

Геоэлектрическое строение сейсмоактивных внутриконтинентальных территорий и физическая природа формирования очага землетрясения

И.С. Фельдман
ООО "ЕМГЕО", Москва
e-mail: mail@emgeo.com

Рассматриваются геотектонические процессы разрушения земной коры, основной причиной которых являются графитизированные органогенные осадочные породы, образующиеся в процессе геотектонических активизаций с возрастанием температур. Органогенные породы заполняют прослой между более прочными плитами и при достижении температур 300-500 град размягчаются, поскольку карбон преобразуется в графит, обладающий низкой, практически нулевой, вязкостью и высокой электропроводностью. В условиях региональной напряженности земной коры это приводит к локальным сдвигам и деформациям жестких плит разного типа: сжатия и растяжения. Эти процессы и порождают землетрясения, разрушающие земную кору.

Разработана двумерная геоэлектрическая модель среды с учетом представления о процессах в геологическом объекте типа флексура, в результате деформации превращающаяся в сбросо-надвиговую структуру разрушения. Полученный результат может являться основанием для разработки мониторинга электромагнитных полей, измеряемых на поверхности Земли на удалении от очага землетрясения.

Ключевые слова: землетрясение, графитизация органогенных пород, тектоническая активизация, флексура, сбросо-надвиговая структура

Землетрясения и вулканизм наиболее ярко отражают современную активную жизнь нашей планеты. Основными энергетическими источниками этого являются гравитационная дифференциация и радиогенный разогрев в нижней мантии Земли. Непрерывно выделяемое при этом огромное количество эндогенной энергии затрачивается на преобразование верхних оболочек Земли. Генератором этих преобразований является глобальная конвекция в мантии, приводящая в движение плавающие жесткие литосферные плиты. Более молодые, относительно тонкие, океанические плиты имеют толщину 60-80 км и размеры в сотни км и перемещаются со скоростью несколько см в год. Наиболее древние, континентальные, имеют толщину 100-250 км, а размеры в тысячи км и перемещаются на порядок медленнее. Скорости и размеры плит отражают запасенную энергию, которая затрачивается на разрушение плит как при их столкновении, так и при их распаде, т.е., фактически, является мерой геотектонической активности региональных тектонических подразделений. Однако структура и последовательность разрушений плит уже полностью определяется конкретными особенностями строения самих плит и, прежде всего, ее верхней части (земной коры). В зонах сжатия и условиях напряженного состояния в квазислоистой модели, характерной для верхней и средней части земной коры, наиболее прочные прослойки будут перемещаться по менее прочным (вязким), таким как глины, соли и черные сланцы, формируя сдвиги и надвиги и,

при торможении, горно-складчатые области. В зонах растяжения формируются рифты, которые заполняются осадочными породами с прослоями графитизированных органогенных образований, которые при погружении и разогреве превращаются в размягченные прослойки с практически нулевой вязкостью и высокой электропроводностью.

Разработана технология построения высокоточных геоэлектрических разрезов земной коры, позволяющая использовать геоэлектрические критерии для построения прогнозных природных моделей, контролирующей сейсмичность. Они основаны на фактически повсеместном распространении в верхней-средней части земной коры хорошо проводящих горизонтов и линейных объектов (разломов), сложенных органогенными отложениями, преобразованными в т.н. графитизированные сланцы. Графит как электронный проводник имеет низкое сопротивление и низкую вязкость и обладает замечательной способностью создавать пленочные межзерновые структуры, обеспечивающие их объемную высокую электропроводность и объемную высокую пластичность (низкую, практически нулевую вязкость).

Все остальные породы глубже кровли кристаллического фундамента, также прошедшие стадию начального метаморфизма, имеют высокие сопротивления, возрастающие с глубиной от 10^3 Ом до 10^5 Ом. Существенно возрастают также другие параметры, такие как скорости сейсмических волн (V_p , V_s), плотность

(σ), вязкость (η) и т.н. сдвиговая добротность Q_m . Именно такие породы как экзогенного, так и эндогенного происхождения (карбонаты, доломиты, гранитоиды, интрузии, офиолиты и др.) создают жесткий каркас прочности кристаллической части земной коры. При наличии в этом каркасе прослоек пород с относительно более низкой вязкостью сдвиги более жестких блоков в условиях бокового сжатия происходят именно по контактам с ними. Именно процессы размягчения в условиях постоянно действующих напряжений в земной коре и приводят к землетрясениям, которые являются причиной различных геотектонических преобразований земной коры. Но поскольку эти же породы имеют высокую электрическую проводимость (низкие сопротивления), то на фоне в целом высокоомных пород земной коры они должны достаточно ярко отражаться в результатах глубокого бурения и электромагнитных зондирования земной коры, маркируя таким образом сейсмически опасные участки.

