

## От сейсмики высокого разрешения (СВР) к сейсмике сверхвысокого разрешения (ССВР) на примере технологий «nSeis» и «nSeis 2»

■ Архипов А.А.<sup>1</sup>, Хромова И.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> ООО «НПП Геошельф», г. Геленджик.

<sup>2)</sup> ИП Хромова И.Ю., г. Москва.

В силу ограничений, обусловленных аппаратурой для сейсмической съёмки, условиями возбуждения и регистрации, естественной диссипации и последующей обработкой данных, спектр результирующей полезной записи ограничен достаточно узкой полосой. При этом мощность и латеральная протяженность различного пласта по данным сейсморазведки зависит от высокочастотной границы регистрируемого на поверхности сигнала. В ряде случаев «стандартные» данные не позволяют проводить геологическую интерпретацию с требуемой детализацией и точностью.

При условии сохранения методик полевых работ и последующей обработки, методы компенсации обеднённых диапазонов спектра (деконволюция, Q-компенсация и пр.) основаны на применении частотных коэффициентов (усиление). С одной стороны, простота их реализации существенно экономит ресурсы при некотором улучшении сейсмического изображения, с другой стороны у данных методов есть непреодолимое ограничение: в случае отсутствия полезной записи на усиливаемых частотах результатом применения любого метода деконволюции/Q-компенсации будет интенсивная шумовая/неинтерпретируемая картина.

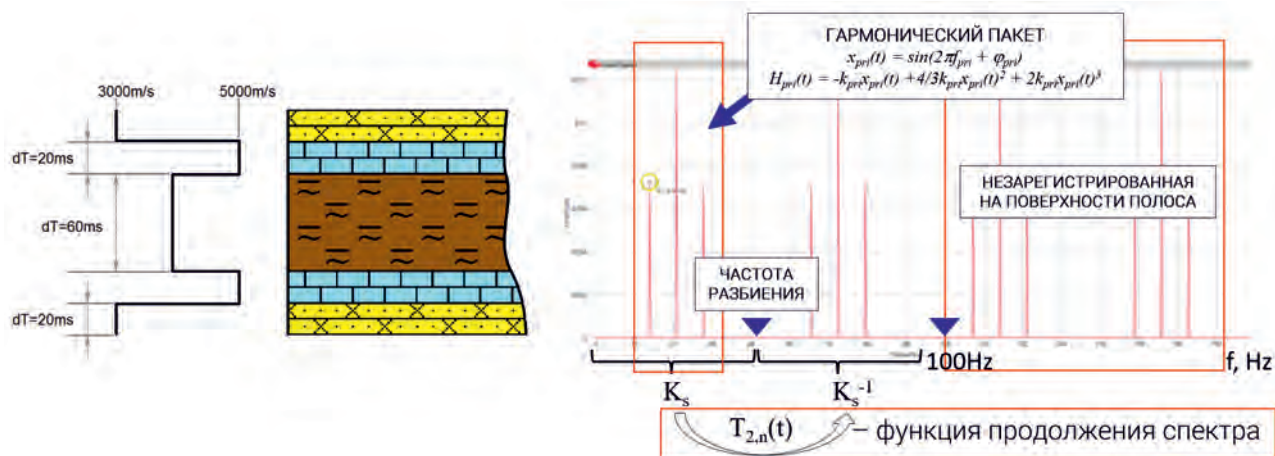
Технология «nSeis» основана на том, что спектры сейсмической записи реальных и модельных сред, при условии наличия в них контрастных границ, обогащены гармоническими пакетами и, если в зарегистрированный диапазон

частот попадает от двух и более пакетов, то возможно путём математического анализа продолжить спектр в область высоких частот (ВЧ) [1, 2, 3, 4].

