

Уточнение геологической модели юрских отложений с учетом результатов стохастической инверсии и фациального моделирования

М.А. Никанорова^{1*}, Е.С. Королёв¹, М.Ю. Шаповалов¹, Е.Н. Калинин¹, Н.А. Шадчнев², К.Ю. Бабинов³

¹ООО «НОВАТЭК НТЦ», Тюмень, Россия

²ПАО «НОВАТЭК», Москва, Россия

³ООО «НОВАТЭК – ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ», Тарко-Сале, Россия

В работе приведены результаты комплексной интерпретации, которые показывают, как с помощью стохастической инверсии эффективно внедрять сейсмические данные в трехмерную геологическую модель для повышения надежности прогнозов продуктивных толщин.

Проведена комплексная интерпретация геолого-геофизической информации отложений пласта Ю₂¹ малышевской свиты, включающая седиментологический анализ керновых данных, петроупругое моделирование кривых геофизических исследований скважин для целей стохастической инверсии и стохастическую инверсию сейсмических данных. Выполнен площадной прогноз обстановок осадконакоплений (фаций). Полученная трехмерная геологическая модель более детально, по сравнению с моделью без учета пространственного сейсмического прогноза, подчеркивает неоднородности распространения свойств в геологической среде, что особенно актуально при планировании эксплуатационного бурения горизонтальными скважинами.

Ключевые слова: геологическое моделирование, седиментология, стохастическая инверсия, юрские отложения

Для цитирования: Никанорова М.А., Королёв Е.С., Шаповалов М.Ю., Калинин Е.Н., Шадчнев Н.А., Бабинов К.Ю. (2023). Уточнение геологической модели юрских отложений с учетом результатов стохастической инверсии и фациального моделирования. *Георесурсы*, 25(3), с. 57–64. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.8>

Введение

Целью настоящей работы является уточнение геологической модели отложений пласта с учетом новых данных по керновым, скважинным и сейсмическим исследованиям.

Для прогнозирования литологических свойств объекта, а также выделения продуктивных и перспективных зон авторами выбран метод стохастической синхронной инверсии сейсмических данных. В рамках проведения исследования была поставлена задача построения согласованных друг с другом прогнозных карт развития коллектора, карт толщин газовой залежи и фациальных карт обстановок осадконакопления.

В качестве примера рассматривается пласт Ю₂¹ (малышевская свита).

Материалы и методы

В основу данной работы положена разнородная геолого-геофизическая информация. Выполнена стохастическая инверсия сейсмических данных и офсетная декомпозиция по кубам ближних (100–775 м), средних (1325–1975 м) и дальних (2500–3175 м) удалений в интервале юрских отложений. В основу методики офсетной декомпозиции

положен тот же принцип, что и для спектральной декомпозиции – суммирование трех атрибутов в синем, красном и зеленом цветовых каналах. Принципиальное отличие заключается в том, что на вход в данном случае подаются не кубы разных частотных диапазонов, а кубы разных диапазонов удалений. Всего было проанализировано более 1863 км² данных сейсмике МОГТ 3D и 8 скважин (в том числе 7 скважин с керновыми данными).

Комбинация фациального анализа, стохастической инверсии и геологического моделирования ранее показывала положительные результаты для прогнозирования развития областей скопления углеводородов в целевых пластах (Шаповалов и др., 2015; 2011).

В рамках работ по созданию геологической модели рассмотрены особенности формирования пласта Ю₂¹.

На карте сейсмического атрибута «сумма положительных амплитуд» вблизи исследуемого пласта (рис. 1, 2) в районе скважин №6 и 7 распространены многочисленные отложения русел, проток и песков разливов, хаотично рассекающих прибрежную равнину. Также в районе скважин №2 и 3 отмечаются «вытянутые элементы» оранжево-серого цвета, которые ориентированы в крест расположения русловых элементов

Отложения пласта Ю₂¹ представлены фациями прибрежно-континентального комплекса: приливно-отливными отмелями, руслами с приливно-отливным влиянием

* Ответственный автор: Марина Александровна Никанорова
e-mail: Marina.Nikanorova@novatek.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Материалы настоящей статьи были представлены в виде доклада на конференции «Перспективы нефтегазоносности ачимовского и юрского комплексов севера Западно-Сибирской НГП» в г. Тюмень, 23–24 мая 2023 г.

