



УДК 553.98

## НОВАЯ МЕТОДИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ БАЖЕНОВСКИХ КОЛЛЕКТОРОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**Е.А.Копилевич, М.Б.Скворцов, Н.Д.Сурова, Г.В.Кузнецов** (ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский геологический институт нефти")

В статье изложена новая методика прогнозирования распределения перспективных высокодебитных коллекторов баженовских отложений в межскважинном пространстве, основанная на применении спектрально-временной параметризации сейсмической записи с опорой на скважинные данные по дебитам.

**Ключевые слова:** баженовская свита; методика обработки и интерпретации волнового поля; комплексная интерпретация.

Отложения баженовской свиты в настоящее время являются одним из самых перспективных нефтеносных комплексов Западной Сибири [1, 2]. Возможные ресурсы нефти «классической» баженовской свиты, по оценке И.И.Нестерова, составляют 32 млрд т. Привлекательной особенностью баженовских залежей нефти является наличие скважин с дебитами 100 м<sup>3</sup>/сут и более.

В связи с этим весьма актуальны усовершенствование и развитие сейсмических методик прогноза зон высокодебитных баженовских коллекторов в межскважинном пространстве.

Новая методика регионального прогноза высокодебитных баженовских коллекторов Западной Сибири представляет собой адаптацию инновационной технологии комплексного спектрально-скоростного прогнозирования (КССП) типов геологического разреза и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов [3, 4] к сейсмогеологическим параметрам баженовских отложений.

Технология КССП разработана на базе спектрально-временного анализа (СВАН) (Мушин И.А., Бродов Л.Ю., Козлов Е.А., Хатянов Ф.И., 1983-1990) и псевдоакустического преобразования (Гогоненков Г.Н., Захаров Е.Т., Эльманович С.С., 1983) сейсмической записи с целью прогнозирования типов геологического разреза и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов (коэффициенты пористости и проницаемости, эффективные толщины, удельная емкость и гидропроводность) с построением их карт и кубов.

Впервые было показано, что различные типы карбонатного и терригенного типов разрезов лучше всего отображаются в волновом поле в виде различных спектрально-временных образов (СВО) (Копилевич Е.А., 1990; Давыдова Е.А., Мушин И.А., 2002).

