

БЛОЧНО-СДВИГОВАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Цвигун В.Н., Койнов Р.С., Добрынин А.С.

Ключевые слова: землетрясение, эффект Кайзера, деформация, сдвиг, земная кора.

Аннотация. Рассмотрены конвективные потоки в полости Земли, вызывающие контактные деформации сдвига с взаимодействием ортогональных искривленных параллелепипедов, с образованием пустот, трещин, минирифтовых расщелин. Описаны различные механизмы накопления и разгрузки энергетических плотин – нереверсивных сдвигов, способствующих накачиванию и фиксации в одну сторону энергии при каждом цикле сжатия. При сдвигах происходят вибрации, разогревы, образование новых материалов, взрывов (сланцы и т.д.), гидроударов, паровых катапульт и т.д. Объяснены эффект Кайзера, и явления перекрестков деформаций (Сан-Андреас), появление в поверхностных полосах сдвига минирифтовых трещин параллельного вида.

BLOCK-SHEAR EARTHQUAKE MODEL

Tsvigun V.N., Koinov R.S., Dobrynin A.S.

Keywords: earthquake, effect Kaiser, deformation, shift, earth's crust.

Abstract. Considered convective flows in cavities of the Earth, causing pin shear deformation with the interaction of a curved orthogonal parallelepipeds, with the formation of voids, cracks, crevices minirity. Describe the various mechanisms of accumulation and discharge of energy dams – irreversible shifts, contributing to inflation and locking in one direction of energy in each cycle of compression. When changes occur vibration, warming-up, the formation of new materials, explosions (shale, etc.), water hammer, steam catapults, etc. Explained the effect of the Kaiser, and the phenomenon of intersections of deformations (the San Andreas), the appearance in the surface shear bands minirity cracks parallel.

Землетрясения – импульсная разгрузка накопленных в земной коре запасов энергии от нереверсивных упруго-пластических циклов сжатия (Деформационно-блоковая модель землетрясений).

Для создания идеальной модели землетрясений необходимы предложения и объективные рассмотрения новых моделей, поскольку объект исследований, из-за сложностей, малоизучен.

Цель этой работы – предложение еще одной модели, основанной на идеях, что землетрясения имеют несколько стадий развития: подготовка условий, аккумуляция значительной упруго-пластической энергии на площадях в десятки квадратных километров, запуск механизмов разгрузки с генерацией ударных волн и вскрытия упруго-пластически деформированных объемов в виде «вспаханных» пластическими сдвигами блоков, которые в виде «агрегатного» состояния остаются почти на своих местах (поверхности Земли) с рифтовыми (щелеобразными) трещинами, а сама поверхность Земли оказывается по уровню выше примерно на 1 м, чем до землетрясения...

Если посмотреть на карту землетрясений (www.USGS.gov), то хорошо заметно, что их почти нет вблизи полюсов, а их фокус лежит, в основном, вдоль линий разломов в широкой полосе вдоль всего экватора между 43° градусами на севере и 43° в южном полушарии, на глубинах менее 20 км.

Земная кора – достаточно податливая среда, способная упруго-пластически деформироваться: во времена ледникового периода под слоем

льда, толщиной 3 км, она проседала на 1 км.

На глубине более 10 км материал пород подобен вязкой жидкости, а трехмерное сжатие – благоприятная схема нагружения, высокое давление и температуры позволяют твердым и прочным породам при низких скоростях деформации пластично формоизменяться, но высокоскоростное деформирование, турбулентность потоков, наличие свободных поверхностей – приводит к появлению разрушающих растягивающих деформаций и напряжений (ветвлению трещин способствуют K_2 -компоненты, что в контактных задачах разрушения обычное явление).

Согласно современным знаниям, Земля образовалась от Солнца. Был мощный выброс материала при взрыве, затем спиральный отрезок, сохраняя направление вращения Солнца, начал удаляться от Солнца. Далее, за счет гравитационного стягивания этот отрезок, имеющий массу Земли, обрел форму шара, но направление полета и вращения Земли совпадают с направлением вращения Солнца. Далее Земля остывала, формировалась твердая кора, а теперь внутри имеем расплав ионов, содержащий обломки горных пород, который имеет максимальную температуру вблизи ядра Земли (изучение поглощения волн, проникающих через эту часть Земли (томография), указывает, что это твердая жидкость (?); неизвестно, есть ли там разогрев за счет ядерных реакций или разогрев существует только от трения; этот расплав совершает кругообразное движение.

Что сегодня мы знаем, а не думаем о верхних слоях земной коры? Доклады по Кольской сверхглубокой скважине показали, что это породы гранита и базальта, на малых глубинах имеют меньше трещин, чем на глубине 12 км, где встречаются полости, каверны, слоистость, т.е. перемешивание слоев за счет пластической деформации, а трещины заполнены водой, породы – газом, от чего керн, поднятый с глубины 12 км взрывается от декомпрессии.

