

Земные Магистралы

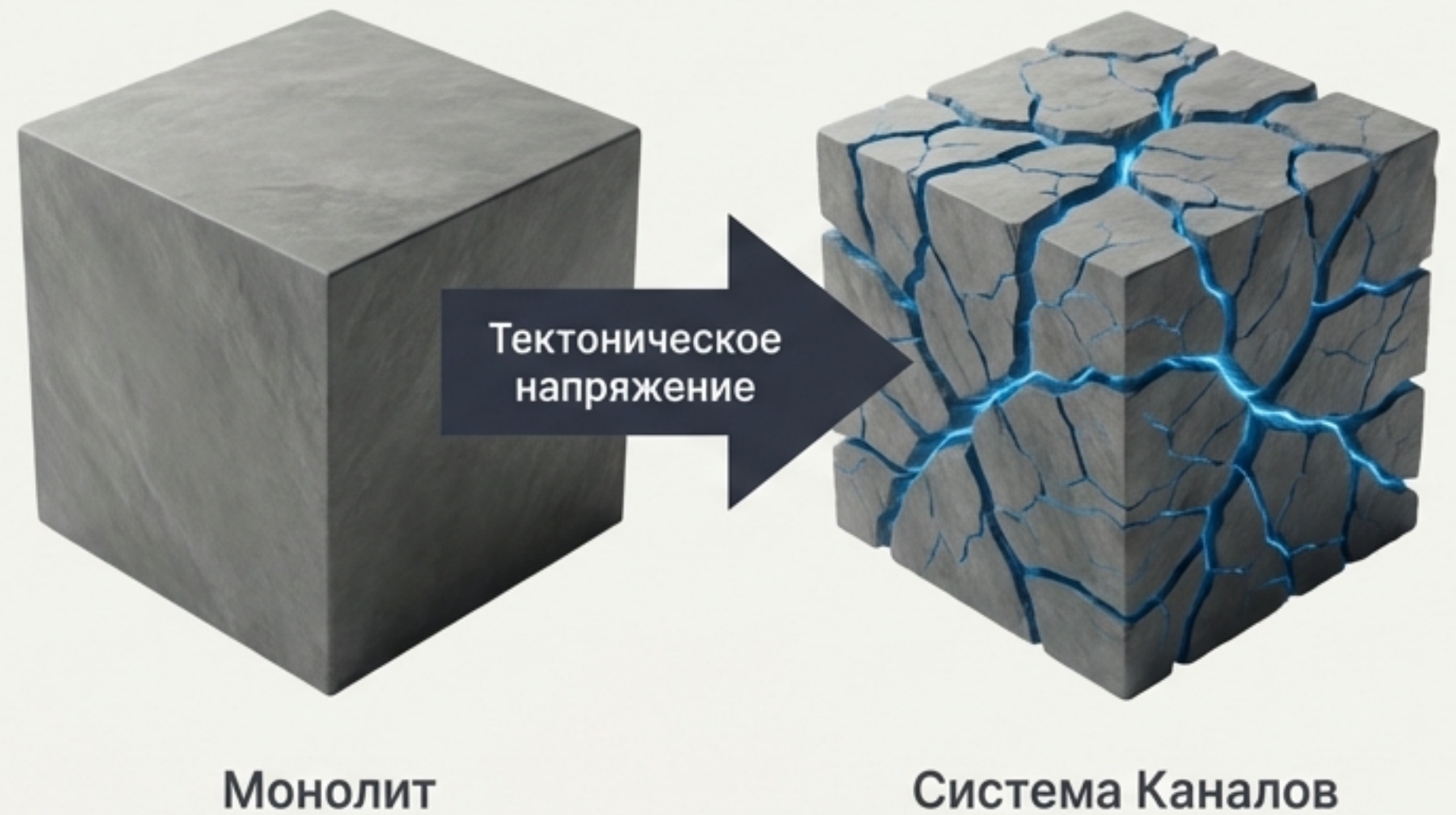
Неотектоника как архитектор проницаемости геологической среды



От Монолита к Системе Каналов

Новейшие тектонические движения — это фундаментальный процесс, который преобразует горные породы, создавая основу для миграции всех подповерхностных флюидов.

- Неотектоника является главным фактором, управляющим формированием и изменением проницаемости геологической среды.
- Этот процесс охватывает все масштабы: от микротрещин, видимых под микроскопом, до разломных зон протяженностью в десятки километров.

