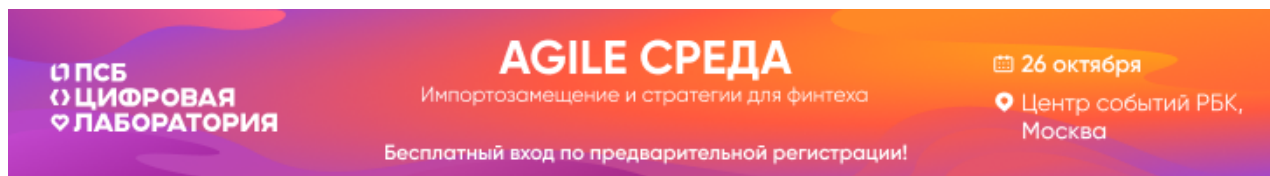


3D линеаментная геологическая модель землетрясения 6.5 баллов в Монте Кристо, Невада, США / Хабр

 habr.com/ru/articles/570750

Алексей Печников



N-Cube 2 авг 2021 в 07:17

3D линеаментная геологическая модель землетрясения 6.5 баллов в Монте Кристо, Невада, США

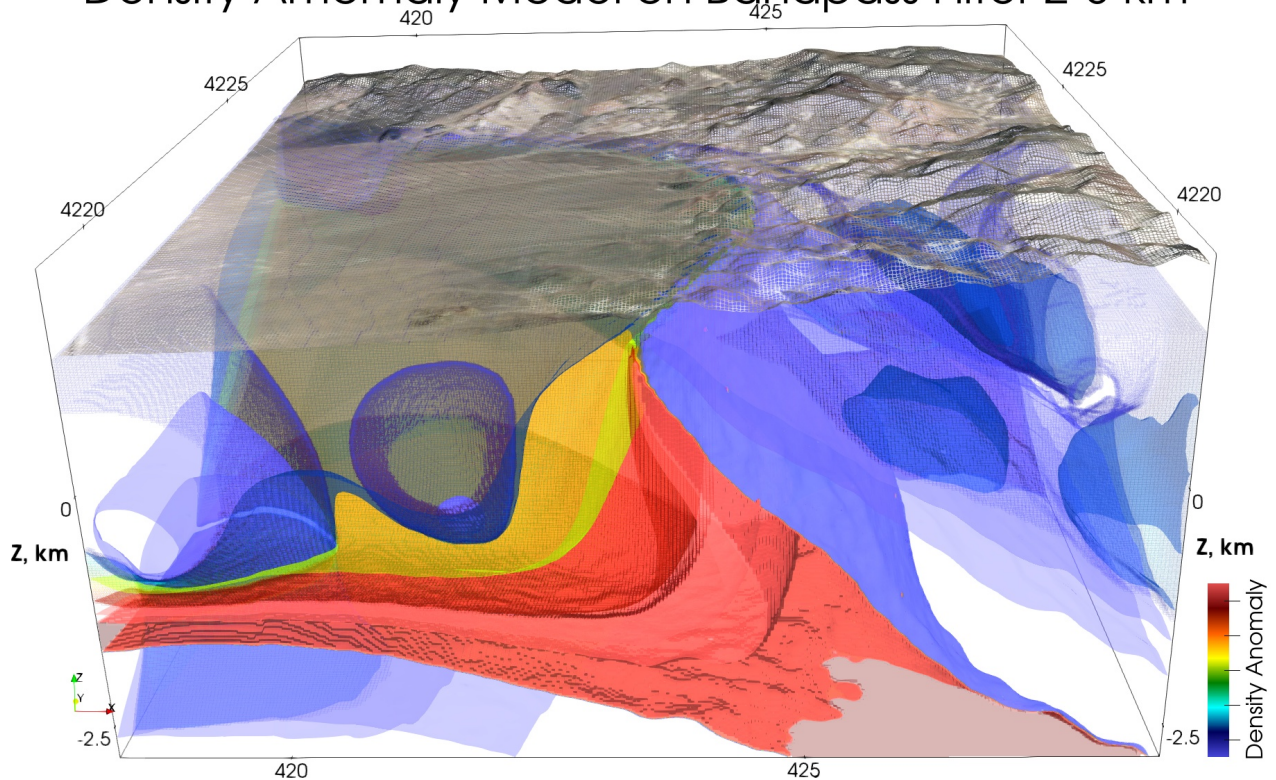
5 мин

1.5K

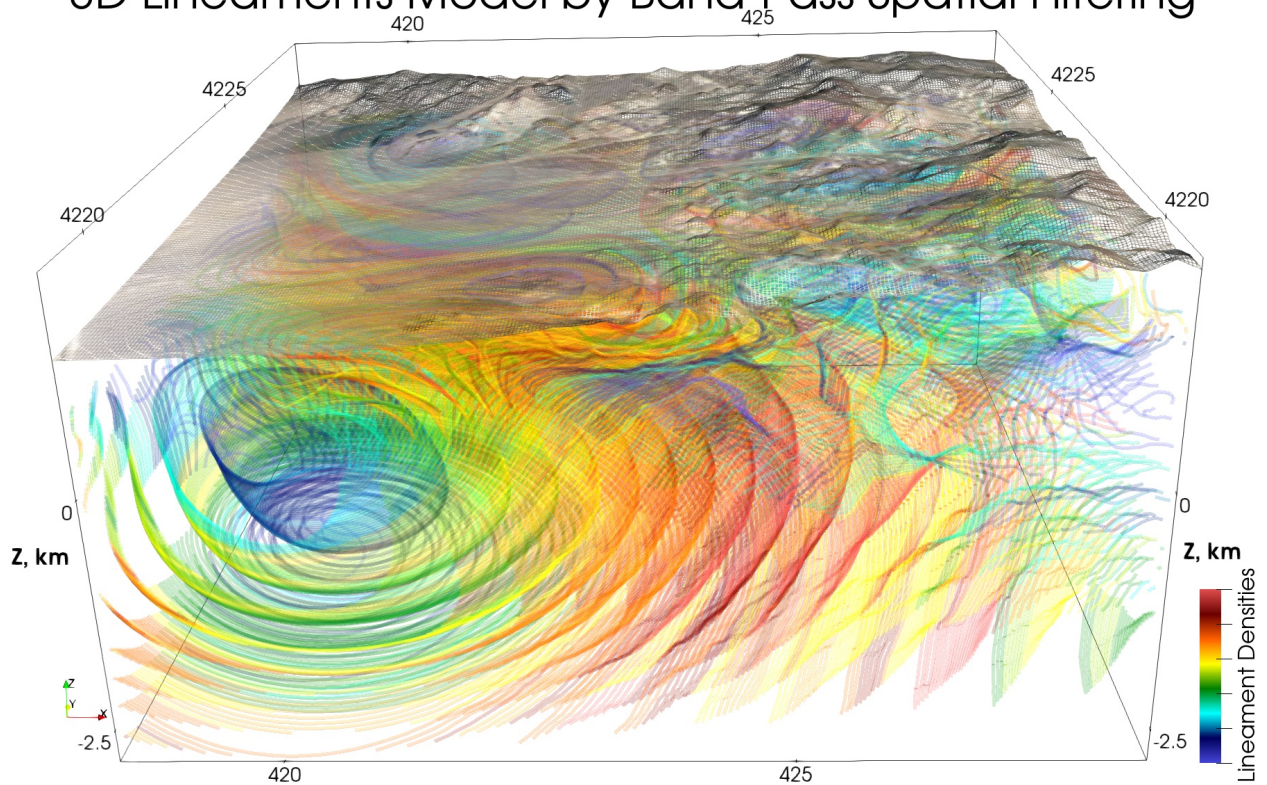
Как мы показали в предыдущих статьях, поверхностные геологические нарушения (линеаменты) могут быть выделены с помощью линейного преобразования Радона (Хафа), в то время как геологическая плотность может быть восстановлена с помощью кольцевого преобразования Радона (Хафа). При использовании пространственной фильтрации исходных данных можно сопоставить длину волны с глубиной и получить трехмерную модель. При этом, кольцевое преобразование имеет понятные ограничения — кольцевые статистики радиусом меньше 3х пикселей недостоверны, так что, скажем, при использовании открытого рельефа всей планеты разрешением 30 м верхние 40 метров ($2 \cdot 30 / \sqrt{2}$) трехмерной модели являются результатом интерполяции. В случае же линейного преобразования мы избавлены от этого ограничения, поскольку анализируем именно выходы глубинных структур на поверхность.

