

УДК 553.98-047.58(571.12)

Оценка качества трехмерных геологических моделей на примере горизонта ЮС₂ в районе Широтного Приобья

У. Ю. Солопахина

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
e-mail: uliana-sharapova@rambler.ru

Аннотация. В последние годы наблюдается тенденция снижения легко извлекаемых запасов углеводородов в меловых отложениях Западной Сибири. В связи с этим возрос интерес к горизонту ЮС₂. Коллектора данного горизонта имеют сложное строение, что ведет к появлению значительных погрешностей в моделях. Развитие методической базы анализа точности геологических моделей, в частности трехмерных, позволяет решить указанную проблему.

В статье приведена методика анализа качества трехмерной геологической модели на примере горизонта ЮС₂. В результате проведенной работы были сделаны следующие выводы: необходимость актуализации моделей после бурения каждой скважины; выявлены возможные причины несоответствия фактических и прогнозных показателей; с целью минимизации рисков при бурении скважин и повышения достоверности трехмерной геологической модели предложена к использованию в качестве дополнительной информации карта невязок абсолютных отметок кровли горизонта ЮС₂.

Ключевые слова: трехмерная геологическая модель; Западная Сибирь; горизонт ЮС₂

Evaluating quality of 3D geological models: a case study of horizon US₂ in the Latitudinal Ob region

Uliana Yu. Solopakhina

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
e-mail: uliana-sharapova@rambler.ru

Abstract. In recent years, there has been a downward trend in easily recoverable hydrocarbon reserves in the Cretaceous sediments of Western Siberia. In this regard, interest in the horizon US₂ has increased. Collectors of this horizon have a complex structure, which leads to the appearance of significant errors in geological models. The development of the methodological basis for the analysis of the accuracy of geological models, in particular three-dimensional, can solve this issue.

The article gives a technique for analyzing the quality of a 3D geological model: a case study of horizon US₂. As a result of the work, the following conclusions were drawn: firstly, there is the need to update geological models after drilling each well; secondly, the possible causes of the discrepancy between the actual and forecasted indices are revealed; thirdly, usage a map of the residuals of the absolute elevations of the horizon US₂, as additional information, can minimize risks when drilling wells and increase the reliability of 3D geological model.

Key words: 3D geological model; Western Siberia; horizon US₂

Введение

Горизонт ЮС₂ на территории Широного Приобья является регионально нефтеносным. Авторами работы [1] высоко оценен нефтегазовый потенциал этого среднеюрского горизонта, коллектора которого характеризуются сложным строением. В последние годы в связи со значительным снижением легко извлекаемых запасов углеводородов в меловых отложениях Западной Сибири возрос интерес к этому объекту. Сложное строение коллекторов обуславливает большие погрешности моделей, что негативно сказывается как на эффективности разведочных работ, так и на эффективности эксплуатации месторождений, которые по геологическим причинам в большинстве своем и так низкодебитные. Указанная проблема требует развития методической базы анализа точности геологических моделей, в частности трехмерных [2]. Следует отметить, что критерии проверки адекватности геологических моделей делятся на две группы: внутренние и внешние [3]. Если по внутренним критериям проверяется согласованность всей разнородной, разноточной информации, относящейся к объектам совершенно разных размеров, то по внешним критериям модель проверяется на соответствие с данными, не использованными при ее создании. К таким данным, как правило, относятся данные по вновь пробуренным скважинам и/или технологические показатели разработки. В данной работе будет предложена методика оценки качества трехмерных геологических моделей на примере горизонта ЮС₂ в районе Широного Приобья.

Объект и методы исследования

Исследуемое месторождение в административном отношении находится в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Входит в состав Сургутского нефтегазоносного района Среднеобской нефтегазоносной области и относится к Западно-Сибирской провинции. Рассматриваемый горизонт ЮС₂ приурочен к континентальным отложениям тюменской свиты, представляет собой сложнопостроенный комплекс песчано-алевритовых и глинистых пород, неравномерно переслаивающихся по разрезу, характеризуется значительной литолого-фациальной неоднородностью, выражающейся как в расчлененности пласта, так и в замещении проницаемых прослоев непроницаемыми разностями, что усложняет построение достаточно точной трехмерной геологической модели и увеличивает риски при решении геологических задач, в частности, при геологическом сопровождении бурения.

