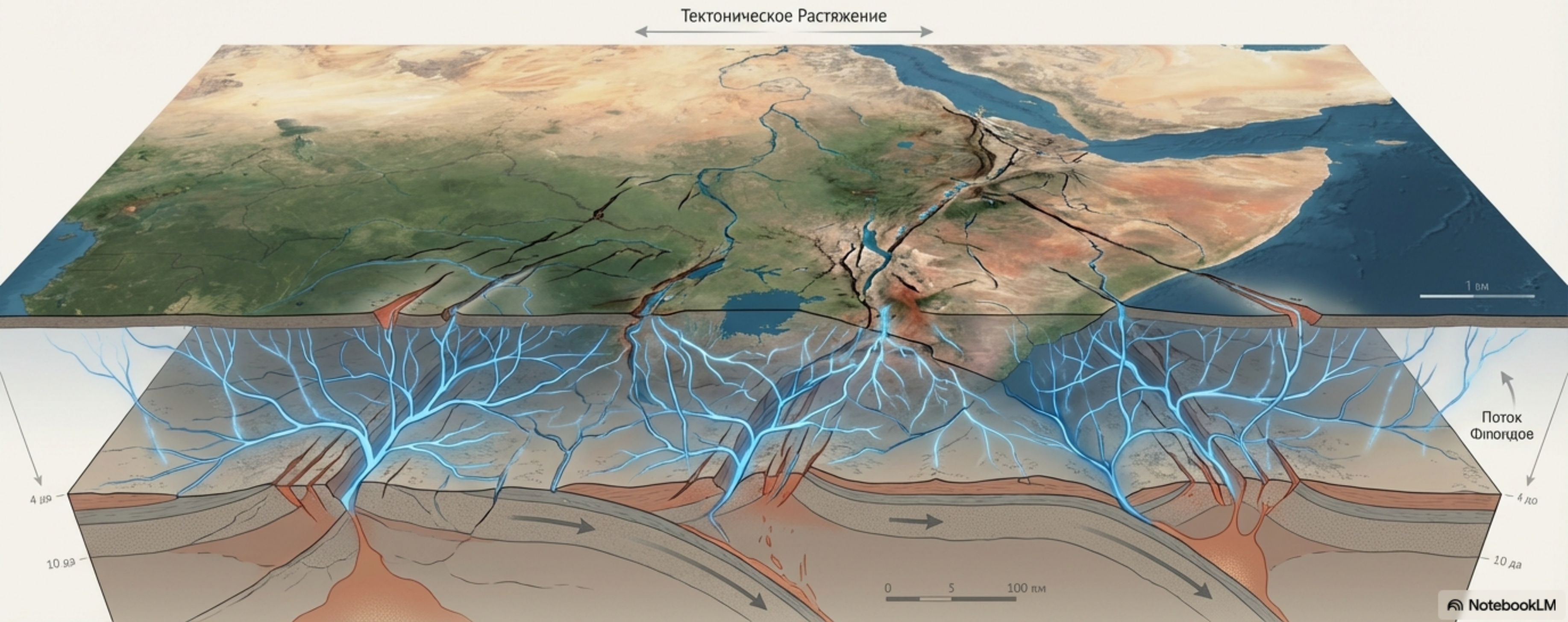


Живая Земля: Как Неотектоника Управляет Проницаемостью Геологической Среды

Фундаментальная связь между движениями земной коры и потоками флюидов.



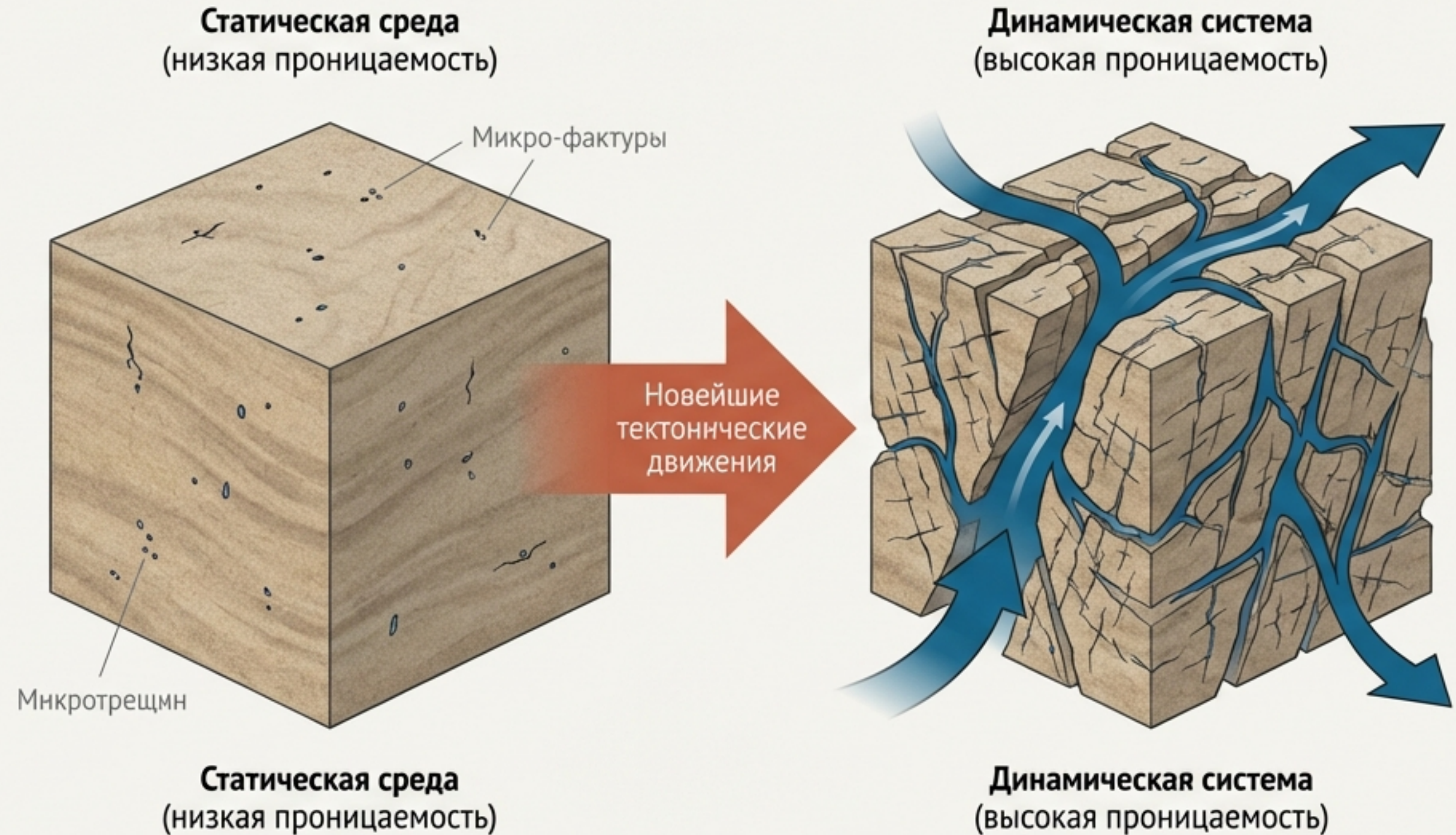
Неотектоника — главный архитектор проницаемости в земной коре

Ключевое сообщение

Проницаемость — это не статическое свойство породы, а динамическая система, создаваемая и постоянно изменяемая новейшими тектоническими движениями. Эти движения формируют сложную сеть путей для флюидов, от микротрещин до континентальных разломов.

