

УДК 553.04

А.В. Романов, н.с., ООО «ТюменНИИгипрогаз», e-mail: rav85@yandex.ru

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ОДНО- И ДВУХМЕРНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

*Статья посвящена вопросам методического обеспечения для построения трехмерных геологических моделей залежей углеводородов, в частности способам создания 3D-параметров на основе одно- и двумерных зависимостей, выявленных по скважинным данным. Приведен анализ существующих методик комбинирования 1D- и 2D-трендов и выявлены проблемы, возникающие при их использовании. Предложена методика построения модифицированных геолого-статистических разрезов на основе метода масштабирования одномерных трендов.*

Известно, что в настоящее время наиболее востребованными являются два подхода к трехмерному моделированию литологии – детерминистический и стохастический [1]. Первый из них предполагает интерполяцию параметра «литология» с целью получения куба песчаности, отражающего вероятность появления коллектора в каждой отдельной ячейке. Вторая методика имеет в своей основе предположение о случайной природе появления коллекторов в разрезах пластов. Таким образом, происходит моделирование дискретного параметра «литология» в соответствии со статистическими характеристиками распределения коллекторов, полученного по скважинным данным.

И в том, и в другом случаях бывает полезным задать некоторую тенденцию в моделировании, посредством которой можно было бы влиять на процесс создания моделей, а значит, и на конечный результат. Чаще всего некоторое направление в создании трехмерных моделей определяется с помощью одно- и двумерных трендов [2]. В качестве первых обычно выступают геолого-статистические разрезы (ГСР), отражающие распределение коллекторских свойств пласта по вертикали на основе скважинных данных. Двухмерными трендами часто служат карты песчаности по пласту в целом, созданные с

помощью интерполяционных методов картопостроения. Здесь в качестве входных данных служит информация о коэффициенте песчаности в скважинах, что дает возможность получить представление о площадной неоднородности распределения коллекторских свойств изучаемого объекта.

Однако наиболее эффективным, а потому и часто используемым способом управления процессом моделирования является комбинирование одно- и двумерных трендов, поскольку только

учет трендовых составляющих как по вертикали, так и по горизонтали может дать удовлетворительный результат при трехмерном геологическом моделировании.

Для демонстрации различных методов сочетания одно- и двумерных трендов рассмотрим следующий пример. Пусть существует пласт толщиной 100 м, его вскрывают 10 скважин с различной степенью опесчаненности разреза, по ним создан ГСР (рис. 1). Среднее значение по исходному ГСР составляет 0,6. Кроме того, по скважинным данным построена карта песчаности (рис. 2). Необходимо создать трехмерный параметр-тренд, который мог бы лечь в основу литологической 3D-модели.

Комбинирование 1D- и 2D-трендов производится посредством изменения формы одномерного тренда таким образом, чтобы средневзвешенное на толщину значение по нему стало равно значению двумерного тренда в рассматриваемой точке. В настоящее время используются два способа проведения подобной операции. Остановимся на них более подробно.

Первый метод (сдвиг) позволяет сохранить соотношение вероятностей появления коллекторов в разрезе в том виде, в котором они присутствуют в исходном ГСР. Для приведения одномерного тренда к двумерному здесь используются

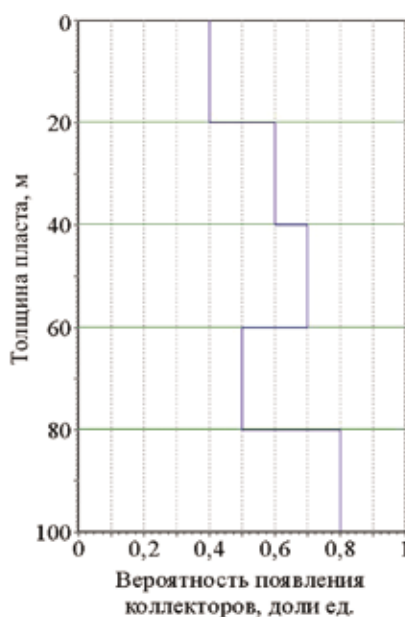


Рис. 1. Исходный геолого-статистический разрез

аддитивные свойства средних величин: прибавление ко всем значениям в выборке одного и того же числа ведет к изменению среднего значения на ту же величину. Вышесказанное можно записать следующим образом:

