

Рис. 2. Поля корреляции значений геофизических параметров Игольско-Талового месторождения

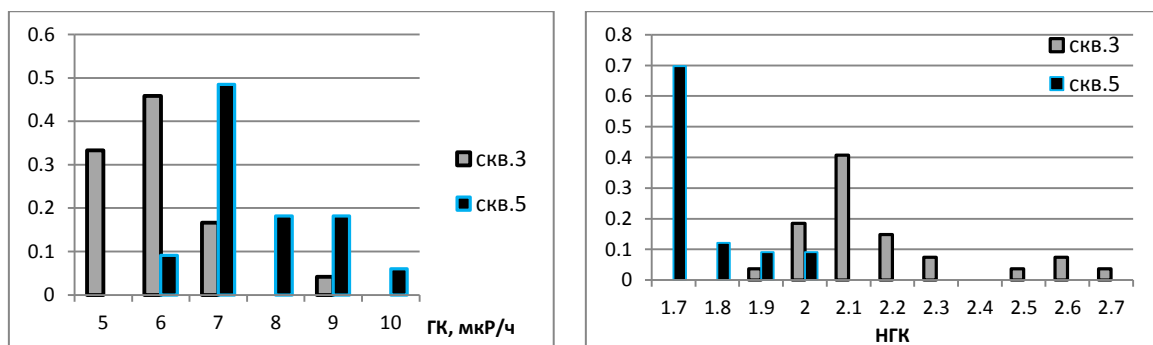


Рис. 3. Гистограммы распределения значений геофизических параметров пласта Ю1-2 Игольско-Талового месторождения

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН И РАСЧЕТ ИХ ВЛИЯНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ

А.А. Шатская

Научный руководитель профессор М.М. Немирович-Данченко

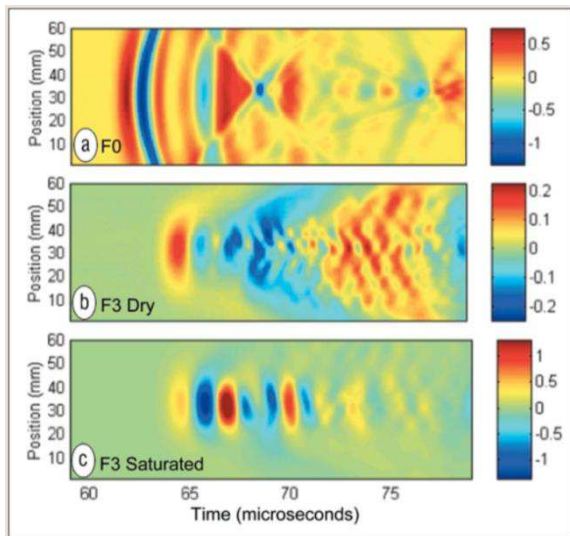
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время активно развиваются алгоритмы обработки данных наземной и скважинной сейсморазведки с целью получения более полной и достоверной информации о внутреннем строении и свойствах продуктивных пластов. Причем повышается интерес к пластам палеозойского возраста, где преобладают плотные карбонатизированные породы, и, соответственно, коллекторы трещинного типа. Сейсмические особенности (атрибуты) сигнала, испытавшего взаимодействие с трещинами, на данный момент изучены не полностью, поэтому мы посвятили нашу работу изучению данной актуальной задачи.

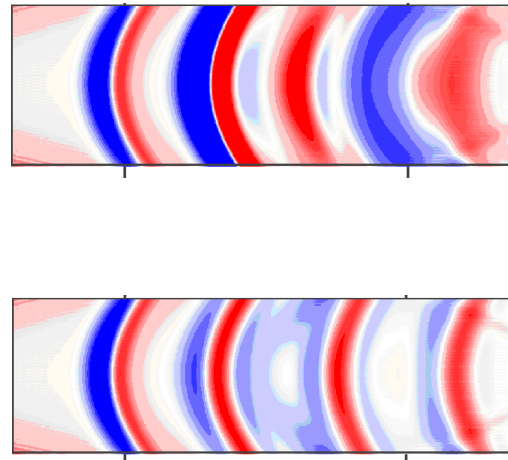
Основной методикой выявления трещин и определения их параметров является использование азимутальной анизотропии скоростей. В частности, возникает интерес к анизотропии поглощения энергии сигнала, что хорошо видно из анализа публикаций последнего десятилетия. Изучение литературы, посвященной этой теме, приводит к публикациям лаборатории прикладной экспериментальной геофизики американского университета Purdue, где вопросом влияния трещиноватости на волну занимаются с 1987 года и опубликовано более 30 статей в различных изданиях. В статьях описаны проведенные физические эксперименты, и наша идея заключается в создании математических моделей с аналогичными свойствами, проведении расчетов сейсмического поля конечно-разностным методом [4], анализе и сравнении полученных результатов.