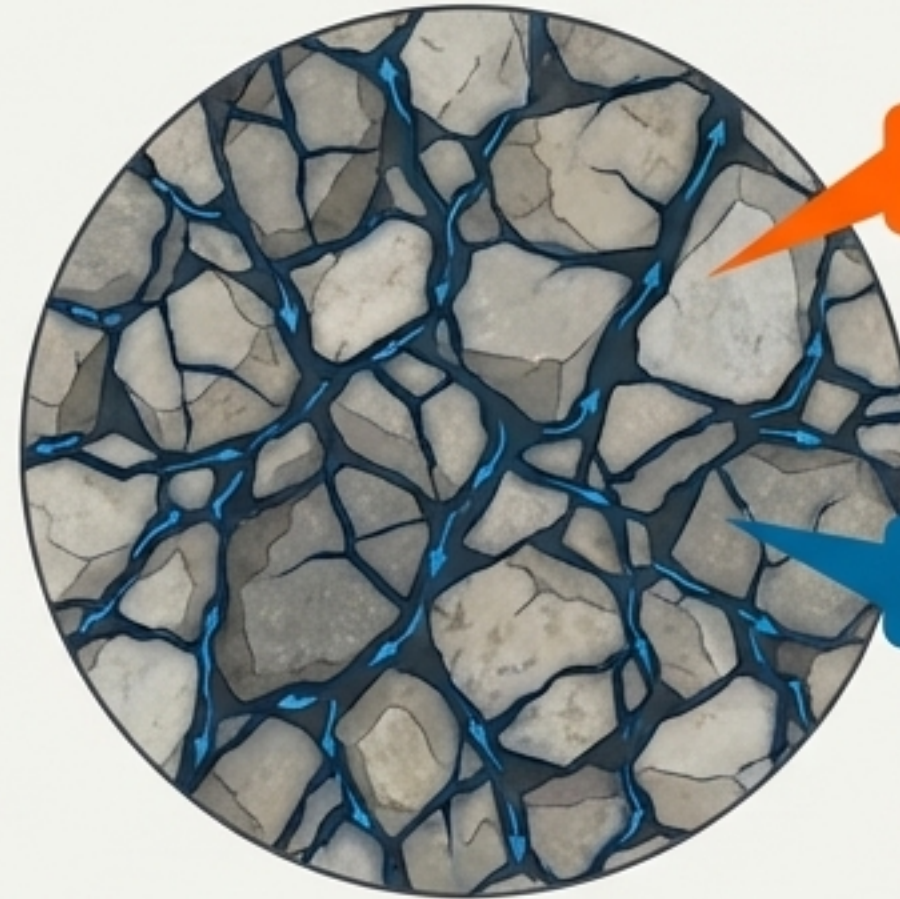


Инструмент №1: Генерация Трещин

Тектонические напряжения создают сети трещин, которые увеличивают фильтрационные свойства породы на несколько порядков.



Низкая проницаемость



+2–5 ПОРЯДКОВ

Увеличение проницаемости породы.

ДО 20%

Доля трещинной пористости в общем объеме пор.

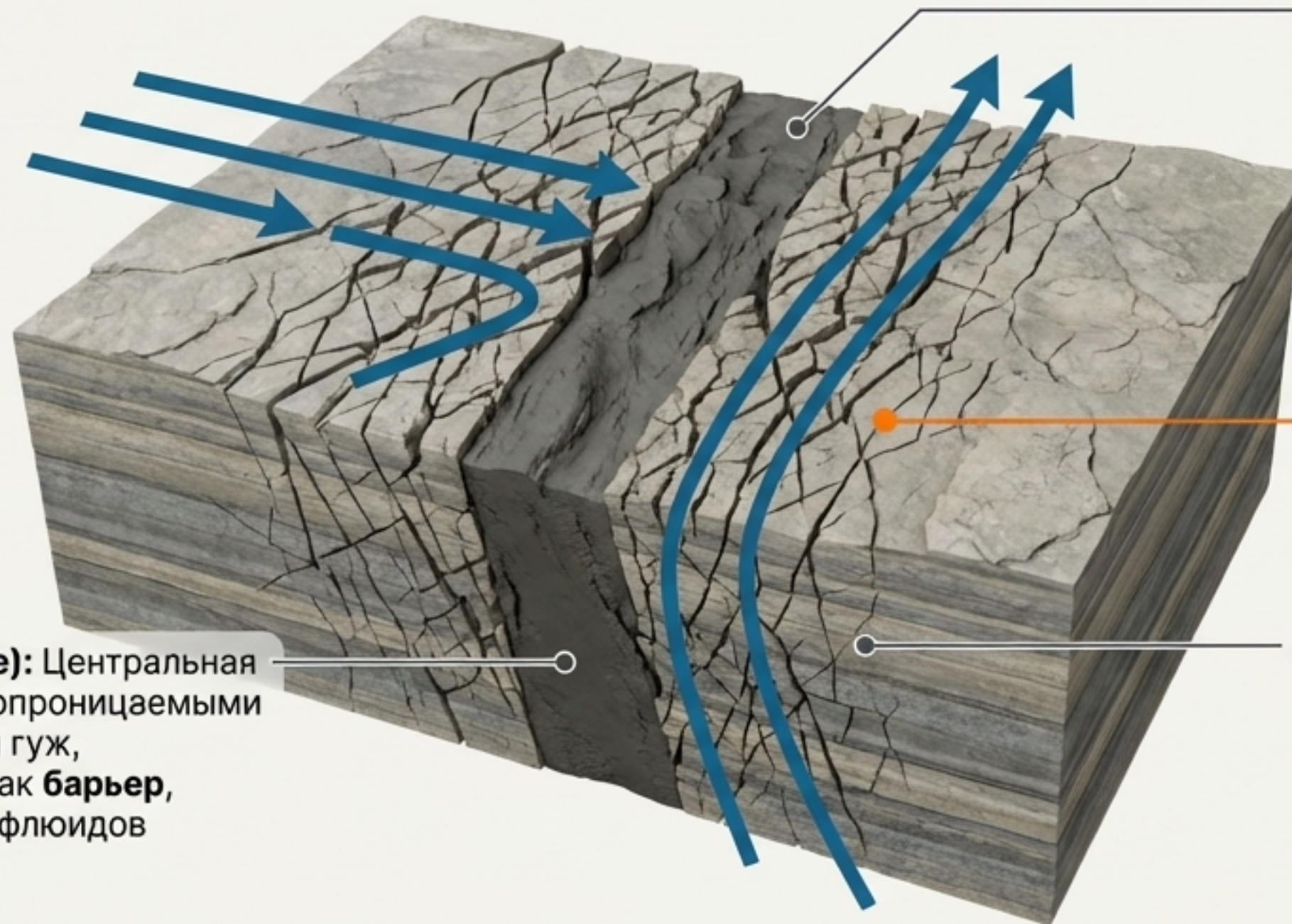
Высокая трещинная проницаемость

Тектонические напряжения формируют сети субпараллельных и взаимопересекающихся трещин.

