

УДК 550.8.05/.3

**А.В. Хитренко**<sup>1,2</sup>, e-mail: [xitrenko.a@gubkin.ru](mailto:xitrenko.a@gubkin.ru); **К.А. Громан**<sup>2</sup>, e-mail: [Groman.KA@gazpromneft-ntc.ru](mailto:Groman.KA@gazpromneft-ntc.ru);**М.А. Лобусев**<sup>1</sup>, e-mail: [lobusev.m@gubkin.ru](mailto:lobusev.m@gubkin.ru)<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).<sup>2</sup> ПАО «Газпром нефть» (Санкт-Петербург, Россия).

## Уменьшение неопределенностей ресурсной базы с использованием сейсмической инверсии и геологических ограничений на примере месторождения тюменской свиты в Западной Сибири

В статье представлены результаты применения нового подхода к проведению сейсмической инверсии с учетом геологических ограничений на примере одного из месторождений тюменской свиты. Объектом исследования была территория, расположенная в центральной части Западной Сибири и состоящая из одного лицензионного участка. Основным поисковым объектом в пределах исследуемой территории на сегодняшний день является сравнительно хорошо изученная тюменская свита, характеризующаяся достаточно сложным строением со значительной вертикальной и латеральной неоднородностями.

В ходе исследования установлено, что стандартный подход к проведению сейсмической инверсии показывает хороший результат в случае наличия четкого разделения литофациальных комплексов, однако при отсутствии такого разделения существенными преимуществами обладает метод стохастической сейсмической инверсии с геологическими ограничениями, позволяющий исключить некорректные геологические модели из последующего анализа и сузить распределение литофаций. Кроме того, к числу преимуществ данного подхода можно отнести включение неопределенностей исходных данных в процесс сейсмической инверсии в целях максимального учета всех неопределенностей в финальных моделях.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, сейсмическая инверсия, геологическая модель, геологическое ограничение, литофациальный комплекс, глубинный разрез, тюменская свита.

.....

**А.В. Хитренко**<sup>1,2</sup>, e-mail: [xitrenko.a@gubkin.ru](mailto:xitrenko.a@gubkin.ru); **К.А. Громан**<sup>2</sup>, e-mail: [Groman.KA@gazpromneft-ntc.ru](mailto:Groman.KA@gazpromneft-ntc.ru);**М.А. Лобусев**<sup>1</sup>, e-mail: [lobusev.m@gubkin.ru](mailto:lobusev.m@gubkin.ru)<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)" (Moscow, Russia).<sup>2</sup> Gazprom Neft PJSC (St. Petersburg, Russia).

## Reducing Resource Base Uncertainties using Seismic Inversion and Geological Constraints on the Example of the Tyumen Suite Field in Western Siberia

This article presents the results of a new approach to seismic inversion, taking into account geological constraints, using one of the fields in the Tyumen suite as an example. The object of the study was an area located in the central part of Western Siberia and consisting of one license area. The main prospecting target within the study area to date is the relatively well studied Tyumen Formation, which is characterized by a rather complex structure with significant vertical and lateral heterogeneity.

The study finds that the standard seismic inversion approach shows good results when lithofacial complexes are clearly separated, but in the absence of such separation, stochastic seismic inversion with geological constraints has significant advantages, allowing incorrect geological models to be excluded from subsequent analysis and

narrowing the lithofacial distribution. In addition, the advantages of this approach include incorporating source data uncertainties into the seismic inversion process in order to maximize the incorporation of all uncertainties into the final models.

**Keywords:** seismic survey, seismic inversion, geological model, geological constraint, lithofacial complex, depth section, Tyumen suite.