Температуры: на глубине 7 км -120°C, а на глубине 12 км - 220°C, а в кавернах до 1000°C. Толщине коры – 35 км, но в местах разломов коры – меньше, т.е. рядом, под давлением 300 МПа находятся зоны лавы с температурой 1000°C. Такая температура для гранита получается при банальном индентировании в гранит шара Ø 8 мм за 60 сек до нагрузки 30 кН: мы находили под шаром оплавленную латунную сетку с ячейкой 0,01 мм (мы изучали расплющивание верхних слоев под индентером): на стальных слоях зерен (в зоне затрудненной деформации, примыкающей к индентеру) толщиной 1,5 мм выстраивается в виде кирпичной кладки.

При вращении Земли возникает центробежная сила, и по радиусу – на экваторе должно быть движение ионов расплава (плоский проводник), это движение «тока» создает магнитное поле – север и юг земного шара, отсюда следует явление – прецессия магнитного поля... Скорость этого потока, который достигает и ударяется в полюсе вдоль экватора, максимальна, но он далее поворачивает вдоль коры Земли к полюсам и вновь двигается на подогрев к центру Земли (вдоль оси), становится более широким (чтобы сохранить неразрывность потока). Здесь, очевидно, сохраняется закон равенства

секундных объемов, а по другому – появятся разрывы сплошности, турбулентность, зоны застоя, гидравлические удары. Чем ниже температура потока, тем ниже его скорость и больше объем лавы, т.е. вдоль оси Земли движение потоков широкое, медленное, но поперечное сечение его больше, чем поток к экватору, т.е. «нагреватель» - ядро, и есть «радиатор» - кора Земли.

Поток магмы содержит крупные обломки, которые «бомбардируют» кору изнутри и могут быть причиной многонаправленных гидравлических ударов, образования мощного горизонтального давления вдоль коры от экватора на север (юг).

Вблизи экватора, там где пульсирующий поток расплава будет встречаться с экватором, поток будет иметь зону застоя возле твердой коры, эта зона «прилипания» будет разделять потоки на север и юг, сама оставаясь на месте. Пульсирующее давление этих потоков снижает по законам малоциклового усталости (большие температуры и деформации) прочность (снизу) земной коры и способствует отделению (или намораживанию) слоев, фрагментов, которые неоднократно могут сталкиваться с корой (отскок рикошетом) несколько раз в разных местах (так после удара в районе Японии, этот же фрагмент может, двигаясь на запад (вращение Земли) еще на почти той же широте), вызвать землетрясение, например, в районе Бл. Востока (это гипотеза).

Землетрясения наиболее часто происходят по линиям разломов, где: а) есть деформации столкновения плит разной прочности (под океаном эти плиты менее прочные); б) выше температуры плит из-за близости лавы и облегчено деформирование, парообразование от попадания в пустоты воды и когда вода, пар, вибрации – все это «смазка», снижающая силы трения между плитами и пороговые силы страгивания, деформаций и горных ударов; в) поскольку по линиям разломов происходит надвигание плит вблизи поверхности Земли, давление и силы трения меньше, чем на глубине 40 км. Процессы контактного накопления энергии имеют возможности ее разгрузки в виде выбросов (залповых) на поверхность и вдоль ее в направлениях и углах, близких к тем, в которых шло накопление (как плотина) запасов энергии.

Энергия накопленных сил прорыва и выхода на поверхность Земли тем больше, чем глубже расположены очаги деформаций, так вблизи поверхности релаксация этих сдвигов облегчена.

В основе локальных перенапряжений при движении коры лежат трёхмерные контактные трёхмерные контактные задачи (сдвиг, прямое сжатие и их сочетание), когда волнистый фронт давления одного потока (более твердого) давит на другой (более пластичный) приводит к контактной задаче с зонами прилипания и проскальзывания, образованием зон затрудненной деформации (33Д), рис.1 а.

Если взять три индентера: круглый шар \varnothing 8 мм, конический, с углами при вершине 60° и четырехгранную (90°) пирамиду, то при равном усилии на индентер получаем сходную картину линий пластических сдвигов (рис. 1 а,

материал ПЭ, плоская деформация), но чем острее индентер, тем больший объем он «вспахивает» путем упруго-пластических сдвигов.

Например, шар \varnothing 8 мм под нагрузкой 250 кг имеет контактную площадку \varnothing 2,5 мм, а объем пластических сдвигов глубиной 3,2 мм и \varnothing 3,2 мм. То же самое для пирамиды – \varnothing 2,0 мм, глубина – 4,0 мм, \varnothing 3,5 мм; а для конуса – \varnothing 2 мм, глубина – 4,5 мм, а \varnothing – 4,0 мм.

