

Тяготение Земли — причина землетрясений

С. В. Мишин, А. А. Панфилов, И. М. Хасанов, 2019

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, Магадан, Россия
Поступила 2 октября 2018 г.

Зроблено спробу описати сейсмічні процеси засобами класичної механіки. Оцінено динамічні параметри землетрусів — енергію, імпульс, сили, що визначають рух мас.

Розглянуто модель процесу землетрусу, що включає дію тяжіння планети на розподіл мас гірських порід, що складають земну кору. В моделі земна кора — це комплекс геологічних тіл, упорядкованих дією тяжіння планети. Відмінності в щільності рівних обсягів матеріалу кори ізостазії приводить до формування гірських споруд, характерних для земної поверхні. В результаті руйнування опорної площини таких структур блок гірських порід зміщується вниз, набуваючи в процесі гальмування механічного імпульсу. На думку авторів, саме цей імпульс визначає магнітуду землетрусу.

Імпульс поширюється в суцільному середовищі у вигляді сейсмічного випромінювання. Фронт хвилі створює тиск на непорушене середовище, який визначає макропроцеси, вимірювані балами. Таким чином, параметрами землетрусу є маса (вага) блока гірських порід, магнітуда (механічний імпульс при ударі). Сейсмічне випромінювання — це поширення механічного імпульсу і тиск хвильового фронту (згасання імпульсу з часом), що визначає макроефекти землетрусу.

Для оцінювання значень динамічних параметрів процесу землетрусу (зміщення маси, механічного імпульсу, тиску хвильового фронту запропоновано номограму. Магнітуда сейсмічної події має розмірність механічного імпульсу, а бал (інтенсивність землетрусу) — розмірність тиску.

Номограма розділена на кілька частин. Перша частина дає змогу аналізувати джерело випромінювання — зв'язок випроміненого імпульсу з масою тіла і енергією процесу. Наступна частина номограми відображає щільність імпульсу на одиницю площі хвильового фронту, яка зменшується пропорційно квадрату відстані від джерела, що описує сферичне поширення сейсмічного випромінювання в ізотропному середовищі. Третя частина номограми оцінює значення середнього сейсмічного тиску фронту випромінювання. Остання частина номограми дає змогу оцінити емпіричні характеристики сейсмічної події. Встановлено зв'язок між шкалою сейсмічного тиску і нормативною шкалою сейсмічної інтенсивності MSK-64. Як приклад проаналізовано параметри Спітакського землетрусу від 7 грудня 1988 р.

Ключові слова: землетрус, сейсмічне випромінювання, вага, механічний імпульс, енергія.

Введение. Современные сейсмологи рассматривают три модели процесса землетрясения. Самой распространенной является гипотеза упругой отдачи, которая основывается на предположении, что в земных недрах накапливается упругая энергия, которая при определенных усло-

виях переходит в кинетическую энергию сейсмических волн [Аки, Ричардс, 1983; Костров, 1975]. Известна модель «подземной молнии», которая предполагает накопление статического электрического заряда, пробивающего диэлектрическую среду, создавая известные эффекты на поверх-

ности планеты [Воробьев, 1974]. Третья модель — удар при перемещении крупного блока горных пород во время разрушении опоры [Мишин, 2016], рассматривается в настоящей статье.

Авторы настоящей статьи отказались от модели упругой отдачи, так как не видят в земных недрах материалов, способных аккумулировать упругую энергию в необходимых количествах; самые мощные механизмы, работающие на принципе упругой отдачи (арбалеты) уступают по мощности небольшим обвалам горных пород. Кроме того, описание процессов по моделям упругой отдачи проводится для невесомой среды. «Подземная молния» должна сопровождаться мощным электрическим сигналом, однако эта модель пока мало разработана.