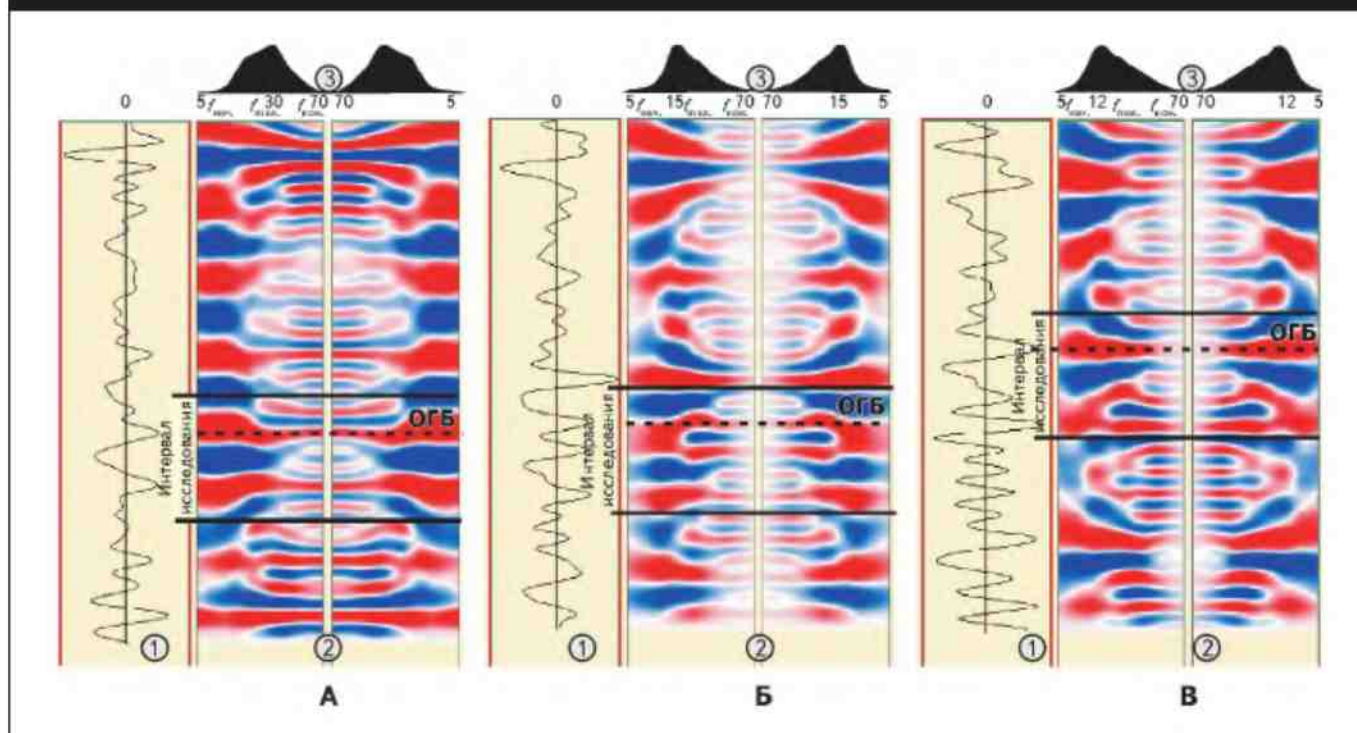
Физическая основа технологии КССП заключается в том, что в соответствии с классической теорией распространения упругих колебаний при изменении упругих свойств среды, обусловленных непостоянством литофациальной и гранулометрической характеристик разреза, параметров фильтрационно-емкостных свойств и наличием флюида, изменяются форма импульса волны и скорость его распространения (Гурвич И.И., 1954; Берзон И.С., 1956; Петрашень Г.И., 1958; Пузырев Н.Н., 1959).

Наиболее полное отображение изменения формы импульса достигается при его двухмерном спектральном разложении по оси частот и времен (Харкевич А.А., 1962).

Результатами СВАН являются СВАН-колонка (рис. 1) и ее энергетические спектры, которые характеризуются количественными спектрально-временными атрибутами (СВА), представляющими собой отношение энергии высоких частот и больших времен к энергии низких частот и малых времен (СВА1 и СВА4), а также произведение удельной спектральной плотности спектров на средне-взвешенные и максимальные частоты и времена (СВА2, СВА3, СВА5, СВА6). Формализованный (количественный) СВАН-анализ является отличительной особенностью КССП.

Геологический смысл предложенных атрибутов подробно обоснован в работе [4]. Описанные спектрально-временные атрибуты могут быть изначально классифицированы по их структуре в соответствии с принципами структурно-формационной интерпретации и физическим смыслом спектрального анализа сейсмической записи, а также данными о влиянии структурно-текстурных особенностей строения пород на их фильтрационно-емкостные свойства (Асташкин Д.А., 2004).

Рис. 1. СВАН-КОЛОНКИ ТРЕХ ТИПОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА БАЖЕНОСВКОЙ СВИТЫ



Скважины: А – Салымская-117, Б – Восточно-Сургутская-28, В – Ново-Ютымская-45; типы геологического разреза с дебитами, м<sup>3</sup>/сут: А – I, > 100; Б – II, 15-100; В – III, 0-15; цифры в кружках: 1 – сейсмические трассы в районе скважин, 2 – симметричные СВАН-колонки по сейсмическим трассам, 3 – энергетический частотный спектр СВАН-колонки

Авторами статьи было показано, что наиболее вероятен следующий предположительный геолого-сейсмостратиграфический смысл СВА. Структура СВА1 позволяет выявлять сиквенс-стратиграфические ранги в анализируемом интервале разреза и оценивать их соотношения по динамической выразительности, т.е. форме записи. Форма сейсмической записи и, следовательно, ее спектр отображают совокупность физических свойств целевого интервала разреза, обусловленную в том числе структурой пустотного пространства и процессами образования флюидов, а стало быть, каналов пористости среды, что, как известно, и представляет собой проницаемость и гидропроводность коллекторов. Кроме того, аномальное поглощение сейсмической энергии является одним из главных признаков наличия залежи УВ, а значит повышенной гидропроводности, что отражается в увеличении или уменьшении СВА1.