В разрезе горизонта ЮС₂ достаточно уверенно прослеживаются угольные прослои. Верхний прослой принят в качестве границы пластов ЮС₂¹ и ЮС₂². Пласты характеризуются сложным распространением пород-коллекторов, как по площади, так и по разрезу.

В работе рассматривается залежь в районе бурения семи кустов. Залежь является пластовой, литологически ограниченной со сложным геологическим строением. Распространение нефтеносных песчаников не связано с положением структурных поверхностей и полностью контролируется литологическими экранами.

В последние годы ведется активное бурение центральной и южной частей горизонта ЮС₂. За последние два года в районе исследуемых кустов пробурено 96 скважин (в том числе 19 горизонтальных скважин). За это время накопился достаточный объем данных, которые необходимо проанализировать и обобщить для оценки качества трехмерной геологической модели (3D ГМ) и повышения качества прогнозных характеристик [4].

На момент построения стартовой трехмерной геологической модели в районе рассматриваемых кустов было пробурено по одной разведочной скважине. Стартовая модель (СМ) базируется и на сейсмогеологической основе. Залежь полностью покрыта исследованиями сейсморазведки.

В условиях терригенных коллекторов Западной Сибири значение сейсмических данных в изучении геологического строения месторождений весьма значимо и эффективно. Однако решение этой задачи не всегда является однозначным и достаточно точным. Анализ сейсмических данных для целей прогноза свойств резервуаров в плане качественных и количественных оценок ограничивается разрешающей способностью и чувствительностью (способностью обнаружения) сейсморазведки. Выбранный для исследования горизонт ЮС₂ с точки зрения возможностей сейсморазведки находится почти на пределе разрешающей способности.

Основные геологические параметры горизонта ЮС₂ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика основных геологических параметров горизонта ЮС₂

Параметр	Значение			
	Минимум	Максимум	Среднее	Коэффициент вариации, %
Общие толщины, м	19,9	40,2	33,6	8,5
Эффективные толщины, м	0,2	17,1	4,3	47,0
Эффективные нефтенасыщенные толщины, м	0,2	14,5	3,3	47,2
Коэффициент пористости пласта,	0,12	0,20	0,15	8,8
Песчанистость пласта, д.ед.	0,01	0,43	0,22	44,6
Расчлененность пласта, шт.	0	20	5	50,3

В статистике принято считать, что если коэффициент вариации более 33 %, то объект по изучаемому параметру является существенно неоднородным. Значения эффективных толщин ($h_{эф}$), эффективных нефтенасыщенных толщин ($h_{эф.ни}$), коэффициенты песчанистости и расчлененности являются весьма изменчивыми (см. табл. 1).

Методика оценки качества трехмерных геологических моделей заключается в последовательном анализе качества прогноза стратиграфической кровли, эффективных нефтенасыщенных толщин и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС).



Рис. 1. График абсолютных погрешностей абсолютных отметок стратиграфической кровли горизонта ЮС₂

Анализ качества трехмерной геологической модели необходимо начинать с проверки наиболее точно моделируемого параметра, а именно стратиграфической кровли горизонта ЮС₂, в силу того что он имеет наименьшую изменчивость. Для этого были проанализированы прогнозные значения со СМ и фактические данные по вновь пробуренным скважинам (рис. 1). На рисунке 1 также приведены данные с актуализированных моделей (актуализация модели проводилась пошагово, после бурения каждой новой скважины).

