

УДК 550.8

К.Е. Закревский¹, Н.В.Нассонова², Г.А. Калмыков³**ОСОБЕННОСТИ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕОКОМСКИХ КЛИНОФОРМ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ***ПАО «НК «Роснефть», 115054, Москва, ул. Дубининская, д. 31А**ООО «Тюменский нефтяной научный центр», 625002, Тюмень, ул. Осипенко, д. 79/1**ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Rosneft Oil Co, 115054, Moscow, Dubininskaya str., 31A**LLC "Tyumen Oil Research Center", 625002, Tyumen, Osipenko str., 79/1**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

Рассмотрены проблемы трехмерного геологического моделирования залежей углеводородов в клиноформенных неокотских отложениях Западной Сибири. Анализируются особенности геологического строения этих отложений, значимые для создания литологических моделей. Показано существенное различие способов литологического моделирования шельфовых и ачимовских отложений. Проведены примеры построения литологических моделей с учетом выявленных особенностей геологического строения.

Ключевые слова: литологическая модель, клиноформы, шельф, геологические особенности, нефть, газ.

Considers issues of three-dimensional geological modeling of gas and oil fields in Neocomian clinoform deposits of the Western Siberia. The features of the geology of the studied deposits, which are important for the creation of lithological models, are analyzed. The essential difference of lithological modeling methods of shelf and Achimov deposits is shown. Examples of building the lithological models taking into account the revealed features of geological structure are given.

Key words: lithological model, clinoforms, shelf, geological features, oil, gas.

Введение. Развитие трехмерного геологического моделирования залежей углеводородов в настоящее время связано не только с появлением новых математических приемов и алгоритмов, но и с разработкой методических приемов геологического моделирования для отложений с конкретными условиями осадконакопления и тектонического развития. Эти методические приемы должны быть, естественно, направлены в первую очередь на учет геологических особенностей седиментации отложений и их тектонического строения, что при построении 3D моделей отложений определенного типа позволяет разработать адресные технологии их создания, а затем тиражировать накопленный опыт.

К наиболее сложным и интересным в плане геологического строения относятся клиноформенные неокотские отложения Западной Сибири. Актуальность разработки методик построения 3D геологических моделей залежей нефти и газа для них весьма высока. Так, например, только на территории деятельности предприятия «Юганскнефтегаз» 2/3 остаточных извлекаемых запасов нефти, согласно данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых, сосредоточено в

этих отложениях. Поскольку создание трехмерных геологических моделей залежей углеводородов — многостадийный процесс, мы рассмотрим особенности одного из основных этапов процесса — этапа литологического моделирования.

Материалы и методы исследований. Объект изучения — месторождения и отдельные залежи углеводородов в отложениях клиноформного комплекса неокотских отложений, расположенные в центре Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Большинство из них приурочено к Среднеобской нефтегазоносной области. Продуктивные пласты этого комплекса встречаются также в Надым-Пуровской, Пур-Тазовской, Фроловской и Каймысовской нефтегазоносных областях. Для нижнемеловых отложений характерно постепенное убывание вверх по разрезу доли глинистых пород и одновременное увеличение доли прибрежно-морских и континентальных образований. Исключение составляют нижнеаптские отложения — начало апта ознаменовалось повсеместной трансгрессией, обусловившей накопление глинистых осадков алымской свиты, к которой приурочен опорный отражающий сейсмический горизонт «М». На большей части исследуемой

¹ ПАО «НК «Роснефть», Департамент ресурсной базы и аудита запасов, гл. специалист, канд. геол.-минер. н.; e-mail: kezakrevskiy@rosneft.ru

² ООО «Тюменский нефтяной научный центр», ст. эксперт отдела экспертов, канд. геол.-минер. н.; e-mail: NVNassonova@tnnc.rosneft.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет геологии, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор, док. геол.-минер. н.; e-mail: gera64@mail.ru