Структура СВА4, симметричного СВА1 по оси времен, позволяет рассчитывать на выявление направленности седиментации, т.е. оценивать степень прогрессивности или регрессивности анализируемого интервала, а следовательно, и характер изменения проницаемости и гидропроводности по глубине.

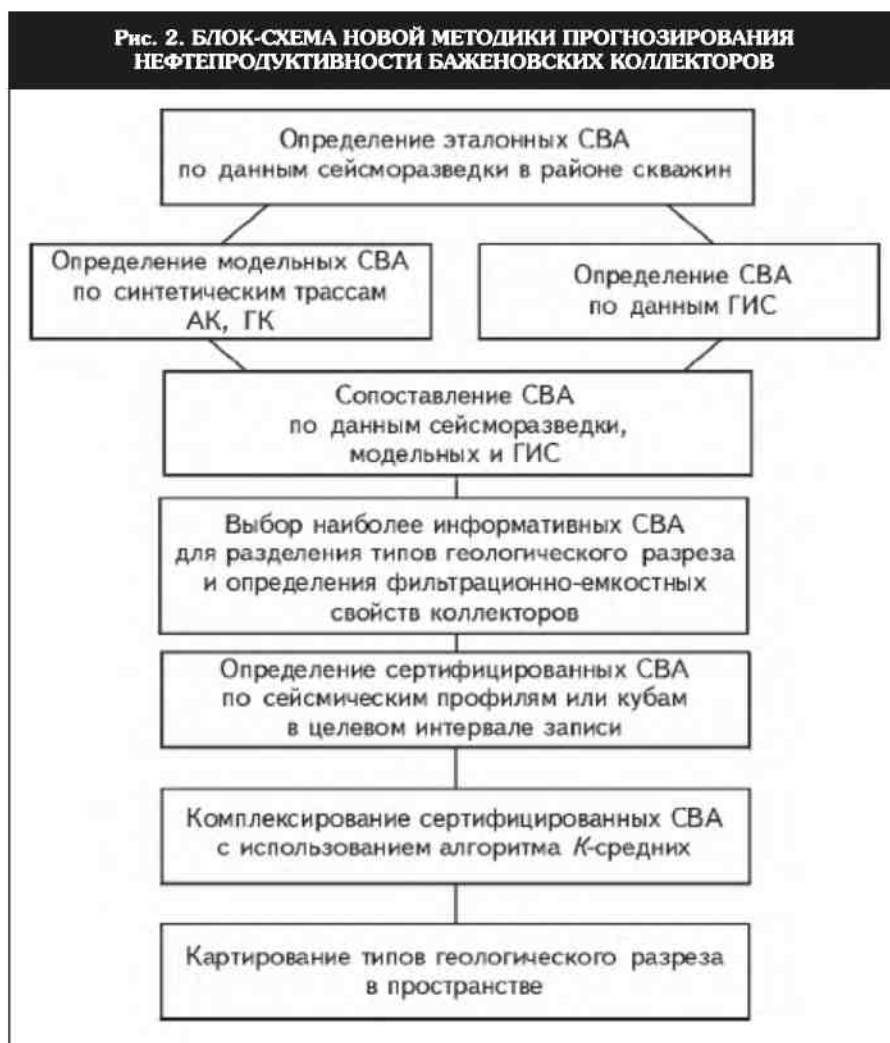
Поскольку прогнозирование проницаемости (гидропроводности) коллекторов является новым направле-