Сегодня мы построим объемную линеаментную модель и сравним ее с плотностной моделью и интерферограммой сейсмического события из предыдущих статей. Как будет показано, эти модели согласуются между собой и дополняют друг друга.

M 6.5 - Monte Cristo Range Earthquake 2020-05-15 Density Anomaly Model on Bandpass Filter 2-3 km



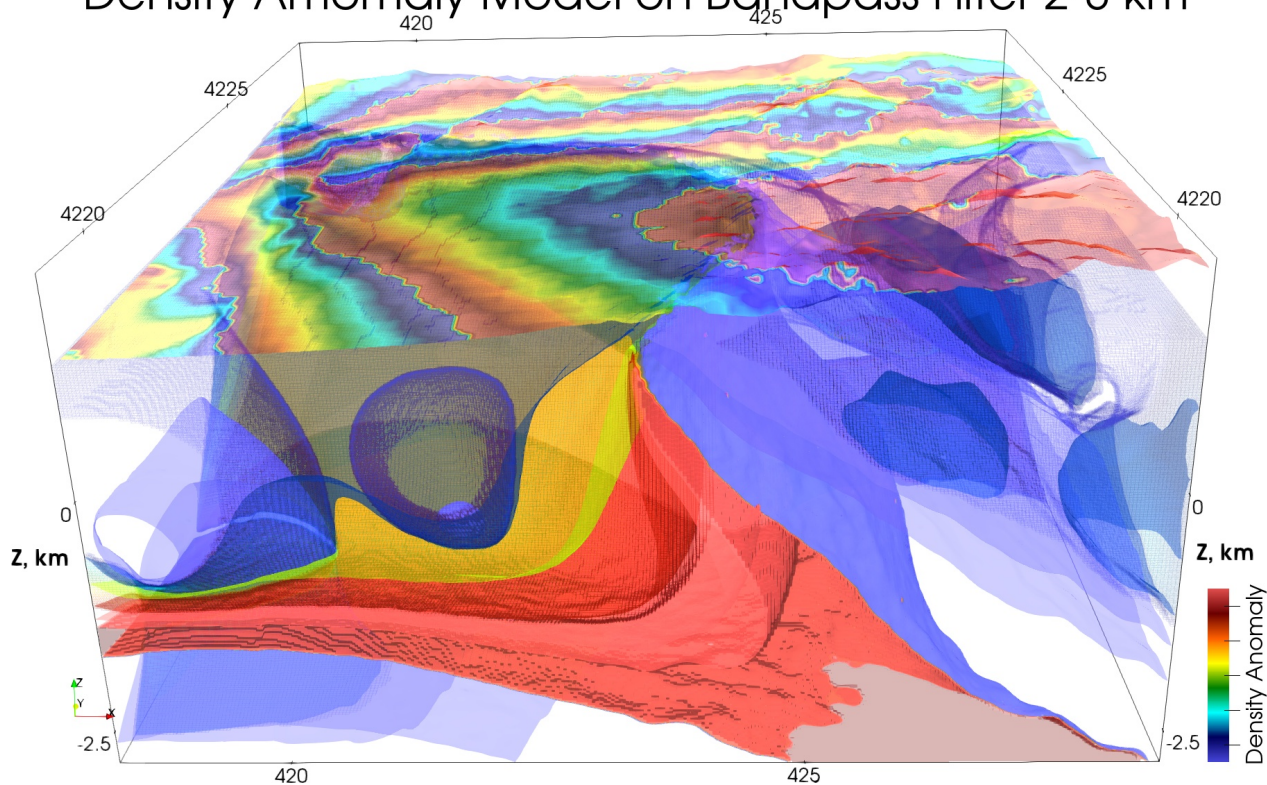
M 6.5 - Monte Cristo Range Earthquake 2020-05-15 3D Lineaments Model by Band-Pass Spatial Filtering