Строение земной коры. Действием тяготения планеты земные недра сложены химически связанными геологическими телами в виде равновесной структуры. Каждое тело опирается на другие тела и выдерживает вес лежащих выше объектов. Опорные площадки тел формируют каркас или скелет некоторого объема недр, который обеспечивает устойчивость конструкции. Средняя плотность этого объема обыкновенно меньше плотности образцов пород, складывающих его, из-за трещин и полостей, включенных в объем. На рис. 1, а приведен сейсмический разрез МОВ—ОГТ, полученный во время работ по глубинному сейсмическому зондированию профиля ЗДВ [Сальников и др., 2014]. Рисунок демонстрирует множество отражающих площадок, заполняющих недра участка. Отражающие площадки, по-видимому, связаны с границами геологических тел, трещинами и полостями, имеющимися в земных недрах. Сгущения отражающих площадок с учетом других геофизических данных интерпретируются в виде границ, разделяющих структуры земной коры (рис. 1, б). Наиболее четко выделяется обычно граница Мохоровичича — подошва земной коры.

Напряженное состояние земных недр определяется, главным образом, весом гео-

логических тел. На глубине 40 км весовое давление может превышать $120\,000\text{ т/м}^2$, да и на глубине 10 км эта величина около $30\,000\text{ т/м}^2$. Такие давления пока достигаются техническими средствами в редчайших случаях [Бриджмен, 1955, Дмитриев и др., 1969]. Кроме того, предполагается, что температура среды на глубине подошвы земной коры достигает $700\text{ }^\circ\text{C}$. При таких температурах прочность горных пород падает, но в условиях гидростатического давления материалы обычно упрочняются. Во всяком случае очевидно, что состояние пород, складывающих геологические тела на глубинах, характерных для очагов землетрясений, весьма специфичны, их нельзя надежно сравнивать с имеющимися техническими характеристиками, полученными в лаборатории.

Можно предположить, что граница Мохоро, наиболее надежно выделяемая на всех геофизических разрезах, соответствует практически полному разрушению геологических тел, формирующих недра. Земная кора «плавает» в стеклообразной или смолообразной массе, подкоровом субстрате. Вес каждого столба материалов, опирающихся на Мохоро и складывающих этот столб, может отличаться от веса других столбов за счет разной плотности материалов, а также количества полостей и трещин, разделяющих геологические тела. Эти различия в весе отдельных элементов среды определяют форму дневной поверхности участка — менее плотные структуры выделяются в виде возвышенностей на фоне долин, связанных с более плотными структурами.

Проведем мысленный эксперимент, следуя Х. Рамбергу [Рамберг, 1985], который моделировал тяготение с помощью центрифуги. Поместим в центрифугу тела разной плотности и формы и зададим достаточную скорость вращения. Центробежная сила, имитирующая тяготение, распределит массы подобно тяготению Земли. Внешний слой вещества окажется плотным, часть тел будет раздавлена, на внутренней поверхности, аналогичной дневной поверхности, будут «плавать» лег-