Эти сети становятся доминирующими путями для движения флюидов, часто превосходя по значимости межзерновую пористость.

Инструмент №2: Архитектура Разломных Зон

Разлом — это не просто разрыв, а сложная структура, состоящая из **ядра-барьера** и **зоны повреждения-проводника**.



****Ядро разлома (Fault Core):**

Центральная часть, заполненная низкопроницаемыми материалами (глинистый гуж, катаклазит). Действует как **барьер**, препятствующий потоку флюидов поперек разлома.

Проницаемость зоны повреждения может достигать **10^{-12} м^2** .

Ядро разлома (Fault Core): Центральная часть, заполненная низкопроницаемыми материалами (глинистый гуж, катаклазит). Действует как **барьер**, препятствующий потоку флюидов поперек разлома.

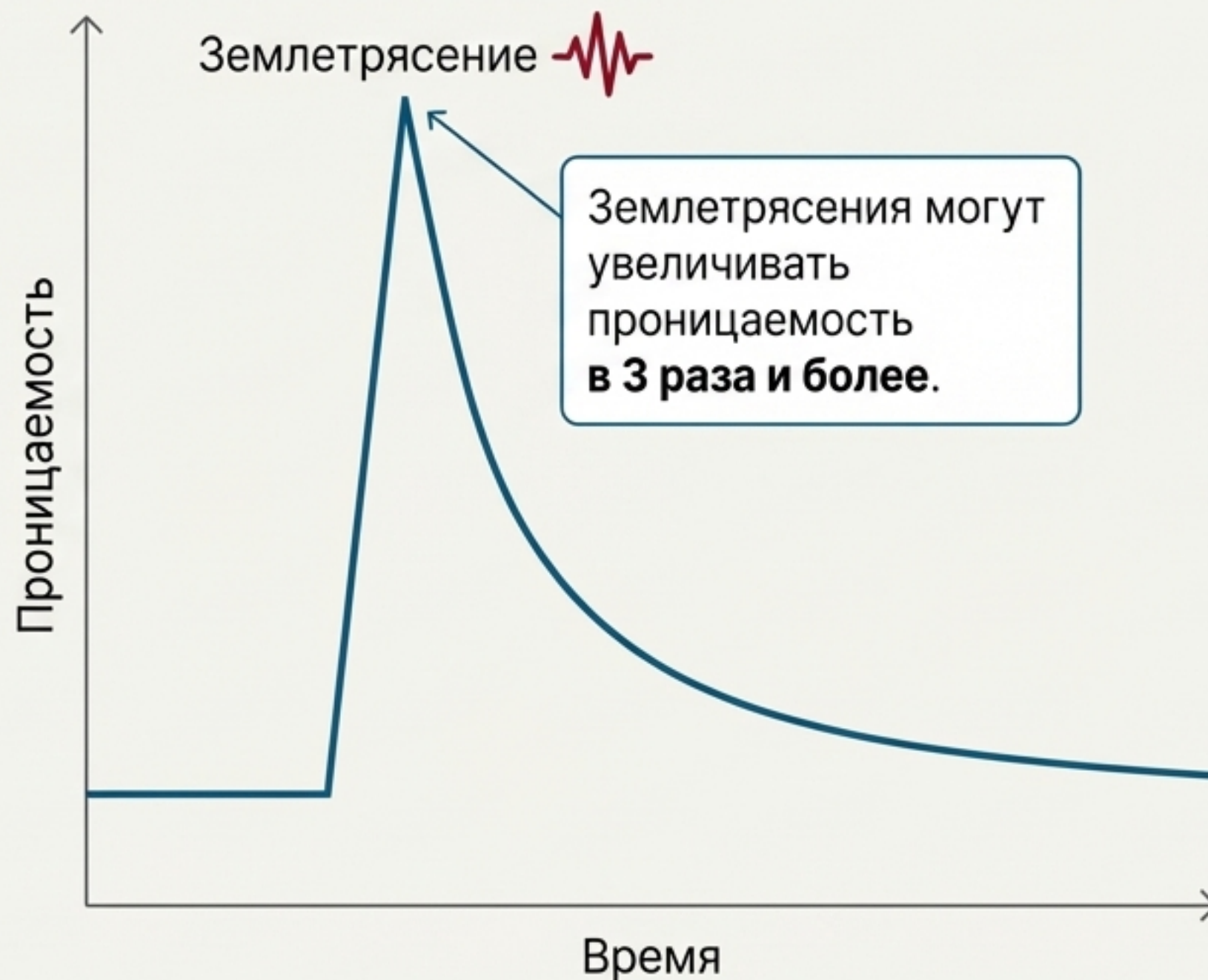
Зона повреждения (Damage Zone):

Область интенсивной трещиноватости вокруг ядра. Обладает высокой проницаемостью и действует как основной **проводник** для флюидов вдоль разлома.