Основные тезисы

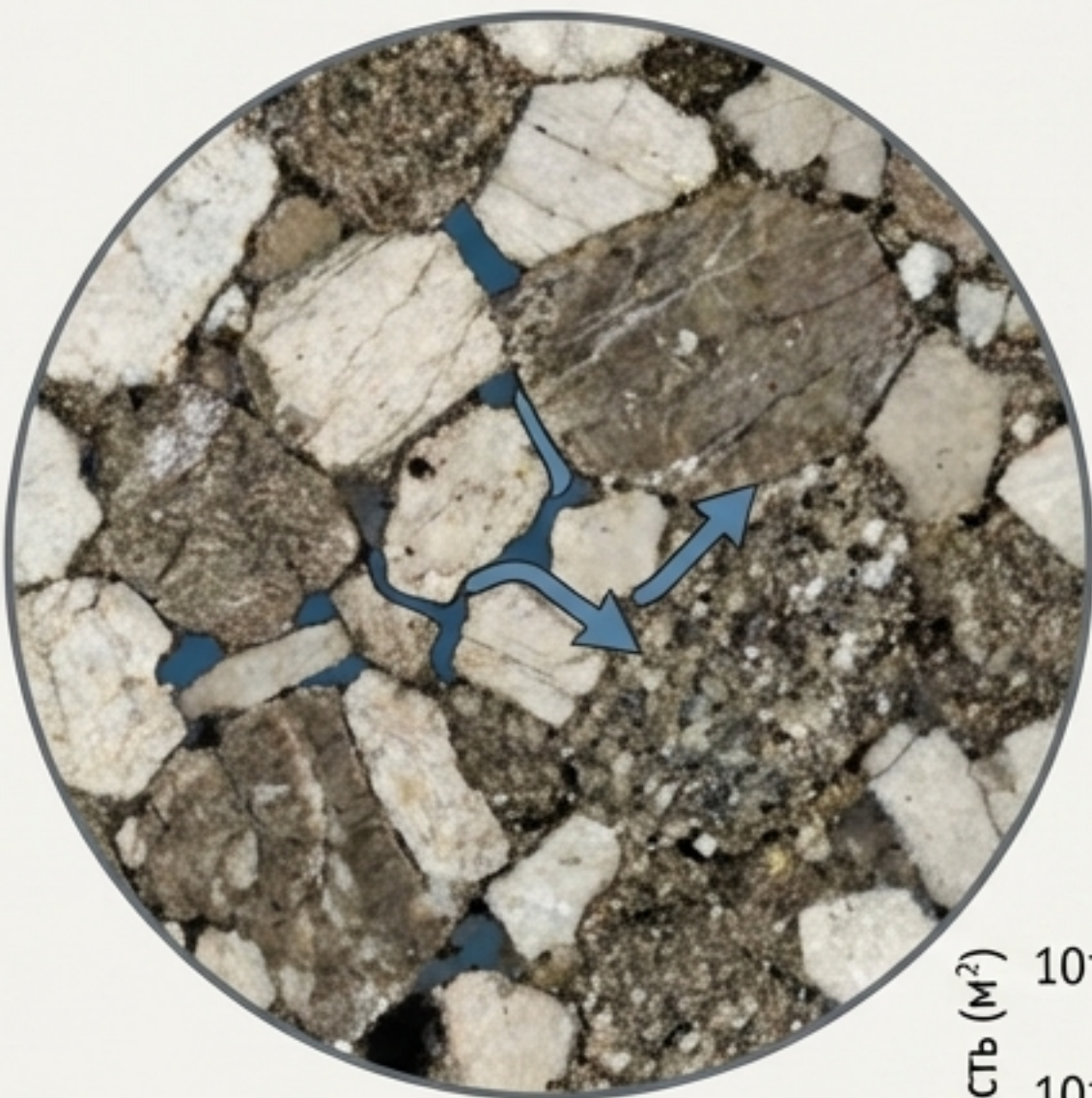
- Формирование трещинных систем
- Архитектура разломных зон
- Динамика в течение сейсмического цикла
- Контроль со стороны поля тектонических напряжений



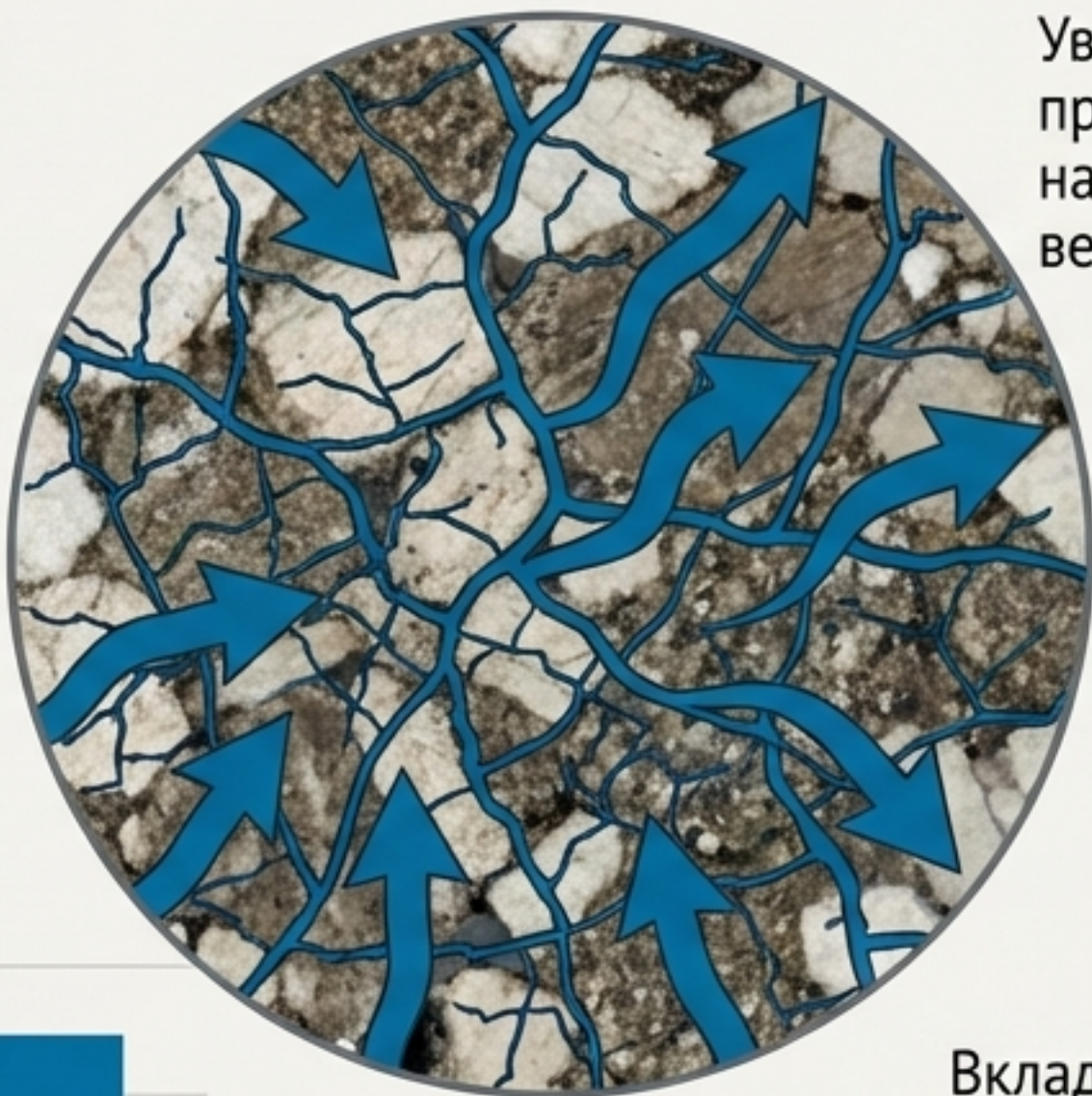
Механизм 1: Тектонические трещины увеличивают проницаемость на порядки