После учета данных по каждой группе пробуренных скважин уточняются прогнозные значения модели, которые более близки к фактическим параметрам (см. рис. 1). Отсутствие резких скачков на графике для актуальных моделей говорит о снижающейся погрешности в прогнозе значений абсолютных отметок (АО) кровли. Отклонения абсолютных отметок актуализированной модели (АМ) более 5 м составляют менее 30 % от общего количества пробуренных скважин. Данные расхождения связаны с тем, что, во-первых, горизонт располагается на значительных глубинах, а на более глубоких горизонтах более грубо оценивается траектория скважин, во-вторых, бурение ведется в зоне с редкой сетью скважинных наблюдений, и структура кровли горизонта ЮС₂ в межскважинном пространстве базируется в основном на сейсмических данных.

После анализа СМ и АМ в целом проведен аналогичный анализ стратиграфической кровли горизонта ЮС₂ для каждого из кустов в отдельности.

На основании полученной информации получены следующие результаты:

- на каждом из кустов показатели невязок значений АО стратиграфической кровли горизонта ЮС₂ АМ ниже, чем для СМ;
- при оперативном анализе инклинометрии в разведочной скважине и корректировке стратиграфической кровли горизонта ЮС₂ в восточной части залежи, после бурения первой эксплуатационной скважины и получения новых данных, невязки АО АМ уменьшились в среднем на 88 % (рис. 2);
- в юго-восточной части залежи 89 % значений невязок АМ отрицательные. Это означает, что фактическая стратиграфическая кровля располагается выше прогнозной. На основании этих данных можно предположить, что при бурении скважин северо-западнее данного куста стратиграфическая кровля будет выше.

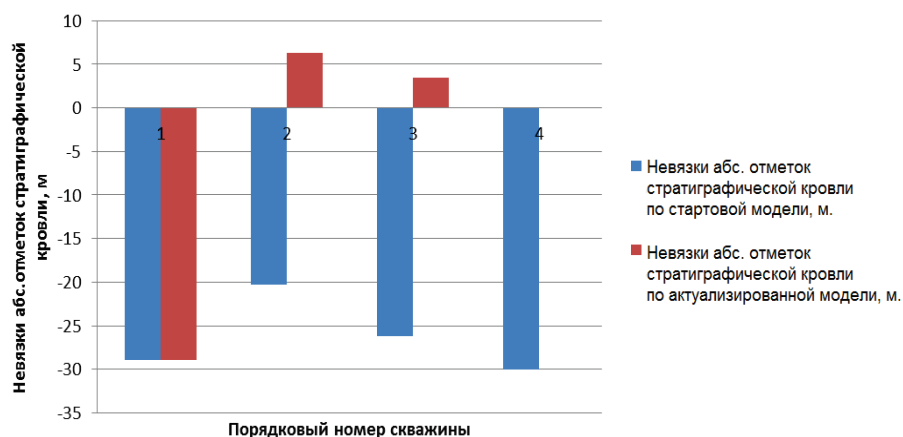


Рис. 2. Гистограмма распределения невязок значений абсолютных отметок стратиграфической кровли горизонта ЮС₂ в юго-восточной части залежи

Для более детального изучения изменения погрешностей по площади построена карта невязок кровли горизонта ЮС₂ (рис. 3). В дальнейшем, при сопровожде-

нии бурения новых кустов на горизонт ЮС₂ в этом районе, для минимизации рисков при бурении скважин и повышения достоверности 3D ГМ в качестве дополнительной информации в неразбуренной зоне рекомендуется учесть полученную карту при структурном построении карты стратиграфической кровли горизонта ЮС₂.