Пульс Земли: Динамика Проницаемости в Сейсмическом Цикле

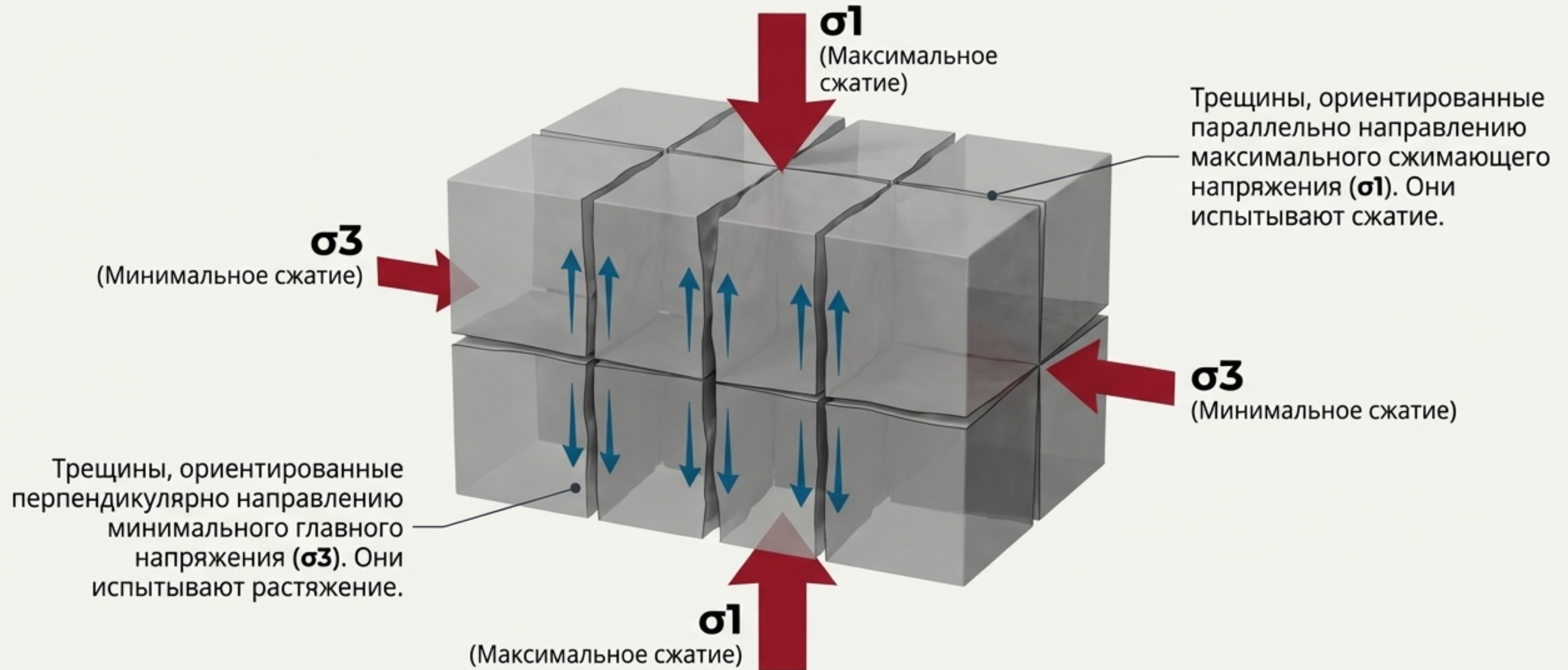
Проницаемость разломов резко возрастает во время землетрясений и постепенно снижается в межсейсмический период из-за процессов "залечивания".

- **Во время подвижки (землетрясение):**
Резкий рост проницаемости как ядра, так и зоны повреждения.
- **Период покоя (межсейсмический):**
Быстрое снижение проницаемости ядра и более медленное 'залечивание' зоны повреждения.
- Сейсмические волны разрушают коллоидные отложения, очищая поры и трещины.



Тектонический Компас: Какие Трещины 'Открыты' для Потока?

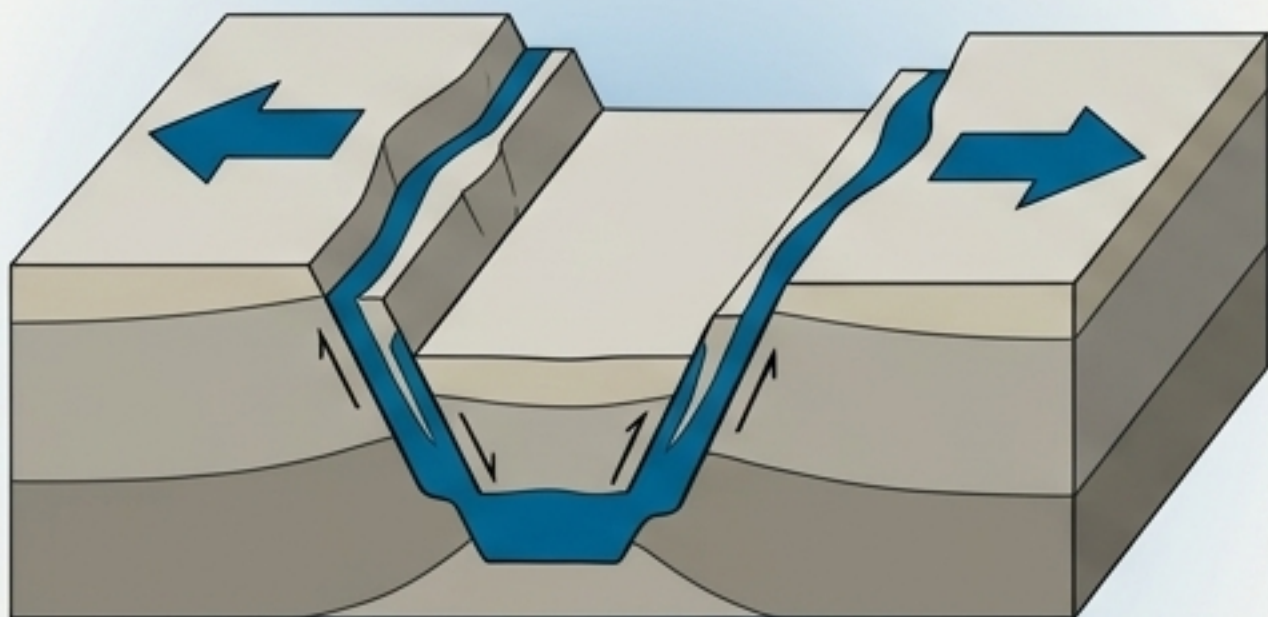
Современное поле тектонических напряжений определяет, какие из существующих систем трещин будут гидравлически активны, а какие — закрыты.