Если контактная задача (контакт выступа с плоскостью) продолжает свое развитие, т.е. когда растет нагрузка на индентер, растут размеры контактной площадки и объемы пластического деформирования, а линии скольжения могут, в своем развитии выходить на поверхность Земли, рис. 2 а, б, то если очаг деформированных объемов (площадь) при землетрясении на поверхности Земли (Сан-Андреас) оказывается размером 20×20 км (при поднятии уровня расчлененных блоков и грунта вверх на 1 м, за счет объемного разрыхления плоскостями сдвига, то размер индентера будет около 15 км, что при простых расчетах силы давления получаются около 15×10^{13} кН.

При этом на поверхности Земли трещины рифтового типа образуются на полосах, линиях сдвига, в точках 1 и 2, рис. 2 б; трещины будут типа расщелин, они имеют сомкнутые сжатием стенки, кажутся мелкими, потому что а) они заполняются обломками с берегов трещины и б) они не вертикальные, а уходят на глубину под углом около 45° к поверхности. Основная причина, что они кажутся мелкими – многочисленные (ветвления) дочерние трещины, образуется много параллельных трещин при скоростях ударов 5 км/с; объем материала у вершины трещины, если смотреть на него (на металлах это хорошо видно в стереомикроскоп) буквально взлетает веером вверх, вскипает сотнями линий скольжения, а потом трещин, которые сразу же при разгрузке (после разрушения) закрываются, становятся неразличимыми...

Такова, без сомнения, природа озера Байкал. Т.е. из космоса (Google Earth, 3D) на «фрактографии» озера видно, откуда шел сдвиг с отрывом (это могло быть $K_1 = 65\%$, $K_2 = 35\%$), щепки – острова, места от которых они отодвинулись. А главное – что весь разрыв похоже прошел по дну реки Верхняя Ангара. Перепад высот чуть более 20 м эту гипотезу не отвергает...

Таким образом, рифтовые трещины – это вскрытые полосы сдвига при мощных гидродинамических ударах.

Когда мы смотрим на фотографии, где изображена классика: часть забора, которая отъехала на 1 метр (в сторону) после землетрясения или сдвиги в районе Сан-Андреас, с точностью до 1 мм определенные с помощью GPS (необходимы еще данные вертикальных перемещений) в точках перекрестков сдвигов (кресты сдвигов), кажется непонятным и невероятным, на первый взгляд механизм этих явлений и силы, необходимые создать такие ускорения, удары, но эти явления можно связывать со спиральными, логарифмическими линиями сдвигов.

Если выделить из рис. 1 а правую верхнюю часть, мы увидим, что там, где образуются трещины, зона 2, есть много перекрестков, в которых на спирали

скольжения сила сдвига направлена наружу – на внутреннем изгибе спирали линии сдвига, а внутрь (на контактную площадку) – на наружной стороне спирали. На каждом перекрестке спиралей деформаций получаются сдвиги, как в зоне сдвигов Сан-Андреас. Это обычная картина для трещины типа 2 ($K_1 = 65\%$, $K_2 = 35\%$). Мы это проверяли на фотоупругих моделях, когда моделировали контактно-усталостные дефекты в железнодорожных рельсах.

В результате исследования мы предложили образцы, рис. 3 а, на которых можно создавать любое сочетание вида нагружения от K_1 до K_2 , но для контактной задачи (нормальное нагружение) наибольшие напряжения возникают при сочетании $K_1 = 65\%$, $K_2 = 35\%$. Такие образцы, наверное, можно применять для гранита, мрамора и т.д., когда сначала делать отверстия, а потом образцы, из блока нарезаются абразивом...

Вторая область, где образуются в первую очередь, трещины из плоскостей сдвига, это зона 1, рис. 1 а. Трещины в этой зоне по виду изохром у вершины трещины принадлежат более типу отрыва K_1 , с небольшой компонентой K_2 .

Например, при качении колеса слева направо, контактная площадка под колесом перемещается также, а в «колесе» и «под контактной площадкой» будет «зеркальное» проворачивание на 180° площадок главных напряжений, рис. 4.

Это при качении, а при скольжении индентера вдоль поверхности контакта картина разрушений и деградации материала будет более сильной (больше микроразрушений), чем при нормальном нагружении (вертикальное вдавливание) или при перекачивании индентера с вертикальным и горизонтальным приложением силы, рис. 1 б.

И третья зона, рис. 1 а, где в первую очередь образуются трещины (действуют значительные растягивающие напряжения), рис. 1 а, зона 3. Здесь, на границе пластической зоны (нижняя часть розетки пластической деформации), где за счет того, действует вертикальное сжатие, а горизонтальные силы малы, возникают растягивающие напряжения и возможно образование внутренних разрывов – трещин. Эта задача по образованию внутренних трещин в случаях, когда пластическая деформация есть только вблизи поверхности заготовки (остаются на глубине только упруго-деформированные участки), хорошо описана для процессов поперечной прокатки металлов.