В докладе рассмотрены геоэлектрические модели земной коры, полученные нами по данным МТЗ для четырех регионов – там, где можно было сопоставить их с известными характеристиками сейсмичности: Алтае-Саянской области, Забайкальской троговой зоны, Воронежской антеклизы и Беломорской покровно-надвиговой котловины. Во всех четырех регионах проводящие квазилинейные объекты отражают наличие графитизированных черно-сланцевых пород, хотя их глубина, возраст и геологическая история образования существенно отличается. Именно эти объекты совпадают с локализованными зонами высокой сейсмичности данных регионов, которые, в свою очередь, отражают известные для данных территорий глубинные разломы.

Для обоснования электронной природы проводимости привлечены результаты каротажа глубоких скважин, анализ выходов на поверхность проводящих горизонтов земной коры в областях с наиболее глубокими эрозионными срезами ее верхней части и обобщенные результаты лабораторных исследований сопротивления горных пород при Р-Т условиях в земной коре.

Основываясь на анализе сейсмических и геоэлектрических разрезов земной коры сейсмоопасных регионов, за исходную геологическую модель формирования разрыва сплошности среды берётся модель флексуры, которая превращается во взбросо-надвиг (рисунок 1). До разрыва именно хорошо проводящие графитизированные прослои обеспечивали практически всю продольную проводимость высокоомного экрана, но, учитывая их чередование с очень

высокоомными прослоями, они не влияли на высокое в целом поперечное его сопротивление.

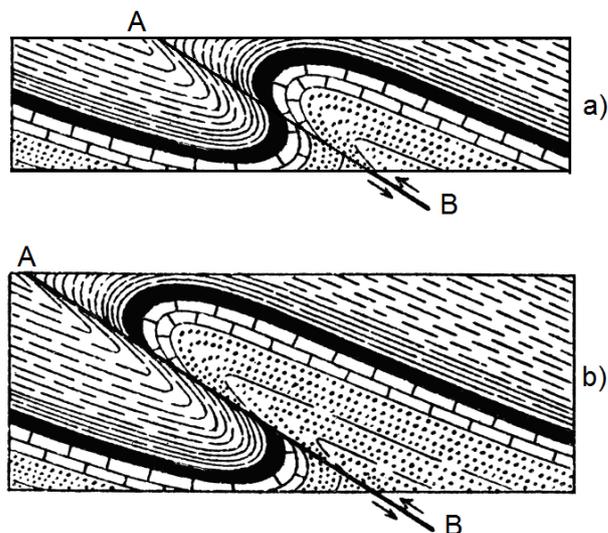


Рисунок 1. Исходная геологическая модель формирования разрыва сплошности среды - модель флексуры, которая превращается во взбросо-надвиг.

На следующем этапе формируется плоскость скольжения взбросо-надвига, по которой происходит либо надвигание всей верхней части разреза, либо внедрение ограниченного по толщине жесткого блока (будина) с постепенным переходом через флексуру в квазигоризонтальный надвиг.

Такие структуры формируются, как правило, в глубоких предгорных прогибах на стыке геотектонических зон сжатия и расширения. Мы демонстрируем это на примере глубокого Байкало-Патомского прогиба, разделяющего Непско-Ботуобинскую антеклизу и Забайкальскую горно-складчатую область.

Учитывая высокую нефтегазоносность антеклизы и ее окружения, здесь пробурены многочисленные глубокие скважины и выполнен объем детальных поисковых геофизических работ, включая и выполненные нашей организацией МТЗ в объеме 1500 ф.т. по 24 сейсмическим профилям, а также переобработку данных ЗСБ в объеме 1200 ф.т. Во многих скважинах на глубинах от 200 м до 3,2 км вскрыты надвиговые структуры с так называемым удвоением разреза (рисунок 2), а в наиболее глубокой части прогиба на глубине 1.1–1,7 км обнаружен перевернутый «вверх ногами» блок толщиной 550 м (рисунок 2). Это однозначно доказывается комплексом каротажных данных и литологией вскрытых отложений, а также выполненным нами детальным сопоставлением этого блока с нижележащим. Это уже перевернутая будина, прошедшая флексурный этап своей жизни и

натолкнувшись на какое-то препятствие. Данное явление можно отнести уже к процессу скупивания. На рисунке 2 представлена геологическая модель этой ситуации. В ряде случаев ограниченные по всей длине будины фиксируются как сейсморазведкой МГОТ, так и электроразведкой МТЗ.

В начальный момент формирования взбросо-надвига в области максимума градиента напряжения (линия АВ) возникает трещиноватость, что неизбежно приводит к заполнению трещин более пластичными разностями таких пород, как соли и черные сланцы, обогащенные графитом, которые создают хорошо проводящие пленки, обеспечивая скольжение по ним более жестких пластин.