Два Сценария: Контроль Тектоническим Режимом

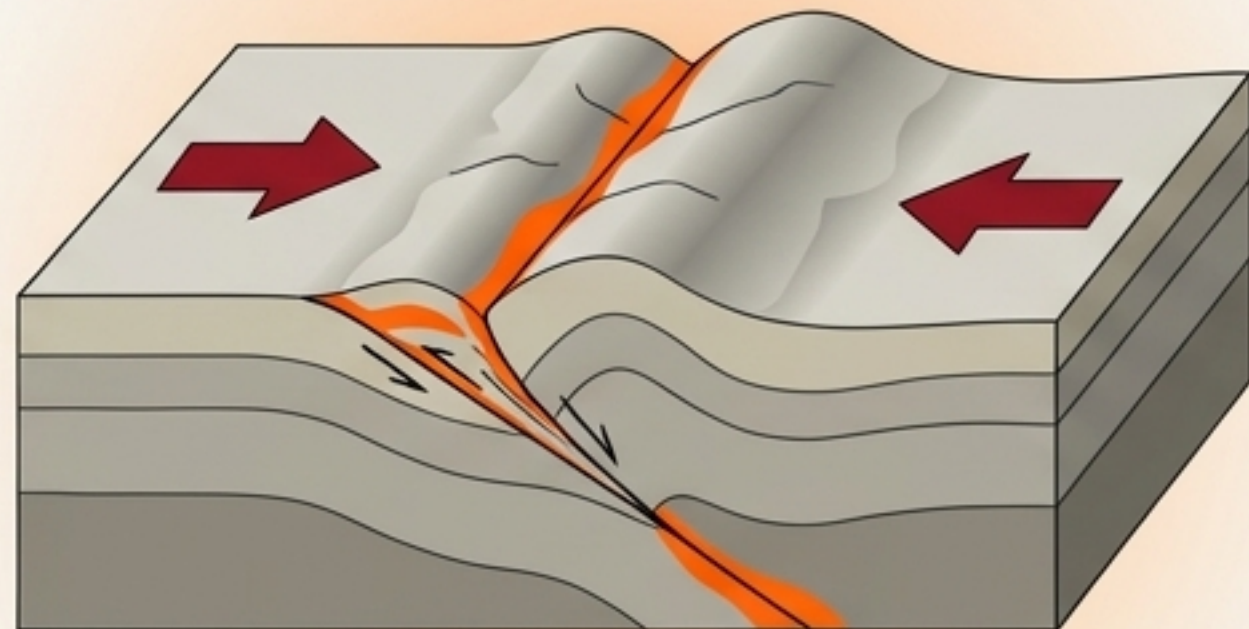
Глобальный тектонический режим (растяжение или сжатие) определяет доминирующий характер проницаемости в регионе.

РЕЖИМ РАСТЯЖЕНИЯ



Формирование систем открытых трещин и зон дилатансии. Разломы действуют как **высокопроницаемые проводники**. Характерно для рифтовых зон и областей активного поднятия.