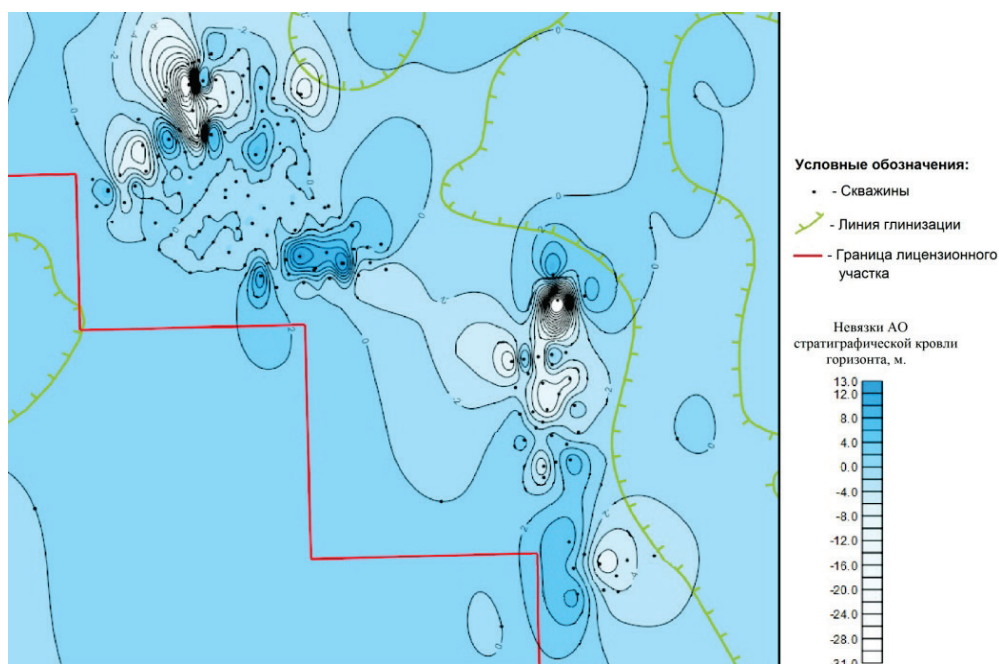


Рис. 3. Карта невязок абсолютных отметок стратиграфической кровли горизонта ЮС₂ по актуализированной модели

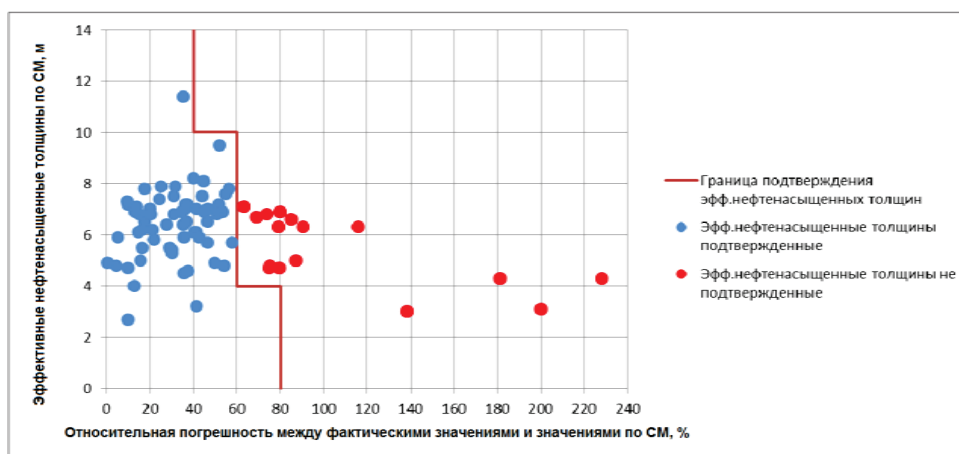


Рис. 4. Точечная диаграмма относительных погрешностей фактических и стартовых эффективных нефтенасыщенных толщин

Из рисунка 4 следует, что можно говорить о недостаточной точности геометрической составляющей модели залежи. Наибольшие невязки по карте наблюдаются в северной и восточной частях залежи. Невязки в восточной части связаны со

значительными неточностями данных по инклинометрии в разведочной скважине, невязки на севере залежи объясняются низкой разбуренностью и неподтверждением структурной кровли горизонта ЮС₂ по сейсмическим данным.

На втором этапе оценивалось качество прогноза карты $h_{эф.нн}$. Для этого построена точечная диаграмма, которая показывает процентное расхождение фактических и стартовых значений $h_{эф.нн}$ (см. рис. 4).