нием в интерпретации данных наземной сейсморазведки, для большей убедительности сошлемся на последние результаты других исследователей, которые, изучая влияние неупругих сред, представляющих собой нефтегазовые объекты, на распространение сейсмических волн, пришли к выводу, что при таких условиях коэффициент отражения становится частотно-зависимым и большую роль в его формировании играет проницаемость (Козлов Е.А., 2006), прогноз которой до недавнего времени считался невозможным. Е.А.Козлов показал, что связь неупругости с проницаемостью отражает практически все известные неупругие модели дискретных сред. Это означает, что проницаемость заметно влияет на распространение сейсмических волн в макро-мезонеоднородных средах, каковыми и являются геологические среды за редким исключением. Иначе говоря, существует реальная возможность выявления вариаций проницаемости по вариациям амплитуд сейсмической записи в зависимости от частоты.

Это имеет большое значение при изучении баженовских трещинных коллекторов, поскольку установлено [1, 2], что проницаемость в трещинном резервуаре пород баженовской свиты увеличивается в несколько десятков раз и во столько же раз превосходит проницаемость матрицы.



Рис. 2. БЛОК-СХЕМА НОВОЙ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТИВНОСТИ БАЖЕНОВСКИХ КОЛЛЕКТОРОВ



Многочисленные экспериментальные данные для различных сейсмогеологических условий свидетельствуют о более устойчивой связи предложенных авторами статьи частотно-зависимых сейсмических атрибутов с гидропроводностью, т.е. с суммарным проницаемым объемом, равным произведению коэффициента проницаемости ( $K_{пр}$ ) на эффективную толщину ( $h_{эф}$ ), деленному на вязкость нефти ( $\mu$ ):

$$T = \frac{K_{пр} h_{эф}}{\mu}$$

Поскольку  $\mu$  в пределах месторождения чаще всего является величиной постоянной ( $\mu = const$ ), получается, что  $SVA_1, 4 = f(K_{пр} h_{эф})$ .

В связи с тем, что продуктивность нефтяного пласта линейно связана с гидропроводностью (формула Дююи или экспериментальные графики) появляется возможность прогнозирования дебитов нефти или коэффициентов нефтепродуктивности в межскважинном пространстве по данным сейсморазведки.

СВА2, 3 характеризуют анализируемый интервал разреза главным образом по интегральным типам слоистости и степени ее выраженности, т.е. макро-, миди-, тонкослоистости, типам цикличности, ритмичности, что прямо связано с объемом пустотного пространства или емкостью.

СВА5, 6, имеющие ту же структуру, что и СВА2, 3, но определяемые по оси времен, могут характеризовать особенности распределения слоистости (емкости) по анализируемому интервалу разреза.

Отсюда следует, что СВА могут быть использованы для количественного определения коэффициентов пористости и проницаемости, эффективных толщин, емкости и гидропроводности в межскважинном пространстве, а также участвовать в интегральной характеристике различных типов геологического разреза.

Изменение скорости распространения импульса в среде определяется значениями псевдоакустической скорости на основе псевдоакустического каротажа (ПАК; Гогоненков Г.Н., 1983).

Таким образом, количественная спектрально-временная и псевдоакустическая параметризации сейсмической записи на временных разрезах

и кубах позволяют получить 7 соответствующих атрибутов — 6 спектрально-временных (3 по оси частот и точно такие же 3 по оси времен) и 1 псевдоакустический (скорость).

Эти 7 сейсмических атрибутов сертифицируются по максимальному значению коэффициента взаимной корреляции (КВК) с типами геологического разреза и параметров фильтрационно-емкостных свойств коллекторов в эталонных скважинах. Сертифицированные атрибуты, т.е. наиболее подходящие, коррелирующиеся с наибольшим КВК с петрофизическими параметрами и обеспечивающие максимальные спектрально-временную и псевдоакустическую разницу различных типов геологического разреза, определяются по всем сейсмическим трассам с построением карт и кубов атрибутов, которые комплексно интерпретируются с использованием современных математических средств — искусственных нейронных сетей и статистических, спектрально-корреляционных алгоритмов.