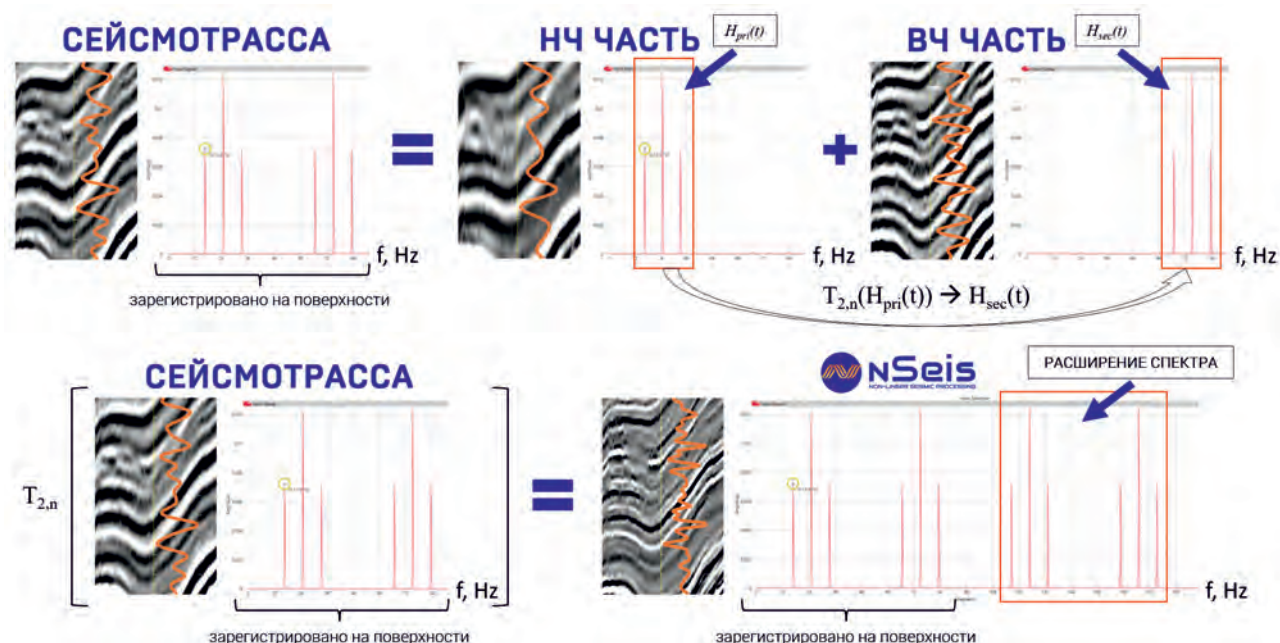
На рисунке 1 изображена геологическая модель, соответствующая ей кривая скоростей пробега продольной волны и спектр коэффициентов отражения, построенных по ним. На спектре наглядно прослеживаются гармонические пакеты и схематично изображён процесс оценки функции продолжения спектра. На рисунке 2 схематично приведена одна итерация вычислений комплекса «nSeis» с частотным разбиением спектра сигнала, зарегистрированного на поверхности, оценкой функции продолжения спектра и результатом её применения (расширения спектра) к фрагменту волновой записи в полном диапазоне частот в ограниченном окне по реальным данным.

Вариативность частоты среза  $K_s$  позволяет повысить устойчивость определения коэффициентов функции  $T_2, n(t)$ , единой для всех частотных разбиений зарегистрированной полосы. Схематично множество частотных разбиений и система, минимизируемая по метрике, изображена на рисунке 3.

В случае, изображённом на рисунке 2, демонстрируется процесс расширения спектра по технологии «nSeis» в область ВЧ ровно в 2 раза, но на практике удаётся получить устойчивые решения с расширением спектра до 2.5 раз с сохранением соотношения амплитуд и до 3 раз с применением дополнительных процедур постобработки.

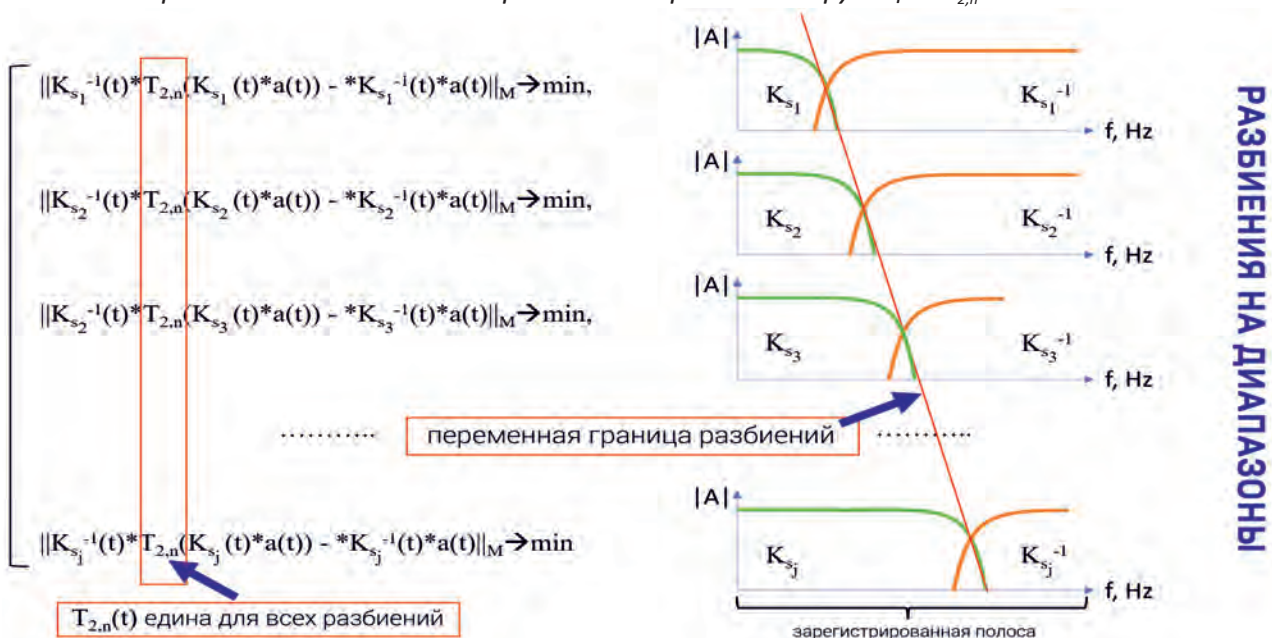


▲ Рис. 1. Модель и оценка функции продолжения спектра в область ВЧ.