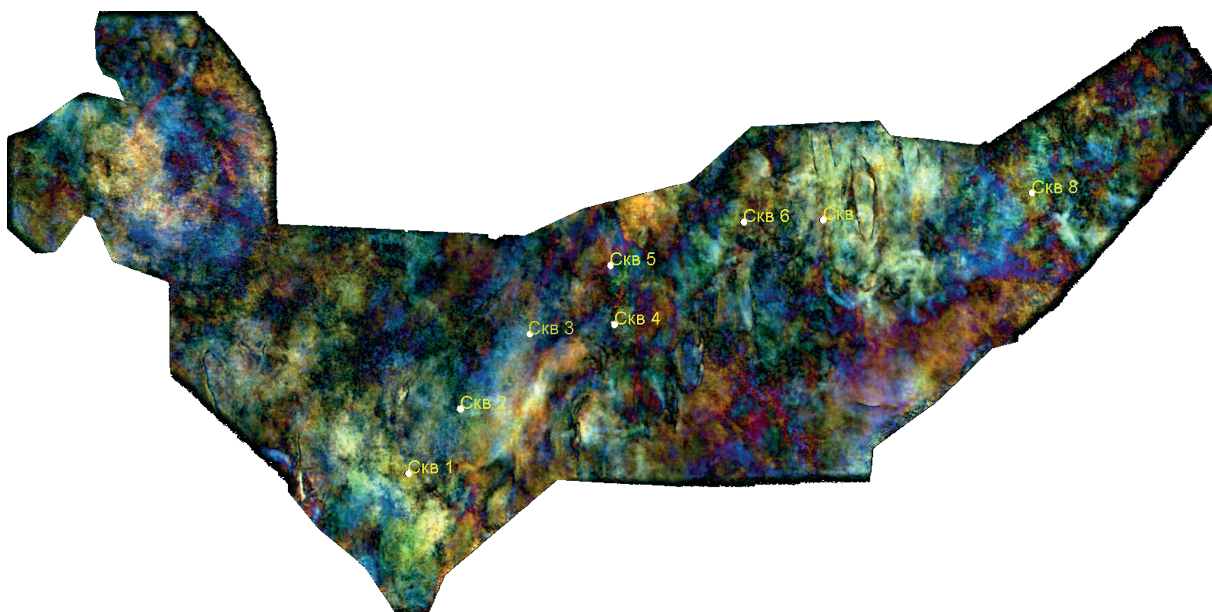


Рис. 1. Результаты спектральной декомпозиции по методу RGB суммирования вблизи кровли пласта Ю₂¹

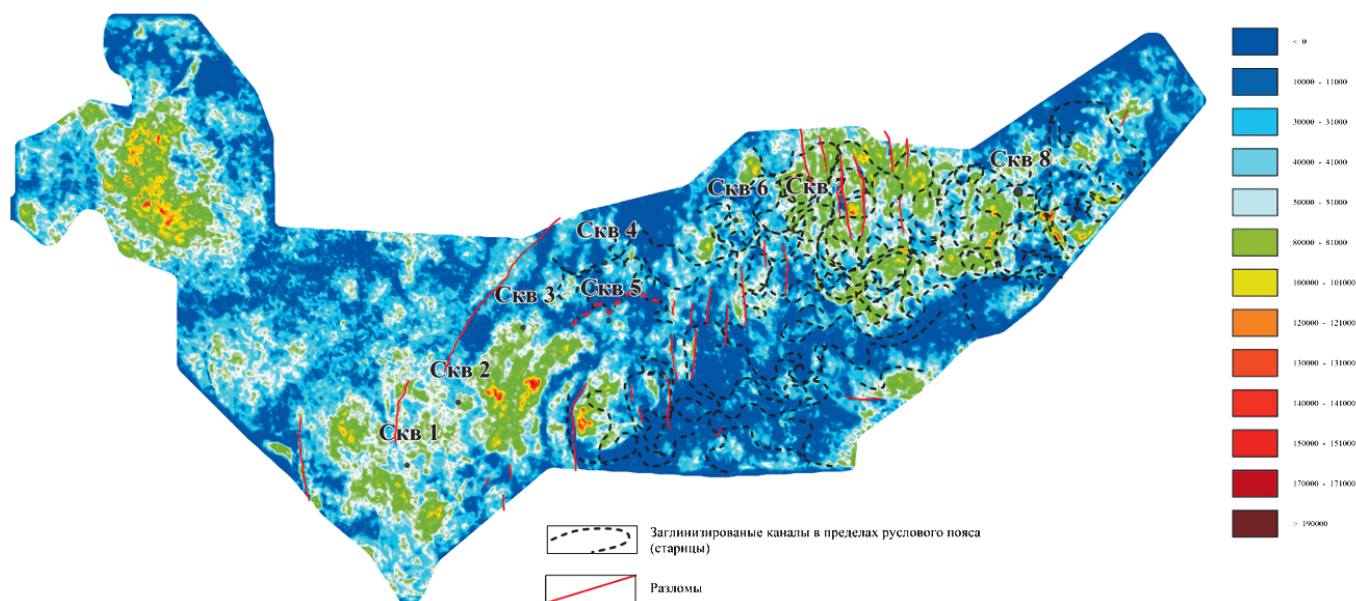


Рис. 2. Сумма положительных амплитуд вблизи пласта Ю₂¹

и прибрежными барами (рис. 3–5), а также отложениями прибрежно-морского комплекса – песчаниками фронта дельты (рис. 6–7).

Отложения пласта развиты повсеместно в пределах исследуемой территории, однако в силу того, что верхняя и средняя его части в отличие от нижней испытывали значительное влияние бассейновых процессов из-за постепенного повышения уровня моря (трансгрессии), наблюдаются различия обстановок осадконакопления исследуемых отложений. Смена обстановок осадконакопления в интервале пласта Ю₂¹, связанных с трансгрессией, показана на концептуальной блок-схеме (рис. 7) и на седиментологическом разрезе (рис. 8).

Для прогноза областей развития коллектора в данной работе была использована синхронная стохастическая инверсия сейсмических данных.

Первым шагом стало определение возможности прогноза литологии на основе сейсмических данных.