В одной из последних работ [1] подробно описана установка и алгоритм проведения эксперимента и приведены полученные результаты. Образцом здесь являлся брусок алюминия, в котором пропилены 20 трещин с шагом 3 мм, что примерно равно четверти длины волны на частоте 0,5 МГц. На рис. 1 показан акустический волновой фронт, записанный на цельном эталонном образце F0 (а), и образце с нарушениями F3 в сухом состоянии (b) и при насыщении водой (с).

По описанию образца была создана математическая модель, параметры которой совпадают с физическим экспериментом, и рассчитаны сейсмические поля, прошедшие через систему трещин. Считается полное волновое поле, т.е. присутствуют все типы волн, в том числе и поверхностные неоднородные волны, которые являются одним из малоизученных механизмов передачи энергии в трещиноватых средах. Рисунку 2а соответствует модель с сухими трещинами, изображение 2б получается при задании параметров водного флюида. Для случая ненасыщенной модели в обоих экспериментах замечаем отсутствие четкой картины чередования фаз, дифракцию волн по времени. При наличии воды также картина сейсмического поля похожа, достаточно четкие амплитуды трасс, причем в центральной зоне они более выражены, чем при отдалении от центра модели.



**Рис.1** Временной разрез, полученный в ходе физического эксперимента: а) цельный образец, б) трещиноватый сухой образец, в) трещины насыщены водой.



**Рис. 2** Синтетический временной разрез с теми же параметрами: верхняя модель с сухими трещинами, нижняя - в трещинах вода.

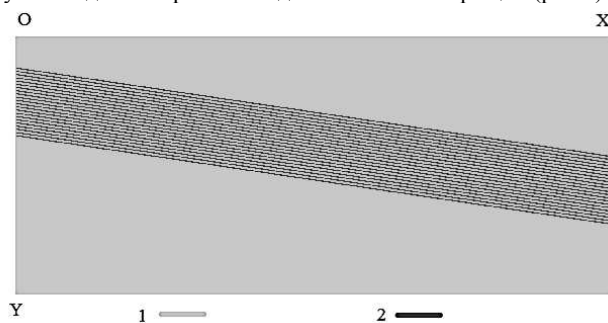
Рассматривая методику проведения физического эксперимента, можно заметить, что конструкция установки предусматривает расположение трещин параллельно одной из ее осей (вертикальные или горизонтальные пропилы). В реальной же среде тектоническая напряженность, приводящая к нарушению цельности породы, изменяет и параметры залегания пластов, поэтому чаще трещины располагаются под углом к поверхности. Проведение математического моделирования позволяет учесть эту особенность и создавать модели с наклонными трещинами.

Нами был разработан генератор моделей с управляемыми углами наклона и параметрами насыщенности трещин. Для диапазона углов наклона из первого полу-квадранта  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}$  удобно пользоваться следующей формулой определения текущих координат расчетной ячейки в исходной области

$$\begin{aligned} x_c &= x \cos(\alpha) + w, \\ y_c &= x \sin(\alpha) + w + (N - 1)h. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\alpha$ - угол наклона направляющего вектора системы трещин к оси OX, N- число трещин, h – расстояние между ними, w – толщина отдельной трещины. Последние два параметра определяются в единицах ячеек. Для углов диапазона  $\pi/4 \leq \alpha \leq \pi/2$  трещины проводятся не от оси OX, как в формуле (1), а от оси OY.

По данным ВСП характерным углом при анализе касательных ослабленностей является угол 20 градусов [2]. Поэтому используем его для построения модели наклонных трещин (рис.3).



**Рис. 3.** Модель среды с системой наклонных трещин: 1 – вмещающая среда, 2 – флюид в трещинах.

В модели, представленной на рис. 3, 22 трещины толщиной 3, расстояние между ними 5 (см. формулу (1)). Вмещающая среда имеет параметры  $V_p = 3000$  м/с,  $V_s = 2000$  м/с,  $\rho = 2000$  кг/м<sup>3</sup>. Параметры флюида  $V_p = 1500$  м/с,  $V_s = 0$  м/с,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Для этой модели был рассчитан временной разрез от падения плоской волны, возбуждение и регистрация на линии OX. Фрагмент этого разреза приведен на рис. 4. На рис. 5 сравниваются спектры падающего сигнала и волны, прошедшей через систему трещин.