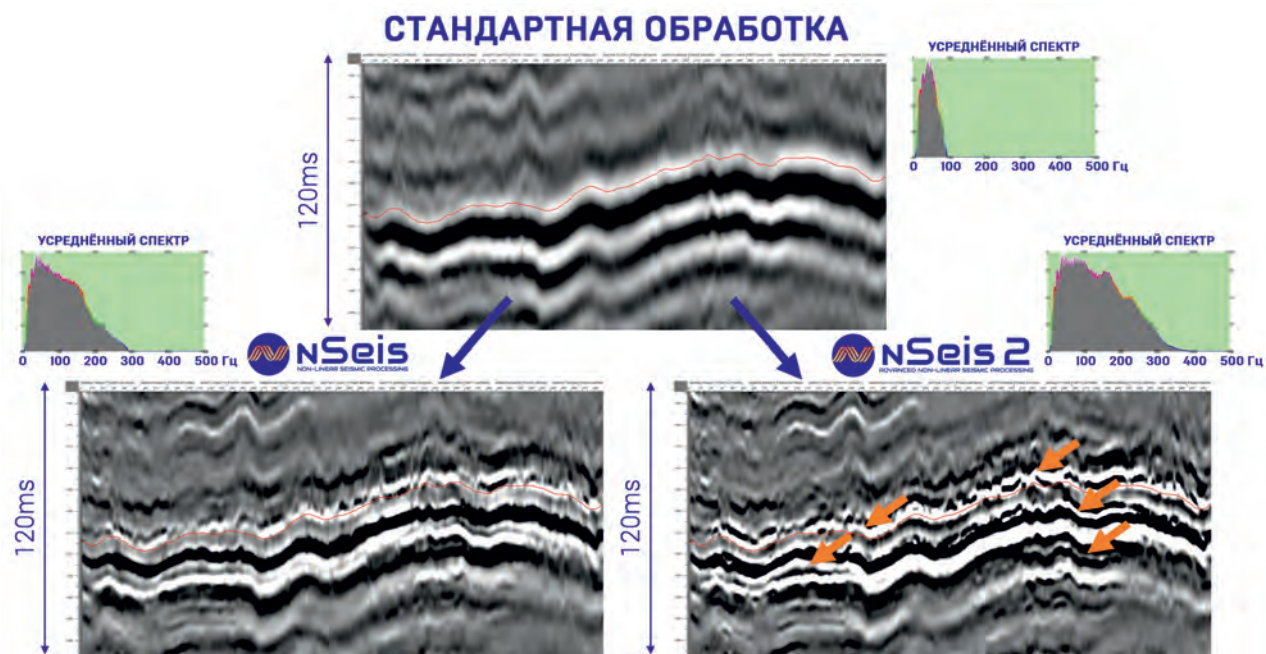


▲ Рис. 2. Модель и оценка функции продолжения спектра в область ВЧ.

▼ Рис. 3. Вариативность частоты разбиения при единой функции  $T_{2,n}$ .