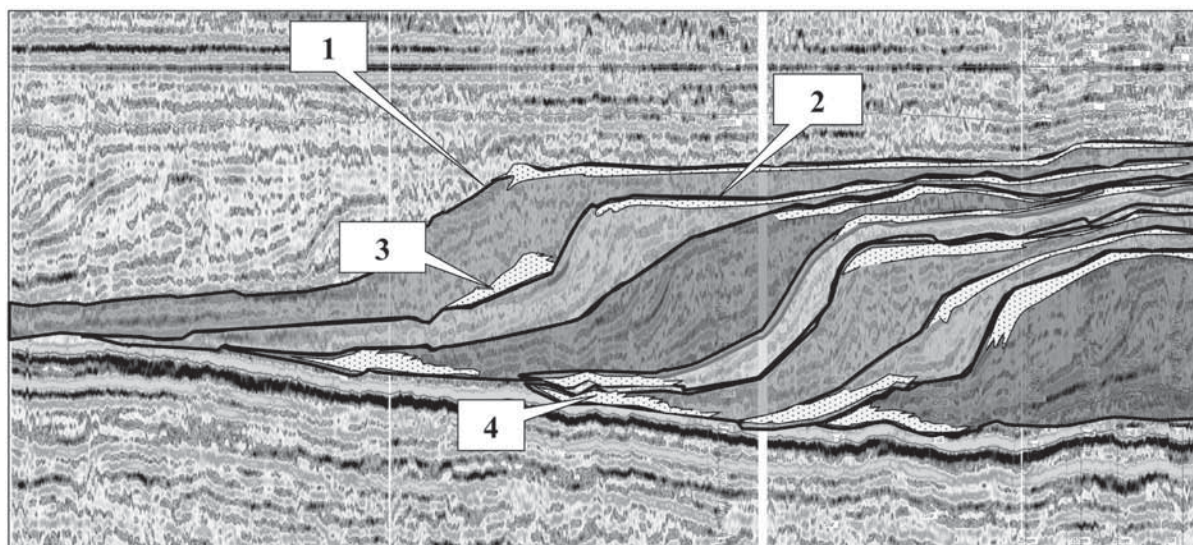


Рис. 1. Модель строения клиноформы и положения песчаных тел: 1 — бровка шельфа, 2 — ундаформенные песчаники шельфа, 3 — клиноформенные песчаники склона, 4 — фондоформенные песчаники донных конусов выноса в основании клиноформ

территории он приурочен к кровле нижней под-
свиты алымской свиты, на территории Ямала в
Уренгойско-Пурпейском районе его связывают с
кровлей алымской свиты.

Стратиграфически неокомские отложения
относятся к нижней части нижнего мела. Берри-
асский, валанжинский, готеривский и барремский
ярусы ограничены в кровле и подошве, соответ-
ственно, нижеаптскими глинами алымской свиты
и битуминозной баженовской свитой, а также ее
аналогами — нижнетутлеймской, яновстанской,
гольчихинской свитами.

Геологическое строение. Описание геологиче-
ского строения основано на сиквенс-страти-
графической клиноформной модели строения
неокомских отложений, справедливость которой
подтверждена многочисленными работами ряда
исследователей. Подробно история становления
представлений о строении и условиях образова-
ния клиноформ неокомских отложений Западно-
Сибирской плиты изложена в монографии Ф.Г.
Гурари [2003]. Каждая клиноформа представляет
собой результат единичного цикла бокового за-
полнения некомпенсированного осадочного бассейна,
начинающегося с регрессии и заканчивающегося
трансгрессией. В регрессивную стадию каждого
цикла происходит поступление осадков на отно-
сительно глубоководный склон и их перераспре-
деление гравитационными процессами. Осадки,
отложившиеся в нижней части и у подножия
относительно глубоководного склона во время
регрессии в период низкого стояния уровня моря,
относятся к подводным конусам выноса.

