

## **Возможности использования новой программы моделирования роста фрактальной структуры при поиске и добыче углеводородов.**

**Масюков Владимир Вадимович, Юрченко Оксана Станиславовна**

*ООО «Славнефть – Научно-производственный центр», г. Тверь*

В работе кратко описывается новый алгоритм развития (роста) фрактальных структур. Проиллюстрированы возможности алгоритма в 2D варианте на синтетических и реальных данных. Делается вывод о возможности получения реалистичных моделей трещиноватой среды в любом масштабе при комплексировании нового алгоритма с фрактальной интерполяцией. Особенности алгоритма и математические аспекты его реализации более подробно изложены в докладе в секции «Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли»

### **Постановка задачи**

На протяжении последних лет коллектив авторов из *ООО "Славнефть-НПЦ"* развивает технологии, связанные с выявлением особенностей сейсмического поля, направленные на адекватное отображение трещинной среды [1-8]. Несмотря на определенные успехи, имеет место объективная неопределенность на масштабах между разрешенностью современной сейсморазведки 3D и разрешенностью сканеров микротрещиноватости [5,7]. Оказывается, что использование интерполяции (даже стохастической и фрактальной) и переход к сеткам с шагом менее одного метра не приводит к удовлетворительным результатам. Поэтому был разработан новый метод развития (роста) фрактальных структур.

Рассмотрим основные идеи нового подхода в 2D случае. На вход алгоритму подается бинарное или полутоновое изображение (грид). Это может быть как синтетический пример (некоторая «затравка» или «зародыш» фрактальной структуры), так и реальный срез куба антикогерентности или «синергетических сингулярностей» [1], полученных на основе данных сейсморазведки 3D. Затем итерационно изображение меняется, происходит развитие (рост) фрактальных структур в соответствии с принципами фрактальности и учетом всей имеющейся априорной информации.

### **Основы нового алгоритма роста фрактальных структур**

Новый алгоритм базируется на следующих простых принципах:

фрактал «стремится» максимально быстро и равномерно заполнить весь имеющийся объем;

фрактал растет из максимума «пустоты» к ближайшему максимуму структуры (фрактала); закономерности роста сохраняются на разных масштабах.

Природа устроена так, что она «стремится» к минимуму энергии и максимуму энтропии. Причем, она «старается» уменьшить энергию системы и увеличить ее энтропию максимально быстро, самыми эффективными способами (можно сказать, что это расширенный принцип наименьшего времени) [9, 10]. Аналогичные идеи используются достаточно давно [11]. При формировании трещины происходит разрядка напряжений, увеличение энтропии. И при этом разрядка (разрешение) напряжений снимается наиболее «эффективным образом» - из точки максимального напряжения к ближайшей точке наибольшей разгрузки. Трещина растет в «пустоту» (или «из» нее), и, в конечном счете, распространяется на весь объем. При этом закономерности роста (например, фрактальная размерность) часто сохраняются на разных масштабах, т.к. природа фрактальна. Заметим, что в понятие «ближайшая» точка (во втором

сформулированном базовом принципе) с помощью специальной метрики могут быть учтены направления и выраженность существующих напряжений, то есть, другими словами, мы можем управлять розой-диаграммой фрактальной структуры, определять направления доминантного распространения новых веток (трещин). Пользователь может задавать два направления, соотношение между их амплитудами на розе-диаграмме, а также их «размазанность» (пока эти параметры работают для всего изображения).

Кроме того, в программной реализации алгоритма заложена возможность управления «прямолинейностью» новых «побегов» фрактального дерева и связностью получающейся структуры (регулировка возможности образования замкнутых структур). В случае работы с полутоновым изображением на каждой итерации уменьшается амплитуда новых «веток» структуры, а в случае бинарного изображения – их толщина.

Важно отметить, что развитие структуры из некоторого «зародыша» зависит от формы и размеров исходного изображения. Границу мы считаем частью «фрактальной структуры», поэтому развитие (рост) структуры приводит к постепенному заполнению «пустот» на каждой итерации все более тонкими (или амплитудно слабыми) линеаменами.

В целом новая технология позволяет существенно расширить возможности «ручной» интерпретации и анализа трещинной среды [12].

### Тестирование нового алгоритма

Алгоритм протестирован на синтетических примерах (рис.1), тестах из литературных источников (рис.2), а также реальных данных (рис. 3, 4).