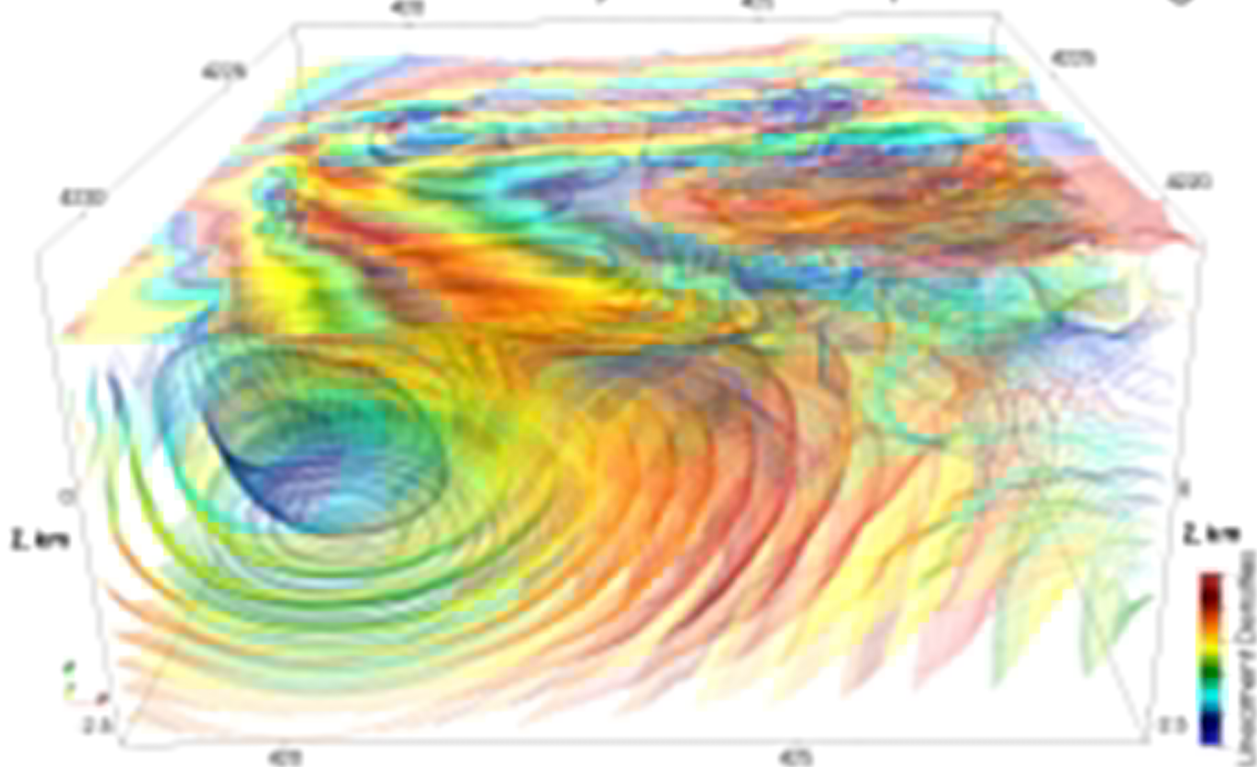
Здесь линеamentная модель намного детальнее у поверхности, что ожидаемо, так как она строится по поверхностным проявлениям. А вот с глубиной детальность линеamentной модели должна снижаться в силу принципа ее построения, поскольку глубина прямо пропорциональна анализируемой поверхностной длине волны (масштабу линеamentов).