Результаты применения разработанной методики представляют собой карты и кубы типов геологическо-

го разреза, коэффициентов пористости и проницаемости, эффективных толщин, удельной емкости и гидропроводности коллекторов, имеющих как пористую, так и трещинную и трещинно-кавернозную структуру.

Геолого-геофизической основой предлагаемой методики является тот факт, что структура пустотного пространства глинистых трещинных коллекторов представляет собой сочетание относительной протяженных плоских горизонтальных полостей и преимущественно вертикальных микротрещин с одним доминирующим направлением (Бродов Л.Ю., Кузнецов В.М., Овчаренко А.В., 1995). При этом глинистый коллектор характеризуется орторомбической симметрией и возможным наличием флюида в межскважинных горизонтальных полостях (Зубков М.Ю., Бондаренко П.М., 2006; Кузнецов В.М., 2001).

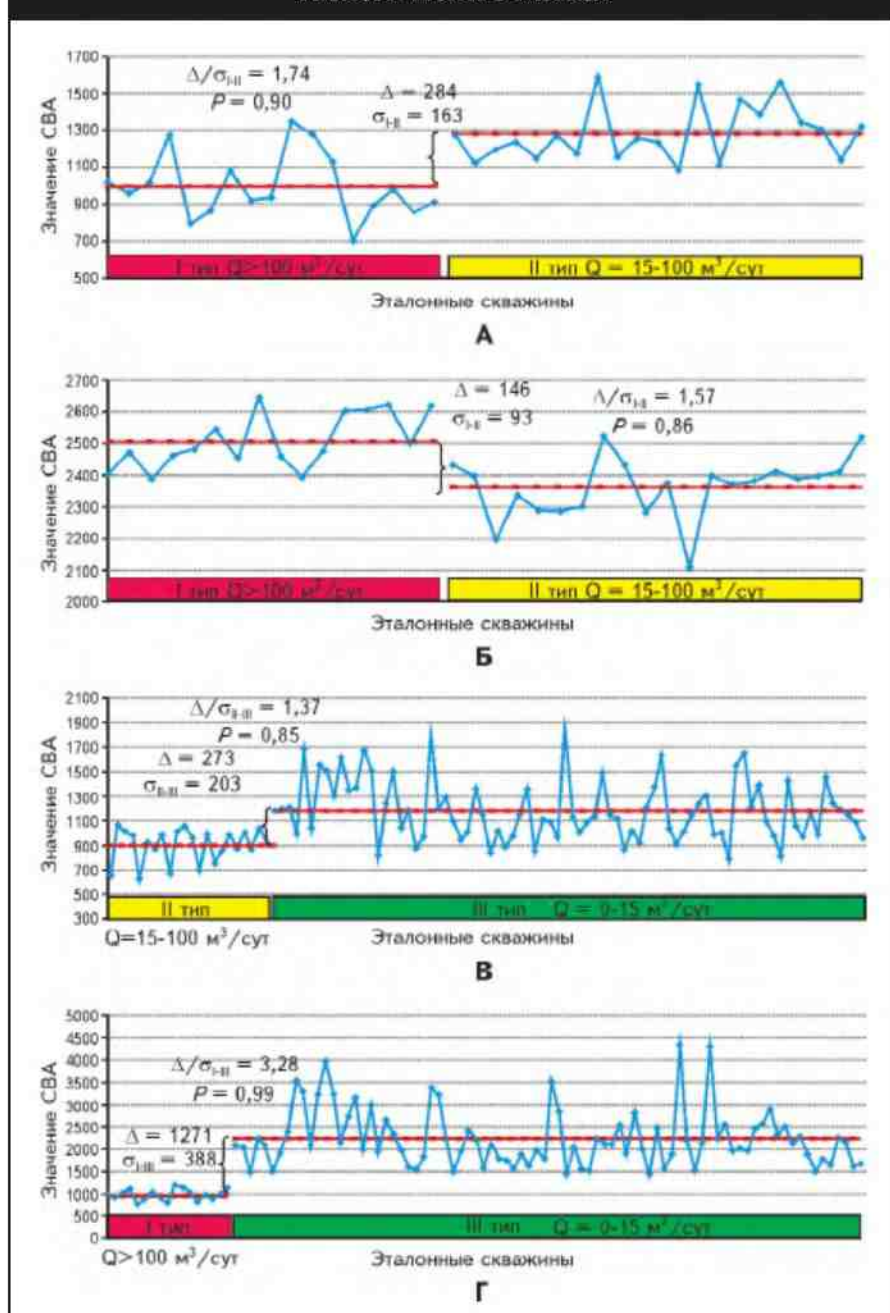
Баженовская свита образует специфический тип коллекторов, представленный листоватыми разностями глинистых пород с сильно развитой горизонтальной и субгоризонтальной, а также нередко вертикальной трещиноватостью. Установлено, что коллектор в баженидах всегда однозначно нефтенасыщен. Линзы коллекторов в баженидах являются специфическими ловушками нефти, не связанными ни со структурной формой, ни наличием экранов. Также можно считать, что зоны развития коллекторов в баженидах связаны с тепловыми аномалиями и аномально высоким пластовым давлением [1].