Для этого было выполнено петроэластическое моделирование (ПЭМ) упругих свойств пласта в предположении, что его составляют 5 основных литотипов: «газонасыщенный коллектор», «водонасыщенный коллектор», «глинистый неколлектор», «уголь» и «плотные породы». Результаты этих работ представлены на рисунке 9 в виде кроссплота распределения литотипов в поле упругих параметров «Р-импеданс» и «отношение скоростей продольной и поперечной волн». Из приведенного анализа сделано несколько выводов:

- Разделение газонасыщенных песчаников и остальных литотипов составляет 2,1 стандартных отклонения (σ) для соотношения скоростей продольной и поперечной упругих волн (V_p/V_s);
- Водонасыщенные коллектора и глинистые породы отделяются друг от друга на $0,5\sigma$, что может привести к неоднозначности прогноза эффективных толщин в водонасыщенной части пласта;

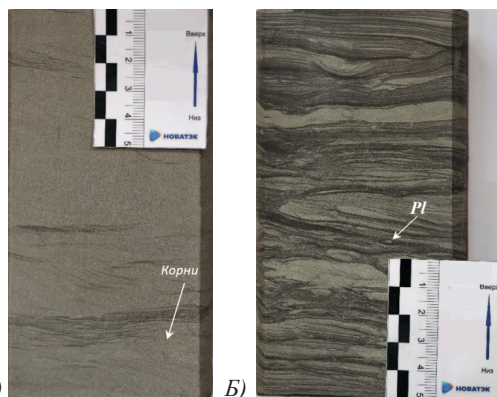


Рис. 3. Отложения приливо-отливной ложбины (ручья) (tidal creek) и смешанной песчано-глинистой приливо-отливной отмели (mix mud-sand tidal flat). А) – песок от средне-мелкозернистого до мелкозернистого с мелкой косой, пологоволнистой слоистостью за счет СУМ (слюдисто-углистый материал) и СУГМ (слюдисто-углисто-глинистый материал) с примесью сидерита и полыми конями растений; Б) – Неравномерное от тонкого до мелкого субгоризонтальное и пологоволнистое, нарушенное оползневыми процессами переслаивание песчаника светло-серого мелкозернистого и алевролита темно-серого мелкозернистого глинистого однородного. В алевролитах отмечены следы биотурбации (Pl – Planolites)

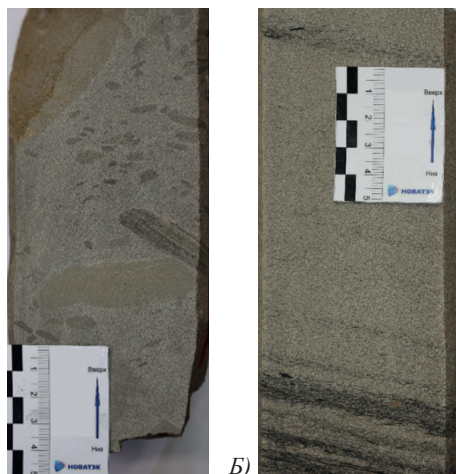


Рис. 4. Отложения русла с приливо-отливным влиянием (tidal fluvial channel). А) – песок светло-серый средне-мелкозернистый массивный с нечетко выраженной субгоризонтальной слоистостью с обильными намывами глинистых интракластов уплощенной окатанной формы; Б) – песок светло-серый мелкозернистый массивный, в нижней части слоя с пологонаклонной слоистостью



Рис. 5. Отложения приливо-отливного бара (tidal bar). Песчаник светло-серый мелкозернистый с субгоризонтальной, в нижней части пологоволнистой слоистостью, которая обусловлена намывами СУМ (слюдисто-углистый материал) и СУГМ (слюдисто-углисто-глинистый материал)

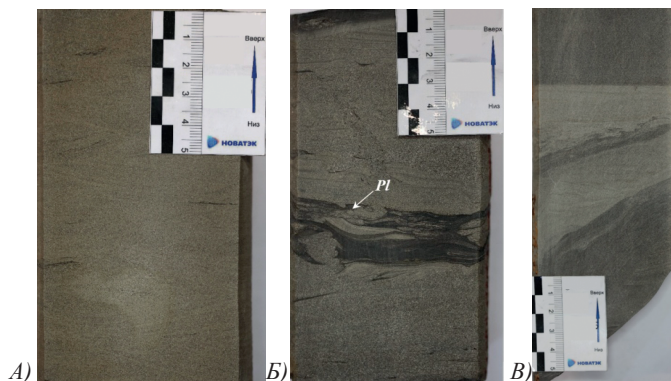


Рис. 6. Отложения фронта дельты – DF (delta front). А) – Песчаник светло-серый мелкозернистый с косой разнонаправленной слоистостью за счет намывов СУМ (слюдисто-углистый материал) с примесью сидерита. Отложения проксимальной части фронта дельты (proximal delta front); Б) – Песчаник светло-серый мелкозернистый с субгоризонтальной и пологоволнистой слоистостью за счет СУГМ (слюдисто-углисто-глинистый материал). Отмечаются прослои до алевролита темно-серого мелкозернистого, в единичных случаях нарушенные биотурбацией (Pl – Planolites). Отложения медиального устьевого бара (medium mouth bar); В) – Алевролит темно-серый крупно-, мелкозернистый глинистый, с текстурой оползания осадка, подчеркнутой деформированными слойками и прослоями песчаника светло-серого мелкозернистого. Отложения дистального устьевого бара (distal mouth bar)



Рис. 7. Концептуальная блок схема для прибрежно-континентальных и дельтовых отложений для нижней и средней части пласта Ю₂¹