Key Message: Тектонические напряжения создают густые сети взаимосвязанных трещин, которые превращают практически непроницаемые породы в эффективные коллекторы.

Межзерновая проницаемость



Трещинная проницаемость



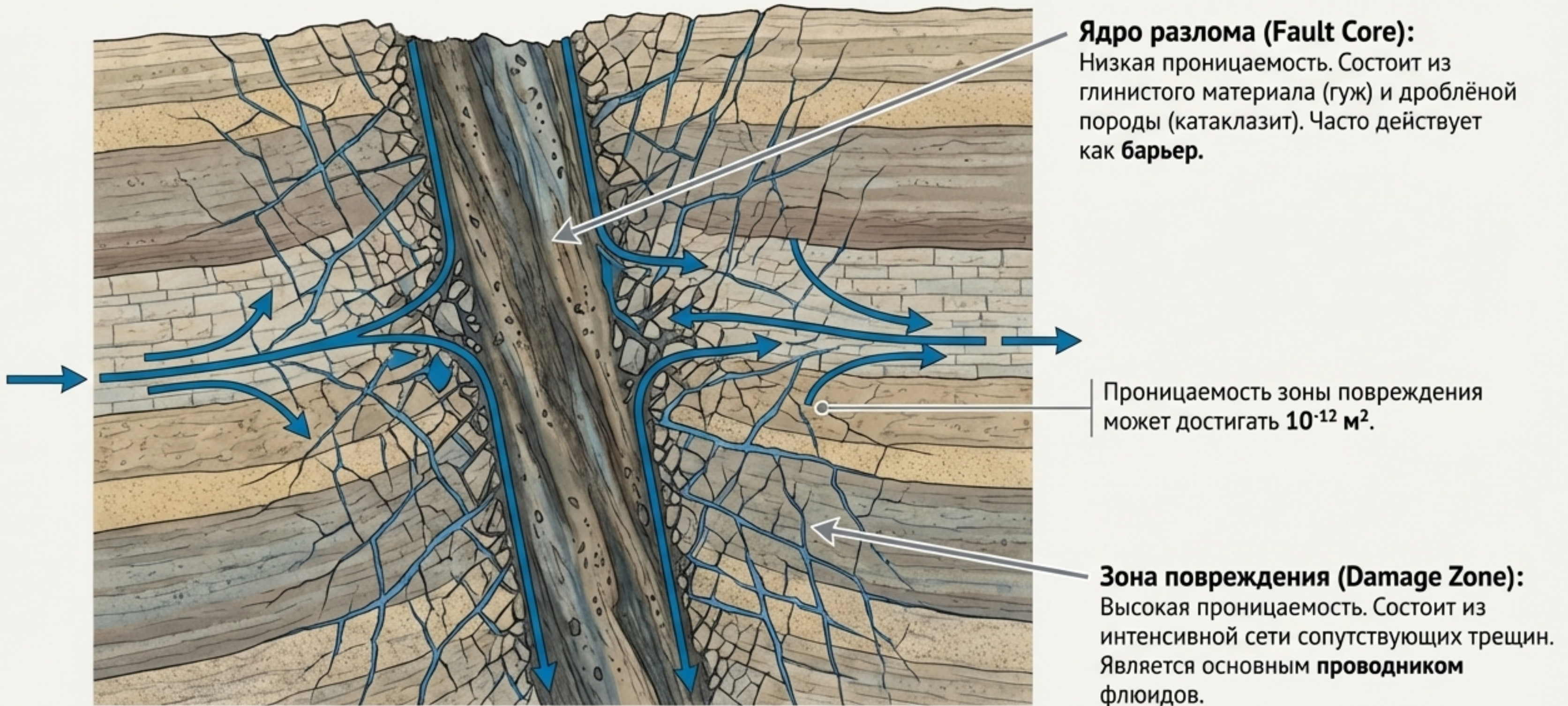
Увеличение проницаемости породы: на 2–5 порядков величины.



Вклад в общую пористость: трещинная пористость может составлять до 20% от общей.

Механизм 2: Архитектура разлома определяет его роль — проводник или барьер

Key Message: Разломы — это не простые трещины, а сложные зоны с двумя ключевыми компонентами, имеющими **противоположные гидравлические свойства**.