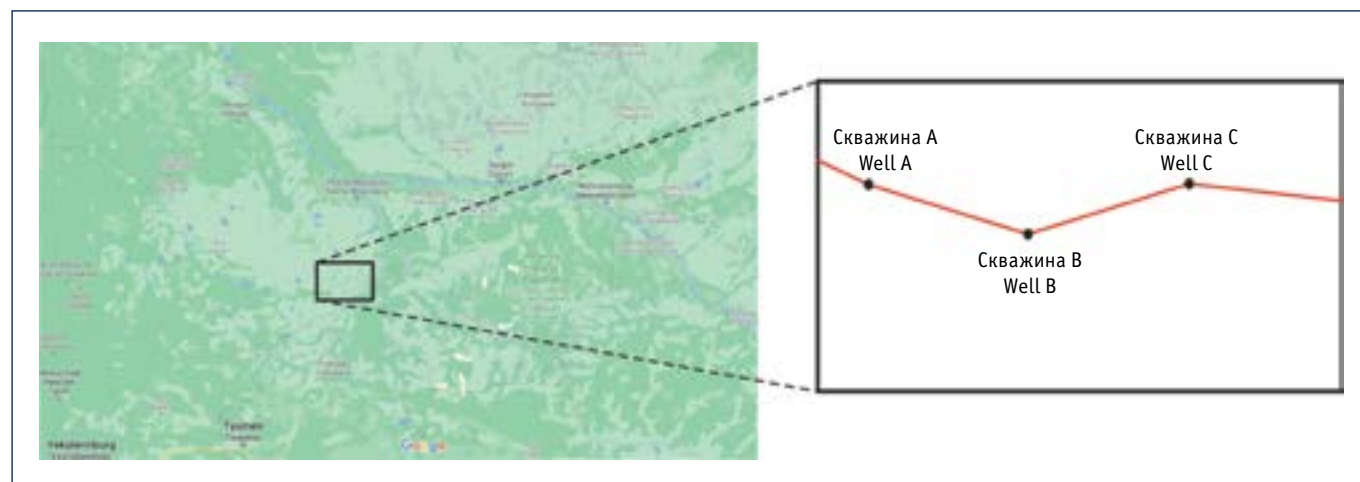


Рис. 1. Местоположение изучаемой территории (слева) и скважин (справа) относительно сейсмического куба  
Fig. 1. Location of the study area (left) and wells (right) in relation to the seismic cube

## ВВЕДЕНИЕ

Основным источником информации для прогнозирования латерального распределения литофаций являются данные, полученные с помощью сейсморазведки. По сравнению с прошлым веком, когда основной целью проведения сейсморазведочных мероприятий было построение структурного каркаса, возможности данного метода исследований значительно расширились. На сегодняшний день основной задачей, стоящей перед геологоразведкой, является прогноз литологического строения и нефтегазонасыщенности залежей.

Основным инструментом, применяющимся для прогнозирования свойств коллектора, является в значительной степени автоматизированный метод сейсмической инверсии, получающий в последнее время все более широкое распространение. Впрочем, несмотря на все преимущества сейсмической

инверсии, ряд задач, связанных с детализацией строения залежей, стандартные технологии сейсмической инверсии все же не решают, что обусловило рост популярности стохастической сейсмической инверсии, позволяющей провести оценку неопределенностей для автоматического построения геологических моделей.

Необходимо также отметить, что в настоящее время в разработку вовлекается все большее число залежей, характеризующихся сложным геологическим строением, что ставит перед геофизиками более сложные задачи. Для их решения в рамках исследования, результаты которого представлены в данной статье, авторами был применен метод стохастической сейсмической инверсии с геологическими ограничениями. Кроме того, было проведено сравнение результатов применения стандартного и предлагаемого авторами подходов.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Изучаемая территория находится в центральной части Западной Сибири и состоит из одного лицензионного участка. На рис. 1 представлены относительное местоположение скважин и часть данных сейсмического куба.

В отложениях Западно-Сибирской плиты выделяются три мегацикла [1] – триас-аптский, апт-олигоценовый и олигоцен-четвертичный, – каждый из которых характеризуется изменением осадконакопления с континентальных преимущественно морским или прибрежно-морским отложениям. В пределах лицензионного блока имеется несколько продуктивных залежей в меловом комплексе и одна залежь в среднеюрских отложениях – тюменская свита, которая достаточно хорошо развита в пределах изучаемой территории и является на сегодняшний день основным поисковым объектом. Свита

Ссылка для цитирования (for citation):

Хитренко А.В., Громан К.А., Лобусев М.А. Уменьшение неопределенностей ресурсной базы с использованием сейсмической инверсии и геологических ограничений на примере месторождения тюменской свиты в Западной Сибири // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2021. № 9–10. С. 30–36.  
Khitrenko A.V., Groman K.A., Lobusev M.A. Reducing Resource Base Uncertainties using Seismic Inversion and Geological Constraints on the Example of the Tyumen Suite Field in Western Siberia. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2021;(9–10):30–36. (In Russ.)

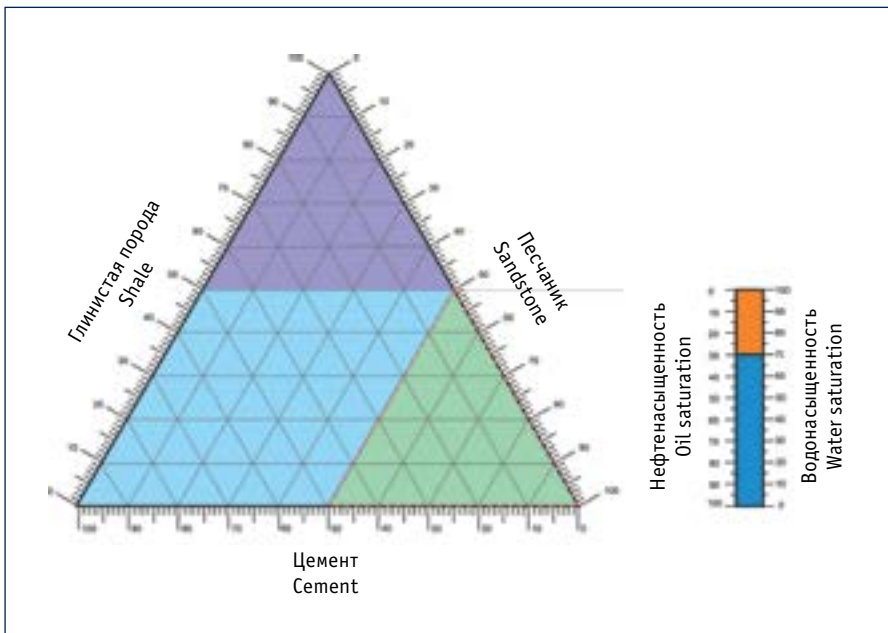


Рис. 2. Диаграмма распределения литофаций  
Fig. 2. Lithofacies distribution diagram