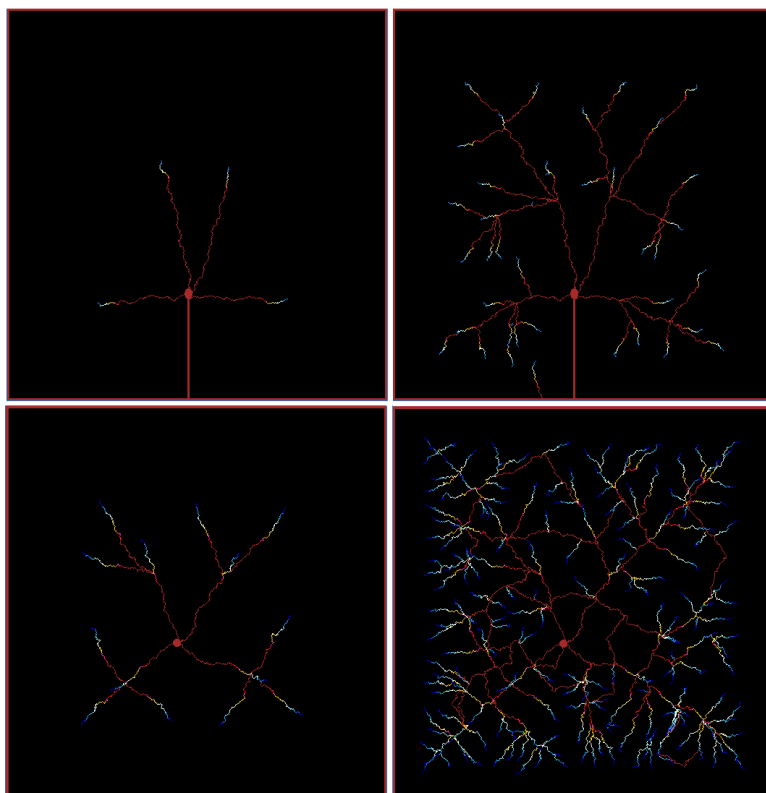


Рис. 1. Пример работы нового алгоритма на синтетических данных. Рост структуры из зародыша в виде вертикального отрезка с утолщением на конце (верхний ряд) и из точки (нижний ряд).