Сила, создающая давление при землетрясении, может возникнуть по разным причинам, по разным механизмам, направление действия этой силы, наиболее опасное, можно считать равным $0^\circ \pm 60^\circ$ к линии горизонта, поскольку в этом случае получаются остро направленные вдоль горизонта (в одну сторону) горные удары, наиболее опасные, с большой амплитудой и ускорениями. Удары снизу и сверху более рассеиваются, фокус удара рассредоточивается на 360° , у него большая площадь, длиннее импульсы сжатия, меньше разрушительная сила.

При горизонтальном сжатии, рис. 2, б, по линиям сдвигов вскрываются на поверхности Земли трещины неглубокие, ориентированные параллельно, под определенным направлением к линии удара, что хорошо совпадает с практическими наблюдениями.

Для предсказания землетрясений необходимо измерять вертикальные перемещения грунта, его температуру: в линиях скольжения, сдвигов, она заметно выше и хорошо регистрируется тепловизором. Локальные поднятия почвы вблизи фокуса могут быть еще до начала землетрясения, поскольку до лавинного сброса энергии идет процесс местного растрескивания и вспучивания там, где первые сдвиги вышли на поверхность.

Следующий простой механизм деформации может играть важную роль как при накоплении «плотины» упруго-пластической энергии, так и при ее разрушении, разрядке, когда возникают горизонтальные волны с разрушительной амплитудой и скоростью.

При нагружении индентора, когда превышены пороговые напряжения скольжения (сдвига), под контактной площадкой происходит нарезка материала на кубики (ортогональные искривленные призмы) с прямыми углами на пересечениях (если пара противоположных углов менее 90° , то здесь есть растягивающие напряжения, а если 90° или более – то сжимающие напряжения) взаимно перпендикулярных плоскостей скольжения. Процесс нарезки обычно идет одновременно по схеме 3D, но обычно одно направление преобладает. Кубик может проталкивать по своему каналу (что-то подобное происходит при равноканальном угловом прессовании), у него, от граней кубика могут отрезаться или отламываться углы, сами кубики имеют люфты в 3D-движении, за счет этого 4 или 8 кубиков образуют в углах контакта поры, за счет смещения разобщенных блоков.

Поскольку по расширяющимся, как трапеции, каналам деформация сдвига возможна только в одну сторону, обратный сдвиг практически невозможен (принцип собачки-стопора). Так при разгрузке образца гранита, под шариком зона затрудненной деформации выглядит как столбик (линза) прессованного гранитного песка (мозаика), а периметр вокруг оказывается разрушен (столбик равен 0,3 диаметра шарика остается на месте) при разгрузке клиновой пластической зоной и выглядит как кратер разрушенного гранита по диаметру равного пластической зоне.

Второе свойство клиновых каналов деформации – эффект гидроусиления (домкрата). Если шар-индентор развивает в одной клиновой полосе сдвига силу 1 кН на площадке $0,1 \times 0,1$ мм, то на удаленном конце клиновой полосы, выходящем на поверхность (рис. 2 б), площадь там в 30 раз больше, усилие будет 30 кН. Этот механизм, по-видимому способен нагнетать большую плотность энергии, если учесть размеры объектов, которая сдерживается окружающей упругостью массива, но энергия освобождается, когда разрушается высокопрочный «стопор», нарушается равновесие, следует импульсная разгрузка...

Процессы трещинообразования, деформации и разрушающие напряжения при контактном нагружении.

Долгое время разрушение материала в контактной задаче шар – полуплоскость рассматривали только с позиций напряжений сжатия в поверхностном слое; такие выводы, которые успокаивали инженеров-прочнистов: что напряжения растяжения небольшие, а касательные напряжения да, большие, но около 20-30% от предела текучести. С привлечением экспериментов и расчетов (ANSYS), мы в 1981 г. показали, что в рельсе, под колесом, при качении, напряжения сжимающие, а деформации (растягивающие) удлинения. Трещина – это шарнир и когда мы прикладываем перемещения вдоль или поперек (K_2 или K_1) вблизи вершины трещины, материал при трехмерном сжатии, этого шарнира будет только незначительно «пластифицирован» за счет всестороннего сжатия, а механизм разрушения будет не отрыва, а смесь $\frac{K_1}{K_2}$.

Второе, очень существенное экспериментальное наблюдение – непосредственно под индентером образуется зона прилипания (часто ее называют зона затрудненной деформации), эта зона в пластичных материалах слабо деформируется, а ступенчатые линии сдвига образуются в подслое ниже этого слоя, в самом слое этих сдвигов нет, т.е. если изучается процесс прокатки металлов, сетка на поверхности и ее деформация, и то, что происходит на глубине более 1,5-2 мм – это разные слои, и свои трещины формируются в них.