Геологическими процессами, вызывающими формирование глинистых трещинных коллекторов в потенциально продуктивных пластах, представляющих собой прочные, но хрупкие и сравнительно легко растворимые породы, например кремнистые или карбонатные, являются тектонические движения, которые сопровождаются гидротермальной проработкой, что подтверждается положительными амплитудными аномалиями и своеобразными минеральными ассоциациями, возникающими в ново-

образовавшихся коллекторах полостях (Зубков М.Ю., Бондаренко П.М., 2000).

Таким образом, глинистые трещинные коллекторы можно рассматривать как зоны локальных неоднородностей, характеризующиеся аномальными свойствами, для прогноза которых предложен запатентованный способ геофизической разведки [3], реализованной в инновационной технологии КССП [4].

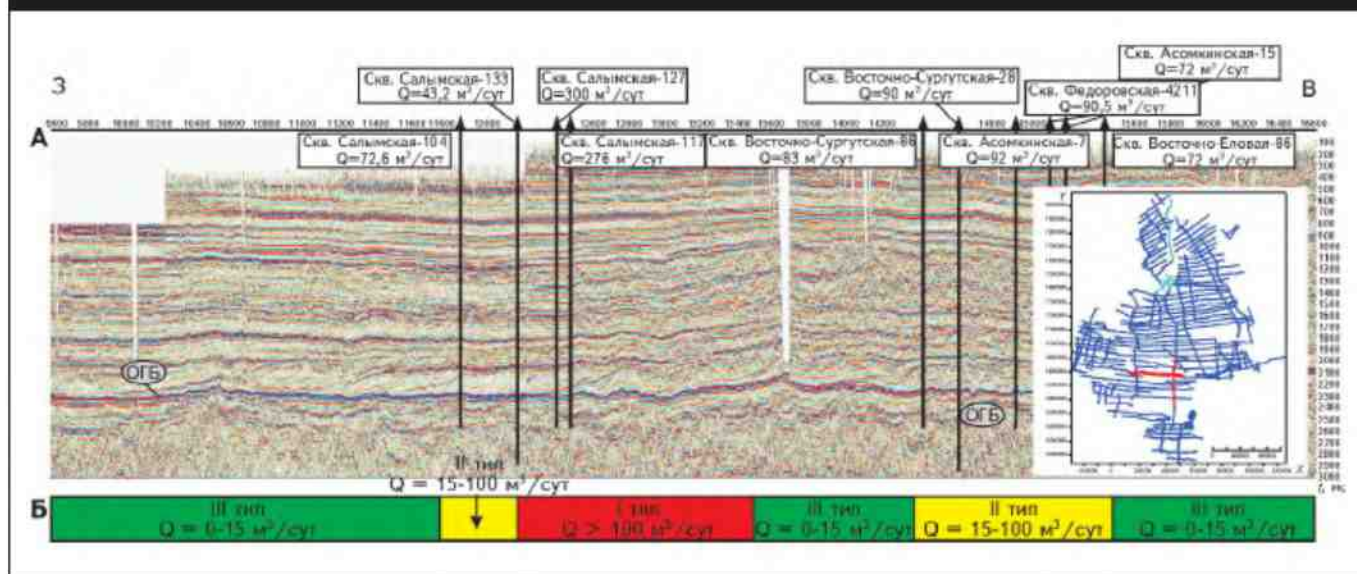
Рис. 3. ГРАФИКИ СЕРТИФИЦИРОВАННЫХ СВА ПО ТИПАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА