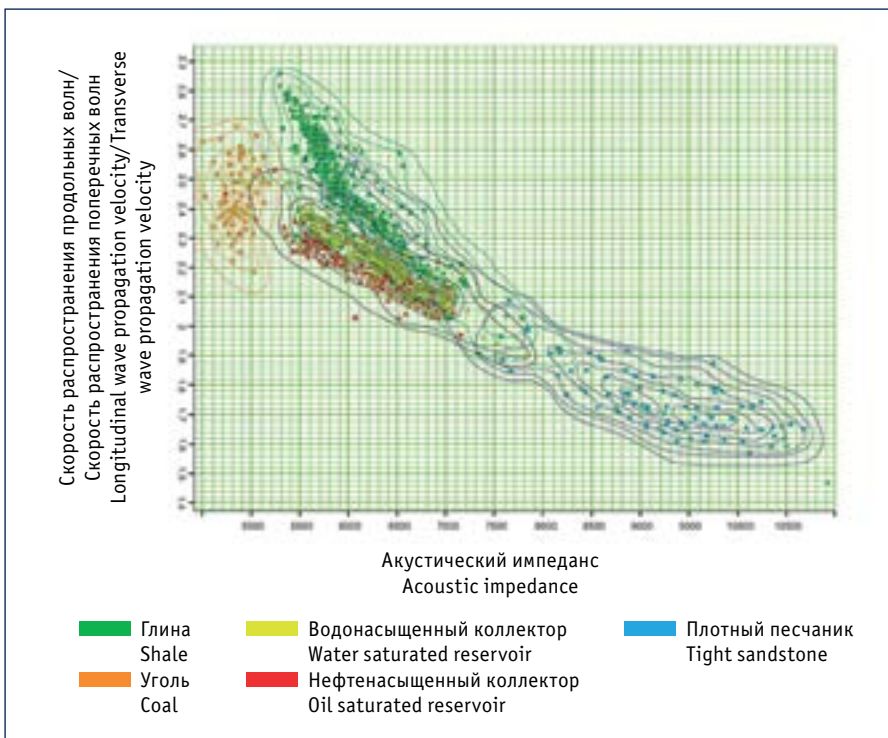


Рис. 3. Кроссплот отношения скоростей распространения продольной и поперечной акустических волн к акустическому импедансу с вынесенными функциями плотности вероятностей  
Fig. 3. Crossplot of longitudinal and transverse acoustic wave propagation velocity ratios to acoustic impedance with outlined probability density functions

сложена главным образом переслаиванием песчаника, алевролита и глины с достаточно маломощными, но выдержанными по мощности пачками бурых углей. Песчаник мелового возраста был

сформирован в мелководно-морских обстановках.

Тюменские отложения сравнительно хорошо изучены в пределах рассматриваемого лицензионного блока, однако

характеризуются достаточно сложным строением со значительной вертикальной и латеральной неоднородностями. Исходя из скважинной информации, вскрывшей тюменские отложения, можно утверждать, что среднеюрские отложения представлены в основном пятью литофациальными комплексами. На рис. 2 представлено распределение литоклассов на тернарной диаграмме. Юрские отложения были вскрыты тремя скважинами с необходимым комплексом геофизических исследований для интерпретации. Общий объем данных сейсморазведочных работ составил чуть более 500 км<sup>2</sup> с удовлетворительным качеством.

По результатам проведенного анализа был построен кроссплот петрофизических параметров по литофациальным комплексам (рис. 3). С учетом данных, полученных в ходе исследования зависимостей акустического импеданса и отношения продольных и поперечных скоростей, достаточно уверенно можно выделить значительные по мощности плотный песчаник и уголь. Остальные литофациальные комплексы обладают достаточно существенным перекрытием, что не позволяет использовать стандартные методы синхронной сейсмической инверсии для прогнозирования литологического строения [2–4]. Это и послужило причиной тестирования модифицированного метода стохастической инверсии с использованием геологических ограничений.

### ПОВТОРНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ СЕЙМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

По результатам анализа скважинной информации было принято решение выполнить повторную обработку имеющегося объема сейсмической информации в целях решения поставленной задачи. В ходе повторной обработки данных удалось значительно повысить качество сходимости скважинной и сейсмической информации, что, в свою очередь, повысило достоверность прогноза литофациальных комплексов.