И третье – расчеты (ANSYS), рис. 4 показывают, что под шаром \varnothing 10 мм разрушение гранита или мрамора происходит по одной схеме: образование кратера, на периферии шара (круговые и радиальные растягивающие напряжения, их величина незначительно отличается) образуется коническая трещина Герца (КТГ), потом начинается выпучивание материала на поверхности гранита или мрамора, в отдельных точках. Диаметр растягивающих напряжений всего на 10% превышает диаметр лунки от шара (размер контактной площадки).

Поскольку картина очень сложная, ее мы изучали дополнительно на стеклах разной толщины и прочности, полимерах, когда процесс можно наблюдать сквозь образец, как качение, так и квазистатику.

При начале процесса монотонного нагружения, контактная площадка почти точечная, начинает увеличиваться и если на ее поверхности есть мелкие трещины, то они, попавшие внутрь контактной площадки, закрываются, а на периферии контактной площадки начинают образовываться и расти сначала в одной точке, а потом по всему периметру контактной площадки. Это окружные (касательные) пунктирные трещины (причина этих трещин – кольцо растягивающих напряжений на поверхности контакта (это первая стадия таких известных в машиностроении дефектов – питтинга)), которые объединившись, образуют коническую трещину Герца, а на материалах не

имеющих дефицита скольжения, это линии скольжения; они соединяясь в цепи, имеют вид спиралей или логарифмических линий скольжения.

В стекле, мраморе, граните мы получали разрушающие напряжения (максимальные), необходимые для образования КТГ (используя для расчетов (ANSYS)) только диаметры контактной площадки, КТГ и нагрузку на шарик $\varnothing 8$ мм и $\varnothing 10$ мм (шарик $\varnothing 5$ мм – завышает результаты и из теста твердости на Бринелль должен быть исключен). Индентеры $\varnothing 8$ и $\varnothing 10$ мм, показали, например для мрамора одинаковые растягивающие напряжения образования КТГ – 470 МПа.

По этим тестам можно определять K_{1C} для тех материалов, в которых возникает КТГ.

Одновременно, можно объяснить такое явление, как «эффект Кайзера», который заключается в том, что при повторном нагружении образца до уровня первоначального нагружения нет акустической эмиссии, она появится, когда превысим нагрузку первого опыта.

Это явление имеет простое объяснение, если представить, что в хрупких породах трещина – это банальный дверной шарнир, со своей точкой вращения (надо провести две прямые линии по берегам трещины, но если начнется пластическая деформация у вершины трещины, образуется ступенька, эта точка вращения передвинется вглубь, т.е. только для хрупких материалов точка вращения близко расположена или совпадает с вершиной трещины).

При росте угла у вершины трещины, например более 2° , начнется удлинение трещины с постоянным углом при вершине и «почти» без пластической деформации, идет расщепление новых блоков перед вершиной трещины, возникает акустический сигнал. Начиная разгрузку – нет реверсивной пластической деформации, нет акустической эмиссии, только ступенчатые «блоки» смыкаются, сжимаются, а новое нагружение – приведет к тому, что эти блоки в зоне вершины трещины просто вновь образуют угол 2° и никакой эмиссии не будет, пока не начнется процесс разрушения при достижении напряжений растяжения и сдвига (разрушение), т.е. необходимо поле критических деформаций, линий сдвигов, дробления материалов на криволинейные ортогональные блоки, их расщепление, дробление, но реверсивных сдвигов почти нет.

Индентирование слоистых материалов показывает, что система образующихся трещин имеет слоистый характер, т.е. в подслое можно выделить до 10 типов трещин, рис. б, их количество резко уменьшается, когда слоистый материал имеет возможность изгиба (т.е. чем жестче опора, тем больше количество трещин), или наличие смазки между слоями (масло или антифрикционные твердые материалы).

На 3^x -слойном образце поликарбоната ($t = 1,2$ мм) наблюдали разнообразные трещины, которые только на глубине, большей размера контактной площадки «заходят» в зону сжатия, т.е. условия трения в зоне сжатия под шаром легко ведет к образованию трещин типа «мозаика», рис. б ниже контактной площадки и параллельных ей. Эта мозаика (спаллинг) –

образуется в обоймах подшипников качения, рельсах, шестернях и т.д. в виде плоских подповерхностных трещин, которые устойчиво растут вдоль свободной поверхности. Результат действия этих мозаичных трещин – дробление мрамора, гранита под индентером, т.е. образование множества ортогональных трещин.

Выводы: контактное нагружение с разными углами приложения нагрузки и сил трения вблизи поверхности Земли приводит к подповерхностному накоплению упруго-пластической энергии (чем глубже очаг деформации, тем больше запас упругой энергии удастся накопить); в большом объеме, энергия находит путь прорыва на поверхность Земли, сначала в виде небольших локальных подъемов Земли, а потом происходят лавинные (ударные) процессы разгрузки вдоль поверхности и отчасти вверх, что мгновенно вспахивает и нарезает поверхность сначала в виде агрегатных блоков, трещин по полосам сдвигов, которые кажутся мелкими, поскольку берега трещин сомкнулись после разгрузки.