Разница между типами разреза: А – I и II по СВА<sub>1</sub>, Б – I и II по СВА<sub>6</sub>, В – II и III по СВА<sub>4</sub>, Г – I и III по СВА<sub>1</sub>



Рис. 4. ВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ (А), ПРОГНОЗНЫЙ (Б) ТИПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ПО ПРОФИЛЮ R009001584



Блок-схема предлагаемой в настоящей статье методики представлена на рис. 2.

На первом этапе по данным бурения и ГИС проводится типизация геологического разреза баженовских отложений с критерием по дебиту нефти и СВА, заметно отличающихся для разных типов.

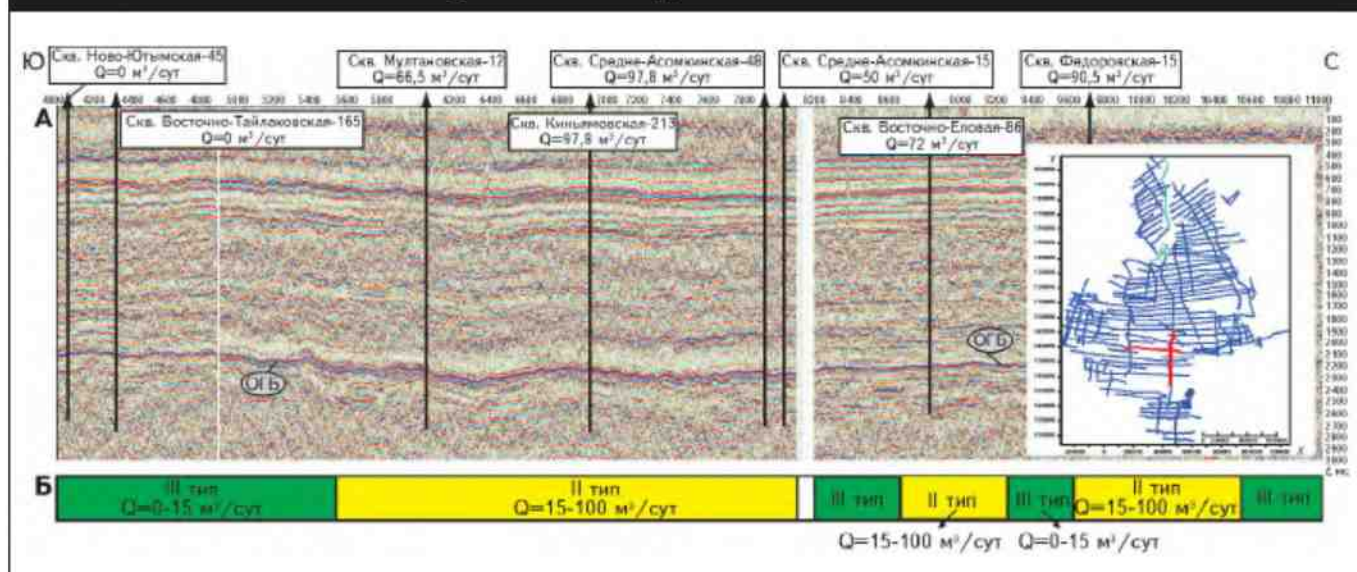
Рассмотрение такой информации по 137 скважинам с различными дебитами (рис. 3) позволило выделить три типа разреза баженовских отложений, заметно отличающихся по значениям сертифицированных СВА. Разница средних значений сертифицированных четырех СВА ( $\Delta$ ) соотносится со среднеквадратической