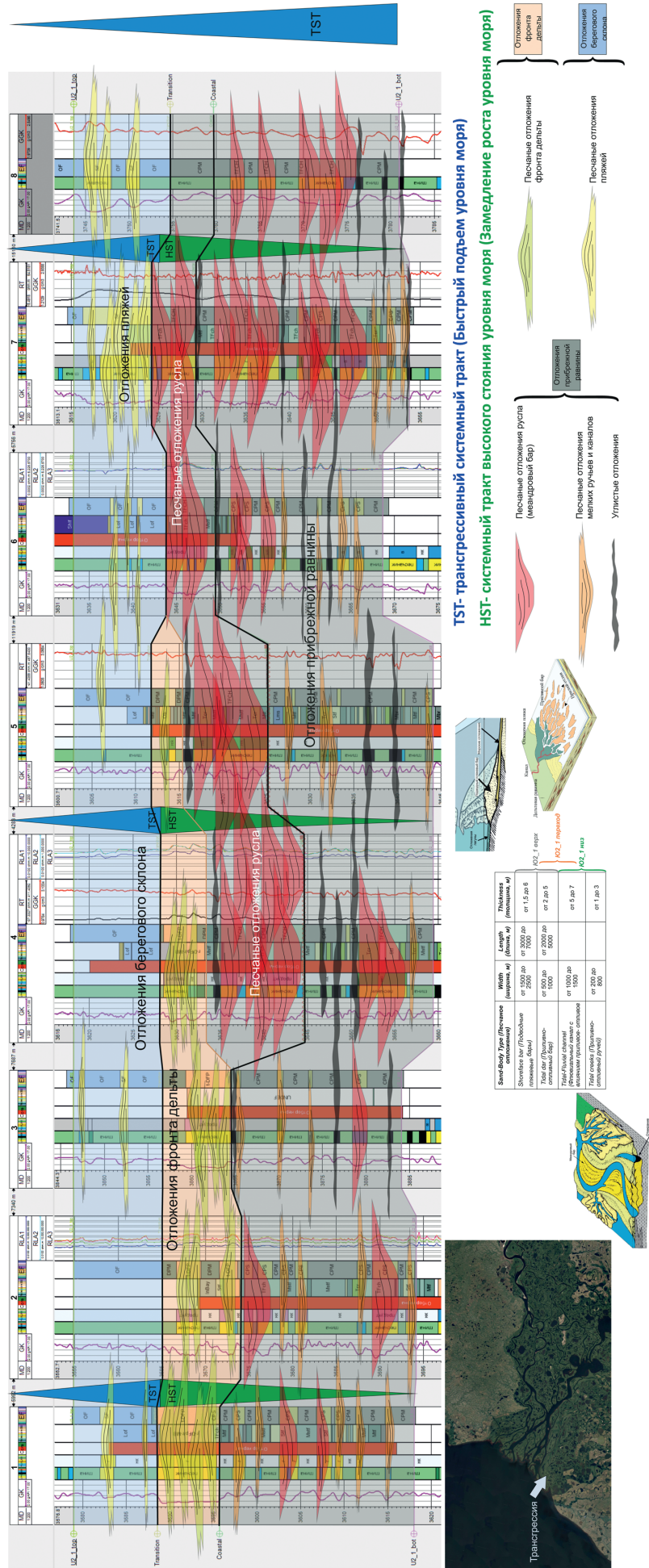


Рис. 8. Седиментологический разрез, демонстрирующий поэтапное формирование пласта Ю₂

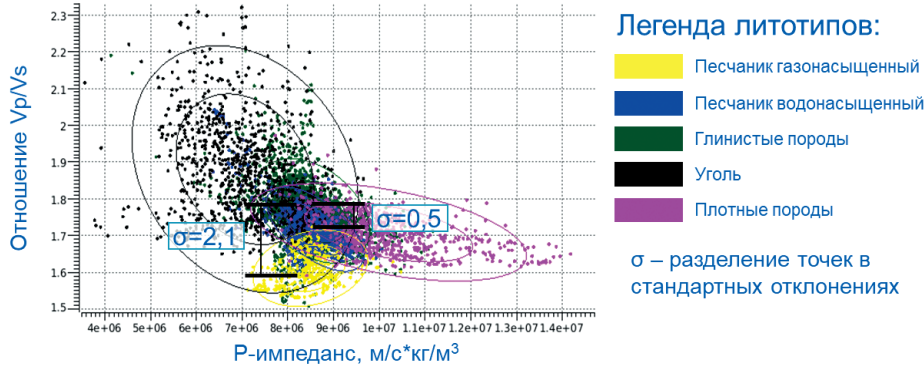


Рис. 9. Распределение литотипов в полях упругих параметров для интервала Ю₂–Ю₄ по результатам ПЭМ

- Исходя из первых двух пунктов, прогноз эффективных толщин будет иметь меньшую достоверность по сравнению с прогнозом газонасыщенных толщин.

Применение результатов ПЭМ к сейсмическим данным через стохастическую инверсию позволило связать амплитудные аномалии отражений от пласта Ю₂¹ и его литологическую характеристику. Такой подход и ранее показывал положительные результаты (Шаповалов и др. 2023). Так, на рисунке 10 приведен пример волнового поля для целевого интервала и разрез частоты встречаемости газонасыщенного коллектора. Сопоставление этих двух разрезов наглядно демонстрирует проявление залежи и других геологических объектов на сейсмике.

Для пласта Ю₂¹, в общем случае, газовое насыщение проявляется в волновом поле через увеличение амплитуд отражения отрицательной фазы. В то же время существуют исключения, связанные с изолированными объектами типа палеоканалов. В таких объектах положительная амплитуда также может интерпретироваться как газовое насыщение.