Проницаемость динамична: она пульсирует в ритме сейсмического цикла

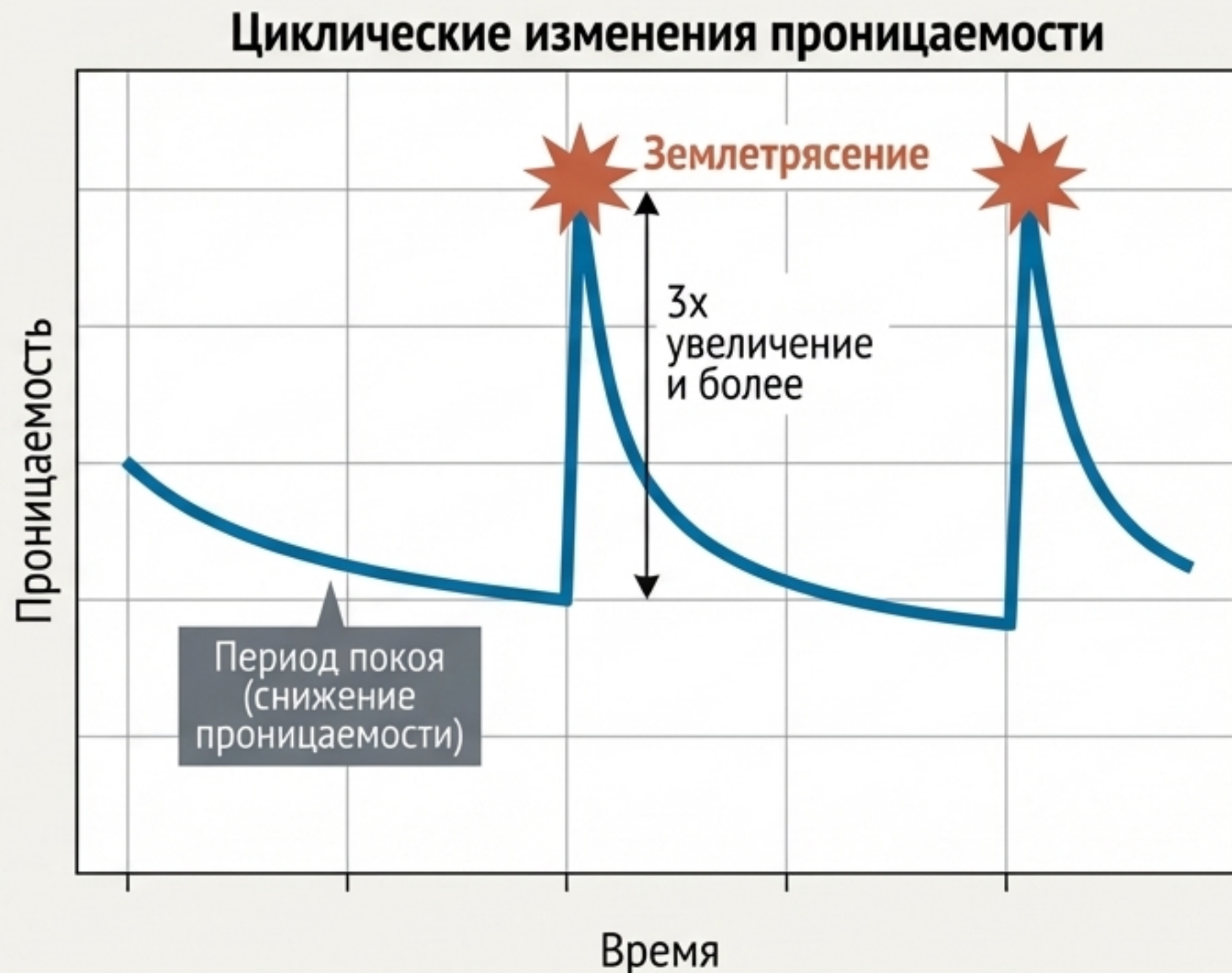
Ключевое сообщение: Землетрясения действуют как «перезагрузка» для гидравлической гидравлической системы разлома, временно увеличивая проницаемость и очищая каналы.

Фазы цикла:

- **Межсейсмический период (покой):** Проницаемость постепенно снижается, особенно в ядре разлома, из-за уплотнения и кольматации.
- **Землетрясение (подвижка):** Резкий скачок проницаемости в ядре и зоне повреждения. Сейсмические волны разрушают коллоидные отложения, засоряющие поры.

Ключевые данные из источника:

- Землетрясения могут увеличивать проницаемость **в 3 раза и более**.
- Эффект линейно зависит от пиковой скорости сейсмических волн в диапазоне **0,21–2,1 см/с**.



Современное поле напряжений диктует, какие трещины «открыты» для потока

Key Message: Направление регионального сжатия и растяжения определяет, какие из существующих систем трещин будут гидравлически активны, а какие — закрыты.

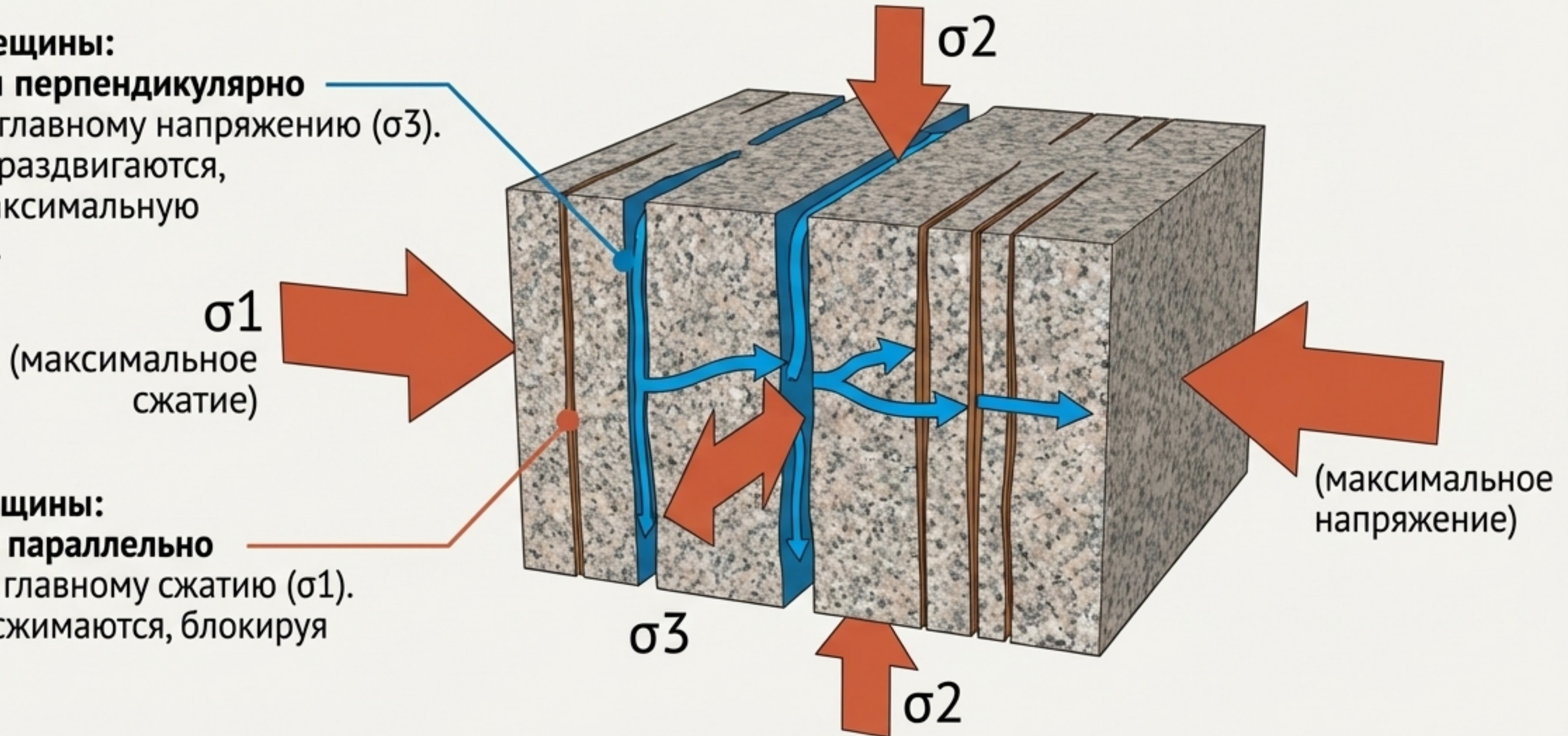
«Открытые» трещины:

Ориентированы **перпендикулярно** минимальному главному напряжению (σ_3). Стенки трещин раздвигаются, обеспечивая максимальную проницаемость.

