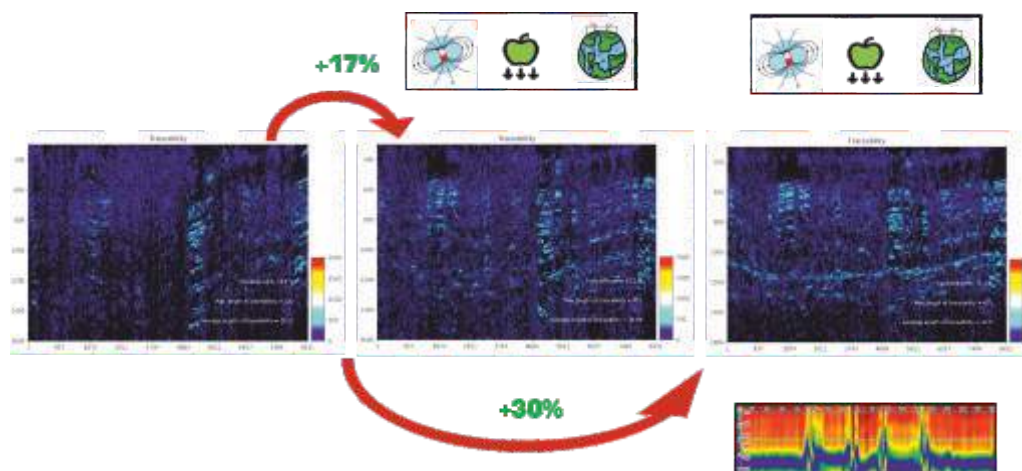


Рис. 9. Сопоставление атрибута «прослеживаемость» по сейсмическим разрезам, полученными различными методикам.

Восточной Сибири// ГеоЕвразия – 2021, т.1. С. 67-70

3. Молчанов А.Б., Лыгин И.В., Твердохлебов Д.Н., Мостовой Д.В. Комплексирование геофизических методов для 2D и 3D в ПО «Tomplex»// Приборы и системы разведочной геофизики, №3/2021. С. 43-52

4. Мостовой Д.В., Лыгин И.В., Твердохлебов Д.Н., Молчанов А.Б., Гвоздик С.А., Мельников Р.С. Разработка подхода построения модели ВЧР на основе комплекса геофизических методов с целью улучшения качества обработки сейсморазведки// ГеоЕвразия – 2021, т.1. С. 75-78

5. Мостовой Д.В., Твердохлебов Д.Н., Лыгин И.В., Молчанов А.Б., Габова М.Н., Гвоздик С.А., Емельянова К.Л., Мельников Р.С. Построение модели ВЧР на основе комплекса геофизических методов с целью улучшения качества данных обработки сейсморазведки// Геофизика, №2/2021. С. 25-35

6. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А., Каширина Е.Г., Коробкин В.С., Филичев А.В., Гайдук А.В. «Конечно-разностное сейсмогеологическое моделирование с целью повышения эффективности обработки и качества интерпретации сейсмических данных», журнал «Геофизика», №6.2017, ЕАГО, 10-18 с.

Подробнее об авторах



Емельянова
Ксения Львовна

специалист группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Твердохлебов
Данила Николаевич

к.т.н., руководитель группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Арутюнянц
Игорь Владимирович

старший геофизик группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Мостовой
Дмитрий Владимирович

ведущий специалист группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Степанов
Павел Юрьевич
к.ф.-м.н., доцент,
заместитель заведующего
кафедрой сейсмометрии
и геоакустики, заместитель
декана по учебной работе
МГУ им. М.В. Ломоносова