Когда очаг деформации имеет размеры куба со стороной 20 км, узкие плоскости сдвигов могут иметь длину несколько километров, ломая камни, по линиям сдвига (скольжения), легко перерезая большие объемы, поскольку при разгрузке волны напряжений снижают силы трения между разобщенными блоками, облегчается лавинный сдвиг, а грунт ведет себя как вязкая жидкость.

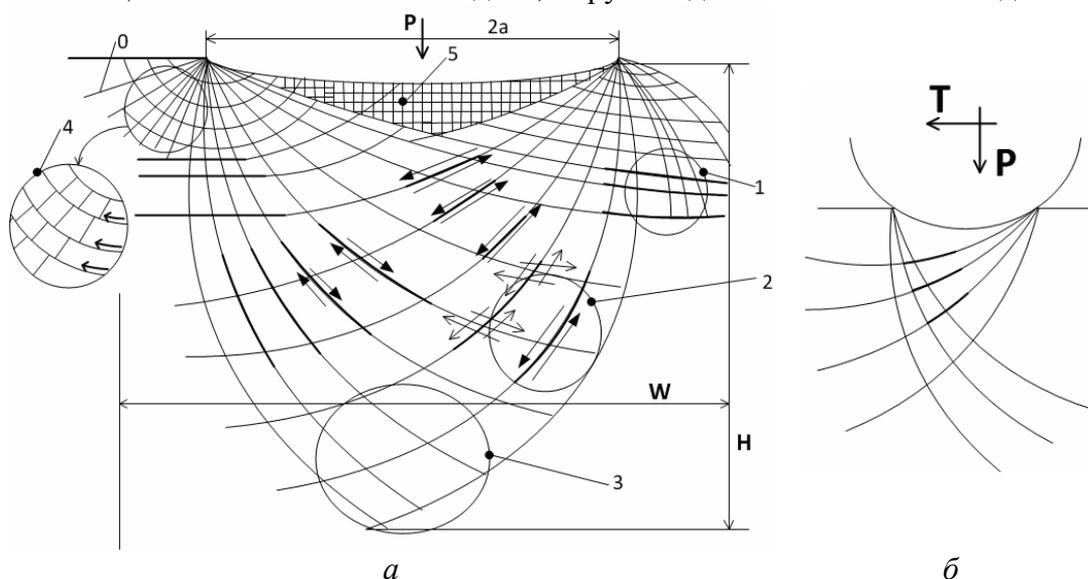


Рис. 1. Напряженное состояние в зоне деформации при внедрении шара: а) вертикальная сила P ; б) скольжение шара, без качения, силы P и T . 33D – зона затрудненной деформации, КТГ – коническая трещина Герца, W и H – ширина и глубина деформации. 1, 2, 3, 5 – зоны образования трещин, 4 – образование ступеней и трещин на линиях сдвига стрелочки – направление сил сдвига

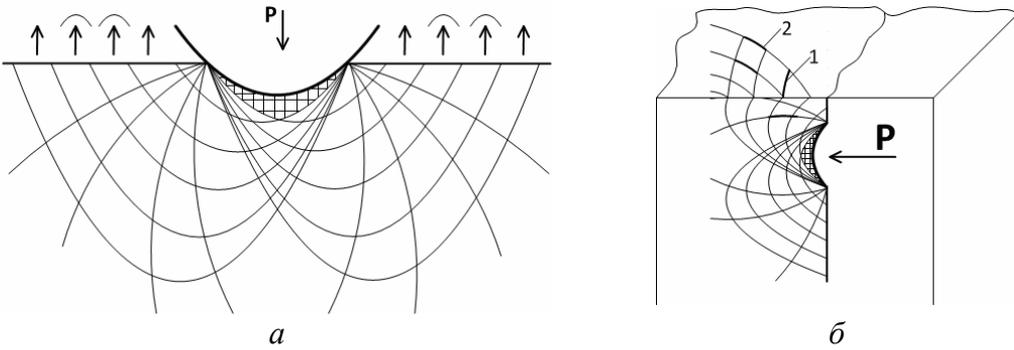


Рис. 2. Напряженное состояние в зоне деформации при внедрении круглого штампа: а) вертикальное внедрение и выдавливание материала на поверхность Земли; б) горизонтальное сжатие и выход линий сдвига на поверхность Земли