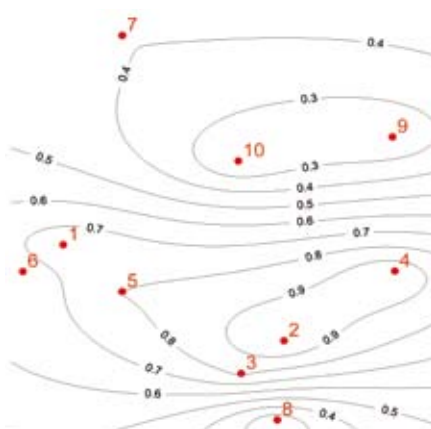
$$p'_k = p_k + (P_{ij} - M), \tag{1}$$

где  $p'_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке трансформированного ГСР;  $p_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке исходного ГСР;  $P_{ij}$  – значение коэффициента песчаности с карты в рассматриваемой точке  $(i, j)$ ;  $M$  – средневзвешенное на толщину значение, полученное по исходному ГСР.

На первый взгляд подобный подход удовлетворительно отражает изменение разреза в соответствии с уровнем песчаности, который необходимо достичь в каждой конкретной точке. Так, при незначительных смещениях ГСР (рис. 3а, среднее значение – 0,4) соблюдаются все необходимые условия: среднее значение по измененному разрезу совпадает с заданным уровнем песчаности, а вероятности появления коллекторов во всех прослоях лежат в допустимых пределах  $[0; 1]$ . Однако при попытках трансформировать ГСР более кардинальным образом начинают проявляться отрицательные эффекты (рис. 3б, среднее значение – 0,1), а именно: появление коллекторов в некоторых пропластках задается вероятностями, которые выходят за корректные уровни, то есть являются либо меньшими 0, либо большими 1, что математически неверно.

В целом существует возможность скорректировать полученный ГСР так, чтобы он начал соответствовать указанным выше условиям. Для этого необходимо распределить вероятности, выходящие за разумные пределы, из одних прослоев в другие, лежащие в интервале  $[0; 1]$ . Такая операция производится следующим образом. Сначала вычисляется суммарное взвешенное на толщину превышение таких «ложных» вероятностей, оно делится на толщину прослоев с «нормальными» вероятностями:

$$S = \frac{\sum_{k(p_k < 0)} p'_k \cdot h_k}{\sum_{k(p_k > 0)} h_k}, \text{ при } P_{ij} < M \tag{2}$$



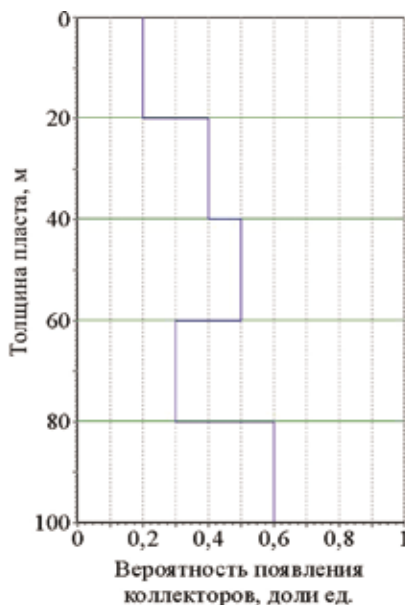
**Рис. 2. Карта песчаности по изучаемому объекту**  
 ● 3 скважина; – 0.4– линия равных вероятностей появления коллекторов

$$S = \frac{\sum_{k(p_k > 1)} p'_k \cdot h_k}{\sum_{k(p_k < 1)} h_k}, \text{ при } P_{ij} > M \tag{3}$$

где  $S$  – поправка в значения вероятностей появления коллектора в пропластках;  $p'_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке трансформированного ГСР;  $h_k$  – толщина  $k$ -го пропластка;  $P_{ij}$  – значение коэффициента песчаности с карты в рассматриваемой точке  $(i, j)$ ; – средневзвешенное на толщину значение, полученное по исходному ГСР.