оценкой разброса СВА относительно среднего значения ( $\delta$ )  $\Delta/\delta \geq 1,3$ , т.е. доверительная вероятность разделения различных типов геологического разреза по СВА ( $P$ ) составляет  $P \geq 0,8$ , т.е. прогноз надежен.

Комплексная интерпретация сертифицированных атрибутов выполнена с использованием алгоритма кластеризации  $k$ -средних, усовершенствованного А.В. Петровым, который позволил учитывать взаимную корреляцию исходных данных.

Результаты формализованной комплексной интерпретации, представленные в виде временных разрезов по двум взаимно перпендикулярным, профилям, четко ил-

Рис. 5. ВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ (А), ПРОГНОЗНЫЙ (Б) ТИПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ПО ПРОФИЛЮ УН010400



люстрируют расположение зон с дебитами до 100 м<sup>3</sup>/сут и более (I и II типы геологического разреза баженовский отложений), которые могут обоснованно быть объектами детальных сейсмических работ 2D, 3D с использованием изложенной новой методики обработки и интерпретации волнового поля (рис. 4, 5).

Все изложенное позволяет рекомендовать разработанную методику для изучения баженовских коллекторов Западной Сибири.

#### Литература

1. **Никульшин И.А.** Условия образования и структура коллектора баженовской свиты на примере Сахалинской и Восточно-Сахалинской площадей Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна / И.А.Никульшин // Вестник МГУ. Сер. 4 Геология. — 2006. — № 5.
2. **Никульшин И.А.** Структура коллектора баженовской свиты на примере Сахалинской и Восточно-Сахалинской площадей Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна / И.А.Никульшин // Геология нефти и газа. — 2007. — № 5.
3. **Копилевич Е.А.** Способ геофизической разведки для выявления нефтегазопродуктивных типов геологического разреза в трехмерном межскважинном пространстве: патент на изобретение РФ № 2255358 / Е.А.Копилевич, И.А.Мушин, Е.А.Давыдова и др. // — 2005.
4. **Копилевич Е.А.** «Комплексное спектрально-скоростное прогнозирование типов геологического разреза и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов» / Е.А.Копилевич, И.А.Мушин, Е.А.Давыдова, М.Л.Афанасьев // ОАО «НК «Роснефть». Сер. Библиотека нефтяного инжиниринга. —

Ижевск: АНО «Ижевский институт компьютерных исследований», 2010.

#### © Коллектив авторов, 2016

*Ефим Абрамович Копилевич,*  
главный научный сотрудник,  
доктор геолого-минералогических наук,  
kopilevich@vniigni.ru;

*Михаил Борисович Скворцов,*  
заведующий отделом,  
кандидат технических наук,  
skvortsov@vniigni.ru;

*Наталья Дмитриевна Сурова,*  
заведующий сектором,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
surova\_n@vniigni.ru;

*Григорий Викторович Кузнецов,*  
магистрант,  
kuzgreg@mail.ru.

#### NEW METHODS FOR REGIONAL FORECAST OF HIGHLY PRODUCTIVE BAZHENOV RESERVOIRS IN WESTERN SIBERIA

*Kopilevich E.A., Skvortsov M.B., Surova N.D., Kuznetsov G.V.* (FSBI "All-Russian Research Geological Oil Institute")

The paper presents a new method for the prediction of promising highly productive Bazhenov reservoirs distribution in the crosshole space. The method uses spectral-time seismic record parametrization based on well discharge record.

**Key words:** Bazhenov suite; methods of wavefield processing and interpretation; complex interpretation.