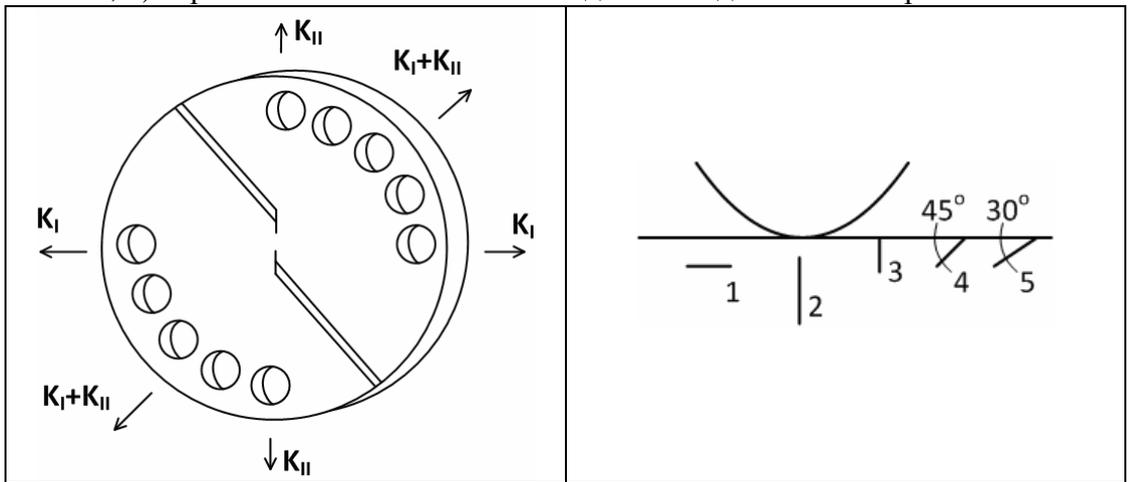


Рис. 3. а) дисковый образец для создания у вершины трещины сложного напряженного состояния. б) 5 типов трещин, возникающих при контактной пульсирующей нагрузке

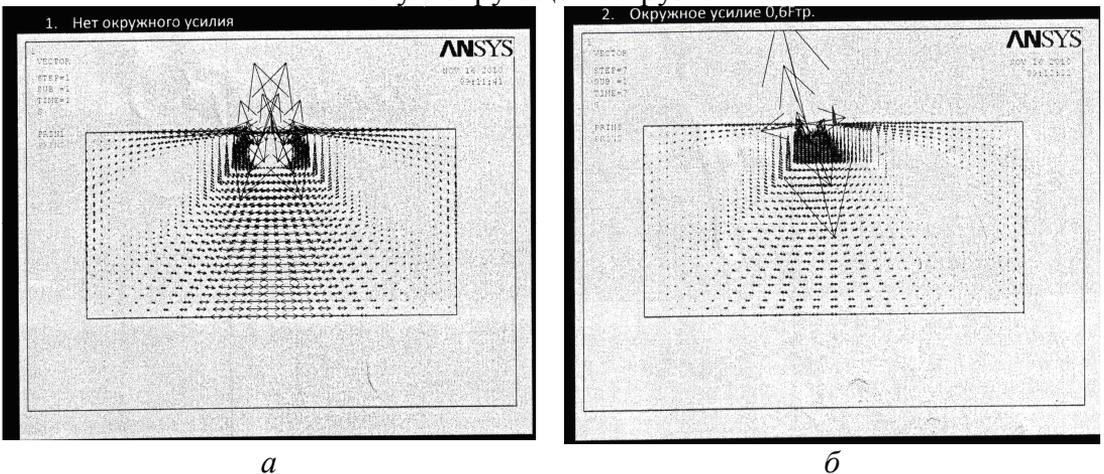


Рис. 4. Распределение главных максимальных напряжений. а) нормальное нагружение шариком $\varnothing 14$ мм. б) к шару $\varnothing 14$ мм приложено окружное усилие 0,6 силы трения

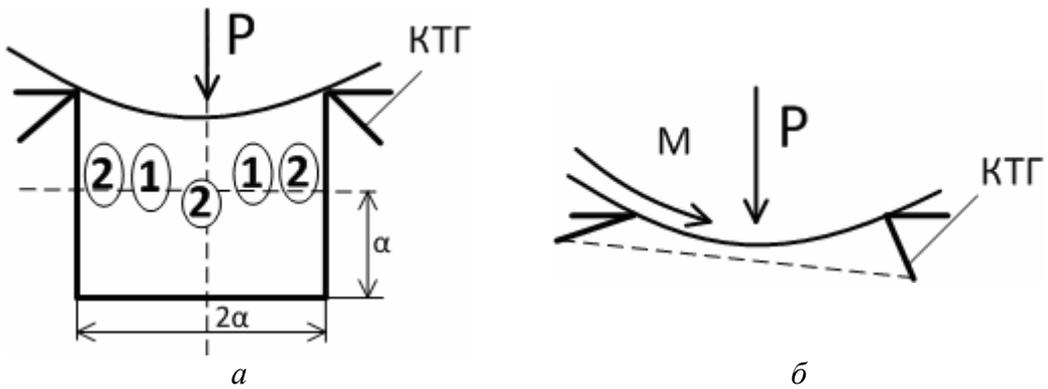


Рис. 5. Зоны с наибольшими напряжениями у вершины трещины: а) при нормальном нагружении: 1 – продольная, 2 – поперечная подповерхностная трещина; б) при качении, сдвиге (изменяется наклон конической трещины