Под термином «конус выноса» подразумевают-
ся все отложения, гравитационно переместившие-
ся с шельфовой части по подводному склону к его
подножию (ачимовские отложения), причем под
это определение попадают не только подводные
конусы выноса, но и отложения, образовавшиеся

в результате оползневых процессов и плоскостного
смыва. Конус выноса в свою очередь подразделяют
на склоновый и глубоководный (донный). По ге-
нетическому типу отложения, слагающие подводные
конусы выноса, обычно относят к турбидитам. При
высоком уровне моря формировались шельфовые
пласты прибрежно-морского генезиса.

Трансгрессии фиксируются по наличию поло-
гонаклонных реперных глинистых пачек, которые
отделяют рассматриваемую клиноформу от после-
дующей. Формирование этих пачек глиен происхо-
дило на большей части бассейна при максимально
высоком стоянии уровня моря и дефиците осадков.
В последнее время большинство отечественных
геологов при описании клиноформ используют
терминологию, предложенную Д. Ричем [Rich,
1951], согласно которой в каждой клиноформе
выделяются три части: ундаформа (шельф), ор-
тоформа (склон) и фондоформа (депрессийная
часть). Модель строения клиноформы (ундаформа,
клиноформа, фондоформа) и положения песчаных
тел показана на рис. 1.

Формирование каждой из этих частей проис-
ходило в различной палеогеографической обста-
новке: континентальной, прибрежно-морской,
шельфовой, склоновой и глубоководно-морской.
Ориентация клиноформ неокома близка к мери-
диональной. За западную границу резервуара при-
нята граница примыкания его покрывки к кровле
баженовской свиты. Таким образом, существенно
различны [Нежданов и др., 2000] с точки зрения
осадконакопления, корреляции и геологического
моделирования ундаформенные (шельфовые и
склоновые) и донные (ачимовские) пласты кли-
ноформ (рис. 2).

**Особенности геологического строения, важные
для литологического 3D моделирования.** Шельфовые
и ачимовские отложения имеют разные флюи-
дные контакты, поскольку разделены толстой