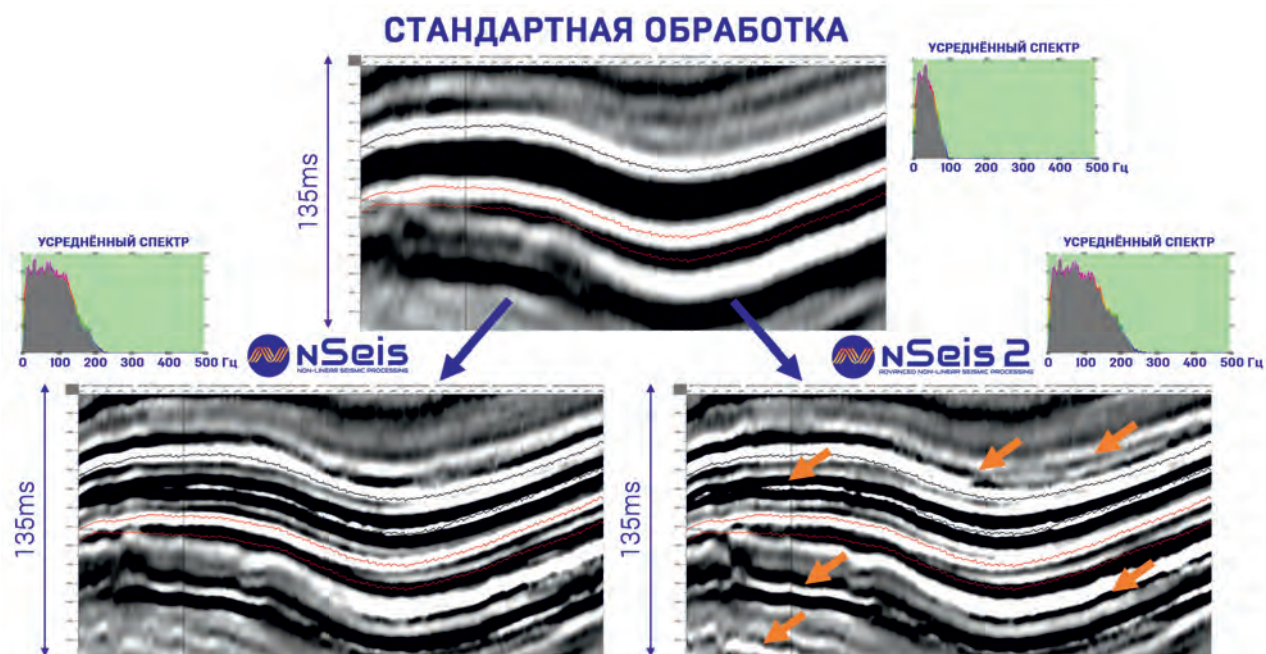


▲ Рис. 4. Сопоставление стандартной обработки, «nSeis» и «nSeis 2» по отложениям тульского интервала.

В ходе выполнения производственных проектов и дальнейшей работой над модификацией «nSeis» (сейсмика высокого разрешения, СВР) в конце 2024 года была разработана новая технология «nSeis 2» (сейсмика сверхвысокого разрешения, ССВР) позволяющая, при стандартной полосе записи исходного волнового поля, расширить спектр с

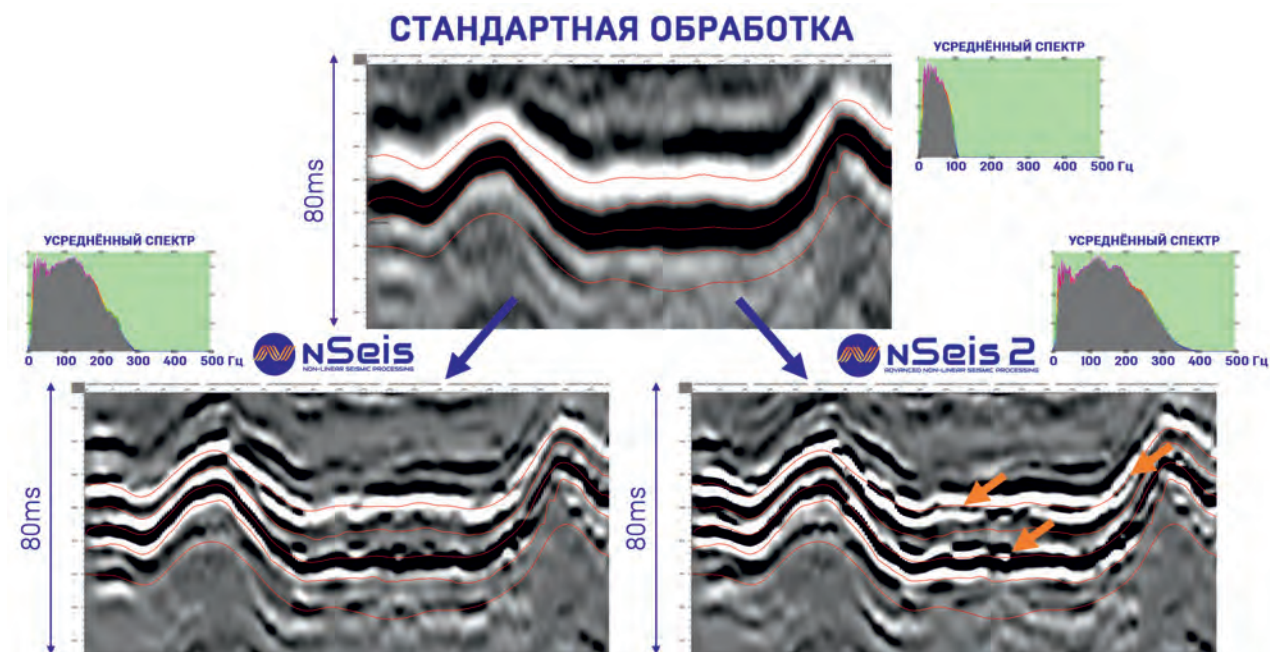
сохранением соотношения амплитуд в область высоких частот более чем в 3 – 3.5 раза с сохранением соотношения амплитуд.

Технология «nSeis 2» базируется на том же ядре, что и «nSeis», но использует функции продолжения спектра высоких порядков, что, в свою очередь, приводит к снижению устойчивости решения, что



▲ Рис. 5. Сопоставление стандартной обработки, «nSeis» и «nSeis 2» в интервале отложений неогена.





▲ Рис. 6. Сопоставление стандартной обработки, «nSeis» и «nSeis 2» в интервале бобриковских отложений.