Финальным результатом стохастической инверсии стали прогнозные карты развития коллектора и газонасыщенных толщин целевого пласта (рис. 11).

На срезе куба амплитуд вдоль отражения вблизи пласта Ю₂¹ видны:

- Слабые проявления морфологических элементов континентальных отложений (линейные зоны, соответствующие палеоканалам);
- Увеличение амплитуды отражения в западной и восточной частях участка, приуроченного к сводовой части структуры;
- Развитая сеть тектонических нарушений эшелонного типа, связанная с областью сдвиговой деформации.

Наложение прогнозных газонасыщенных толщин на срезе амплитуд показывает, что максимальные значения приурочены к ярким положительным аномалиям, которые в свою очередь локализуются вблизи структурных сводов. Выделяются линейные вытянутые в меридиональном направлении тела, ассоциирующиеся с более глинистыми и более песчаными отложениями. Таким образом, установлено, что залежь пласта Ю₂¹ относится к пластово-сводовому типу и осложнена зонами литологической неоднородности.

Результаты

Сейсмофациальная карта по пласту Ю₂¹ выполнена по концептуальному представлению формирования кровли малышевской свиты на основе атрибута сумма

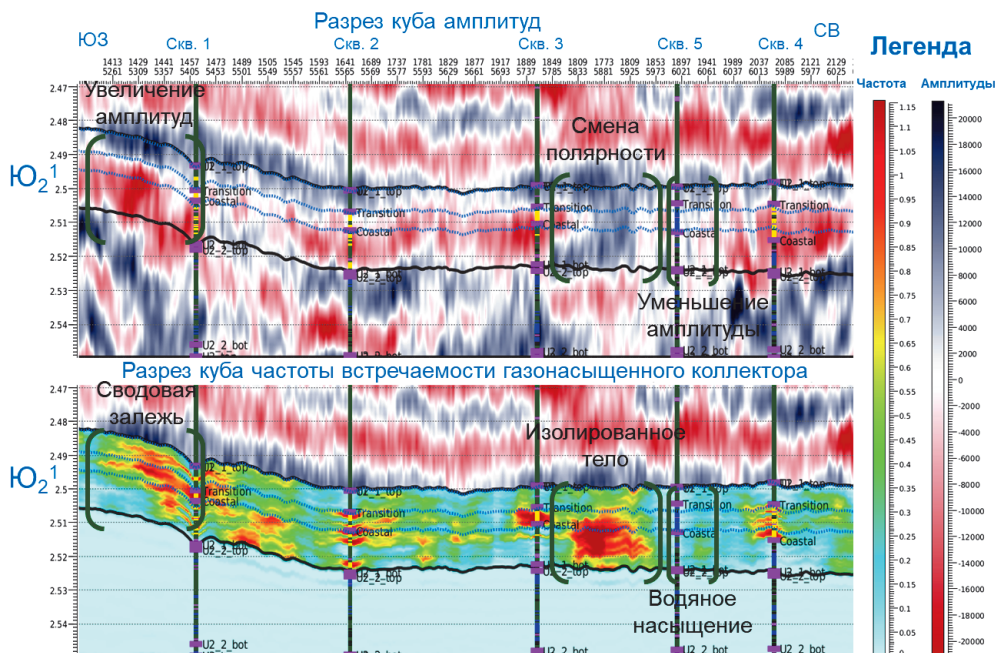


Рис. 10. Сопоставление сейсмической волновой картины и куба частоты встречаемости газонасыщенного коллектора по инверсии

