

Прогноз и опасность сейсмичности, вызванной резервуарным возбуждением: основные физические принципы

С.А. Шапиро, ФР-Геофизика, FU-Берлин

Абстракт

Эксперименты с закачиванием флюидов в скважину являются обычными для стимуляции и расширения углеводородных и геотермальных резервуаров. Новую важную область здесь представляют удаление CO₂. Тот факт, что закачивание флюида является причиной сейсмичности, хорошо известен несколько десятилетий. В настоящее время исследование направлено на представление в количественной форме и контроле этого процесса. Анализ и мониторинг сейсмичности, вызванной флюидами, может помочь нам охарактеризовать породы и провести оценку результатов их стимуляций (напряженного состояния).

Флюид, вызвавший сейсмичность, затрагивает широкий ряд процессов между двумя последующими пределами. Если давление закачивания превышает минимум основного тектонического напряжения, будет создано гидравлическое нарушение. В зависимости от роста нарушения возбуждается сейсмичность с характерными свойствами. Рост гидравлического нарушения обычно сопровождается раскрытием нового объема трещин, потерей жидкости для гидроразрыва и ее инфильтрацией в породы коллектора, а также диффузией давления инъекции в поровое пространство окружающих пород и внутрь гидравлического нарушения. Некоторые из этих процессов могут быть рассмотрены по особенностям пространственно-временного распределения вызванной микро сейсмичности. Часто сейсмичность также наблюдается на расстоянии многих сотен метров от источника закачивания и даже по экспериментам, где давление закачивания меньше, чем основное минимальное напряжение (одинаковое во многих геотермических системах). В этих случаях диффузия порового давления, предполагается, является доминантным фактором, контролирующим микро сейсмичность. Флюид, вызвавший сейсмичность, обычно проявляет несколько характерных признаков диффузии, которые непосредственно относятся к степени пространственного роста, геометрии скоплений гипоцентров микро землетрясений и их плотности в пространстве. В некоторых случаях спонтанно вызванная естественная сейсмичность, подобно серии землетрясений, также проявляет такие типично диффузионные признаки. Магнитуды M вызванной флюидами сейсмичности обычно имеют порядок до 2-3.

Тем не менее, особенно при длительном закачивании в течение месяцев или даже лет наблюдаются землетрясения с большими магнитудами ($M=4$ и более). До настоящего времени для оценки вероятности этих имеющих место событий, были предприняты небольшие усилия. Мы поясняем способ расчета и контроля вероятности землетрясений, вызванных флюидами. Мы демонстрируем много примеров наборов данных сейсмичности по различным экспериментам с закачиванием, включающих Fenton Hill и Paradox Valley (USA), Soultz (France) и Ogachi (Japan).

Эта 2.5 – часовая лекция включает:

- Введение в теорию волновых явлений в упругой и порозластичной средах
- Введение в физические основы сейсмологии землетрясений и мониторинг сейсмичности
- Обзор физики и областей приложения вызванной флюидами сейсмичности, как описано в выше приведенном кратком изложении
- Примеры естественной и искусственно вызванной сейсмичности