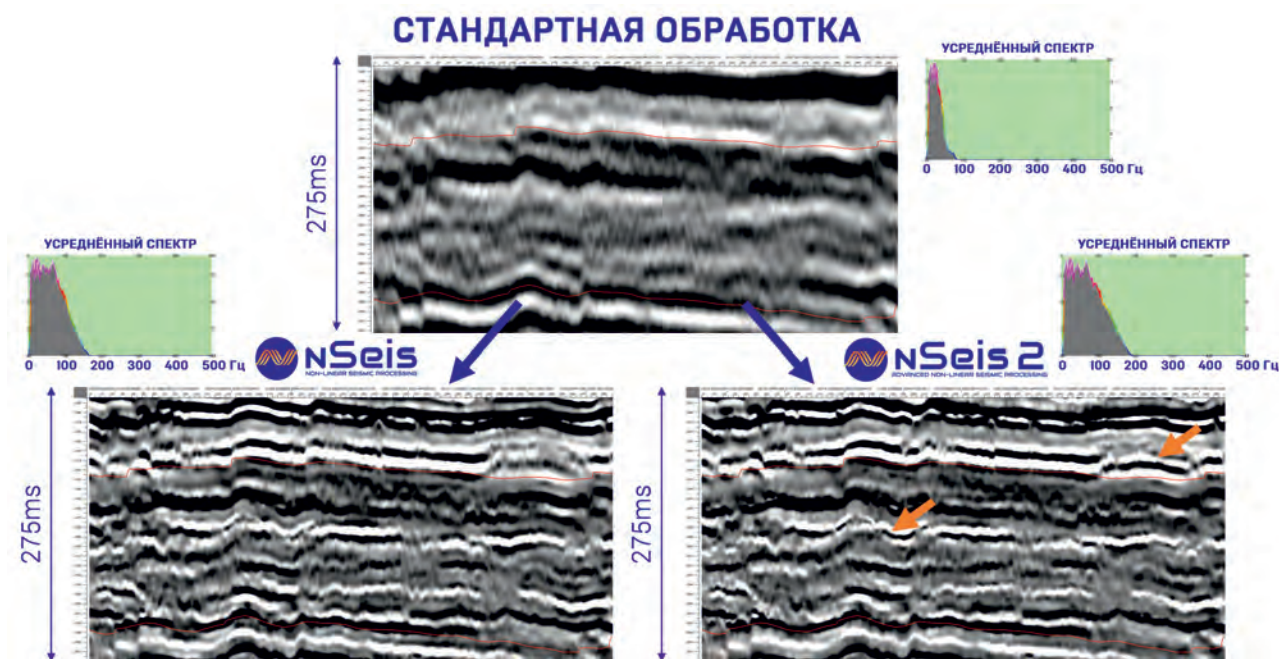
компенсируется большим количеством частотных разбиений (итераций).

На рисунках 4, 5, 6, 7 изображены результаты сопоставления исходных волновых полей, «nSeis», «nSeis 2» и соответствующих им спектров по отложениям тульского интервала, неогена, бобрика и юры, соответственно.

Очевидна наследственность результа-

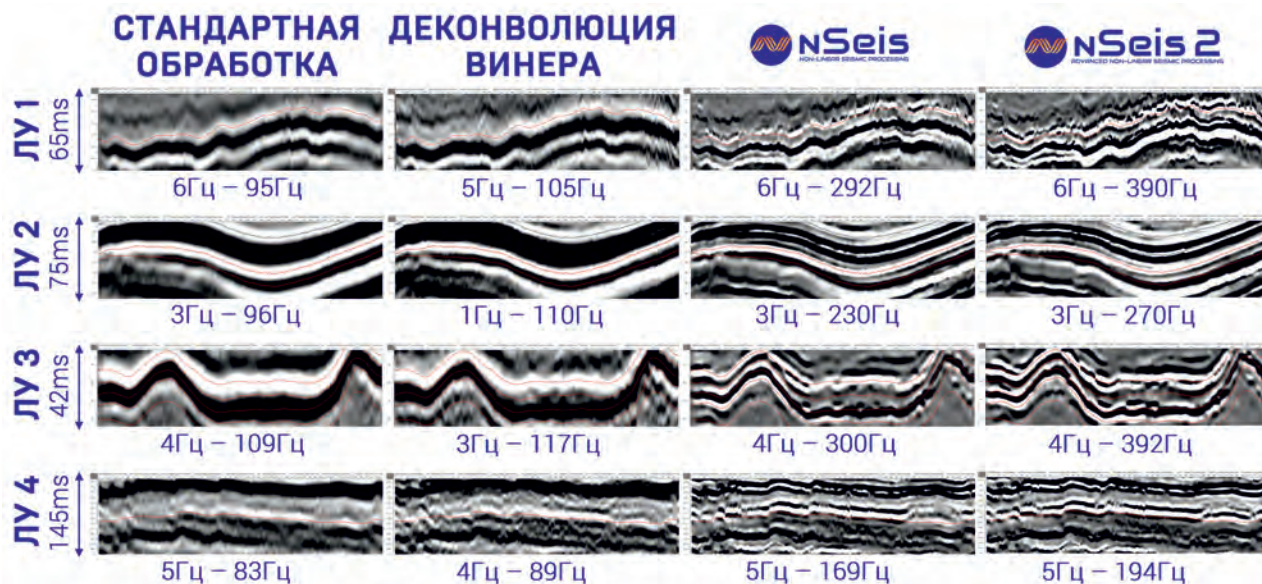
тов «nSeis» и «nSeis 2»: на относительно однородных/изотропных объектах технологии сопоставимы, но на локальных сильно слоистых объектах по «nSeis 2» дополнительное разрешение увеличивается.