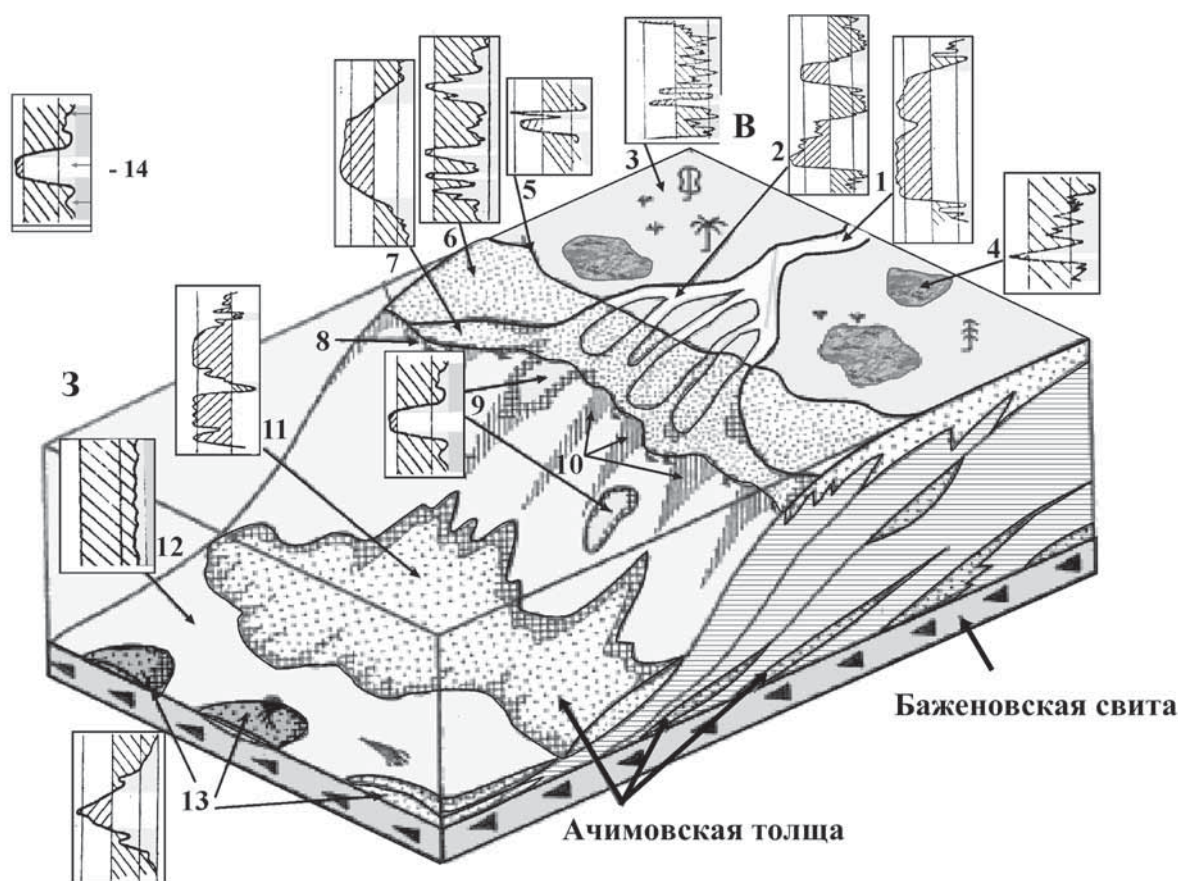


Рис. 2. Принципиальная схема строения клиноформ неокома Западной Сибири: 1 — русло реки, 2 — дельта реки, 3 — речная пойма, 4 — приморские озера, 5 — пляж, 6 — шельф, 7 — бары, 8 — бровка шельфа, 9 — оползни, 10 — каналы мутьевых потоков, 11 — конусы выносов мутьевых потоков (турбидиты), 12 — дистальные отложения, 13 — песчаные волны (рифели), 14 — электрофациальные образцы

пачкой глин. Поэтому их моделируют отдельно [Закревский, Нассонова, 2012], хотя они имеют общие структурные границы кровли и подошвы клиноформ, за исключением редких случаев, когда происходит слияние шельфовых и склоновых пластов. Перед построением геологической модели следует по результатам комплексной интерпретации результатов исследования скважин и данных сейсморазведки получить структурные поверхности клиноформы (кровля, подошва), а также положение границ глинизации коллекторов и восточной границы выклинивания клиноформы. Положение западной границы зоны глинизации шельфовых пластов контролируется по положению бровки шельфа на карте изопахит.

Кроме того, перед построением 3D литологической модели для контроля латеральной изменчивости пластов (контроля трендов) необходимо сопоставить карты общих толщин (изохор) и эффективных толщин, построенных в двумерном варианте по данным исследования скважин и сейсмического прогноза:

- для шельфовых пластов следует ожидать постепенное уменьшение их толщин к восточной зоне выклинивания (глинизации), а также их резкое уменьшение на западе за бровкой шельфа;

- для ачимовских пластов следует ожидать увеличения эффективных толщин в области депозента и областях транспортировки.

Результаты исследований и их обсуждение.

При создании трехмерной сетки модели, которая в дальнейшем заполняется различными литотипами пород, схема «нарезки» тонких слоев определяется условиями осадконакопления изучаемых отложений. Для отложений склона ачимовской толщи используется (рис. 3): пропорциональная схема напластования, моделирование от кровли, комбинированная схема — пропорциональная с ограничением мощности ячейки и подсуммированием от кровли.

Для шельфовых отложений используется пропорциональная схема напластования, пропорциональная схема с ограничением мощности ячейки и подсуммированием от подошвы.