Благодаря применению интерпретационного сопровождения удалось оперативно принимать решения об эффективности тех или иных алгоритмов обработки данных. В итоге помимо



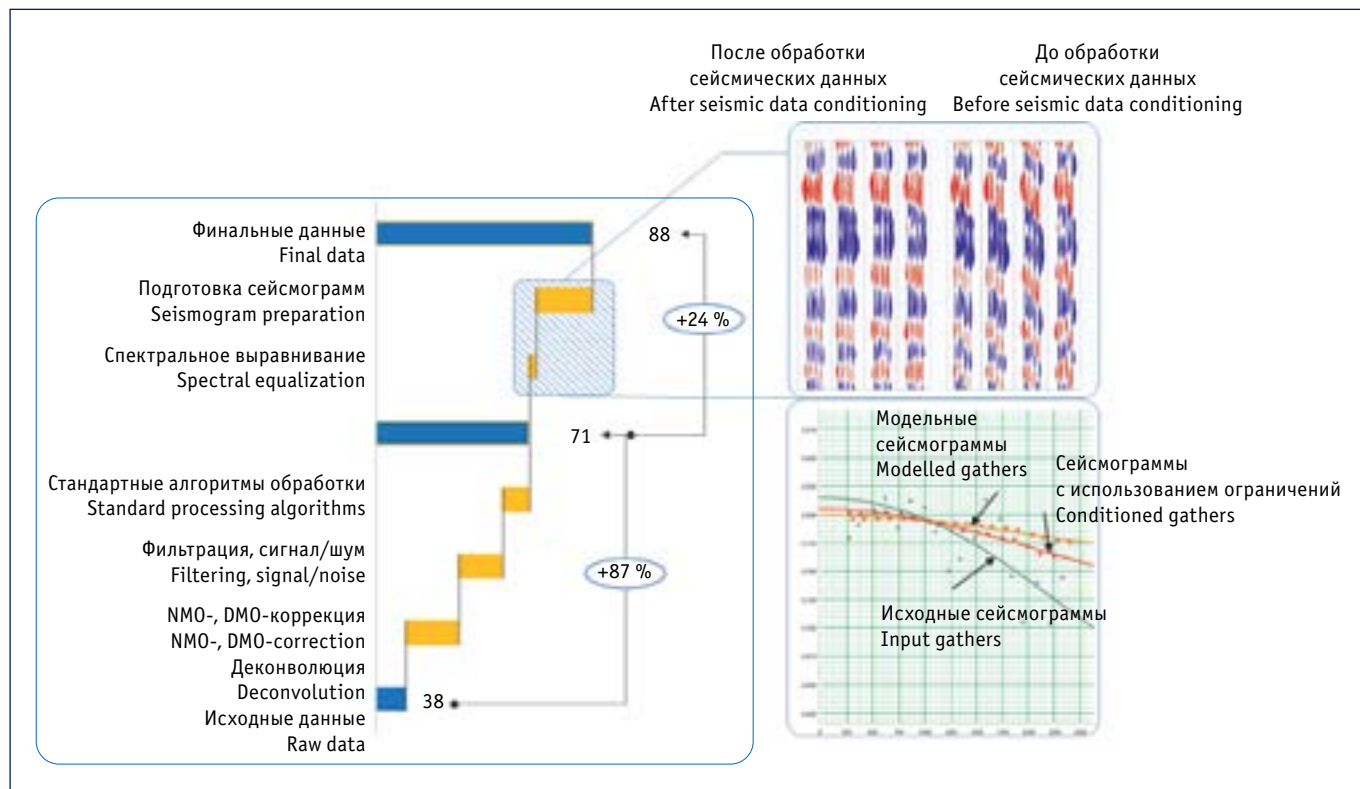


Рис. 4. Коэффициент корреляции между модельными и фактическими сейсмическими данными на различных этапах их обработки  
 Fig. 4. Correlation coefficient between modelled and actual seismic data at different stages of processing

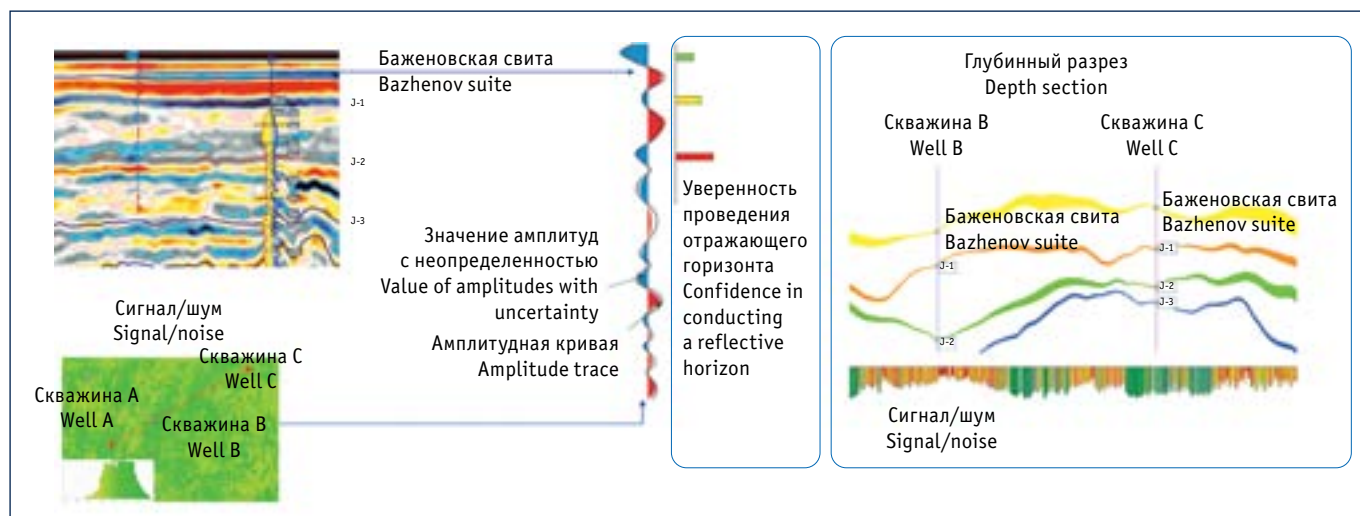


Рис. 5. Основные факторы, влияющие на неопределенность структурных построений, и глубинный разрез  
 Fig. 5. Main factors influencing the uncertainty of the structural constructions and the depth section