В отличие от технологий семейства деконволюции/Q-компенсации, получающих цифровой шум за пределами



▲ Рис. 7. Сопоставление стандартной обработки, «nSeis» и «nSeis 2» в интервале юрских отложений.





▲ Рис. 8. Стандартная обработка, деконволюция, «nSeis» и «nSeis 2».

спектра зарегистрированного полезного сигнала, применение «nSeis» и «nSeis 2» позволяет получить интерпретируемую волновую картину в полосе спектра, вдвое-втрое превышающей полосу зарегистрированного на поверхности сигнала.

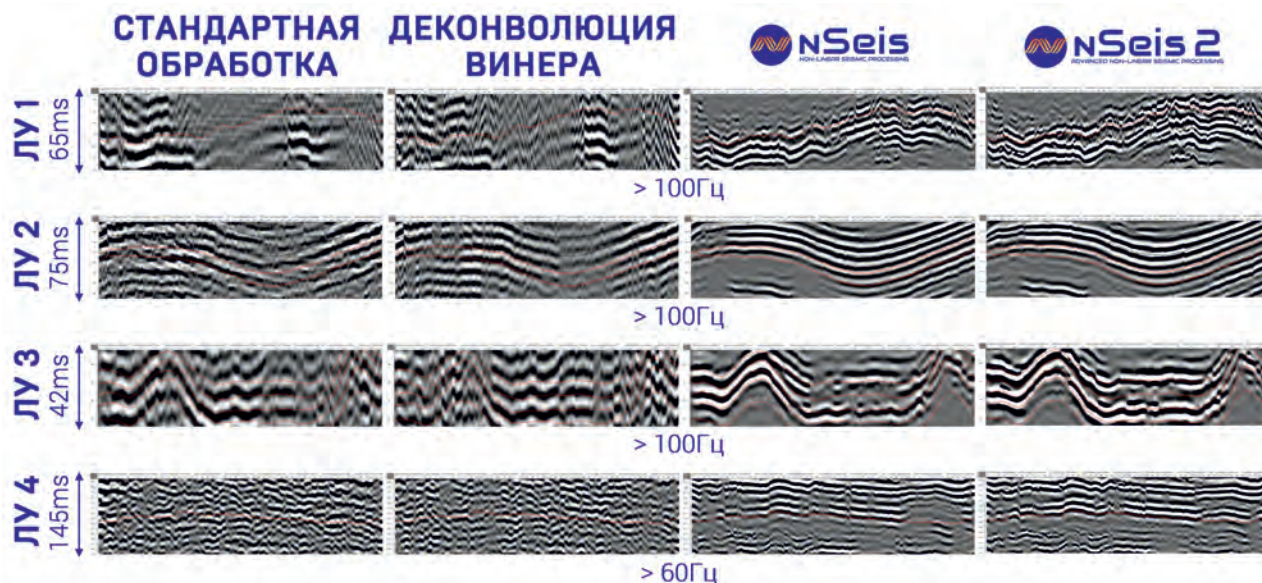
На рисунке 8 изображено сопоставление результатов применения мягкой деконволюции Винера, «nSeis» и «nSeis 2» к суммарным данным по четырём рассмотренным ранее объектам.