σ_1
(максимальное сжатие)

«Закрытые» трещины:

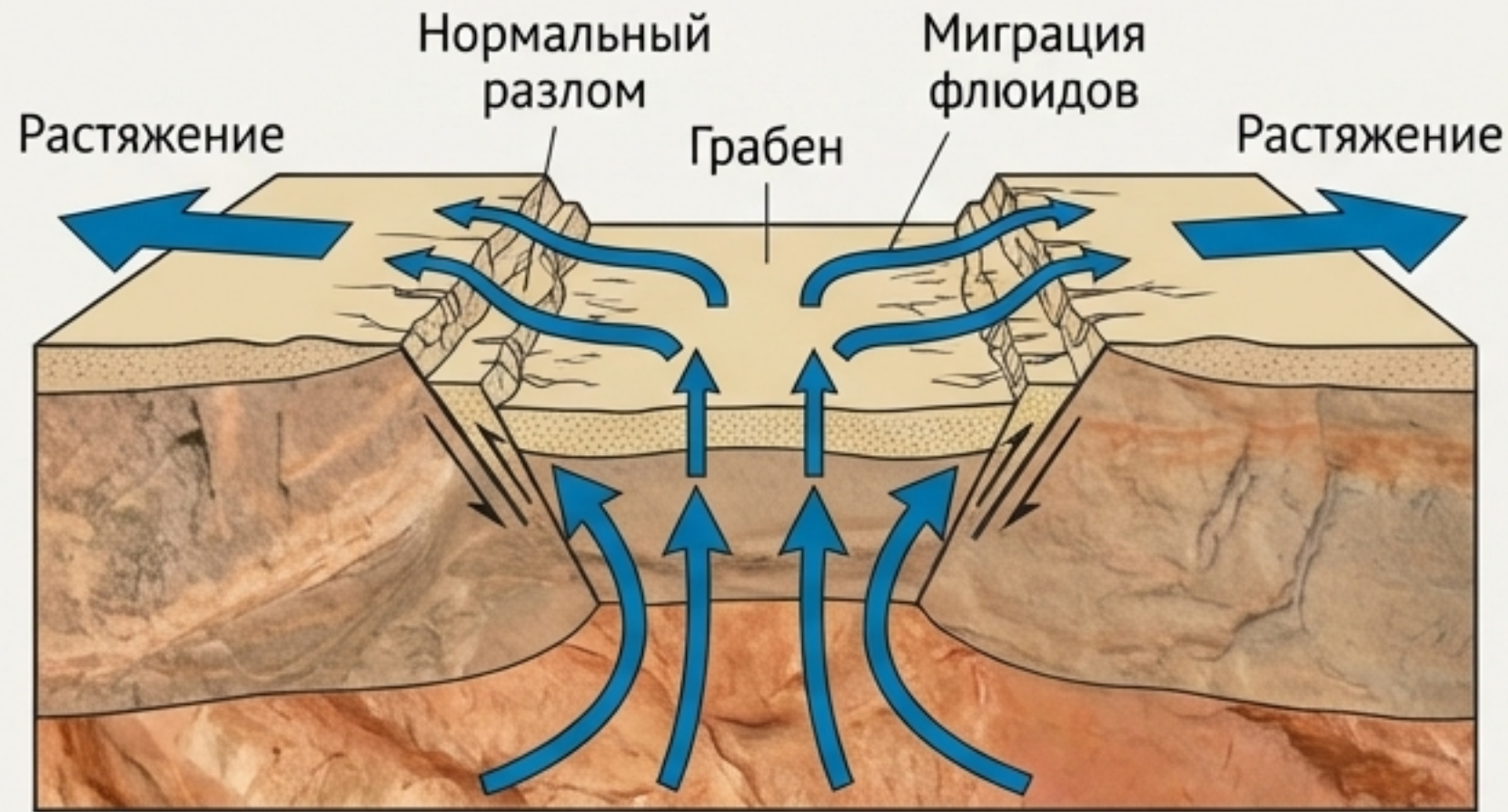
Ориентированы **параллельно** максимальному главному сжатию (σ_1). Стенки трещин сжимаются, блокируя поток флюидов.



Тектонический режим определяет гидравлический характер целого региона

Обстановки растяжения создают высокопроницаемые системы, тогда как обстановки сжатия формируют региональные барьеры для флюидов.

Режим Растяжения (Рифты, сводовые поднятия)



Преобладают открытые трещины и зоны дилатансии. Создаются идеальные условия для вертикальной и горизонтальной миграции флюидов. **Высокая проницаемость.**