стандартного алгоритма были использованы дополнительные процедуры, позволившие повысить качество результатов исследования. На рис. 4 представлены основные процедуры, применявшиеся в процессе обработки, и их влияние на коэффициент корреляции между сейсмическими и скважинными данными.

**НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЛИТОФАЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

По результатам анализа всей совокупности геолого-геофизической и региональной информации был сформирован диапазон неопределенностей литофациальных комплексов для интеграции в финальную геологическую модель. Рассмотрим более детально основные

неопределенности, полученные по результатам данного анализа.

**Неопределенность структурного каркаса**

Структурный каркас является основным фактором, влияющим на ресурсную базу структурных залежей. Залежи в тюменской свите относятся в значительной

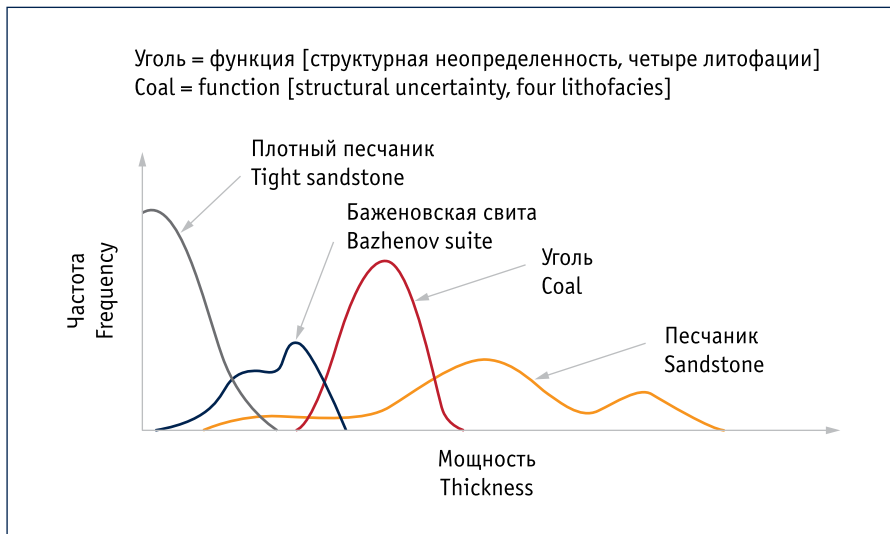


Рис. 6. Распределение основных литофациальных комплексов  
Fig. 6. Distribution of the main lithofacial complexes

степени к категории структурно-литологических ловушек, что также зависит от структурного каркаса. Неопределенность структурного каркаса зависит в первую очередь от следующих факторов (рис. 5):

- качества финальных сейсмических данных – в местах низкой кратности (пропусков) зачастую невозможно однозначно выполнить корреляцию отражающих горизонтов и наблюдаются скоростные аномалии, что может в значительной степени повлиять на структурный каркас. Наибольшей информативностью для определения качества сейсмической информации является

карта отношения «сигнал/шум», полученная по результатам обработки;

- достоверности трассирования отражающих горизонтов – многие отражения тюменской свиты характеризуются сложной интерференционной картиной, что в значительной степени влияет на структурный каркас. Поэтому достоверность трассирования отражающих горизонтов также учитывалась при построении структурного каркаса.

**Неопределенность значения мощностей литофаций**

Дополнительным геологическим ограничением является распределе-

ние общих толщин литофациальных комплексов, которые были получены по результатам анализа региональной информации, анализа скважинной информации и т. д. Данное условие позволило ликвидировать не геологические результаты в плане распределения общих толщин литологических тел. На рис. 6 представлено распределение четырех основных литофациальных комплексов. По результатам интерпретации данных сейсморазведочных работ достаточно отчетливо выделяются сейсмические аномалии, приуроченные к континентальным обстановкам осадконакопления. Однако, несмотря на достаточно выдержанную амплитудную характеристику аномалий, сделать однозначное заключение о литологическом составе пород не представляется возможным. На рис. 7 представлен пример подобной сейсмической аномалии.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

Сейсмическая инверсия с геологическими ограничениями состоит из трех основных этапов (рис. 8), включающих:

- построение исходной вероятностной модели с использованием исходного структурного каркаса и распределения литофаций;
- трансформирование исходной вероятностной модели с использованием

