

2. Проект опытно-промышленной эксплуатации месторождения Тенгиз. – Атырау, 2005.
3. Harris P.M., Weber L.J. Facies and Reservoir-quality Variations in the Late Viséan to Bashkirian Outer Platform, Rim, and Flank of the Tengiz Buildup, Precaspian Basin, Kazakhstan // Giant hydrocarbon reservoirs of the world: From rocks to reservoir characterization and modelling. – 2006 AAPG Memoir 88/SEPM. – P. 55 – 95.
4. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей: Монография. – Москва: Изд-во Прогресс, 1979. – 388 с.

## УЧЕТ РАЗЛИЧНЫХ ЛИТОТИПОВ (ФАЦИЙ) ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ. ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЦИЙ В МЕЖСКВАЖИНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Гидзамкив Е.В., Залялетдинова М.А., Кротов А.А.

Научный руководитель – И.В. Матвеев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Создание литолого-фациальной модели является одним из ключевых этапов построения геологической модели. Она служит основой для интерполяции ФЕС в резервуаре, учитывая условия высокой неоднородности пород. При оценке неопределённости геологических моделей используются методы геостатистики [1].

Существует два подхода к восстановлению данных в межскважинном пространстве: детерминистский и стохастический. При первом получается один, наиболее вероятный вариант при заданных условиях, классический пример – кригинг. При втором подходе – несколько вариантов равновероятных случайных реализаций [3].

В данной статье будет более детально рассмотрен вероятностный подход и его методы реализации.

Стохастическая интерполяция обладает рядом преимуществ, среди которых выделяют следующие факторы:

- является более гибким по сравнению с детерминистическим;
- возможность работы с трендами;
- возможность оценить неопределенности;
- возможность создания модели при малом количестве исходных данных.

Среди алгоритмов вероятностного подхода различают два – пиксельные и объектно-ориентированные.

### 1. Пиксельные

Суть пиксельных алгоритмов заключается в том, что происходит заполнение трехмерной модели по ячейкам (пикселям). Для их реализации требуется задание модели полувариограмм, а также оценка содержания фаций в процентном соотношении.

Среди пиксельных алгоритмов наиболее распространенные – SGS, TGS, SAS, MPSM.

#### 1.1. Sequential Gaussian simulation (SGS)

SGS является наиболее распространенной моделью. Она использует среднее значение кригинга и дисперсию для создания гауссова поля, а также определяет нормальное распределение Гаусса. Данный подход использует входные и смоделированные данные при вычислении значения в не смоделированной ячейке сетки, а генерирует множество равновероятных реализаций, которые могут быть подвергнуты последующей обработке для количественной оценки и оценки неопределенности [4].

Происходит генерация нескольких равновероятных реализаций свойств, а не просто оценка среднего значения, как, например, только при использовании алгоритма кригинга. Можно сказать, что мы добавляем некоторую вариативность для отмены сглаживающего эффекта кригинга. Этот результат, возможно, дает лучшее представление о естественной изменчивости свойств коллектора и предоставляет средства для количественной оценки неопределенности. Чаще всего используется для построения геологических моделей непрерывных петрофизических свойств, таких как пористость. Семейство методов последовательного моделирования включает в себя, помимо рассмотренного подхода, Sequential indicator simulation (SIS) и Bayesian indicator simulation (измененный метод SIS), все из перечисленных используют один и тот же базовый алгоритм.

#### 1.2. Truncated Gaussian Simulation (TGS)

Данная модель используется реже и исключительно хорошо работает с переходными фациями. Например, модель перехода мелководных отложений в глубоководные.

Позволяет моделировать случайное поле с дискретными значениями посредством усечения стационарного гауссовского случайного поля второго порядка. Модель задается одним или несколькими порогами усечения и функцией ковариации или вариограммой гауссовского случайного поля. На практике пороговые значения определяются для воспроизведения экспериментальной пропорции каждого класса дискретных значений, в то время как вариограмма выводится на основе ее взаимосвязи с вариограммами класса-индикатора.

#### 1.3. Simulated annealing simulation (SAS)

Метод имитационного отжига заимствован из металлургии. В металлургии при сплавлении двух металлических частей зона прикрепления нагревается до температуры, при которой молекулярная структура может перестраиваться. Когда металл снова охлаждается, молекулярная структура изменяется, и в месте соединения двух металлических частей образуется связь. Переносим эту идею в стохастическое моделирование, человек производит начальную реализацию, вводит некоторые особые условия (задает петрофизические свойства на разных участках смоделированного коллектора), затем запускается процесс оптимизации, который рассчитывает данные в ячейках между двумя участками таким образом, чтобы они соответствовали введенным особым условиям. Метод создает модель коллектора посредством итеративного процесса проб и ошибок и не использует явную модель случайных функций. Его можно использовать в качестве основы как для пиксельного, так и для объектного моделирования, и в любом случае смоделированное изображение формулируется как процесс оптимизации.