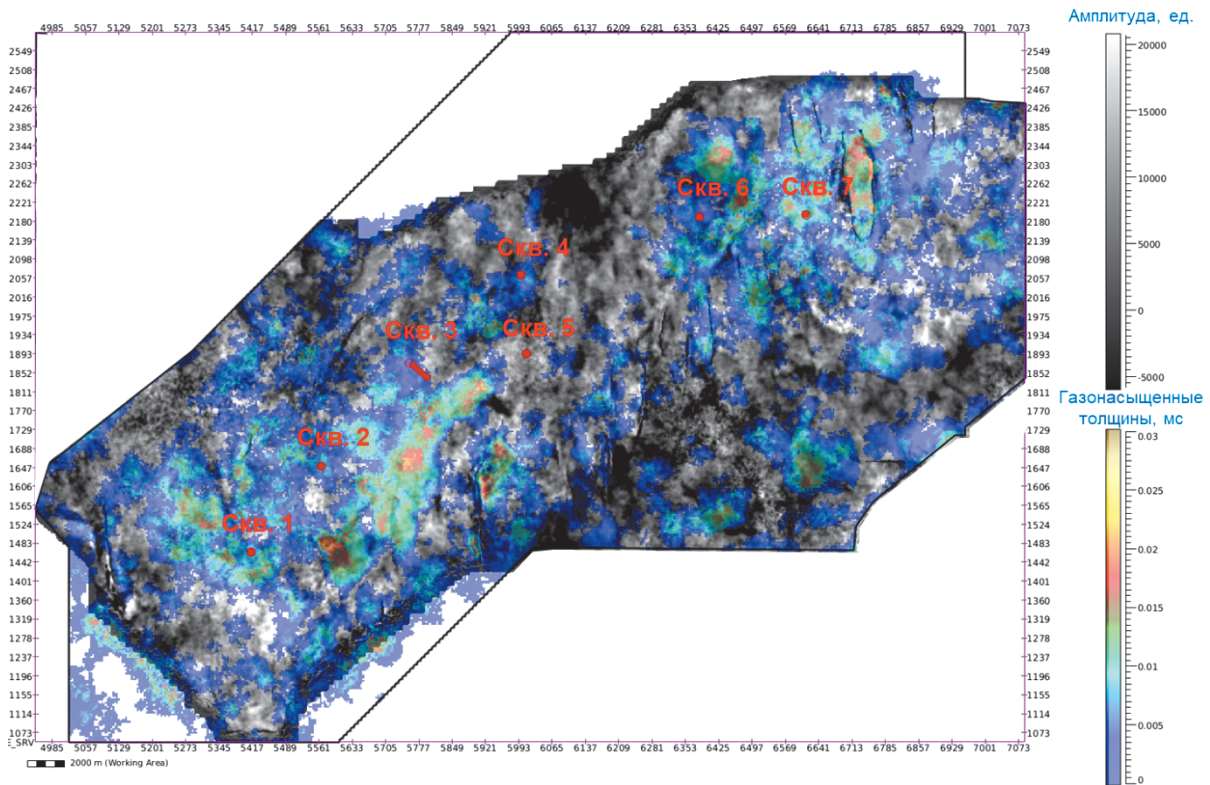


Рис. 11. Наложение прогнозной карты газонасыщенных толщин и среза по кубу амплитуд

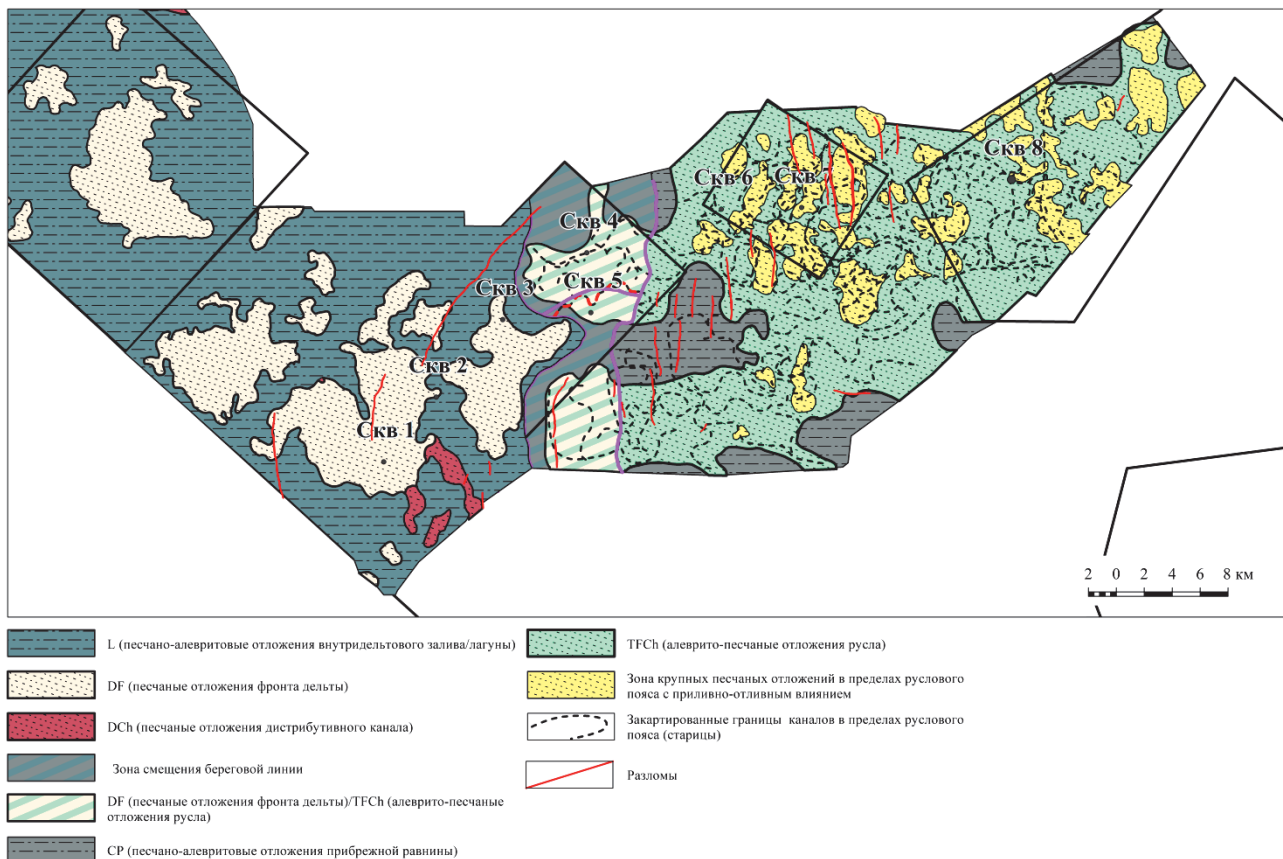


Рис. 12. Сейсмофациальная модель

положительных амплитуд и результатов спектральной декомпозиции по методу RGB суммирования (рис. 1, 2) и детализирована в пределах участка работ по имеющемуся керну скважин (рис. 12).

При построении вероятностной геологической модели принято решение использовать прогнозирующую карту эффективных газонасыщенных толщин в качестве тренда. Также привлекались материалы фациального анализа: фациальные схемы.