Регрессивные прибрежно-морские шельфовые отложения обычно характеризуются улучшением свойств пород к кровле пласта, в том числе песчаности и пористости. Распределение свойств по вертикали в конусах выноса для турбидитов ачимовских отложений, напротив, описывается так называемым циклом Боума [Boima, 1962], основное в котором — ухудшение свойств вверх

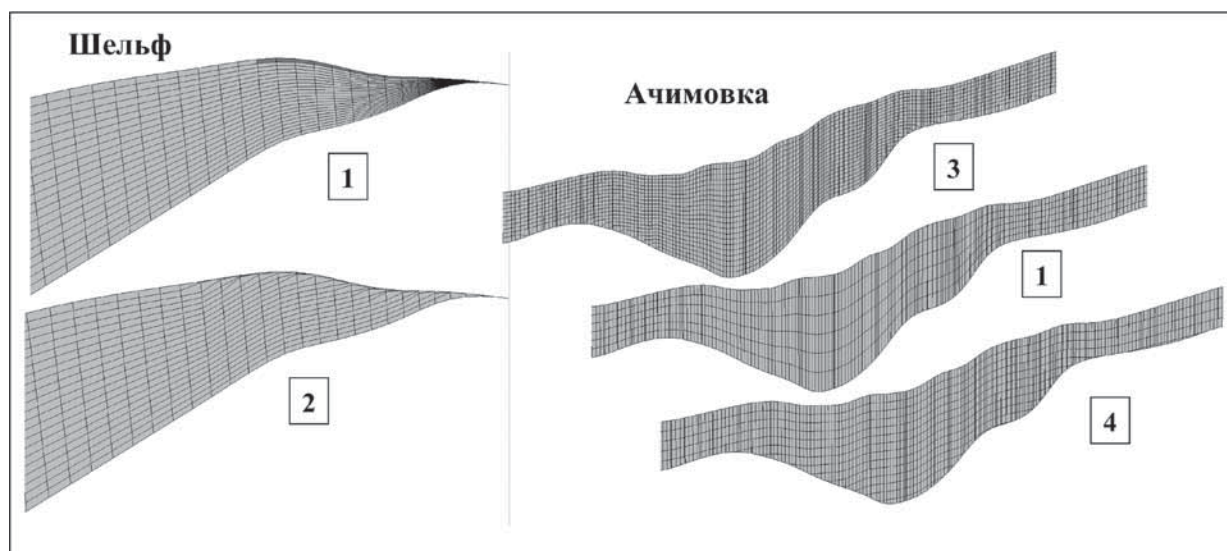


Рис. 3. Варианты нарезки слоев для шельфовых и ачимовских пластов: 1 — пропорциональная, 2 — комбинированная (пропорциональная с ограничением мощности ячейки и подсуммированием от подошвы), 3 — комбинированная (пропорциональная с ограничением мощности ячейки и подсуммированием от кровли), 4 — от кровли

по разрезу. Ухудшение фильтрационно-емкостных пород, слагающих конус выноса, происходит по мере удаления от питающих каналов. Типичные вертикальные тренды, характеризующие изменение песчанистости в объеме пласта, приведены на рис. 4.

На рис. 4 видно, что изменение песчанистости по разрезу для шельфовых и ачимовских пластов носит прямо противоположный характер.

При выборе метода построения куба литотипов (в упрощенном виде — куба коллектор/не-коллектор) на основе особенностей седиментации