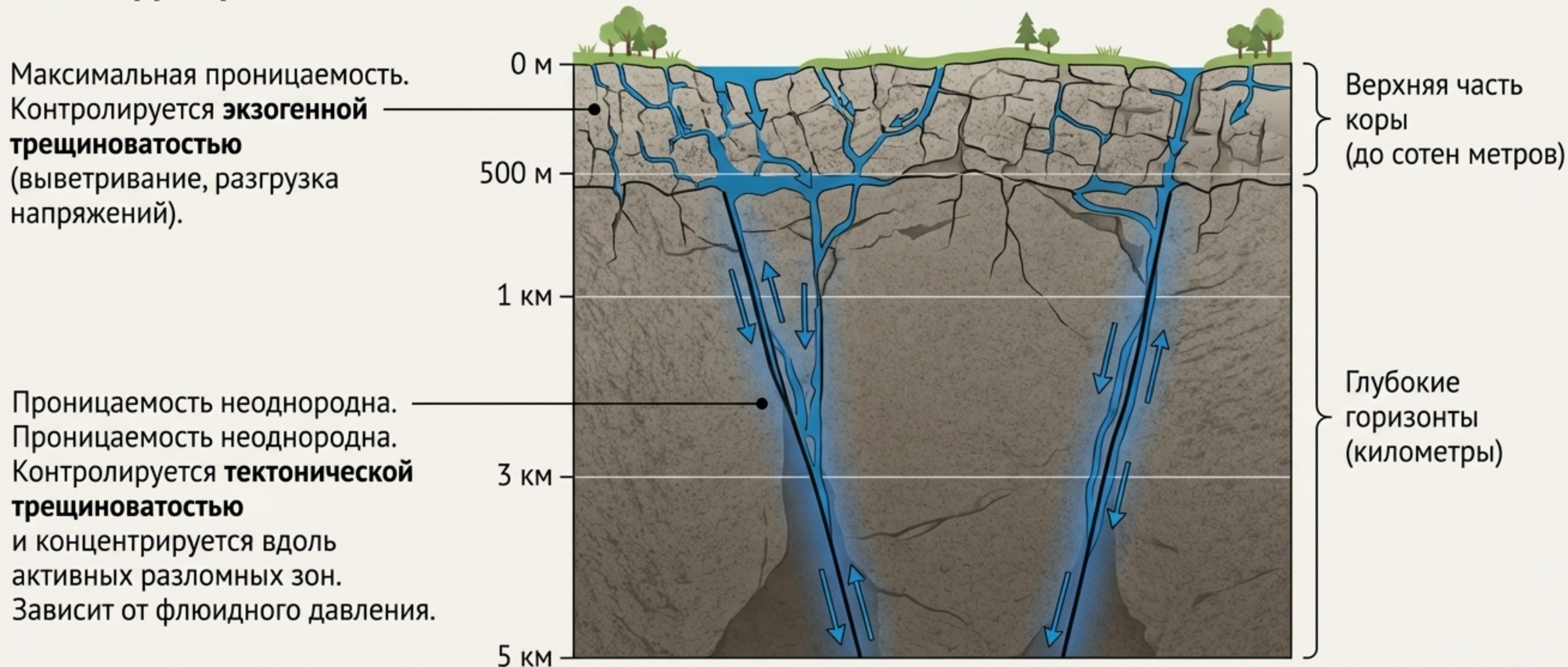
Режим Сжатия (Орогены, зоны субдукции)



Происходит смыкание стенок трещин и общее уплотнение массива. Формируются протяженные, непроницаемые барьеры. **Низкая проницаемость.**

Проницаемость закономерно изменяется с глубиной

Вертикальный профиль проницаемости представляет собой несколько зон, где **доминируют разные механизмы.**



От теории к практике: Управление ресурсами и рисками

Понимание неотектонической системы проницаемости — это не академическое упражнение. Это ключ к эффективной разведке, добыче и управлению важнейшими подземными ресурсами.



Нефтегазовая геология:
Прогноз путей миграции и зон аккумуляции углеводородов.



Гидрогеология: Поиск и устойчивая эксплуатация месторождений подземных вод.



Геотермальная энергетика:
Выявление и разработка высокотемпературных резервуаров.

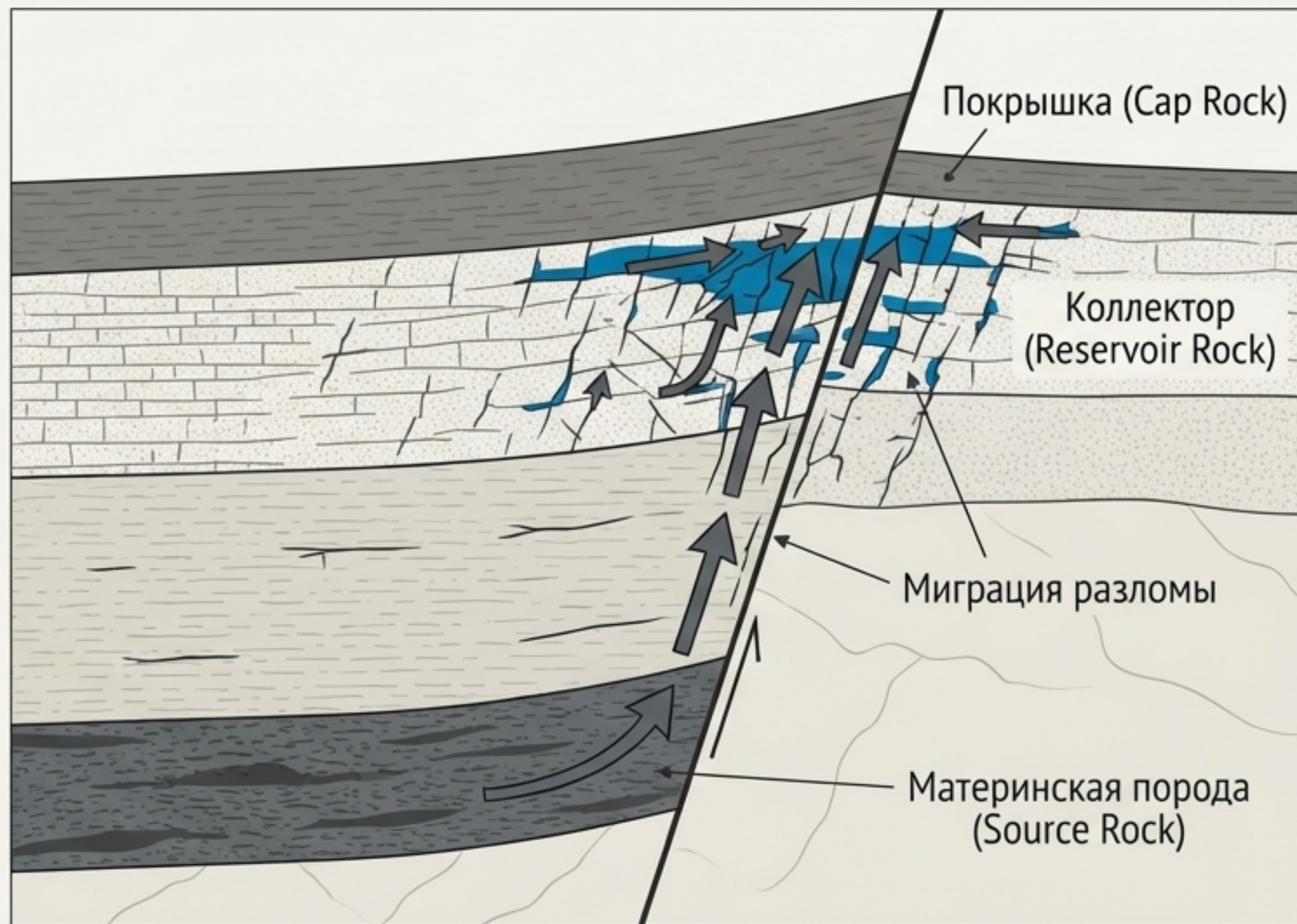
Применение в нефтегазовой геологии: Разломы как пути миграции и коллекторы

Ключевое сообщение

В низкопроницаемых формациях именно тектоническая трещиноватость создает коммерчески значимую проницаемость, а активные разломы служат основными каналами для заполнения ловушек.

Основные положения

- Активные разломы обеспечивают **вертикальную миграцию** углеводородов из материнских толщ.
- Зоны повреждения разломов и сопряженные системы трещин формируют **эффективные коллекторы** в породах, которые иначе были бы непроницаемы (сланцевые формации, плотные песчаники, карбонаты).