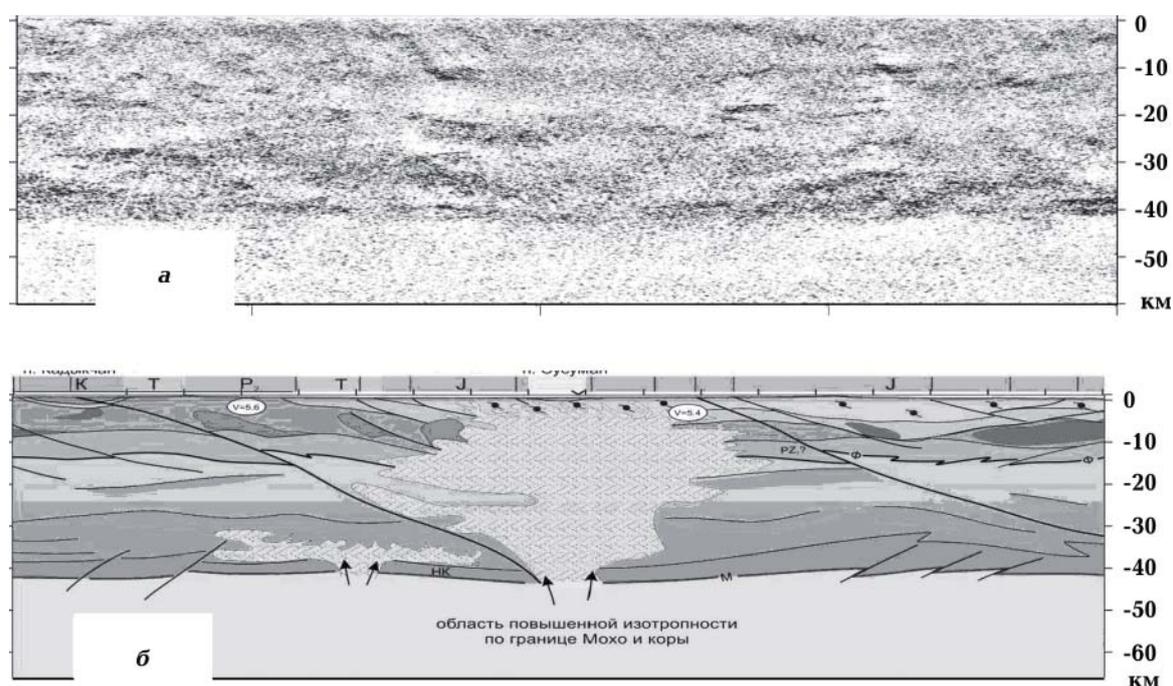


Рис. 1. Интерпретация геофизических данных участка профиля ГСЗ ЗДВ (Иньяли-Дебинский синклинорий): а — разрез МОВ—ОГТ; б — схема строения земной коры данного участка.

кие компоненты. В «разрезе» возможны инверсии плотности, т. е. существование тел меньшей плотности под более тяжелыми структурами. Однако вероятность существования крупных инверсионных тел мала, т.е. плотность материала с глубиной будет увеличиваться, что обычно и наблюдается в геофизических разрезах. В природе материал, по-видимому, распределяется подобным образом. Средняя плотность пород возрастает с глубиной, менее плотные структуры «плавают» в субстрате, формируя особенности рельефа дневной поверхности. Оптимальным распределением масс в поле тяготения является гидростатическое равновесие — массы должны располагаться слоями равной плотности с увеличением плотности с глубиной. Однако прочность химически связанных блоков горных пород мешает гидростатическому распределению. Массы горных пород распределяются в недрах в виде изостатического равновесия, которое изменяется в результате перемещения массивных элементов.

Модель обвального землетрясения. Сейсмоприемники регистрируют удары при торможении перемещающихся масс. Обвалы горных пород, происходящие на дневной поверхности, непременно сопровождаются более или менее интенсивными пакетами сейсмического излучения. Напротив, далеко не каждое землетрясение сопровождается обвалами или оползнями на дневной поверхности. Предполагается, что землетрясение есть удар при торможении смещающейся массы горных пород после того, как разрушится опорная площадка, удерживавшая блок в покое (в поле тяготения Земли). Энергия процесса определяется простым соотношением $E=Mg\Delta h$, где M — масса сместившегося блока, g — ускорение свободного падения, Δh — разность между первоначальным и конечным положением центра масс блока по вертикали. Потенциальная энергия E в процессе перемещения блока переходит в кинетическую, блок приобретает импульс $P=\sqrt{E \cdot 2 \cdot M}=M \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$. По мере торможения массы этот импульс отдается сре-

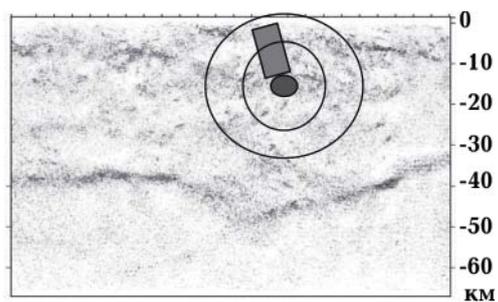


Рис. 2. Модель процесса землетрясения. Опорная площадка (красный кружок) разрушается, блок горных пород (оранжевый прямоугольник) перемещается, в результате удара генерируется сейсмическое излучение.

де в виде пакета сейсмического излучения [Мишин, 2016].

Процесс разрушения опорной площадки, по-видимому, локализован в небольшие по размерам области. Объем смещающегося блока и соответствующая масса определяются размерами и связями неустойчиво расположенных масс горных пород. В качестве предвестников сильного землетрясения можно рассматривать появление слабых толчков и акустического излучения из области разрушающейся площадки, т.е. на глубинах, соответствующих будущему очагу. Хорошо известны процессы просадки построенных зданий, в глубоких шахтах отмечаются горные удары. Это с нашей точки зрения процессы одного ряда. Рис. 2 иллюстрирует схему процесса землетрясения.