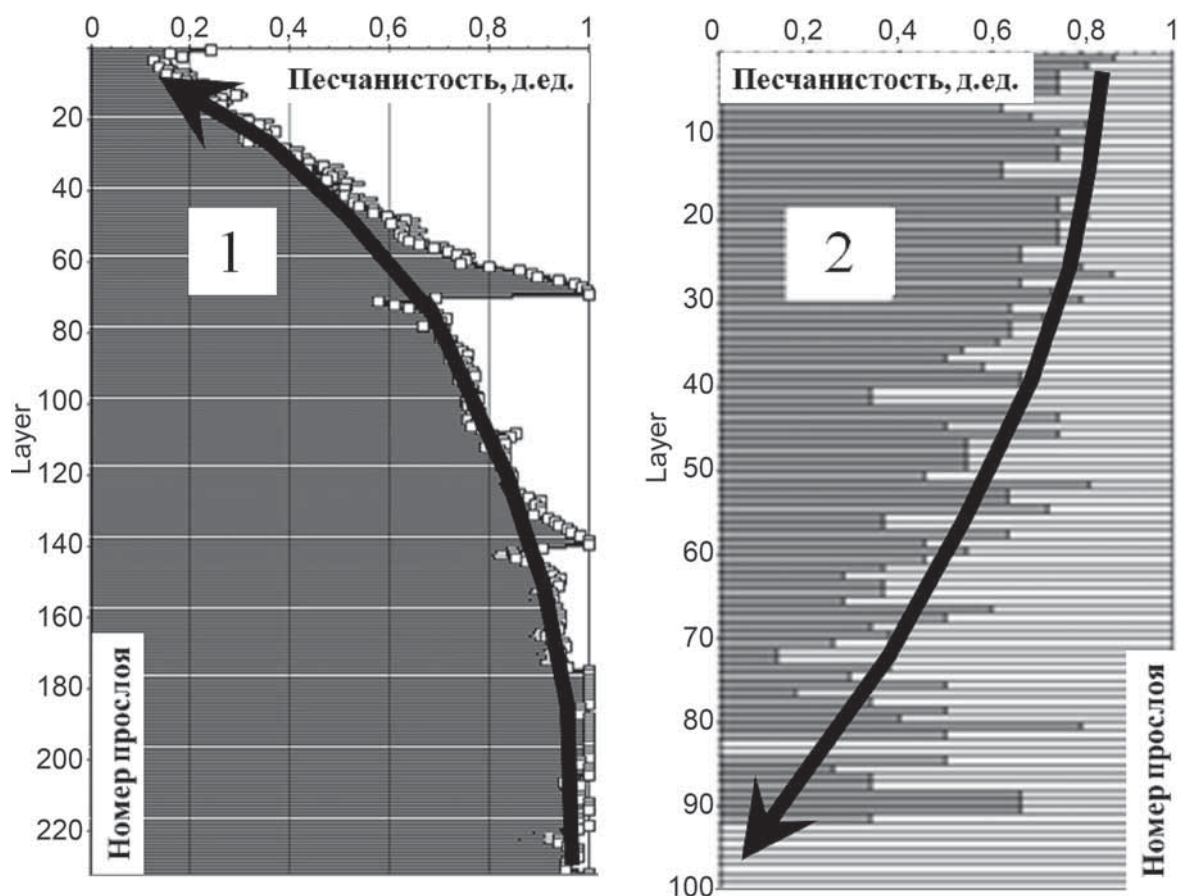


Рис. 4. Вертикальные тренды изменения песчанистости прослоев в зависимости от удаления от кровли пласта: 1 — увеличение песчанистости вверх по разрезу для шельфовых пластов, 2 — увеличение песчанистости вниз по разрезу для ачимовских отложений

изучаемых отложений можно утверждать, что для шельфовых отложений наиболее подходящий способ — стохастическое пиксельное моделирование. Это справедливо и для разведочного, и для эксплуатационного этапа освоения месторождения. Не рекомендуется использовать объектное моделирование, так как оно ориентировано на объекты преимущественно другого генезиса (русла, фаны).