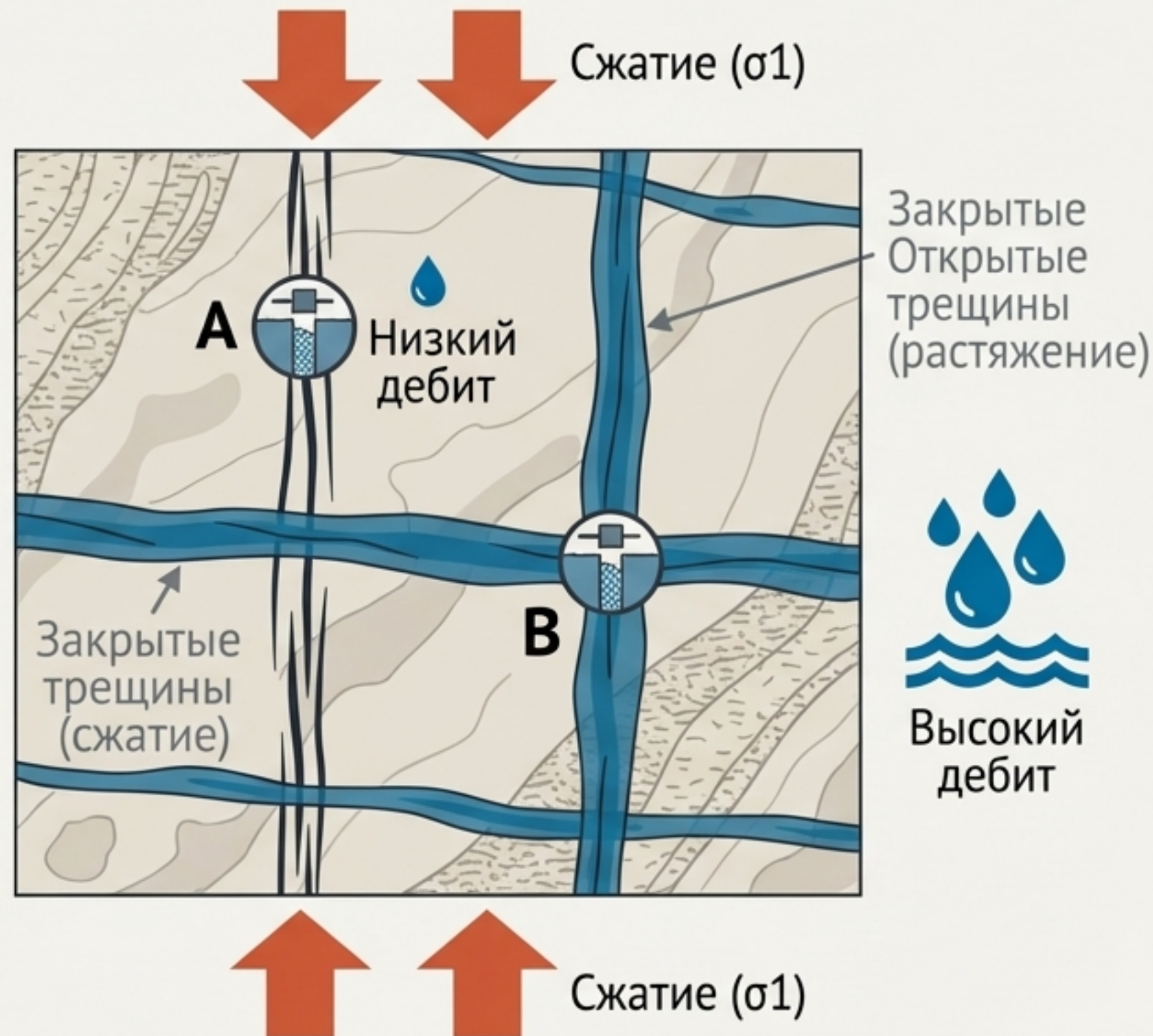
Применение в гидрогеологии: Ориентация скважин решает всё

Ключевое сообщение

Дебит водозаборных скважин в трещиноватых породах **напрямую зависит от их расположения относительно «открытых» трещин** в современном поле напряжений.

Практический пример из источника

- В условиях, где доминирует меридиональное сжатие, трещины широтной ориентировки являются трещинами растяжения.
- Скважины, пробуренные так, чтобы пересекать эти широтные трещины, показывают значительно более высокий дебит и гидрологический потенциал.



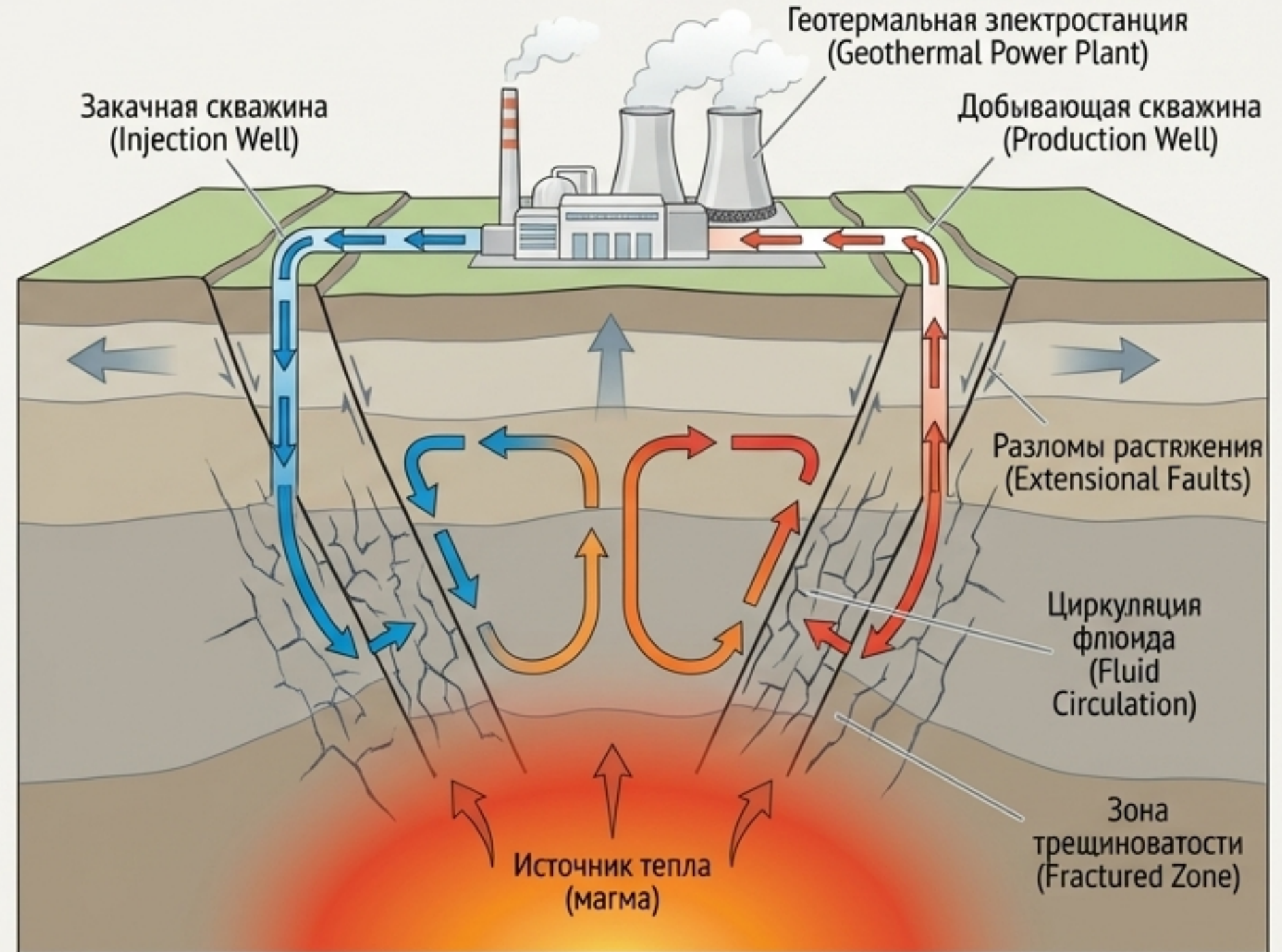
Применение в геотермальной энергетике: Зоны растяжения как природные теплообменники