Сейсмическая активность — дискретный процесс, сопровождающий преобразования блоковой структуры земных недр. Землетрясение — удар при перемещении блока горных пород в новое положение.

Сейсмическое излучение. Сейсмические приборы, предназначенные для регистрации сотрясений от землетрясений и взрывов, позволяют фиксировать излучение, возбуждаемое самыми разнообразными источниками — движением транспорта, порывами ветра, шагами людей. Многие приборы, используемые в виброметрии для исследования сотрясений механизмов, полностью идентичны сейсмическим [Вибрации..., 1981]. Те физические

поля, которые формируются в источниках и воздействуют на сейсмические приборы, называем здесь сейсмическим излучением. Наиболее простым источником сейсмического излучения является механический удар по системе связанных масс, в которой и генерируется излучение.

С точки зрения динамики удар характеризуется тем, что количества движения соударяющихся тел приобретают конечные приращения в течение короткого времени. При ударе массивного тела о твердое полупространство это тело останавливается, отдавая свой импульс тормозящим связям — среде, в которой импульс и распространяется в виде сейсмического излучения (рис. 3). Приобретенный средой импульс распространяется в виде сферического слоя, увеличивающего радиус со скоростью сейсмических волн. Каждое изменение импульса массивного элемента есть ньютоновская сила, действующая на связи, удерживающие этот элемент в системе масс. Если массивное тело удерживается в системе масс достаточно сильными связями, элемент массы может приобретать и отдавать импульс, не изменяя своего положения в пространстве. Именно такая передача импульса лежит в основе распространения сейсмических волн.

Проведем мысленный эксперимент — разбивание камня молотком и зубилом. Очевидно, что разбивает камень не молоток — он даже не касается камня. Трещины в камне появляются вне зоны контакта зубила с образцом. Логично предположить, что камень разбивается сейсмическим излучением, сформированным при ударе молотка по обушку зубила. Пакет излучения распространяется по зубилу как проводнику излучения, и действует в материале камня, разрывая связи между частями тела. Обломки камня часто приобретают скорость, т.е. обладают количеством движения — механическим импульсом. Простые опыты по регистрации сейсмического излучения, возбуждаемого ударами и взрывами, показывают, что амплитуды регистрируемых сигналов определяются значениями импульса, переданного среде

[Мишин, 2013]. Удар должен иметь размерность давления. Таким образом, приходим к заключению, что магнитуда землетрясения — величина, характеризующая его интенсивность, должна иметь размерность импульса. Фронт волны действует на окружающую среду ньютоновской силой при передаче импульса от возбужденных частиц невозбужденным, т. е. балл макроскопической шкалы должен иметь размерность давления.

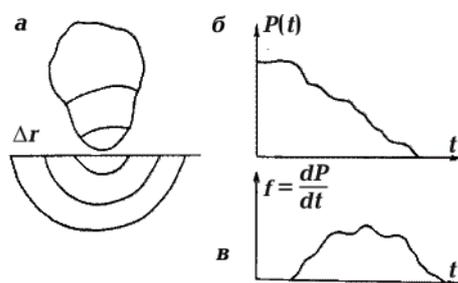


Рис. 3. Схема удара массивного тела по жесткому основанию: а — формирование излучения; б — изменение импульса тела; в — ньютоновские силы.

Характеристики процесса землетрясения по ударной модели. Пытаемся перейти от специфической сейсмологической терминологии к терминам механики, основываясь на экспериментальных результатах. Схема процесса землетрясения представляется простой: массивное тело, опирающееся на другие тела, в результате разрушения опоры перемещается под действием собственного веса. В процессе удара — торможения движения, тело отдает среде приобретенную кинетическую энергию и соответствующий механический импульс. Именно импульс формирует пакет сейсмического излучения, распространяющийся далее в пространстве. Импульс имеет две формы — поступательную (количество движения) и вращательную (момент количества движения), приобретаемую при поворотах тела. Пакет излучения распространяется со скоростью продольных P и поперечных S волн в виде шаровых слоев с увеличивающимися радиусами. На поверхности шарового слоя происходит

передача импульса невозбужденным частицам среды, при этом действуют ньютоновские силы $F=dP/dt$, которые определяют давление фронта волны.