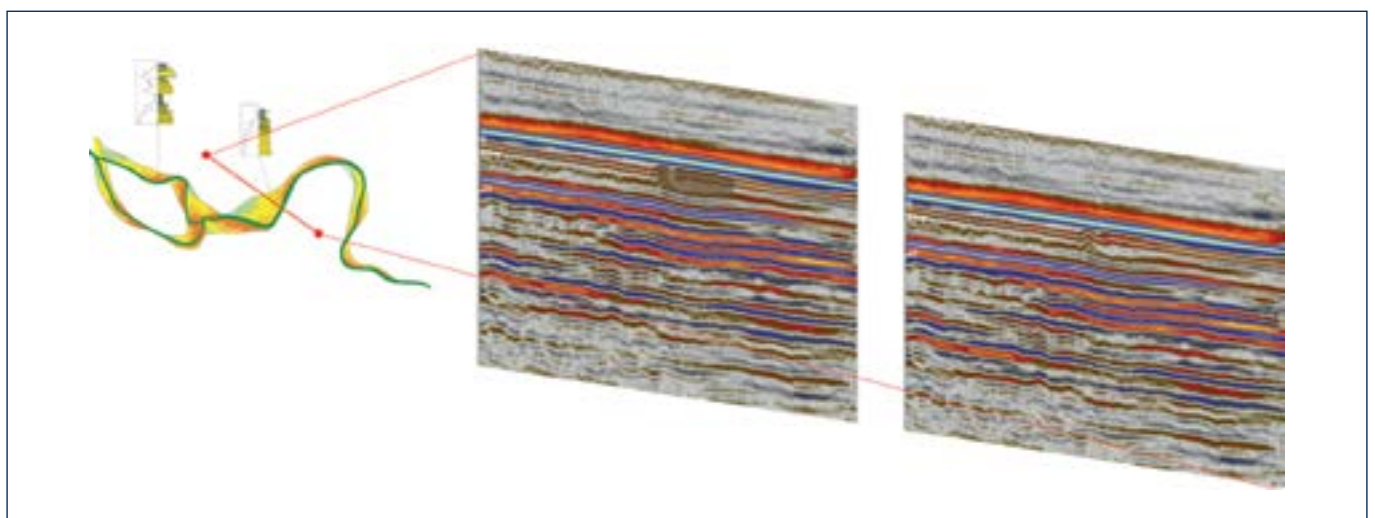


Рис. 7. Пример сейсмической аномалии: а) концептуальная геологическая модель; б) сейсмический разрез  
Fig. 7. Example of a seismic anomaly: a) conceptual geological model; b) seismic section

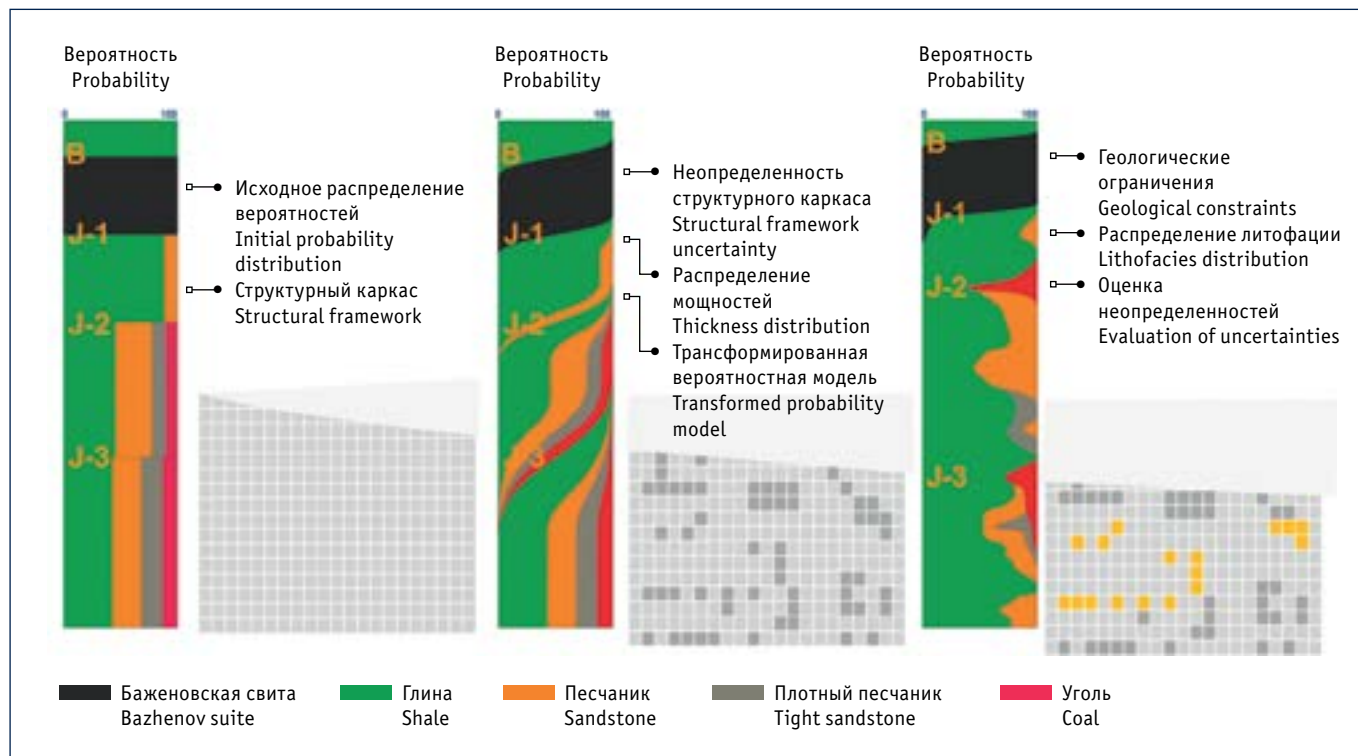


Рис. 8. Алгоритм проведения стохастической инверсии с геологическим ограничением  
 Fig. 8. Algorithm for stochastic inversion with geological constraint