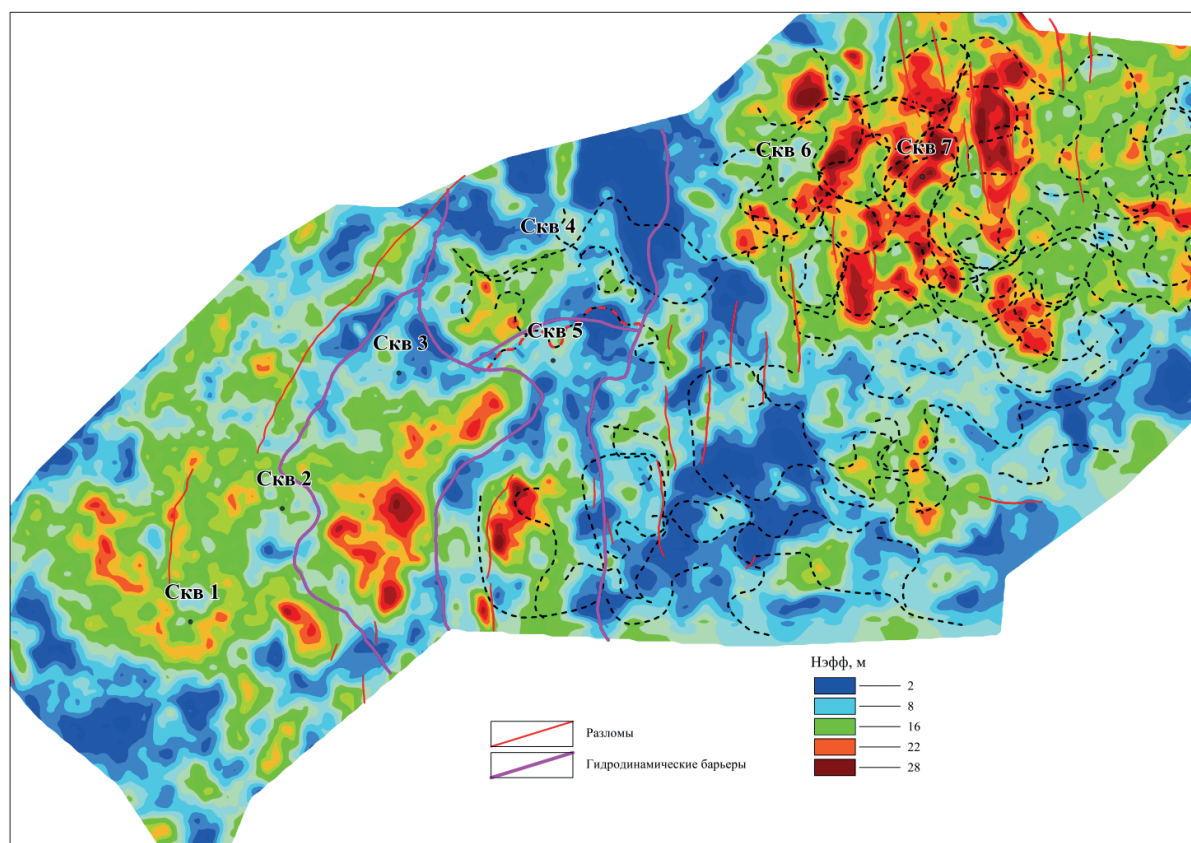


Рис. 13. Концептуальная геологическая модель. На карте эффективных толщин коллектора вынесено положение гидродинамических барьеров и линии палеорусел, формировавших песчаные отложения пласта Ю₂¹

В результате исследований проведены следующие работы:

- Выполнен прогноз зон улучшения фильтрационно-емкостных свойств и литологического замещения коллекторов, содержащих запасы углеводородов;
- Уточнены подсчетные параметры эксплуатационных объектов и их распределение по площади с использованием результатов сейсмической инверсии, специальных видов исследований (палетектонического, сеймостратиграфического, сеймофациального, динамического и других видов анализа), данных ГИС;
- Уточнены газоперспективные объекты в меловых и юрских отложениях;
- Выполнено картирование и подготовка к бурению залежей углеводородов структурного и неантиклинального типов.

В ходе детализации строения пластов группы Ю₂¹ выявлены зоны формирования геологических тел, гидродинамически не связанных между собой, что объясняет разные уровни газо-водяных контактов, вскрытых скважинами (рис. 13).

Заключение

В представленной статье показано, что стохастическая инверсия может стать связующим звеном при переходе от геологоразведочных работ к разработке месторождения, решая проблему разнородности и разномасштабности входных данных для трехмерного моделирования.

Исследование керн и результаты инверсии позволили

скорректировать границы литолого-фациальных зон, уточнить тренд изменения фильтрационно-емкостных свойств пород, что, в конечном итоге, позволило уточнить геологическую модель.

Материалы учтены при построении постоянно действующей трехмерной геологической модели для сопровождения эксплуатационного бурения.

По результатам проведенных исследований рекомендовано бурение пилотных стволов для уточнения перспективных зон.

Благодарности

Авторы выражают большую благодарность руководству ООО «НОВАТЭК – ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ» в лице заместителя генерального директора – главного геолога Хачатурян Б.В. за предоставленные материалы и содействие в подготовке настоящей публикации.