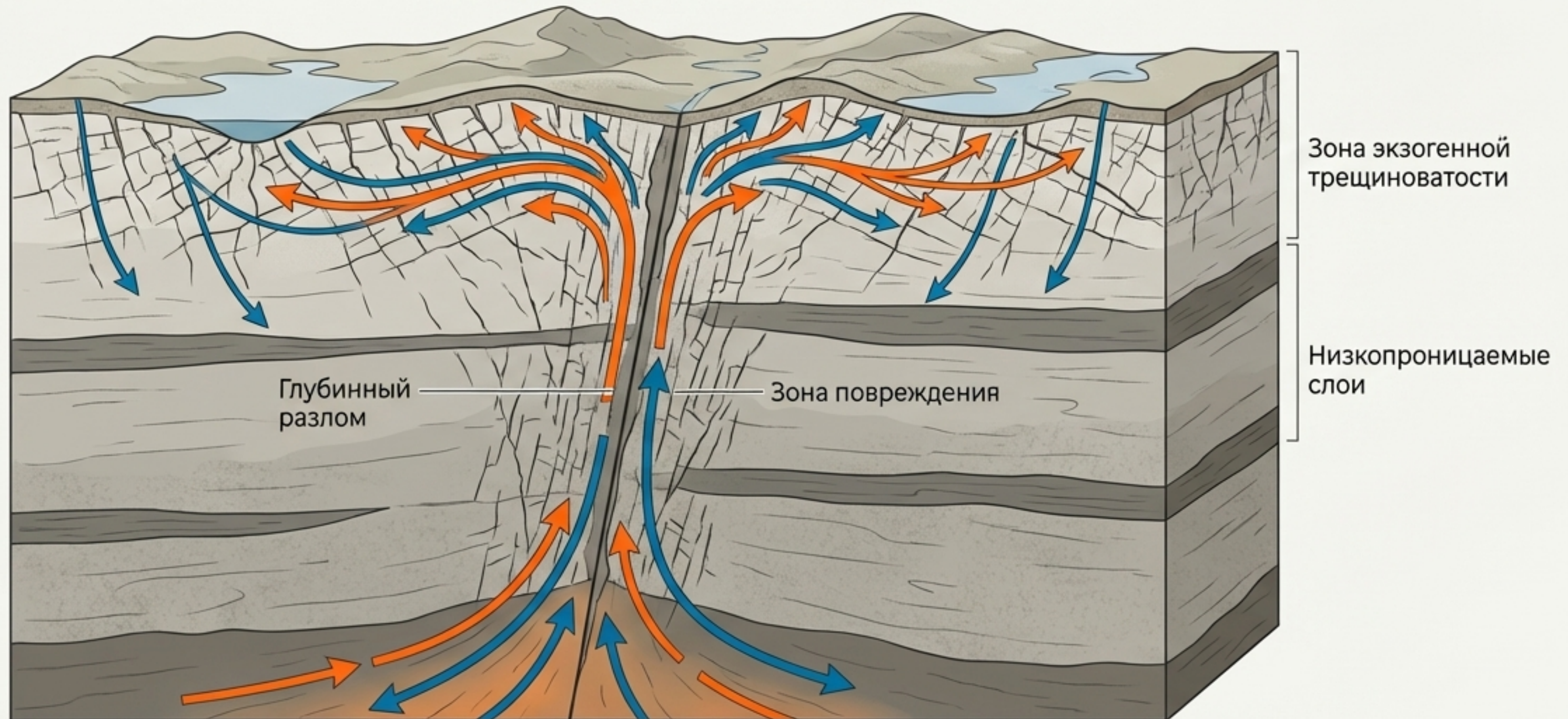
РЕЖИМ СЖАТИЯ



Уменьшение раскрытости трещин и смыкание их стенок. Разломы действуют как **барьеры для флюидов**. Характерно для зон столкновения плит.

Синтез: Комплексная Модель Флюидных Поток

Неотектоника создает сложную вертикальную зональность проницаемости, обеспечивая гидравлическую связь между глубокими и приповерхностными горизонтами.