При этом электрическое сопротивление в зоне трещиноватости уменьшается. В квазиоднородной среде эти изменения не существенны и малозаметны. Однако в двумерной модели, которая более адекватно описывает строение очага землетрясения и его развитие во времени, при обычно присутствующем высокоомном экране, изменения структуры электромагнитного поля естественного (ЕМПЗ) или искусственного источника будут весьма существенны. Весь ток, который экранировался 2D-моделью для Н-поляризации, тут же устремится в образовавшуюся щель. Количественно процесс регулируется величиной изменения поперечного сопротивления, которое зависит от объема и связности образовавшихся проводящих трещин ("щелевой" эффект). Существование представленной модели базируется на анализе глубинных сейсмогеоэлектрических разрезов, пересекающих сейсмически активные зоны в различных регионах. Как правило, это зоны

сопряжения глубоких предгорных прогибов и горно-складчатых сооружений.

Однако в ряде случаев удается вскрыть подобные структуры глубокими скважинами, что показано на рисунке 2 а.

Здесь на глубине порядка от 1,7 до 2,1 км наблюдается перевернутый вверх ногами блок толщиной 700 м, который с точностью до морфологии каротажной кривой повторяет участок кривой в районе глубин 1,1-1,7 км, что однозначно доказывается комплексом каротажных и керновых данных и определением возраста и литологии вскрытых отложений. На рисунке 2 б представлена интерпретационная геологическая модель надвига, вскрытого скважиной с флексурой.

Выводы

В результате численного моделирования показано, что для двумерной модели с высокоомным экраном и хорошо проводящим слоем перераспределение плотности полного тока в среде, с учетом представлений о формировании зоны трещиноватости, существенно увеличивается за счет эффекта «проводящей щели». При этом амплитуда электромагнитного поля поперечной поляризации возрастает на большом удалении от проводящей щели.

Полученный результат может являться основанием для мониторинга электромагнитных полей, измеряемых на поверхности Земли на удалении от очага землетрясения, что открывает новые возможности для прогнозирования землетрясений на основе электромагнитных предвестников.

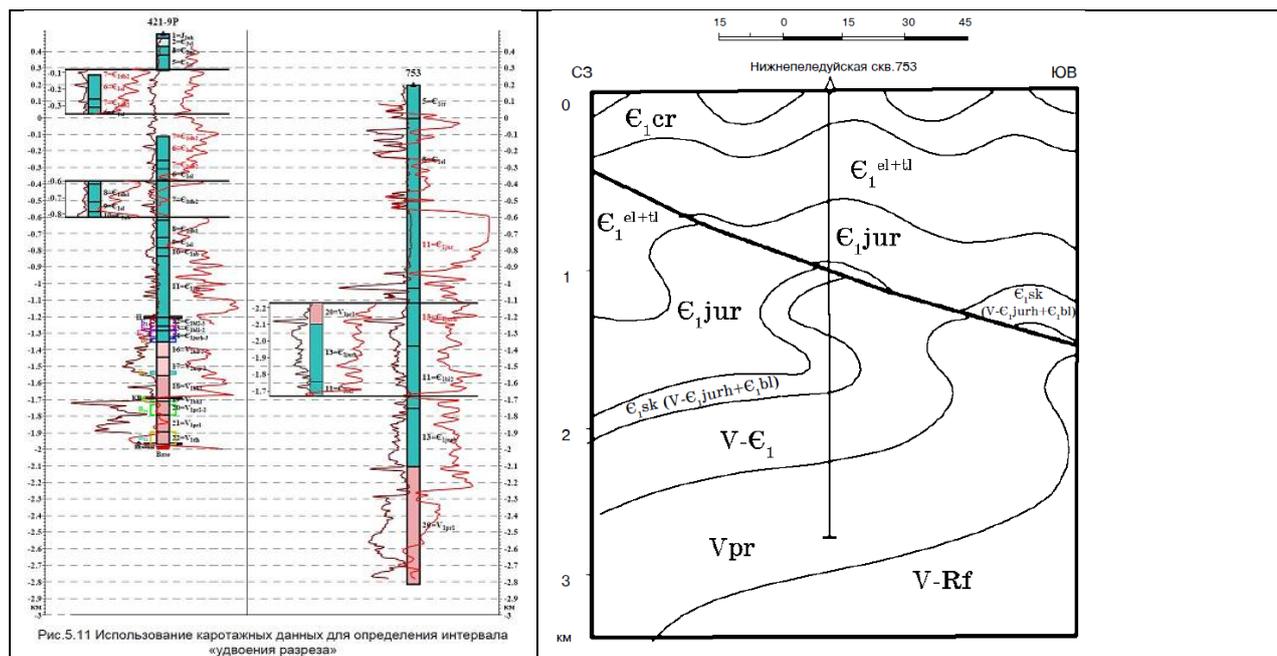


Рисунок 2. Пример регистрации и интерпретации взбросо-надвиговых флексур. а – пример регистрации «удвоения» разреза коротажных данных на интервале 1,1-1,7 и 2,2-1,7 км, б - фрагмент геологической интерпретации строения Предпатомского прогиба Сибирской платформы (по Захаряну А.З.).