На рисунке 9 приведено сопоставле-

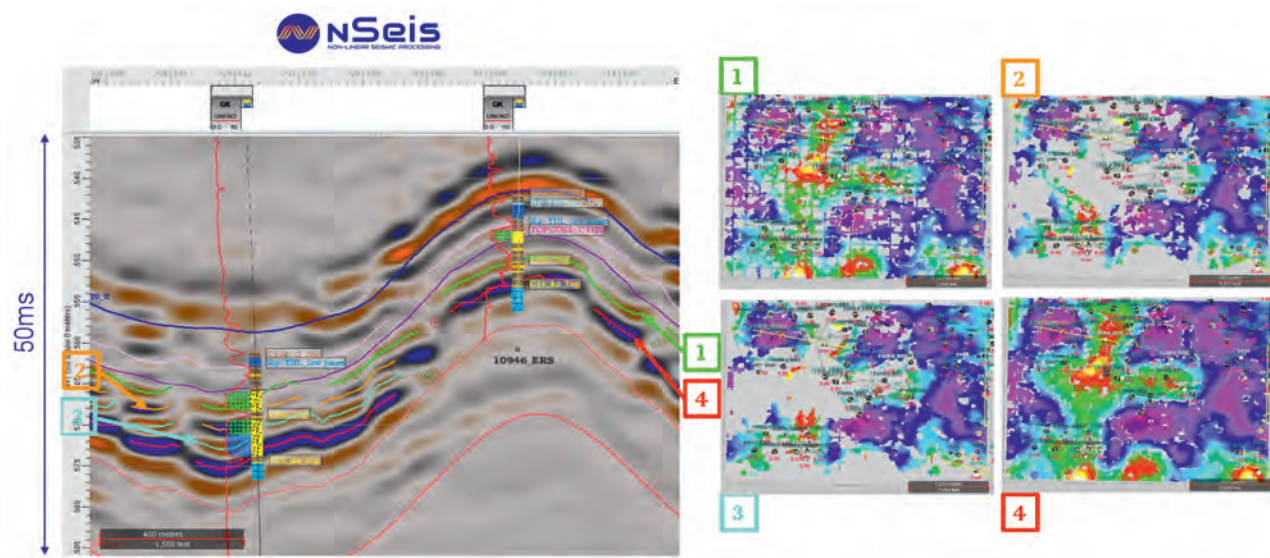
ние мягкой деконволюции Винера, «nSeis» и «nSeis 2» за пределами диапазона волновой записи, зарегистрированной на поверхности.

Полученные на практике результаты позволяют утверждать, что переход от СВР «nSeis» к ССВР «nSeis 2» даёт возможность детализации локальных и тонкослоистых объектов. При этом, очевидно, что любое, а тем более кратное расширение спектра в область высоких частот, существенно усложняет дальнейшую геологическую интерпретацию, но, с

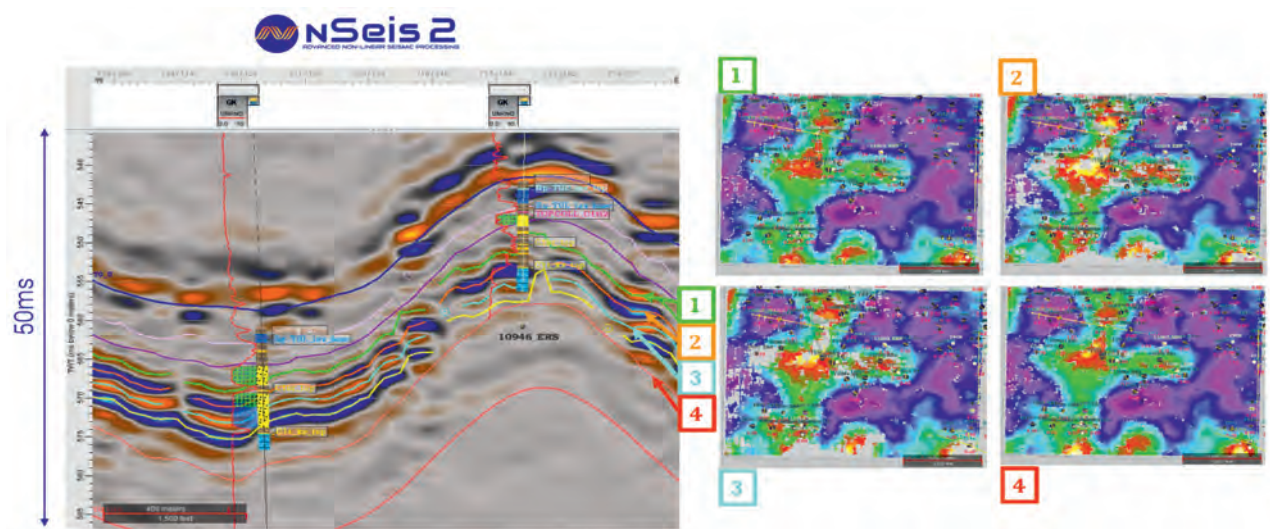
▼ Рис. 9. Стандартная обработка, деконволюция, «nSeis» и «nSeis 2» за пределами частотного диапазона, зарегистрированного на поверхности.







▲ Рис. 10. Результат интерпретации сейсмики высокого разрешения «nSeis» в бобриковском интервале.



▲ Рис. 11. Результат интерпретации сейсмики сверхвысокого разрешения «nSeis 2» в бобриковском интервале.

другой стороны, позволяет решить более тонкие задачи.