Другая ситуация характерна для ачимовских отложений. Результаты исследований связности коллекторов турбидитов по обнажениям и по моделям, построенным разными способами, показали [Purgz et al., 2005], что наилучшие результаты относительно распространения литологических особенностей получаются при объектном способе моделирования. Однако в этом случае необходима концептуальная модель достаточного хорошего качества — с обоснованием направления сноса, размеров каналов, границ конуса выноса, выбора месторождения-аналога и др. Кроме того, при большом числе скважин могут начаться проблемы с «подгонкой» конусов к скважинам, когда расчет закликивается вплоть до вынужденного прерывания процесса моделирования. Поэтому на разведочном этапе при достаточном объеме данных (керна, сейсмические и каротажные данные) для построения качественной концептуальной модели для ачимовских отложений рекомендуется использовать объектное моделирование. В другом же случае лучше использовать пиксельные методы.

Пример построения литологической модели. Пример изучения геологического строения месторождения на начальной стадии освоения (гринфилд) и литологического моделирования в трехмерном объеме резервуара описан в [Гречнева и др., 2012]. Рассматриваемый объект (пласт Ач₃₋₄ фондоформенных ачимовских отложений) расположен на территории Уренгойского месторождения (Ново-Уренгойский лицензионный участок, ЛУ). Месторождение находится в восточной части Западно-Сибирского бассейна.

Площадь лицензионного участка полностью покрыта 2D и 3D сейсморазведкой. В границах пласта пробурено 25 эксплуатационных и 14 разведочных скважин, отобран керн в 16 скважинах, выполнено седиментологическое описание керна 6 скважин. В результате фациального анализа получено детальное описание керна скважин, составлены седиментологические колонки-планшеты. Согласно полученным результатам накопление осадков происходило в условиях развития турбидитных систем и приурочено к времени развития тракта низкого стояния. Турбидитные системы, сформировавшиеся в раннемеловое время, в целом можно отнести к группе песчано-глинистых конусов выноса с несколькими источниками.

На основе данных описания керна пласт Ач₃₋₄ был разбит на три циклита более мелкого порядка, согласующихся с границами системных трактов:

HST (высокое стояние), TST (затопление) и LST (низкое стояние), каждый из которых представляет собой песчано-алевритовый конус выноса. Выделенные границы циклитов (линз) хорошо прослеживаются по данным каротажа в скважинах, а также на временных разрезах 3D сейсмических данных.

Построение куба литологии осуществлялось стохастическим пиксельным методом (индикаторы) путем распространения дискретного признака коллектор/неколлектор, определенного по результатам интерпретации данных каротажа. В качестве вертикальных трендов для каждого цикла использована своя кривая песчанистости, отражающая закономерное изменение доли коллектора по вертикали. По результатам построения куба литологии можно заключить, что распространение коллекторов (песчаников) в объеме пласта отражает геологические представления о пласте, определенные при фациальном анализе. Восточная часть пласта глинизирована, так как эта область соответствует склоновой фации, а западная часть относится к дистальной части лопасти. Основной объем коллектора находится в депоцентре (рис. 5).