Чтобы убедиться в том, где и какая модель точнее, нам достаточно добавить к моделям интерферограмму:

M 6.5 - Monte Cristo Range Earthquake 2020-05-15 Density Anomaly Model on Bandpass Filter 2-3 km



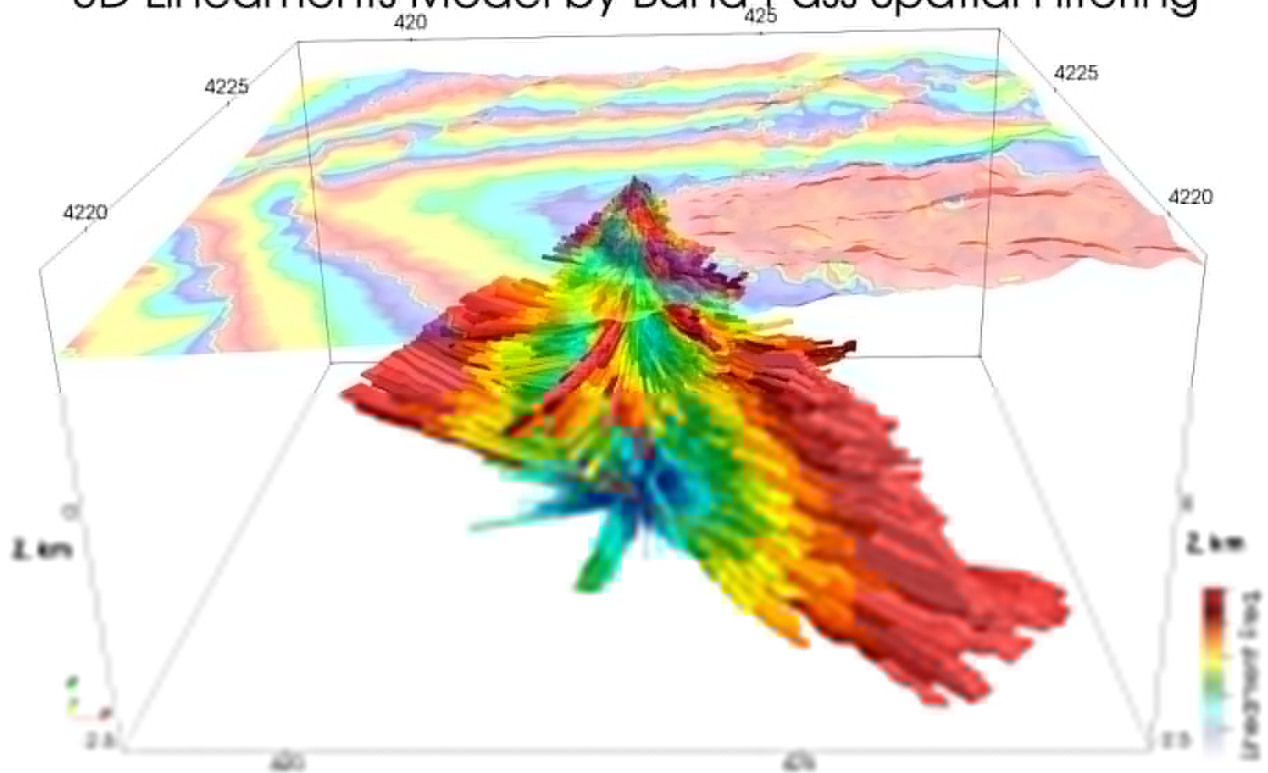
M 6.5 - Monte Cristo Range Earthquake 2020-05-15 3D Lineaments Model by Band-Pass Spatial Filtering



Теперь понятно, что модель плотности у поверхности не точна (как и следует из теории метода), поскольку выступающая часть полукольца интерферограммы в центре модели у поверхности не совпадает с соответствующей границей. Отметим, что смещение здесь составляет около 1-1.5 км, что в точности равно полуширине фильтра (2-3 км). В то же время, показанная на интерферограмме граница в левой части модели -1 — 2 км соответствует модели. На линеamentной модели граница в центре точно соответствует интерферограмме, а вот граница в левой части модели загублена (для одной более крупной структуры здесь на модели плотности выше мы видим две структуры меньшего размера).