Затем производится прибавление полученной величины к значениям вероятности в каждом из пропластков, лежащих в интервале  $(0; 1)$ :

$$p'_k = p'_k + S, \text{ при } 0 < p'_k < 1 \tag{4}$$



где  $p'_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке трансформированного ГСР;  $S$  – поправка в значения вероятностей появления коллектора в пропластках.

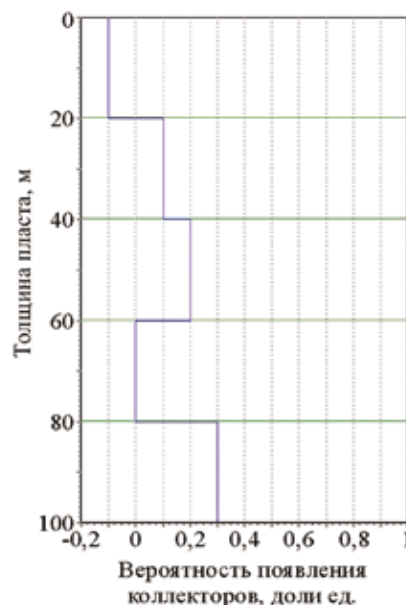
Однако при подобной корректировке часто происходит ситуация, когда исправленные значения вероятностей также перестают удовлетворять вышеуказанным требованиям, поэтому процесс становится итерационным, причем при приближении к граничным значениям (0 и 1) количество итераций может сильно возрасти.

Кроме того, в исходном ГСР все прослои были заданы вероятностями в интервале  $(0; 1)$ . Это означает, что появление коллектора или неколлектора в любом из них возможно. Однако после операции комбинирования с последующей итерационной корректировкой вероятности появления коллекторов в некоторых прослоях могут стать равными 0 или 1, что противоречит исходной информации.

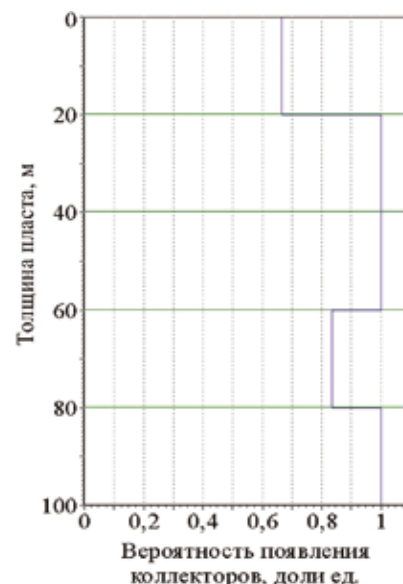
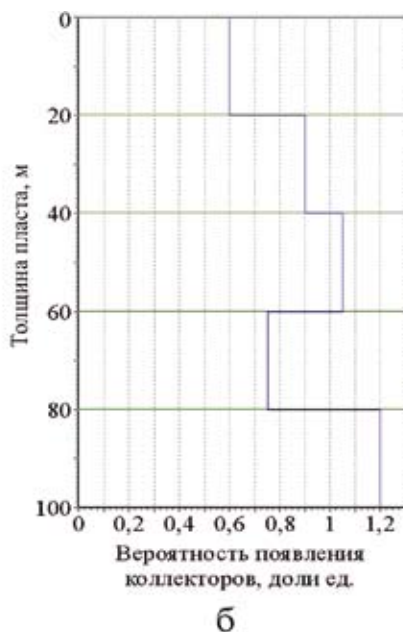
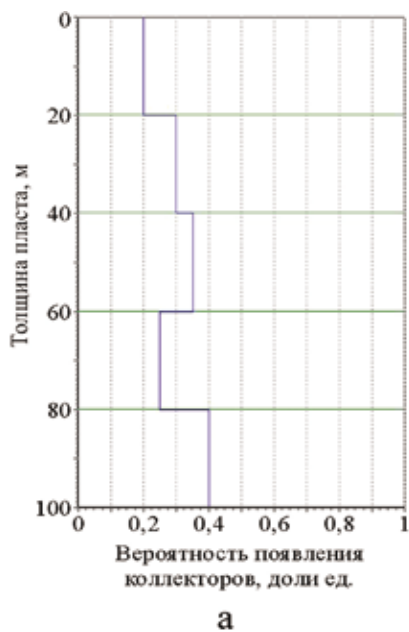
Второй метод (масштабирование) имеет в основе мультипликативные свойства средних величин:

$$p'_k = p_k \cdot \frac{P_{ij}}{M}, \tag{5}$$

где  $p'_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке трансформированного ГСР;  $p_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке исходного ГСР;  $P_{ij}$  – значение коэффициента песча-



**Рис. 3. Комбинирование трендов с помощью сдвига**



**Рис. 4.** Комбинирование трендов с помощью масштабирования

ности с карты в рассматриваемой точке  $(i, j)$ ;  $M$  – средневзвешенное на толщину значение, полученное по исходному ГСР.

Подобный подход является более приемлемым, поскольку трансформации, полученные с его помощью, имеют более логичный вид. Так, при рассмотрении примера (рис. 4а), где исходный ГСР необходимо привести к значению на карте песчаности, равному 0,3, видно, что относительные соотношения между вероятностями появления коллекторов в разных прослоях, которые выявляются на исходном ГСР, полностью сохраняются. Тем самым литологическая неоднородность изучаемого пласта по вертикали, обнаруженная в скважинных данных при создании разреза, должна корректно распространяться на всю область моделирования.

Однако при трансформации ГСР к значениям, большим его среднего, может произойти ситуация, аналогичная рассмотренной для первого способа комбинирования трендов. В качестве примера можно рассмотреть приведение исходного ГСР к значению песчаности, равному 0,9 (рис. 4б). Вероятности появления коллекторов в некоторых прослоях превышают 1, что с математической точки зрения является бессмысленным. Как и в первом случае, проблему можно решить с помощью алгоритма итерационного приближения к заданному среднему. Для этого необходимо несколько преобразовать формулы 3 и 4:

$$S = 1 + \frac{\sum_{k(p_k > 1)} p'_k \cdot h_k}{\sum_{k(p_k < 1)} p'_k \cdot h_k}, \text{ при } P_{ij} > M \quad (6)$$

$$p'_k = p_k \cdot S, \text{ при } 0 < p'_k < 1 \quad (7)$$

где  $S$  – поправка в значения вероятностей появления коллектора в пропластках;  $p'_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке трансформированного ГСР;  $P_{ij}$  – значение коэффициента песчаности с карты в рассматриваемой точке  $(i, j)$ ;  $M$  – средневзвешенное на толщину значение, полученное по исходному ГСР;  $h_k$  – толщина  $k$ -го пропластка.

Так, рассмотренный на рисунке 4б пример масштабирования исходного ГСР к значению 0,9 после применения формул (6) и (7) трансформируется к виду, приведенному на рисунке 5.

Масштабирование по сравнению со сдвигом имеет то преимущество, что при масштабировании исходного ГСР в меньшую сторону (при  $P_{ij} < M$ ) вероятности появления коллекторов во всех прослоях снижаются, но не могут стать равными 0 (за исключением случая, когда  $P_{ij} = 0$ ), что было бы некорректно. Однако при масштабировании в большую сторону появление вероятностей прослоев, равных 1, по-прежнему не исключено.