Скважины были отсортированы в соответствии со следующими критериями: неподтверждением модели по эффективным нефтенасыщенным толщинам считается относительная погрешность более 40 % для $h_{эф.нн} > 10$ м, 60 % для $4 < h_{эф.нн} < 10$ м, 80 % для $h_{эф.нн} < 4$ м.

Рассматривая подтверждаемость трехмерной геологической модели по эффективным нефтенасыщенным толщинам согласно классификации, приведенной выше, можно сделать вывод, что коэффициент подтверждаемости равен 83,3 %.

Следует отметить, что неподтверждение $h_{эф.нн}$ в большую сторону связано со значительными погрешностями контуров глинизации по пласту ЮС₂², выявленными в результате бурения новых скважин, неподтверждение толщин в меньшую сторону, вероятно, связано с высокой неоднородностью объекта по разрезу.

Анализ абсолютных погрешностей по ФЕС трехмерной геологической модели представлен в таблице 2.

Таблица 2

Абсолютные погрешности по фильтрационно-емкостным свойствам

Свойство	Факт-СМ	Факт-АМ
Пористость, д.ед.	0,014	0,012
Проницаемость, 10^{-15} м ²	5,8	6,0
Нефтенасыщенность, д.ед.	0,11	0,09

Сопоставление фактических данных ФЕС с прогнозными показывает, что сходимость фактических показателей по пористости и нефтенасыщенности со значениями с АМ ближе, чем со значениями со СМ. Фактические показатели по проницаемости ближе к значениям со СМ на 0,2 мД. В целом различия между фактическими и прогнозными данными ФЕС не существенны, что свидетельствует о корректно построенной трехмерной геологической модели и достаточно высоких прогнозных свойствах.

Выводы

1. Актуализация модели после бурения каждой скважины необходима для уточнения геологического строения залежи, уточнения прогнозных параметров горизонта, оптимизации размещения проектных скважин и уменьшения экономических рисков при дальнейшем бурении.
2. Проведенный анализ качества трехмерной геологической модели позволил выявить возможные причины несоответствия фактических и прогнозных показателей.
3. Выявлено, что достоверность показателей со СМ в основном обусловлена особенностями геологического строения объекта (главным образом высокой неоднородностью объекта по разрезу и прерывистым распространением коллекторов по площади).
4. Оперативный анализ и пересмотр геологической информации позволяет снизить риски при геологическом сопровождении бурения.
5. Для минимизации рисков при бурении скважин и повышения достоверно-

сти 3D ГМ предложена к использованию в качестве дополнительной информации карта невязок абсолютных отметок кровли горизонта (см. рис. 3).

6. Предложены методика оценки качества трехмерных геологических моделей и критерии оценки подтверждения модели по эффективным нефтенасыщенным толщинам на примере горизонта ЮС₂ в районе Широного Приобья.

Библиографический список

1. Прогноз нефтегазоносности горизонта Ю₂ на территории деятельности «ЛУКОЙЛ — Западная Сибирь» в Широном Приобье / К. Г. Скачек [и др.] // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 56. — С. 106–114.
2. Закревский К. Е., Майсюк Д. М., Сыртланов В. Р. Оценка качества 3D моделей. — М., 2008. — 272 с.
3. Антипин Я. О, Белкина В. А. Моделирование нефтенасыщенности залежей с учетом переходной водонефтяной зоны на примере месторождения «А» // ТЕРРИТОРИЯ «НЕФТЕГАЗ», 2016. — № 5. — С. 22–29.
4. Закревский К. Е. Геологическое 3D моделирование. — М.: Маска, 2009. — 376 с.

Сведения об авторе

Солопахина Ульяна Юрьевна, аспирант кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень. e-mail: uliana-sharapova@rambler.ru

Information about the author

Uliana Yu. Solopakhina, Postgraduate at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, e-mail uliana-sharapova@rambler.ru