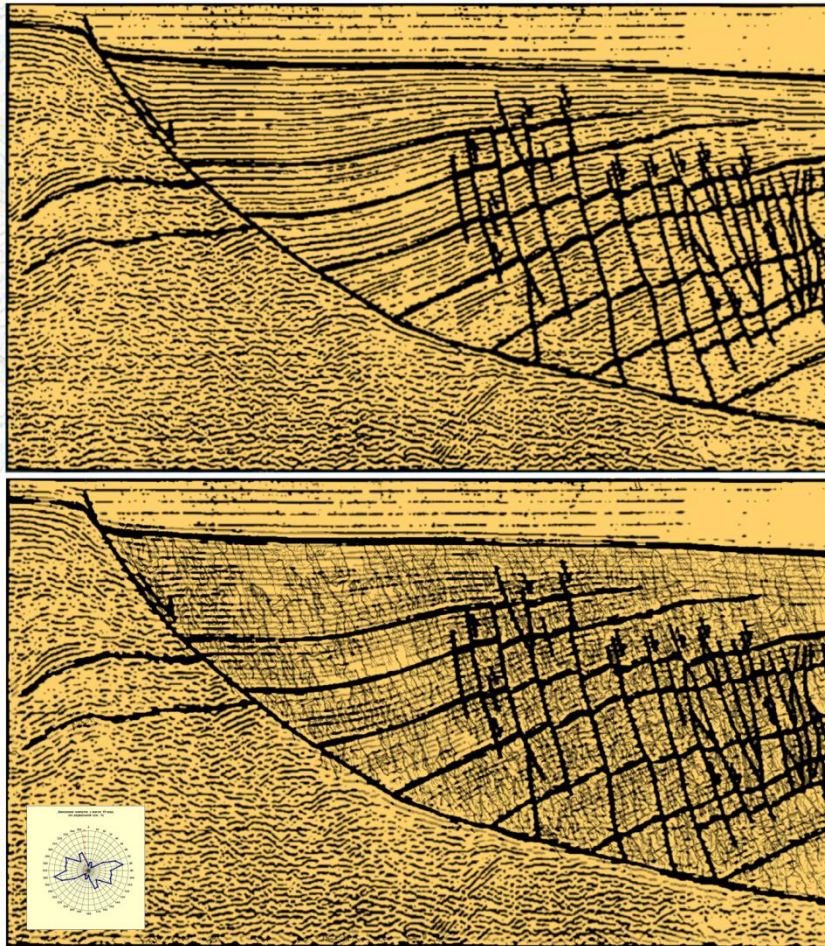


Рис. 2. Пример моделирования роста фрактальных структур на примере из литературного источника [13]. Вверху – исходный вариант интерпретации по сейсмическому разрезу, внизу – результат работы алгоритма. Рост структуры моделировался только в заданной ограниченной области разреза.

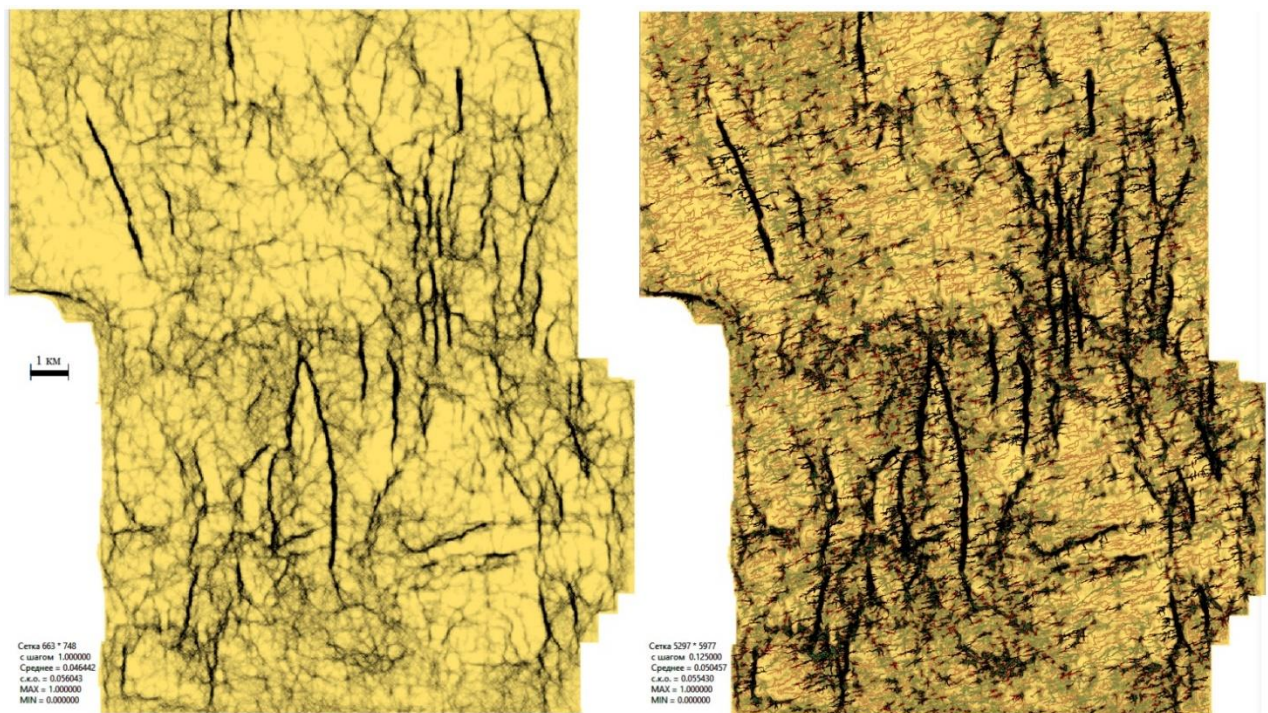


Рис. 3. Результат работы алгоритма роста фрактальной структуры совместно с фрактальной интерполяцией (справа) по срезу антикогерентности (слева).