Задачей автора является создание методики комбинирования одно- и двухмерных трендов, которая бы позволила получить соответствующие исходным данным и обоснованные математически результаты.

**Рис. 5.** Результат масштабирования одномерного тренда после корректировки

Для решения поставленной задачи необходимо обратить внимание на тот факт, что величина вероятности появления коллекторов является обратной к значению вероятности появления неколлекторов:

$$\bar{p}_k = 1 - p_k \quad (8)$$

где  $\bar{p}_k$  – значение вероятности появления неколлекторов в  $k$ -м пропластке ГСР;  $p_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке ГСР.

Это означает, что с вероятностями появления неколлекторов можно производить те же операции, которые традиционно производят с вероятностями, характерными для коллекторов.

Теперь же достаточно вспомнить, что масштабирование (второй способ комбинирования трендов) дает превосходные результаты, но лишь при  $P_{ij} < M$ . То есть их использование вполне оправданно при соблюдении указанного условия. А для ситуации, когда  $P_{ij} > M$ , достаточно перейти к масштабированию вероятностей неколлекторов с использованием формул (5) и (8):

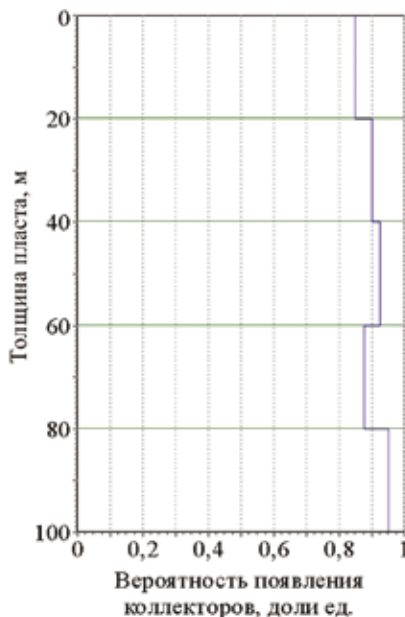
$$p'_k = p_k \cdot \frac{P_{ij}}{M}, \text{ при } P_{ij} < M \quad (9)$$

$$p'_k = 1 - \bar{p}_k \cdot \frac{P_{ij}}{M}, \text{ при } P_{ij} > M \quad (10)$$

где  $p'_k$  – значение вероятности появления коллекторов в  $k$ -м пропластке трансформированного ГСР;  $p_k$  – значение веро-

ятности появления коллекторов в k-м пропластке исходного ГСР;  $\bar{P}_k$  – значение вероятности появления неколлекторов в k-м пропластке исходного ГСР;  $P_{ij}$  – значение коэффициента песчаности с карты в рассматриваемой точке (i, j);  $\bar{P}_{ij}$  – величина, обратная значению коэффициента песчаности с карты в рассматриваемой точке (i, j); M – средневзвешенное на толщину значение, полученное по исходному ГСР; M – величина, обратная средневзвешенному на толщину значению, полученному по исходному ГСР.

При рассмотрении примера приведения исходного ГСР (рис. 1) к значению 0,9 с помощью масштабирования (рис. 4б) выяснилось, что результат был неудовлетворительным, так как вероятность появления коллекторов в некоторых прослоях превышала предел, установленный математически и равный 1. После дополнительных трансформаций (рис. 5) вероятность в таких прослоях была ограничена значением 1, а в остальных была повышена до таких уровней, чтобы среднее значение по полученному ГСР соответствовало заданному значению 0,9. Например, вероятность в первом прослое исходного ГСР была 0,4, после процедуры масштабирования она стала равняться 0,6, так как песчаность по разрезу в целом должна была повыситься в 1,5 раза – со значения 0,6 до значения 0,9 ( $\frac{0,6}{0,9}=1,5$ ). Поскольку в масштабированном ГСР вероятности в прослоях 3 и 5 были равны 1,05 и 1,2 соответственно, было проведено две итерации трансформаций по формулам (6) и (7), в результате чего «лишние» вероятности были распределены между оставшимися прослоями (прослои номер 1, 2, 4 на рис. 4б): три прослоя из пяти стали характеризоваться вероятностями появления коллекторов, равными 1 (прослои номер 2, 3, 5 на рис. 5), а вероятность в первом прослое стала равняться 0,66... (рис. 5). Полученные величины вероятностей означают, что при использовании подобной трансформации в качестве основы для создания трехмерного тренда с целью проведения последующего геологического моделирования (например, стохастического) будут получены следующие результаты: прослои 2, 3 и 5 совершенно точно будут представлять собой коллекторы, в то же время прослои 1 и 4, возможно, будут непроницаемыми