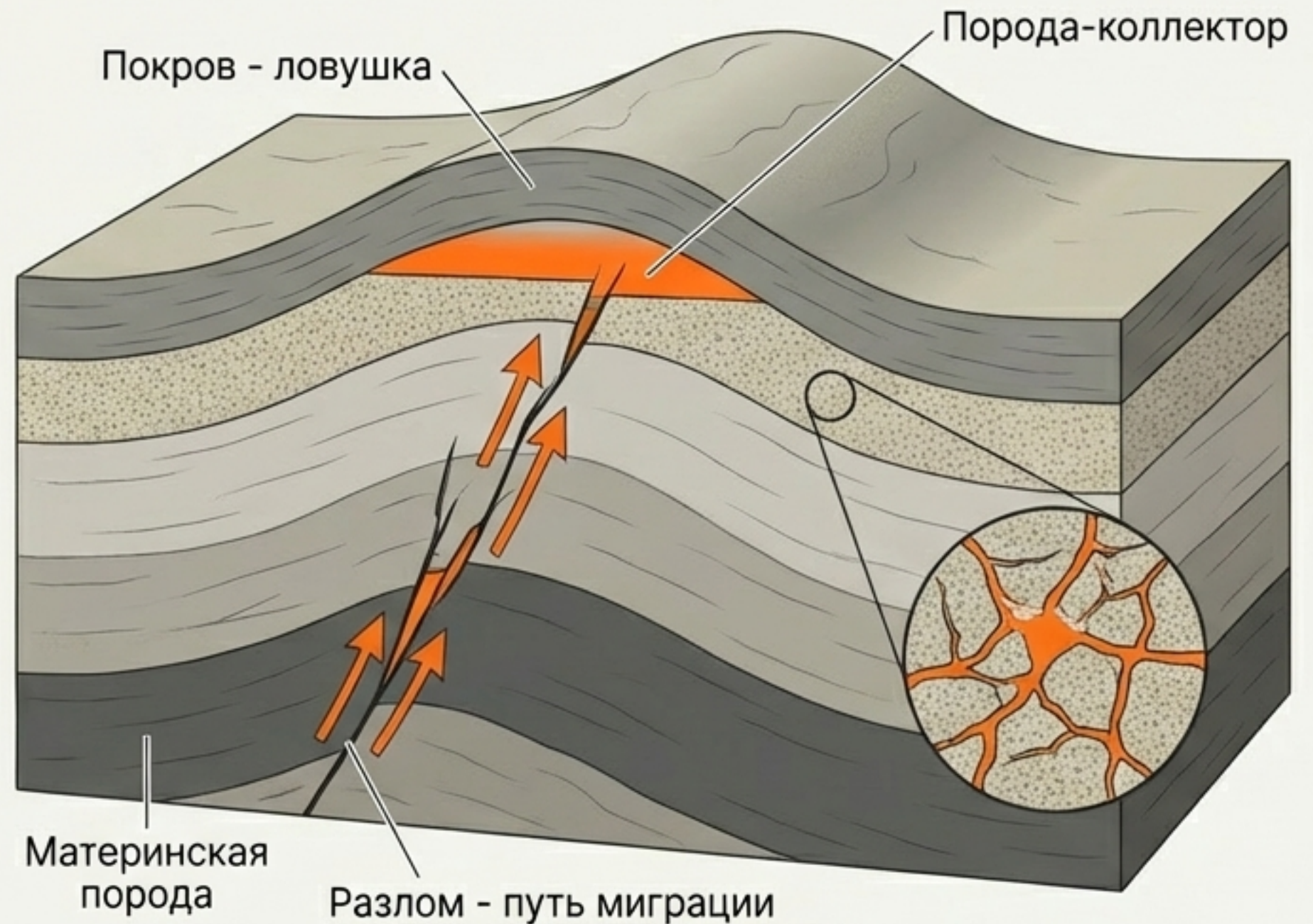


Применение: Поиск Углеводородов

Тектоническая трещиноватость — критический фактор для миграции и аккумуляции углеводородов, особенно в низкопроницаемых породах-коллекторах.

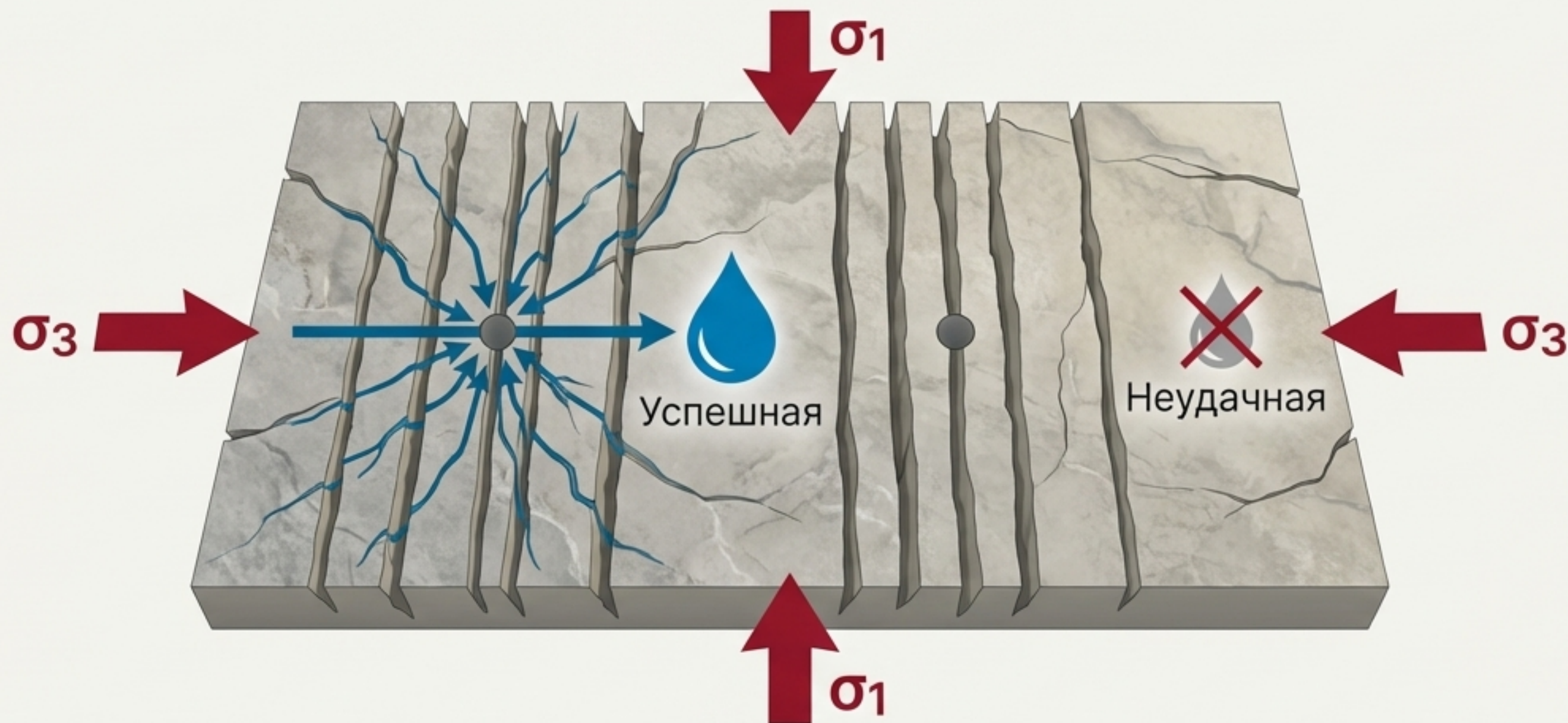
Разломно-блоковая тектоника создает пути для вертикальной миграции углеводородов из материнских свит.

В породах-коллекторах (особенно в плотных, как карбонаты или сланцы) трещины формируют вторичную пористость и проницаемость, без которой добыча была бы невозможна.



Применение: Гидрогеология и Водоснабжение

Продуктивность водозаборных скважин в трещиноватых породах напрямую зависит от их правильной ориентации относительно современного поля напряжений.