Ключевое сообщение

Неотектонические разломы в режиме растяжения создают идеальные условия для циркуляции глубинных термальных вод, формируя высокотемпературные геотермальные системы.

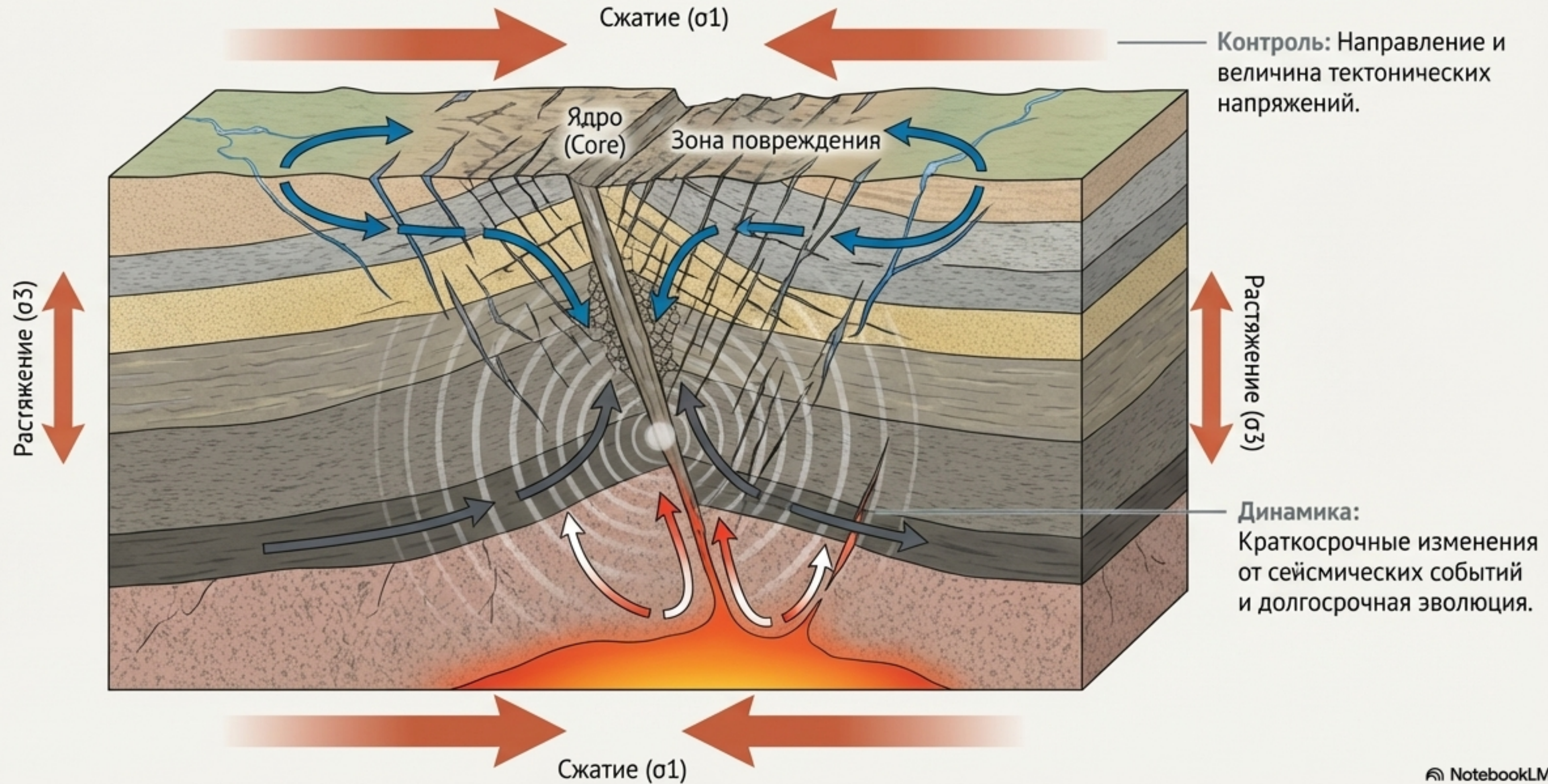
Ключевые условия

- Режим растяжения обеспечивает высокую вертикальную проницаемость.
- Глубокопроникающие разломы служат каналами для подъема горячих флюидов к поверхности.
- Благоприятная проницаемость для геотермальных резервуаров: более 10^{-12} м².

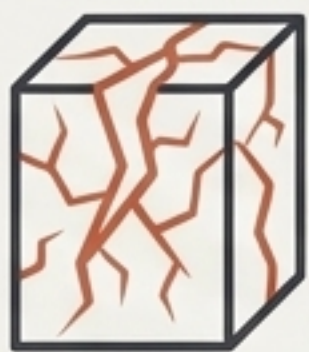


Синтез: Проницаемость как многомасштабная динамическая система

Мы должны рассматривать проницаемость не как статическую характеристику породы, а как сложную систему, управляемую взаимодействием унаследованных структур, современных полей напряжений и циклической сейсмической активности.



Ключевые выводы



1. Неотектоника является главным создателем и модулятором проницаемости. Она формирует первичную структуру путей для флюидов — от микротрещин до разломных зон.



2. Проницаемость — динамична и анизотропна. Она изменяется во времени под влиянием сейсмического цикла и критически зависит от ориентации трещин относительно современного поля напряжений.



3. Понимание этих связей является ключом к прогнозированию. Это знание необходимо для успешной разведки и эксплуатации подземных вод, углеводородов и геотермальных ресурсов.