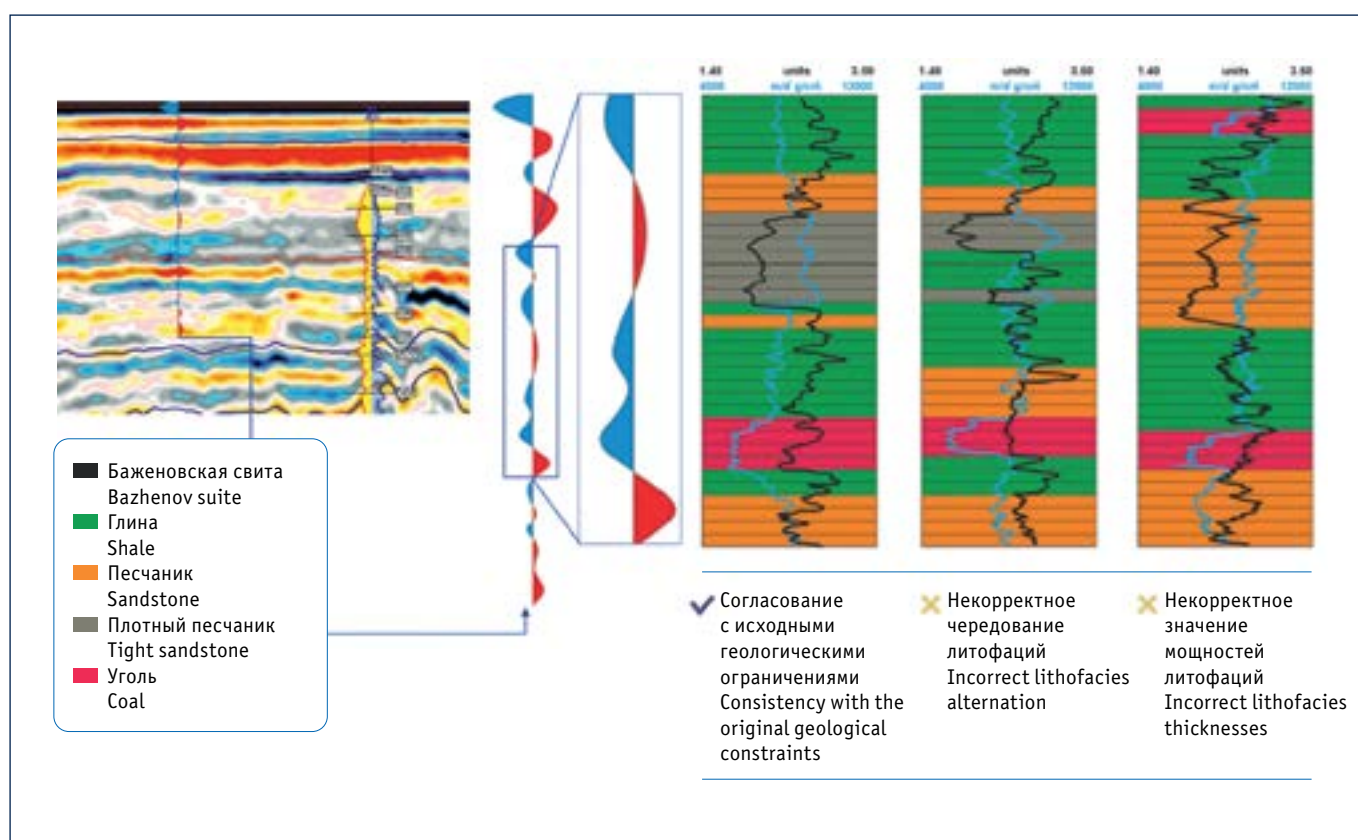


Рис. 9. Сейсмический разрез тюменской свиты (а) и геологические разрезы с вынесенными кривыми геофизических исследований скважин (б)  
 Fig. 9. Seismic section of the Tyumen suite (a) and geological sections with derived well logs (b)