**Рис. 6. Комбинирование трендов с помощью модифицированного масштабирования**

по модели. Однако если обратиться к исходному ГСР, то такая картина не кажется столь уж однозначной. Например, вероятность появления коллекторов в первом прослое исходного ГСР всего на 25% относительно ниже, чем в четвертом; вероятность в четвертом прослое лишь на 20% относительно меньше, чем во втором. Тем самым при использовании масштабирования происходит искусственное обращение некоторых прослоев в коллекторы. Теперь обратимся к рисунку 6, где представлен результат приведения исходного ГСР к значению 0,9 посредством модифицированного масштабирования по формуле (10). Основным отличием и главным достоинством приведенного результата трансформации является отсутствие значений вероятности появления коллекторов, равных 1, что приводит к исключению ситуации, когда какой-либо из прослоев однозначно причисляется к коллекторам. Например, вероятность появления коллекторов в первом прослое составляет 0,85. Это значение получено следующим образом. Сначала вычисляется вероятность появления неколлекторов в исходном ГСР, это величина обратная к вероятности появления коллекторов и по формуле (8) составляет 0,4:  $1-0,6=0,4$ . Затем рассчитывается вероятность появления неколлекторов в искомой точке сетки 2D-тренда, в данном случае ГСР трансформируется к значению 0,9, соответственно, величина веро-

ятности появления неколлекторов составляет 0,1:  $1-0,9=0,1$ . Это означает, что вероятности появления неколлекторов в каждом из прослоев при трансформации должны измениться в 0,25 раза:  $\frac{0,1}{0,4}=0,25$ . Таким образом, значение вероятности появления неколлекторов в первом прослое ( $1-0,4=0,6$ ) также должно измениться в 0,25 раза и составит 0,15:  $0,6 \cdot 0,25=0,15$ . Величина вероятности появления коллекторов является обратной к вероятности появления неколлекторов и для первого прослоя составляет 0,85 ( $1-0,15=0,85$ ).

Таким образом, с помощью модификации метода масштабирования можно добиться корректных результатов для трансформации исходного ГСР к любому значению коэффициента песчаности без применения итерационного подхода. Получаемые результаты таких трансформаций сохраняют распределения вероятностей по разрезу, характерные для исходного ГСР. При этом опесчаненность разреза учитывается как величина, которая зависит от пары взаимобратных значений вероятностей появления коллекторов и неколлекторов.

**ВЫВОДЫ**

- Разработан алгоритм построения модифицированных геологостатистических разрезов, основанный на учете вероятностей появления как коллекторов, так и неколлекторов в разрезах пластов.
- Предлагаемый метод позволяет создавать математически обоснованные распределения вероятностей.
- Алгоритм может быть использован для построения трехмерных трендовых параметров для целей геологического моделирования пластов.

**Литература:**

1. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». Ч. 1: Геологические модели, 2003. 164 с.
2. Закревский К. Е. Геологическое 3D-моделирование. М.: ООО «ИПЦ "Маска"», 2009. 376 с.

**Ключевые слова:** 3D-геологическое моделирование, 1D-тренд, 2D-тренд, создание 3D-геологического тренда.