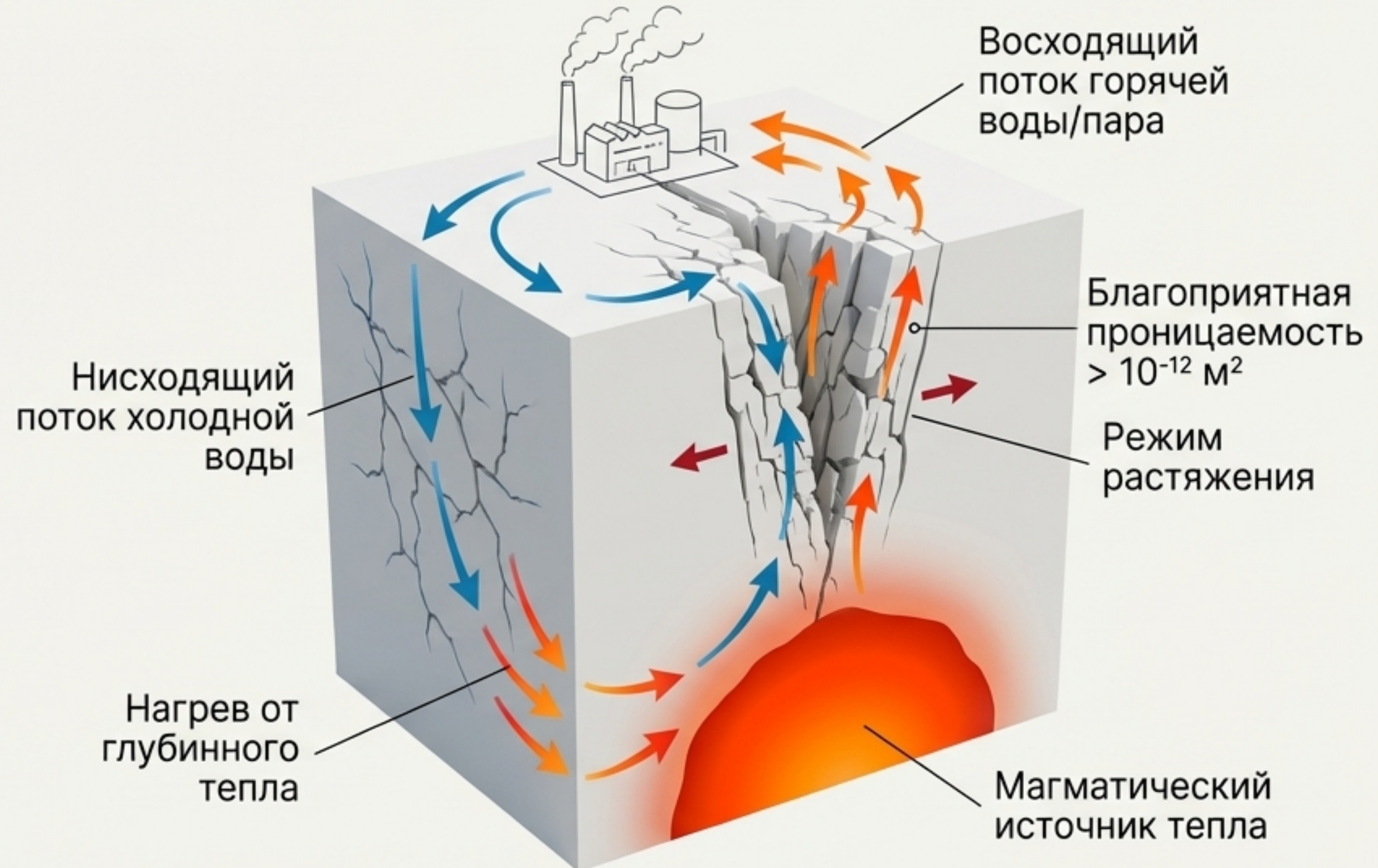
Максимальный дебит (водоотдача) достигается, когда ствол скважины пересекает максимальное количество открытых, гидравлически активных трещин. В типичном поле напряжений это трещины растяжения, перпендикулярные вектору σ_3 .

Применение: Геотермальные Ресурсы

Активные разломы в режиме растяжения создают идеальные условия для циркуляции и подъема глубинных термальных вод, формируя геотермальные месторождения.

Тектонический режим растяжения обеспечивает высокую и постоянно поддерживаемую проницаемость поддерживаемую проницаемость на больших глубинах.

Это позволяет холодной воде проникать вниз, нагреваться от глубинного тепла и подниматься вверх по проницаемым разломным зонам.



Неотектоника: Динамический Архитектор Подземного Мира

Связь неотектоники и проницаемости — это сложный, динамический процесс, определяющий где, когда и как движутся флюиды в земной коре. Понимание этого — ключ к управлению подземными ресурсами.

- **Определяет ГЕОМЕТРИЮ:** Создает трещины и разломы — каркас флюидной сети.
- **Контролирует АКТИВНОСТЬ:** Современное поле напряжений решает, какие пути "открыты".
- **Управляет ДИНАМИКОЙ:** Сейсмические циклы вызывают пульсирующие изменения проницаемости.
- **Критически важна для РЕСУРСОВ:** Управляет местоположением воды, углеводородов и геотермальной энергии.



Ключевые Источники и Материалы для Изучения

- Caine, J. S., Evans, J. P., & Forster, C. B. (1996). Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24(11), 1025-1028. [Source 7]
- Gudmundsson, A., et al. (2022). Mechanism and Prediction of Geothermal Resources Controlled by Neotectonic Faults. *Frontiers in Earth Science*, 10. [Source 12]
- Mitchell, T. M., & Faulkner, D. R. (2022). Crustal permeability changes inferred from seismic attenuation. *Frontiers in Earth Science*, 10. [Source 15]
- Ribeiro, A., et al. (2015). Fracture chronology and neotectonic control of water wells productivity in the Guarani Aquifer System. *Pesquisas em Geociências*, 41(2). [Source 20]
- Semenov, D. F., & Batuk, D. V. (2019). Исследование влияния тектонического фактора на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. [Source 28]