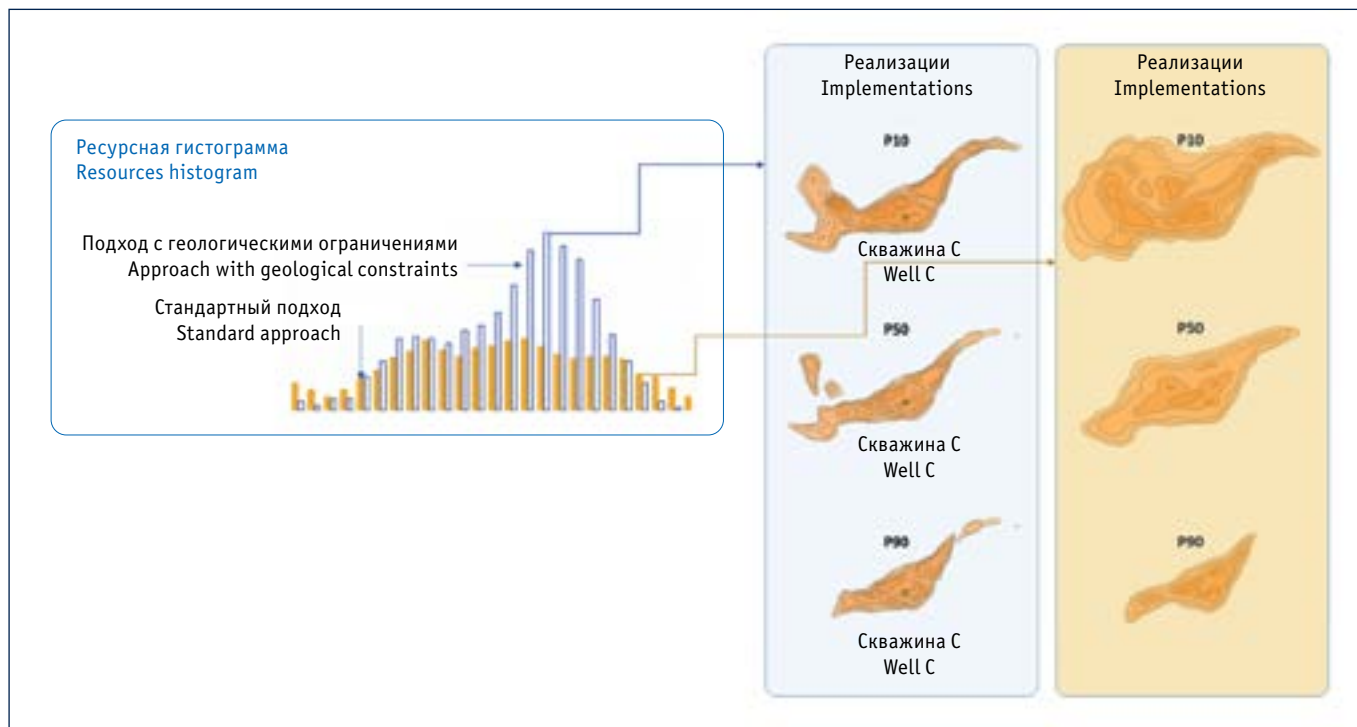


Рис. 10. Сравнение результатов применения различных алгоритмов сейсмической инверсии  
 Fig. 10. Comparison of the results of different seismic inversion algorithms

неопределенностей структурного построения и распределения мощностей литофаций;

- построение вероятностной модели и согласование геологических моделей с исходными сейсмическими данными. Использование геологических ограничений позволяет минимизировать объем построения моделей и исключить некорректные модели из последующего анализа. На рис. 9 представлен вариант исключения некорректных моделей на примере одной трассы. Все кривые упругих параметров на трех геологических разрезах имеют схожий сейсмический отклик с учетом неопределенностей в амплитудном разрезе.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В рамках проведенного исследования была рассчитана ресурсная база по трем возможным реализациям (рис. 10) с применением как стандартного подхода к проведению сейсмической инверсии, так и подхода с использованием геологических ограничений. Из рисунка видно, что исключение некорректных геологических моделей позволило получить более узкое распределение.

Таким образом, при наличии четкого разделения литофациальных комплексов стандартный подход к проведению сейсмической инверсии показывает хороший результат, однако в отсут-

ствии явного разделения между литологическими объектами данный подход может привести к некорректным результатам.

Результаты исследования позволяют сделать выводы о явных преимуществах подхода с использованием геологических ограничений по сравнению со стандартным. К основным преимуществам подхода с использованием геологических ограничений можно, в частности, отнести включение неопределенностей исходных данных в процесс сейсмической инверсии в целях максимального учета всех неопределенностей в финальных моделях.

**Литература:**

1. Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 680 с.
2. Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. Seismic Inversion Methods: A Practical Approach. Springer International Publishing; 2020.
3. Schuster Gerard T. Seismic Inversion. SEG [Society of Exploration Geophysicists] Books; 2017.
4. Wang Ya. Seismic Inversion: Theory and Applications. Wiley-Blackwell; 2016.

**References:**

1. Kontorovich A.E., Nesterov I.I., Salmanov F.K. et al. Geology of Oil and Gas in Western Siberia. Moscow: Nedra; 1975. (In Russ.)
2. Maurya S.P., Singh N.P., Singh K.H. Seismic Inversion Methods: A Practical Approach. Springer International Publishing; 2020.
3. Schuster Gerard T. Seismic Inversion. SEG [Society of Exploration Geophysicists] Books; 2017.
4. Wang Ya. Seismic Inversion: Theory and Applications. Wiley-Blackwell; 2016.