Литература

- Шаповалов М.Ю., Гордеев Я.И., Хохлов Г.А., Лебедев М.В. и др. (2011). Результаты прогноза фильтрационно-емкостных свойств продуктивного горизонта ВЧ Верхнечонского месторождения по данным фациального анализа и инверсии сейсмических данных 3D. *Новатор*, (43), с. 34–38.
- Шаповалов М.Ю., Иванюк В.В., Лебедев М.В. (2015). Опыт интерпретации сейсмических данных Верхнечонского месторождения как основа постоянно действующей модели. *Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть»*, (3), с. 14–19.
- Шаповалов М.Ю., Хамитуллин И.М. и др. (2023). Использование сейсмической инверсии для прогноза коллектора в интервале прибрежно-континентальных отложений юрского комплекса. *Георесурсы*, 25(3), <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.7>

Сведения об авторах

Марина Александровна Никанорова – старший эксперт отдела геологического моделирования месторождений Северо-Русского блока, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53
e-mail: Marina.Nikanorova@novatek.ru

Евгений Николаевич Калинин – заместитель директора департамента геологии и разработки, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

Михаил Юрьевич Шаповалов – кандидат геол.-минерал. наук, старший эксперт отдела динамической интерпретации, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

Евгений Сергеевич Королёв – старший эксперт отдела седиментологии и фашиального моделирования, ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

Николай Александрович Шадчнев – начальник управления департамента разработки месторождений, ПАО «НОВАТЭК»

Россия, 119313, Москва, Ленинский пр., д. 90/2

Кирилл Юрьевич Бабинов – заместитель главного геолога, ООО «НОВАТЭК – ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ»

Россия, 629850, Ямало-Ненецкий автономный округ, Пуровский р-н, Тарко-Сале, ул. Тарасова, д. 28

Статья поступила в редакцию 26.07.2023;

Принята к публикации 15.09.2023; Опубликовано 30.09.2023

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Refinement of the geological model of Jurassic deposits accounting the results of stochastic inversion and facies modeling

M.A. Nikanorova^{1}, E.S. Korolev¹, M.Yu. Shapovalov¹, E.N. Kalinin¹, N.A. Shadchnev², K.Yu. Babinov³*

¹NOVATEK Scientific and Technical Center, Tyumen, Russian Federation

²NOVATEK, Moscow, Russian Federation

³NOVATEK – TARKOSALENEFTEGAZ, Tarko-Sale, Russian Federation

*Corresponding author: Marina A. Nikanorova, e-mail: Marina.Nikanorova@novatek.ru

Abstract. The paper presents the results of a comprehensive interpretation showing the effective way to integrate seismic data into a three-dimensional geological model. Stochastic inversion was used to increase the reliability of forecasts of productive thicknesses. A comprehensive interpretation of the geological and geophysical information of the Yu₂¹ formation deposits of the Malyshevskaya formation was carried out, including sedimentological analysis of core data, petroelastic modeling of well logging curves for the purposes of stochastic inversion and stochastic inversion of seismic data. An areal forecast of sedimentation environments (facies) was carried out. The resulting three-dimensional geological model, in more detail, compared to the model without taking into account the spatial seismic forecast, emphasizes the heterogeneity of the distribution of properties in the geological environment, which is especially important when planning production drilling with horizontal wells.

Keywords: geological modeling, sedimentology, stochastic inversion, Jurassic deposits

Recommended citation: Nikanorova M.A., Korolev E.S., Shapovalov M.Yu., Kalinin E.N., Shadchnev N.A., Babinov K.Yu. (2023). Refinement of the geological model of Jurassic deposits accounting the results of stochastic inversion and facies modeling. *Georesursy = Georesources*, 25(3), pp. 57–64. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.8>

References

Shapovalov M.Yu., Gordeev Ya.I., Khokhlov G.A., Lebedev M.V. et al. (2011). Results of the forecast of filtration and reservoir properties of the productive horizon of the HF Verkhnechonskoye field based on facies analysis and inversion of 3D seismic data. *Novator*, (43), pp. 34–38. (In Russ.)

Shapovalov M.Yu., Ivanyuk V.V., Lebedev M.V. (2015). Experience in interpreting seismic data from the Verkhnechonskoye field as the basis for a permanent model. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik OAO «NK «Rosneft'»*, (3), pp. 14–19. (In Russ.)

Shapovalov M.Yu., Khamitullin I.M., Shakirov R.R., Filippova K.E., Bregida A.A. (2023). Reservoir characterization in coastal-continental environment of the Jurassic complex based on seismic data inversion. *Georesursy = Georesources*, 25(3), pp. 49–56. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.7>

About the Authors

Marina A. Nikanorova – Senior Expert, Department of geological modeling of fields of the North Russian block, NOVATEK Scientific and Technical Center

53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

Evgeniy N. Kalinin – Deputy Director of the Department of Geology and Development, NOVATEK Scientific and Technical Center

53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

Mikhail Yu. Shapovalov – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Expert, NOVATEK Scientific and Technical Center

53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

Evgeniy S. Korolev – Senior Expert, Department of Sedimentology and Facial Modeling, NOVATEK Scientific and Technical Center

53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

Nikolay A. Shadchnev – Head of the Field Development Department, NOVATEK

90/2, Leninsky ave., Moscow, 119415, Russian Federation

Kirill Yu. Babinov – Deputy Chief Geologist, NOVATEK – TARKOSALENEFTEGAZ

28, Tarasova st., Tarko-Sale, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, 629850, Russian Federation

Manuscript received 26 July 2023;

Accepted 15 August 2023;

Published 30 September 2023