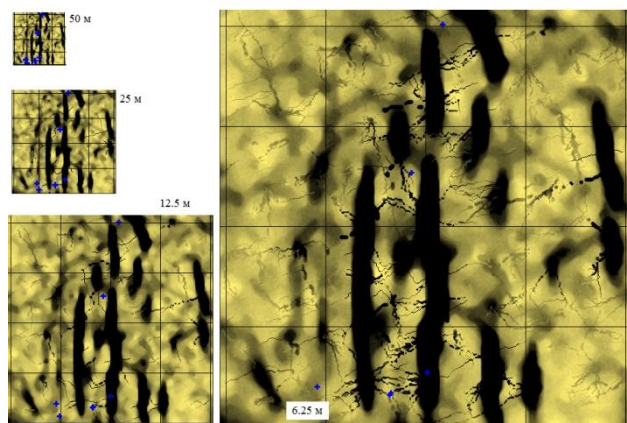


Рис. 4. Результат комплексирования алгоритма роста фрактальных структур и стохастической фрактальной интерполяции (увеличенный фрагмент рис. 4.).

### Дискуссия и благодарности

Детальное моделирование трещинной среды имеет важное значение для повышения точности прогнозирования и оптимизации разработки нефтяных и газовых месторождений. К ограничениям (недостаткам) новой технологии можно отнести возможность моделирования только «вторичной трещиноватости», не связанной с активными тектоническими движениями. То есть в модели смещение частей среды друг относительно друга не заложено, поэтому трещины в виде кулис, например, мы получить в рамках этой технологии не можем. Представляется перспективным дальнейшее совершенствование новой технологии, адаптации программы для ее практического использования, ее совместимость со стандартным ПО на уровне форматов данных.

Авторы выражают благодарность всем коллегам за обсуждение работы и генеральному директору ООО «Славнефть-НПЦ» Шленкину С.И. за разрешение на данную публикацию.

### Список литературы

Шленкин С.И., Масюков А.В., Масюков В.В. и др. Вычисление кубов когерентности и сингулярностей // Технологии сейсморазведки. – 2012.– № 2.– С. 5-11.

Харахинов В.В., Шленкин С.И., Зеренинов В.А. и др. Новые подходы к созданию геологических моделей трещинных резервуаров в древних комплексах Восточной Сибири // Нефтяное хозяйство. – 2012.– №11.– С. 93-97.

Харахинов В.В., Шленкин С.И., Афонасин В.В. и др. Особенности геологического и гидродинамического моделирования трещинных резервуаров в древних комплексах Восточной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013.– № 2.– С. 11-20.

Масюков В.В., Харахинов В.В. Новый подход к кластеризации трещинных коллекторов углеводородов на основе данных 3D сейсморазведки // Технологии сейсморазведки. – 2015.– № 2. – С. 29-35.

Афонасин В.В., Масюков В.В. Развитие методов предсказания трещиноватости на основе сейсморазведки 3D требует совершенствования аппаратуры для прямых скважинных измерений трещиноватости // Приборы и системы разведочной геофизики. –2016. – Т. 56.– № 2. – С. 27-34.

Масюков А.В., Масюков В.В., Берин М.В., Юрченко О.С. Обнаружение нарушений когерентности при сдвиге на период и выделение разномасштабных особенностей

сейсмических данных В сборнике: Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли. Математические методы, программное и аппаратное обеспечение Материалы научно-практической конференции. 2017. С. 26-29.

*Масюков А.В., Масюков В.В., Шлёнкин В.И.* Предсказание трещиноватости на основе незеркальной компоненты сейсмического поля: сопоставление с микроимиджерами В книге: Сейсмические технологии-2016 научно-практическая конференция: сборник тезисов. 2016. С. 44-47.

*Масюков В.В., Масюков А.В., Шленкин В.И., Берин М.В., Юрченко О.С.* Совершенствование технологии выявления и использования спектральных аномалий сейсмических данных В сборнике: Сейсмические технологии- 2017 материалы научно-практической конференции. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова». 2017. С. 188-191.

Свидетельство о регистрации программы на ЭВМ EvolDIST № 2011615678 от 20.06.2011.

*Белов А.Н., Масюков В.В.* Модель контролируемого горнолыжного спуска и ее гидродинамические аналогии // Вестник ТвГУ, серия: прикл. матем. – 2012. – № 1(24).– С. 49-66.

*Юрченко О.С.* Тектонофизические исследования на основе данных МОГТ 3D // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений – 2008.– № 12.– С. 32-41.

*Мартюшев Л.М.* Принцип максимальности производства энтропии в физике и смежных областях. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. – 2006. – 83 с.

*Прокофьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В.* Разломы (морфология, геометрия и кинематика). – Якутск.– Из-во СО РАН 2004.– 148С.