Для наглядных грубых оценок динамических параметров процесса предлагаем номограмму, связывающую эти величины для сейсмического события [Мишин, 2013]. Такая номограмма представлена на рис. 4.

Левая часть номограммы позволяет анализировать источник излучения — связь излученного импульса с массой сместившегося тела и с энергией процесса. Соотношение между этими величинами уже рассматривалось: $P=\sqrt{2ME}$ или $P=M\sqrt{2gh}$. Масса M , энергия E и импульс P являются важнейшими понятиями механики, для которых известны законы сохранения, поэтому равенства выполняются при любых масштабах событий. Левая часть номограммы построена в соответствии с этим соотношением: проводя отрезок прямой через точки, выбранные на шкале M и на шкале E (или h), получим на шкале P значение импульса, излученного при ударе массы M (сместившейся с высоты h). Массы M приобретают кинетическую энергию за счет преобразования потенциальной энергии, которая к моменту начала процесса могла быть представленной гравитационной, химической, упругой или электромагнитной формой.

На номограмме построена дополнительная шкала h , использующая соотношение: $E=Mgh$, где E — энергия, M — масса, g — ускорение силы тяжести, h — высота падения массы. Пользуясь этой шкалой, можно определять значение отданного импульса, исходя из значений массы ударяющего тела и высоты его падения: $P=M\sqrt{gh}$. Ось P градуируем также в значениях магнитуды или энергетического класса — как указывалось выше, фундаментальная характеристика сейсмического события — величина импульса, излученного из источника.

Следующая часть номограммы — характеристика сферического расхождения сейсмического излучения. Плотность

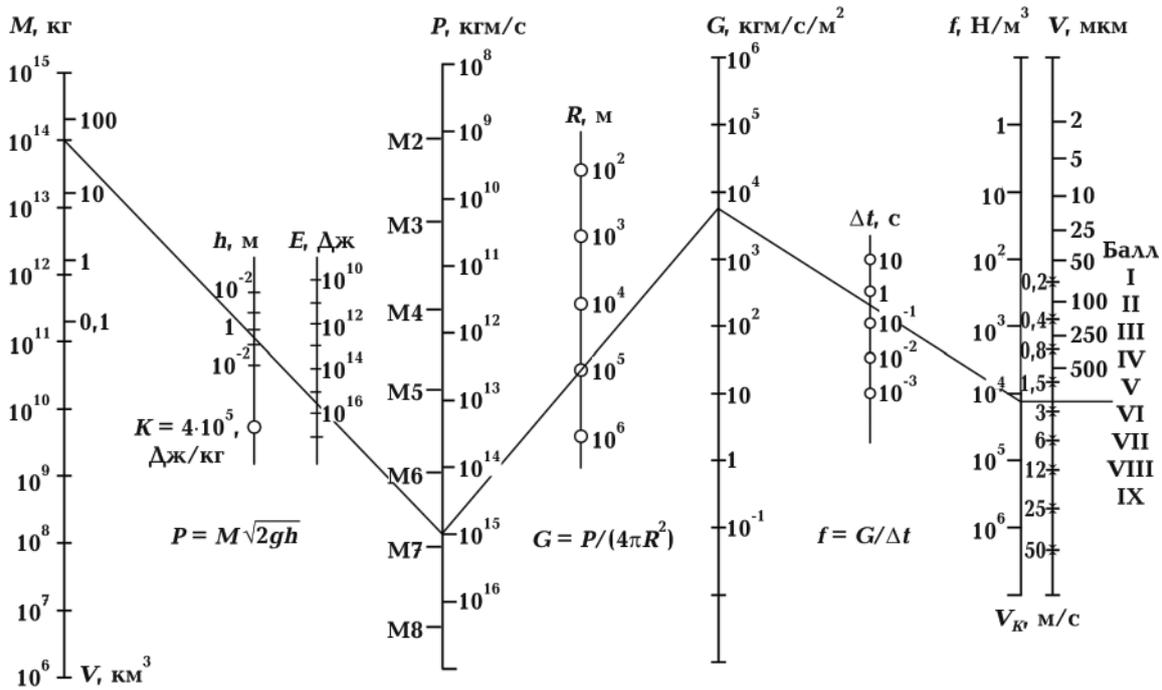


Рис. 4. Номограмма для оценки параметров процесса землетрясения.