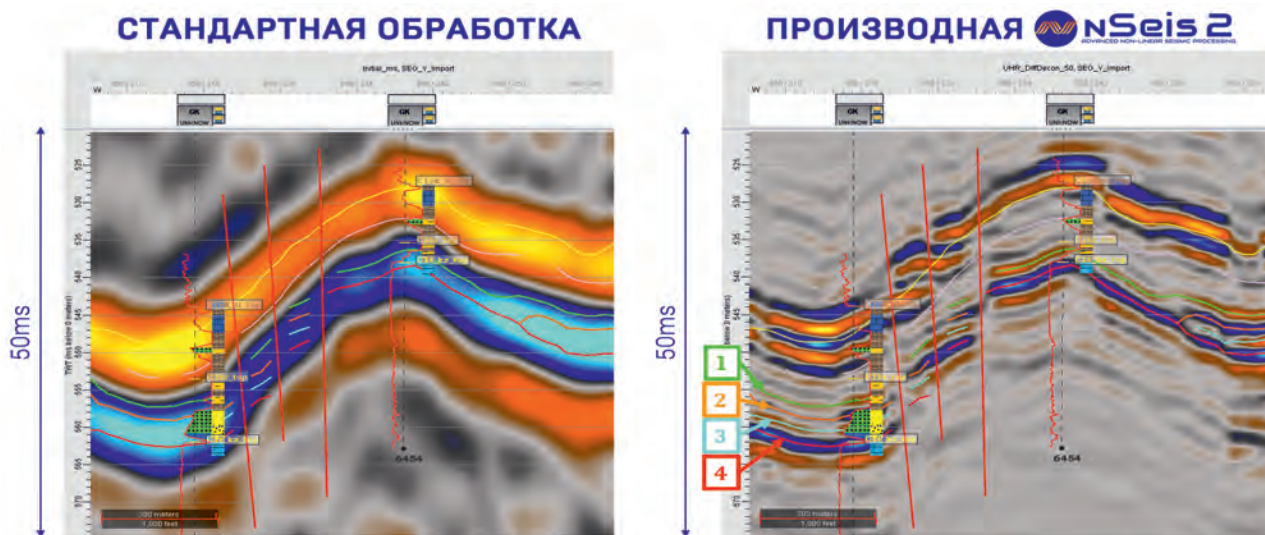
На рисунке 10 изображён результат корреляции горизонтов бобриковского интервала с максимально возможной детализацией сейсмики высокого разрешения «nSeis». Необходимый для интерпретации целевых отложений горизонт «1» прослеживается удовлетворительно, горизонты «2» и «3» непригодны, горизонт «4» прослеживается уверенно.

На рисунке 11 изображён результат корреляции по материалам сейсмики сверхвысокого разрешения «nSeis 2», на

котором все целевые ОГ прослеживаются уверенно и пригодны для решения задач детальной геологической интерпретации.

Сопоставление исходного разреза с нанесёнными на него горизонтами, прослеженными по атрибуту первой производной после деконоволюции результатов ССВР «nSeis 2» показано на рисунке 12. Наглядно видно, что 4 отражения, доступные для прослеживания на «nSeis 2», умещаются в одном полупериоде фазы стандартной обработки.

Смещение частотной границы полез-



▲ Рис. 12. Сопоставление стандартной обработки и атрибута первой производной после деконволюции результатов «nSeis 2».

ной записи в область ВЧ приводит к увеличению вертикальной и, что менее очевидно, латеральной разрешённости разреза. За счёт расширения спектра по технологии «nSeis», существенно уточняются неоднородности строения, такие как: проливы, разделяющие залежи с различными ВНК, зоны выклинивания пласта или границы рифовых построек.

При условии стандартной полосы исходной волновой записи возможно применение технологии «nSeis 2», которая обеспечивает дополнительное расширение спектра в область высоких частот с сохранением соотношения амплитуд и сопоставимой устойчивостью решения с «nSeis» первой версии.

Интерпретация сейсмики высокого разрешения гораздо более трудозатратна в сопоставлении с интерпретацией традиционной сейсмики и ещё более трудозатратна интерпретация материалов сверхвысокого разрешения. Тем не менее именно ССВР позволяет решить геологические задачи в тонкослоистых коллекторах.

В приведённом примере на рисунках 10 и 11 средняя мощность между ОГ «1» и «4» составляет 6 миллисекунд, при этом по ССВР «nSeis 2» между ними уверенно

прослеживаются два дополнительных отражения «2» и «3». Возможно ли получить схожий результат по данным традиционной сейсморазведки?

### Литература

1. Архипов А.А., Кажущаяся или фиктивная нелинейность. Практика применения при широкополосном воздействии на среду // Приборы и системы разведочной геофизики, №1, 2015, С.57-62
2. Архипов А.А., Кобзарев Г.Ю., Хромова И.Ю., ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «nSeis» // Геофизика, №4, 2021, С.71-80
3. Хромова И.Ю., Кобзарев Г.Ю., Архипов А.А., ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЫСОКОРАЗРЕШЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ «nSeis» // Геофизика, №4, 2023, С.76-83
4. Хромова И.Ю., Архипов А.А., Накопленный опыт обработки и интерпретации сейсмики высокого разрешения. Технология «nSeis» // Приборы и системы разведочной геофизики, №4, 2024, С.32-42