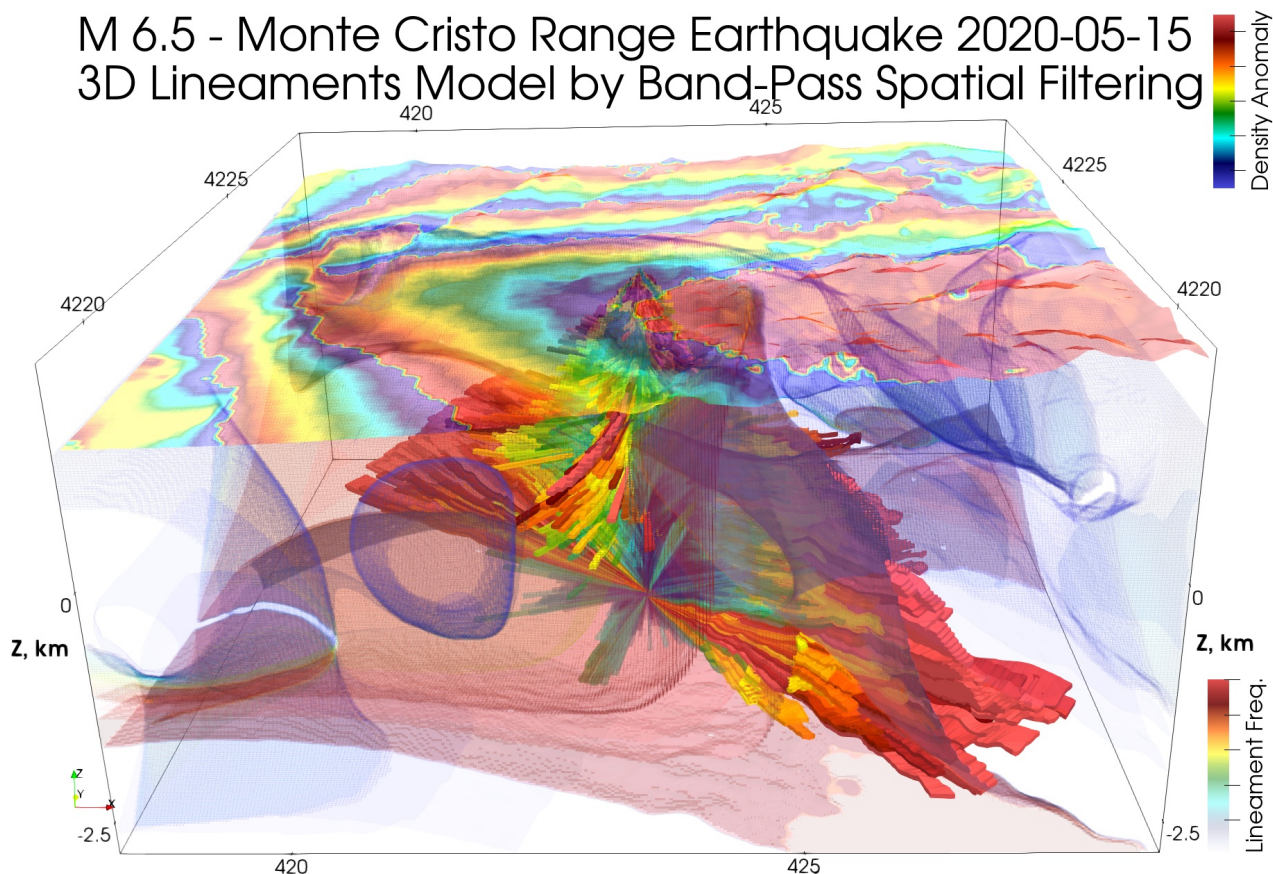
Теперь вернемся к розе-диаграмме линеamentов из статьи Динамическая модель линеamentов землетрясения 6.5 баллов в Монте Кристо, Невада, США, где мы анализировали линеamentы лишь от эпицентра землетрясения и до поверхности — то есть те, которые изменяются в процессе землетрясения. Посмотрим теперь более глубокую модель:

M 6.5 - Monte Cristo Range Earthquake 2020-05-15 3D Lineaments Model by Band-Pass Spatial Filtering



Легко заметить совпадение направления полос на интерферограмме и глубинных линеаментов. Отметим, что на глубине около -2.5 км снова выделяется направление линеаментов, совпадающее с таковым у поверхности, но рассмотрение глубинной динамической модели землетрясения выходит за рамки этой статьи. Сравним эту модель с плотностной, показанной выше:

M 6.5 - Monte Cristo Range Earthquake 2020-05-15 3D Lineaments Model by Band-Pass Spatial Filtering



Благодаря тому, что центром модели выбраны координаты эпицентра землетрясения, главное направление розы-диаграммы практически совпадает (с учетом точности плотностной модели; как указано выше, пространственный фильтр 2-3 км соответствует точности 1.5 км) для всех глубин с геологическим разделом модели аномалий плотности. Ранее мы показали, как изменение розы-диаграммы линеаментов позволяет проанализировать геодинамику сейсмического события, а более глубинные структуры, рассматриваемые сейчас, сохраняются. При этом, точность розы-диаграммы с глубиной сохраняется, в отличие от непосредственно 3D линеаментной модели.

Заключение

Мы добрались до самого интересного — совмещения всех ранее рассмотренных методов для решения геологических задач. Как видим, все эти модели согласуются и при этом линеаментная 3D роза-диаграмма визуализирует даже малые смещения и повороты геологических блоков, начиная от поверхности, однако эта модель требует точного позиционирования ее центра. Иначе говоря, трехмерная роза диаграмма совместно анализирует все линеаменты на выбранной площади, не разделяя их пространственно, что позволяет получить точную картину геологических границ и их изменений, но требует дополнительной интерпретации. Детальность 3D линеаментной модели наилучшая у поверхности и убывает с

глубиной (при увеличении масштаба пространственного фильтра), в отличие от плотностной модели, которая не определена в приповерхностной области и имеет фиксированную точность (поскольку параметры фильтрации едины для всей модели). Таким образом, эти три модели совместно позволяют получить наиболее полную 4D геодинамическую модель для предсказания будущих сейсмических событий и их последствий.

Для поиска нефти и газа, рудных минералов и питьевой воды нужны точно такие же модели. Отличается только процесс интерпретации — крупные разломы делают бесплодными нефтегазовые коллекторы или являются следствием выхода глубинных геологических блоков (интрузий) на поверхность, а системы мелких трещин становятся путями миграции нефти и газа из фундамента в расположенные выше коллекторы или служат проводниками гидротермальных рудонесущих потоков. Все эти геологические структуры выделяются на обсуждаемых моделях и являются основой для интерпретации геолога или методов машинного обучения, как мы обсуждали в предыдущих статьях.

Как мы последовательно рассматриваем в этом цикле статей, алгоритмы компьютерного зрения, применяемые к физическим величинам (таким, как нарушения поля силы тяжести или рельефа поверхности), позволяют очень быстро и вычислительно корректно решать обратные задачи геофизики. Использование (пространственной) фильтрации для получения однозначно определенного (численного) решения это классический подход радиофизики, который необходим и для геофизики. Таким образом, совершенно проприетарные и чрезвычайно дорогие коммерческие продукты для решения двумерных обратных задач (из-за огромной вычислительной сложности использованных алгоритмов) могут быть заменены открытыми и очень быстрыми методами компьютерного зрения для решения этих же задач в трехмерном виде и построения наглядных геофизических моделей.

P.S. Возможно, у вас возник довольно очевидный вопрос — возможно ли сохранение точности 3D линеаментной модели с глубиной, как и для 3D модели плотности? Да, возможно, но повлечет за собой некоторую потерю точности у поверхности, а на практике линеаментная модель наиболее интересна для дополнения именно приповерхностной области 3D модели плотности.

Также смотрите