импульса на единицу площади волнового фронта уменьшается пропорционально квадрату расстояния от источника: $G=P/4\pi R^2$. Это соотношение, вероятно, хорошо описывает распространение сейсмического излучения в изотропной среде. В случае удара неизбежно существование некоторой преимущественной направленности излучения, схемы изосейст землетрясений редко бывают круговыми. Будем надеяться, что наше представление о сферическом расхождении сигналов не внесет слишком больших ошибок в грубую схему процесса. Для того, чтобы получить значение плотности импульса на фронте излучения на расстоянии R от источника, проведем прямую через соответствующие значения на осях P и R : прямая отсечет на шкале G значение, соответствующее плотности импульса на фронте излучения на расстоянии R от источника.

Третья часть номограммы оценивает значение среднего сейсмического давления f фронта излучения как функцию продолжительности сейсмического сигнала, передающего импульс в сплошной среде.

Зависимость сейсмического давления от продолжительности сигнала Δt построена в номограмме в виде $f = G/\Delta t$. Продолжительность сигнала оценивается четвертью периода первого вступления — временем роста давления. Разумеется, реальные процессы могут вызывать другие давления, и такое приближение может оказаться неточным. Давление f , определенное по номограмме, соответствует среднему значению ньютоновской силы, действующей на 1 м^2 поверхности среды, удаленной на расстояние R от источника. Значение давления определяется пересечением со шкалой f прямой, проведенной из значения G на соответствующей шкале через значение Δt , выбранное на шкале продолжительности сигнала.

Таким образом, проводя три отрезка прямых, количественно оцениваем основные параметры сейсмического события: излученный импульс, плотность импульса на поверхности фронта излучения на выбранном расстоянии, сейсмическое давление фронта, если заданы другие параметры процесса: значение массы, тор-

мозащейся в источнике, энергии, которой обладала ударяющая масса, продолжительность процесса возбуждения. Эти части номограммы отражают физические соотношения между параметрами процесса.

Последние вертикальные оси номограммы позволяют оценить эмпирические характеристики сотрясения «среднего грунта», вызванные возбужденным излучением. Для установления связи между шкалой сейсмического давления и нормативной шкалой сейсмической интенсивности MSK-64 были использованы оценки колебательной скорости при промышленных взрывах [Справочник..., 1974].

Для оценки параметров процесса Спитакского землетрясения 1988 г. воспользуемся значением магнитуды события $M \approx 6,8$. Такая магнитуда соответствует значению переданного в среду импульса $P \approx 10^{15}$ кгм/с. На одном из участков Спитакского разлома образовался уступ высотой 2 м со смещением по горизонтали тоже на 2 м [Певнев, 2003]. Предположим, что масса блока сместилась по высоте на 2 м. Тогда эта масса приближается к 10^{14} кг, а объем блока около 80 км^3 . Приобретенный при торможении блока импульс на расстоянии 100 км определит плотность импульса около 10^4 кгм/с/м². Разделив эту величину на продолжительность сигнала, получим среднее значение давления фронта продольной волны. Среднее значение периода колебаний в продольной волне по [Кондорская и др., 1991] составляет 1,7 с, т. е. $\Delta t \approx 0,4$ с. Тогда среднее давление $f \approx 2,5 \cdot 10^4$ Н/м², что соответствует 5—6 баллам по шкале MSK-64.

Таким образом, согласно нашей модели Спитакское землетрясение явилось результатом удара при перемещении блока горных пород объемом около 80 км^3 на 2 м по вертикали; на расстоянии 100 км от очага ньютоновские силы создали давление $2,5 \cdot 10^4$ Н/м², это привело к сотрясению объектов в 5—6 баллов. Это хорошо согласуется с данными, приведенными в статье [Гедакян и др., 1991]. Разброс значений положения гипоцентра вероятно связан с тем обстоятельством, что очаг отличается

от точки — это вступления от ближайших к ним точек этого протяженного очага.