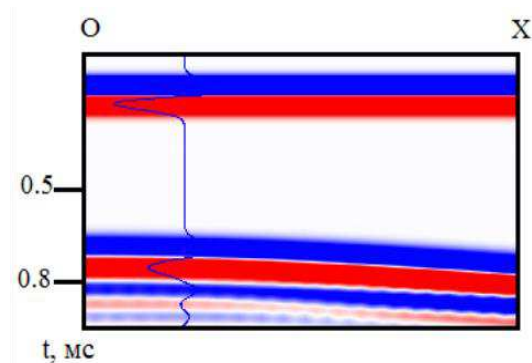


Рис. 4. Синтетический временной разрез, выделена отдельная трасса

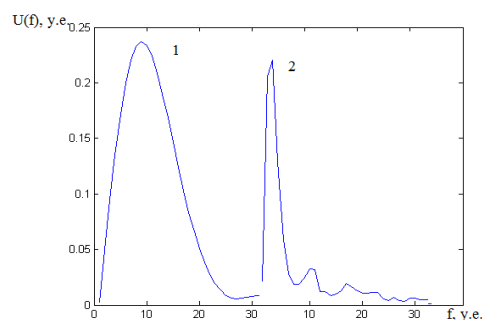


Рис. 5. Спектры падающего сигнала (1) и проходящей волны (2).

При анализе спектров можно заметить, что происходит видимое смещение несущей частоты в низкочастотную часть спектра, как и для случая ненасыщенных трещин [3]. Кроме того, в правой части кривой увеличивается вклад высоких частот, отвечающих как за дифракционную картину на всем семействе трещин, так и за собственные колебания трещин в отдельности. Как показали наши расчеты, затухание высоких частот спектра волны, прошедшей через пачку трещин, обусловлено (в отсутствие механизмов трения) волновым сопротивлением. Это связано, в свою очередь, с системой неоднородных поверхностных волн, возникающих на границах раздела [3]. Обнаруженные закономерности могут быть далее использованы для выявления сейсмических атрибутов, ответственных за зоны поглощения с учетом ориентированности систем трещин.

#### Литература

1. Pyrak-Nolte L. J. Fracture anisotropy: The role of fracture-stiffness gradients //The Leading Edge. – 2007. – Т. 26. – № 9. – С. 1124–1127.
2. Дугаров Г.А. Оценка эффективных параметров сред с ориентированными трещинами в модели линейного проскальзывания по данным об анизотропии скоростей и поглощения сейсмических волн : Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. – 18 с.
3. Немирович-Данченко М.М. Возможности обнаружения множественной трещиноватости сплошной среды на основе оценки спектральной плотности энергии отраженного сигнала // Физ. мезомех. – 2013. – Т. 16. – № 1. – С. 105–110.
4. Немирович-Данченко М.М., Стефанов Ю.П. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для численного расчета волновых полей в сложнопостроенных средах / /Геология и геофизика. – № 11. – 1995. – С. 96–105.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГИС

Н.А. Шенбергер

Научный руководитель заведующий лабораторией И.А. Мельник  
Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и  
минерального сырья, г. Томск, Россия

В настоящей работе рассмотрена эпигенетическая зональность, связанная с дизъюнктивно – пликативными нарушениями породы, образованными в результате тектонических подвижек в меловой период на примере ряда площадей в пределах Томской области.

Термин «эпигенез» следует использовать в широком понимании для описания изменения осадочной толщи как целого, включая осадочные породы и заключенные в них пластовые флюиды.

Процессы наложенного эпигенеза оказывают существенное влияние на образование коллекторов и формирование продуктивных залежей углеводородов. Интенсивность вторичных эпигенетических процессов зависит от окислительно-восстановительных условий среды коллектора и скорости миграции флюидных потоков [3,4].

Рассматриваемые нами эпигенетические процессы обусловлены наложенными изменениями за счет химических преобразований среды, в результате поступления внешних пластовых флюидов [1,2]. Сведения о распределении интенсивности таких процессов, как пиритизация, пелитизация, карбонатизация и каолинизация, как по пластам, так и по разрезу скважины обеспечивают возможность территориального научного прогноза миграционных потоков. Но для этого также необходимо определить физический смысл интенсивности процесса наложенного эпигенеза.

В своих работах Мельник И.А. описал интенсивность процесса преобразования пород, как количество образованного вещества на единице площади пористой поверхности за время его преобразования относительно времени миграции флюида, вступившего в химическую реакцию с породой [4].