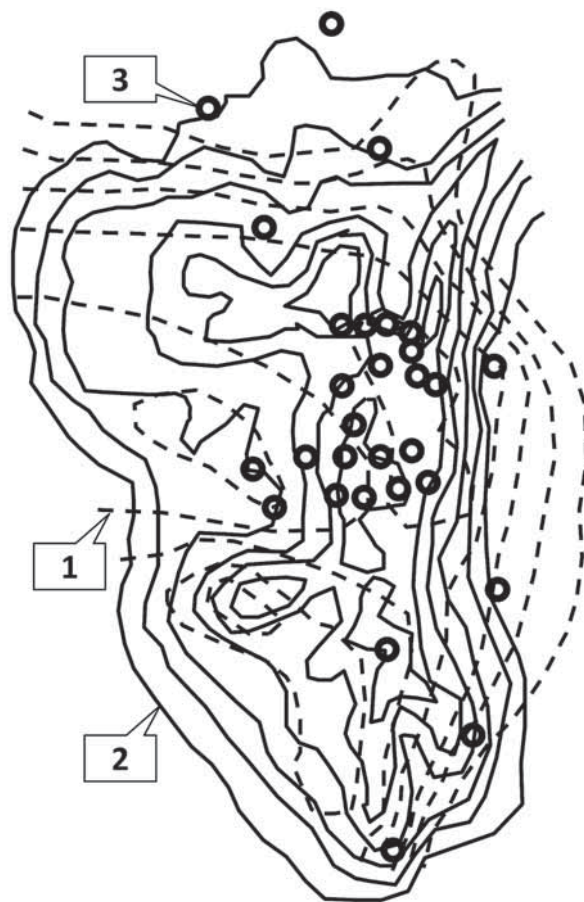


Рис. 5. Сопоставление карт толщин коллекторов (песчаников): 1 — изопахиты коллекторов карты, созданной по результатам двумерных построений, в соответствии с плоско-параллельной моделью седиментации; 2 — изопахиты коллекторов карты, созданной из трехмерной геологической модели, которая основана на сиквенс-стратиграфической модели седиментации ачимовских отложений; 3 — скважины

По построенной новой геологической модели был выполнен подсчет запасов и проведено сравнение с предыдущей версией подсчета. Сравнение показало прирост запасов свободного газа и конденсата на 16%. Необходимо заметить, что ранее (рис. 5) использовалась плоско-параллельная схема строения пластов (модель «пирога», «rap cake»), не учитывающая клиноформное строения разреза. Подсчет запасов в ней проводился по результатам 2D-картопостроения. Основные изменения произошли за счет перераспределения коллекторов по площади, а также благодаря отражению в модели геологических особенностей турбидитных отложений (рис. 5). Дальнейшее эксплуатационное бурение подтвердило правильность созданной трехмерной литологической модели.

Заключение. При создании литологических моделей залежей углеводородов неокомских клиноформ Западной Сибири необходимо учитывать особенности геологического строения следующим образом:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гречнева О.М., Малыгина О.С., Игнатьев А.Э., Закревский К.Е. Опыт изучения геологического строения и геологического моделирования ачимовских пластов Уренгойского месторождения по данным керна, каротажа и сейсморазведки // SPE. 2012. № 162004. 10 с.

Гурари Ф.Г. Строение и условия образования клиноформ неокомских отложений Западно-Сибирской плиты (история становления представлений). Новосибирск: СНИГГиМС, 2003. 140 с.

Закревский К.Е., Нассонова Н.В. Геологическое моделирование клиноформ неокома Западной Сибири. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2012. 80 с.

— выполнять создание каркаса на основе проградационной модели осадконакопления: корреляция по трансгрессивным глинистым пачкам с использованием маркирующих горизонтов морского генезиса — поверхностей максимального затопления, трансгрессивных поверхностей,

— осуществлять различные способы нарезки слоев при создании трехмерной сетки, различные способы заполнения ячеек сетки литотипами и разные подходы к геометризации залежей для ундоформенных и фондоформенных отложений,

— учитывать разнонаправленность вертикальной изменчивости свойств пород для ундоформенных и фондоформенных отложений.

Таким образом, знание региональных закономерностей строения отложений и учет конкретных особенностей объекта позволяет выполнить качественное построение трехмерных литологических моделей месторождений углеводородов.

Нежданов А.А., Пономарев В.А., Туренков Н.А., Горбунов С.А. Геология и нефтегазоносность ачимовской толщи Западной Сибири. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 247 с.

Bouma A.H. Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation. Amsterdam: Elsevier, 1962. 168 p.

Pyrz M.J., Catuneanu O., Deutsch C.V. Stochastic surface-based modeling of turbidite lobes // AAPG Bull. 2005. Vol. 89, N 2. P. 177–191.

Rich J.L. Three critical environments of deposition and criteria for recognition of rocks deposited in each of them. // Geol. Soc. Amer. Bull. 1951. N 62. P. 1–20.

Поступила в редакцию 29.10.2020

Поступила с доработки 30.10.2020

Принята к публикации 30.10.2020