Используются логические методы, на начальном этапе происходит подбор базовой формы для каждой фации осадконакопления, которая описывает ее геометрию. Например, вы можете моделировать каналы, которые выглядят извилистыми на виде карты и полуэллиптическими в поперечном сечении, или дельты, которые выглядят как треугольные клинья на виде карты. Разработчик модели должен указать пропорции форм в окончательной модели и выбрать параметры, описывающие формы. В некоторых алгоритмах есть правила, описывающие расположение геологических тел относительно друг друга. Например, могут ли объекты пересекаться друг с другом, как плетеные потоки, или присоединяться, как каналы.

#### 1.4. Multiple Point Statistics Method (MPSM)

Является пиксельным методом, однако приближен к объектным. При реализации используется не полувариограммы, а обучающие изображения. В результате чего на выходе получается реалистичная модель осадконакопления. Учитывается корреляция между тремя или более местоположениями одновременно. Следовательно, теоретически данный подход может учитывать связь многих ячеек между собой и, таким образом, воспроизвести сложные криволинейные геологические структуры [2].

#### 2. Объектно-ориентированные

Распределение фаций происходит в строго определенном геометрическом объеме. Данную группу алгоритмов рекомендуется использовать при моделировании отложений речных русел (как меандрирующих, так и спрямленных), эоловых дюн, фронтальных частей дельт, карбонатных платформ и т.д. [1].

Объектное моделирование решает относительно простую задачу – задачу категориальной интерполяции данных. При этом число используемых категорий обычно невелико. Типичной задачей объектного моделирования является расчет в пространстве возможной конфигурации песчаных тел – русел или каналов. Используя диалоговый интерфейс, геолог указывает основное направление русел, их ширину и толщину, период и амплитуду их синусоидальных искривлений. Все параметры характеризуются средними значениями и среднеквадратичными отклонениями. Вместо русел (или в дополнение к ним) могут быть описаны тела линзовидной или конусообразной формы. Программа последовательно генерирует и помещает в пространство множество (тысячи, миллионы) соответствующих объектов, но оставляет только те из них, которые согласуются со скважинными данными.

Таким образом, существует определенное количество методов, способных помочь при распределении петрофизических свойств в геологической модели. Каждый из них обладает рядом достоинств и полноценно проявляет их при верном соответствии модели и метода. Как следствие, задача модельера – понимать принцип действия данных алгоритмов и обоснованно применять тот или иной подход в интерполяции данных.

#### Литература

1. Белкина В.А., Бембель С.Р., Забоева А.А., Санькова Н.В. Основы геологического моделирования: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 162 с.
2. Kovalevsky E. Geological Modelling on the Base of Geostatistics // Course Note. – EAGE, 2011. – 122 p.
3. Zakrevsky, K.E., Geological 3D Modelling. – EAGE Publications, 2011. – 253 p.
4. Apart B.G. Sequential Simulation with Patterns, 2005. – 184 p.

### ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ДАННЫЕ ПО МЕТОДУ ROSK-EVAL И МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СОСТАВ

Полтавская Н.А., Гершелис Е.В., Гринько А.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Шельф морей Восточной Арктики, являющийся самым широким и мелководным шельфом Мирового океана, является уникальным регионом для исследователей в связи с усиливающейся деградацией наземной, прибрежной и подводной мерзлоты в условиях глобального потепления. Взаимодействие между климатом и глобальным углеродным циклом потенциально инициирует положительно обратную связь, с точки зрения выброса двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) – основного парникового газа, по причине дестабилизации бассейна вечной мерзлоты. Все это провоцирует массовое оттаивание и высвобождение органического углерода, который был ранее законсервирован в многолетнемерзлых толщах. Вовлечение данного углерода в геохимический цикл запускает многие сложные биогеохимические механизмы, включая интенсивную мобилизацию в глубокие бассейны седиментации и увеличение поставок терригенного органического вещества (ОВ) из-за береговой эрозии и речного стока в прибрежный океан. Помимо этого, одним из важнейших экологических последствий экспорта органического углерода (ОУ) в систему суша-шельф являются асидификация вод, по причине окисления эрозионного органического углерода до  $\text{CO}_2$ , и, как следствие, к росту эмиссии парниковых газов [2]. Таким образом, для оценки влияния ОВ на глобальный углеродный цикл необходимо понимать источники, транспортировку и состав органического материала.

Восточно-Сибирский арктический шельф – уникальный регион для изучения динамики и судьбы терригенного ОУ. Данный регион получает значительный приток ОУ, как за счет увеличения стока великих российских рек (в частности р. Лена), дренирующих обширные сибирские районы вечной мерзлоты, так и за счет интенсивной прибрежной эрозии. По предварительным оценкам только с продуктами береговой эрозии в воды восточно-арктических морей поступает порядка  $44 \pm 10$  Мт наземного ОУ [1]. Море Лаптевых относится к арктическим регионам с наиболее высокими темпами эрозии [1]. Основным источником растворенного ОВ для данного моря является река Лена. Ее дренируемый водораздел почти полностью (90%) находится в зоне распространения многолетней вечной мерзлоты, занимающий около  $2,46 \times 10^6$  км<sup>2</sup> [4].