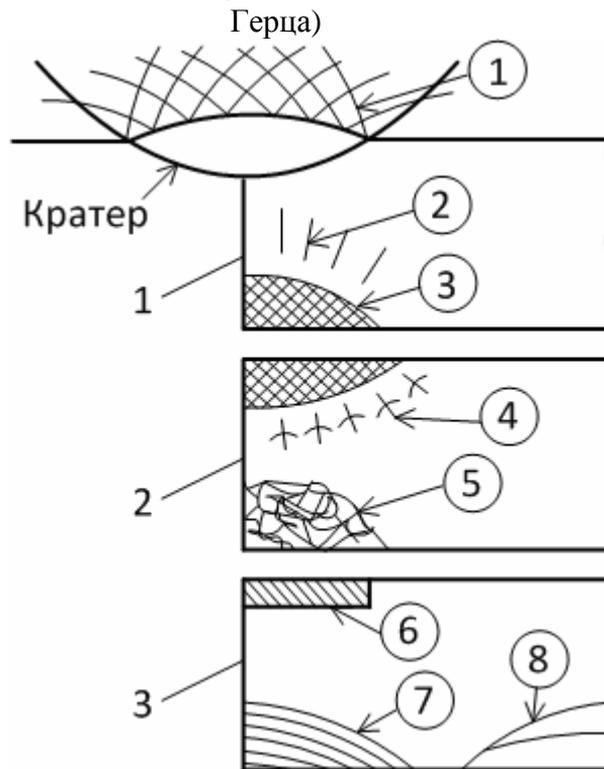


Рис. 6. Внедрение шара $\varnothing 10$ мм в 3 слоя ПК. Трещины: 1 – спирали сдвигов (трещины); 2 – радиальные; 3 – мозаика из трещин; 4 - ψ (пси-трещины); 5, 6 – апельсиновая корка; 7 – несколько кольцевых трещин; 8 – радиальные, очень длинные трещины

Выводы

1. Конвективные и циркуляционные потоки в полости Земли приводят к контактному перенапряжениям в местах разлома коры.

2. Контактные деформации ввиду клинообразности полос сдвига необратимы (неревверсивны) и способствуют накоплению энергии упруго-пластического сжатия, которая при разгрузке (взрывном старте) генерирует ударные волны, сдвиги в искривлённых ортогональных линиях, которые выходят на поверхность земли.

3. Объяснено явление образования деформационных перекрёстков и мелких трещин на поверхности земли при землетрясениях.

4. Объяснён механизм эффекта Кайзера.

5. Рассмотрены явления образования четырёх типов трещин при контактном нагружении: а) конические трещины Герца (КТГ); б) радиальные или поперечные трещины, образующиеся вдоль меридиональных полос сдвига (минирифтовые трещины); в) продольные подповерхностные трещины вблизи контактной площадки; г) трещины от продольных растягивающих деформаций (в условиях трёхстороннего сжатия), которые располагаются вертикально, на глубине, по линии максимального удельного давления.

6. Возможно, что локальные вертикальные выпучивания на поверхности земли являются указаниями на перенапряжения в этих площадках, поэтому надо проводить трёхмерные GPS-измерения с точностью 1 мм для изучения динамики процессов вблизи фокуса будущего землетрясения.

7. Скачкообразность сдвигов при контакте гранитных, базальтовых плит, возникающие при этом вибрации, высокие температуры на выступах, их разрушение и превращение остроугольных обломков в сферические, образование (из банальных веществ и газов) взрывов при деформационном перекачивании, наличие воды ведёт к горным ударам (снижаются силы трения).

Список литературы / References

1. Aki K, Richards P.G. Quantitative seismology. 2nd ed., Sansalito, Calif., University Science Book, 700 p.
2. Hanks T.C. Small eathquakes, tectonic forces, Science, 256, 1430-1432.
3. Sumy D.E., Cochran E.S. Observation of static conlonb stress triagrug. J.Geophys. Res. Solid Earth, 119, doi: 10,1002/2013jbo10612. 20 p.

Цвигун Владимир Нестерович – к.т.н., доцент	Tsvigun Vladimir Nesterovich – candidate of technical sciences, associate Professor
Койнов Роман Сергеевич – ведущий специалист по информатизации	Koinov Roman Sergeevich – leading specialist for information
Добрынин Алексей Сергеевич – старший преподаватель	Dobrynin Alexey Sergeevich – senior lecturer
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia

Received 23.03.2017