Сейсмические процессы. Основа современной теоретической сейсмологии — гипотеза упругой отдачи — вызывала и вызывает серьезное недоверие у многих сейсмологов. Г. П. Горшков отмечал: «...отсутствие законченной теории физических процессов, связанных с возникновением землетрясений, я бы сказал больше: наличие широко распространенной, но необоснованной гипотезы, лежащей в основе многих современных исследований в области сейсмологии, тормозит работу, уводит ее в сторону ложных путей и не приводит и не может привести к положительным результатам» [Горшков, 1984]. В настоящей статье предлагается концепция механики сейсмических процессов, свободная от упругой отдачи и согласованная с классической ньютоновской механикой [Мишин, 2013; Мишин, Хасанов, 2015]. Основное содержание этой концепции сводится к следующему.

1. Сейсмическое излучение представляет собой распространение в материальной среде механического импульса. В источнике излучения происходит переход потенциальной энергии (гравитационной, химической, электромагнитной, упругой) в кинетическую энергию движущихся масс. Массы приобретают импульс и передают его в пространство по законам механики удара.

2. Сотрясения материальных систем представляют собой механическое движение связанных масс, которое определяется действием ньютоновских сил, вызванных изменениями импульса, принесенного сейсмическим излучением.

3. Землетрясение есть природный источник сейсмического излучения, связанный с перемещением блока горных пород. Неуравновешенный гидростатически блок в период подготовки толчка взаимодействует с прочностью контактной зоны, в результате чего породы на контакте разрушаются, блок в поле тяготения Земли приходит в движение, приобретая кинетическую энергию и, следовательно, механический импульс. При ударе, вызванном

торможением движения, блок отдает среде приобретенный импульс.

4. Сейсмическая активность участка территории сопровождается преобразованием рельефа участка — перемещения массивных блоков в процессе выравнивания поля веса — наиболее значимого силового поля, действующего на горные породы, складывающиеся земные недра.

Если считать верным любое из этих определений, то остальные три определения логически вытекают из принятого за истину.

Заключение. Результаты работ по методу отраженных волн определенно указывают на дискретный характер распределения масс в земных недрах. Тяготение планеты формирует сложную конструкцию

блоков разной формы и состава, которая удерживается в равновесии за счет каркаса, выдерживающего весовую нагрузку вышележащих масс. Действие внешних процессов — влагонасыщенности, температурных полей, химических реакций — приводит к ослаблению связей элементов среды, отдельные опорные площадки разрушаются, что приводит к перемещению блоков горных пород. Такие перемещения в приповерхностных зонах наблюдаются в виде обвалов и оползней, в глубоких шахтах происходят горные удары, а перемещения блоков на больших глубинах регистрируются как землетрясения. Все эти процессы следует относить к процессам выравнивания в поле тяготения Земли.

Список литературы

- Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Москва: Мир, 1983. 364 с.
- Бриджмен П. Исследования больших пластических деформаций и разрыва. Москва: Из-во иностр. лит., 1955. 444 с.
- Вибрации в технике. Справочник в 6 томах. Т. 5. Измерения и испытания. Под ред. М. Д. Генкина. Москва: Машиностроение, 1981. 496 с.
- Воробьев А. А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. В 2-х томах. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1974.
- Гедакян Э. Г., Голинский Г. Л., Папалашвили В. Г. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Карты изосейст. В кн.: *Землетрясения в СССР в 1988 году*. Москва: Наука, 1991. С. 74—86.
- Горшков Г. П. Региональная сеймотектоника территории юга СССР. Альпийский пояс. Москва: Наука, 1984. 272 с.
- Дмитриев А. П., Кузьяев Л. С., Протасов Ю. И., Ямщиков В. С. Физические свойства горных пород при высоких температурах. Москва: Недра, 1969. 160 с.
- Кондорская Н. В., Вандышева Н. В., Захарова А. И. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Инструментальные данные. В кн.: *Землетрясения в СССР в 1988 году*. Москва: Наука, 1991. С. 60—74.
- Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения. Москва: Наука, 1975. 172 с.
- Мишин С. В. Об экспериментах в сейсмологии. *Согружество*. 2016. № 3. Часть 2. С. 105—109.
- Мишин С. В. О физике сейсмических процессов. Эксперименты и модели. Lambert Academic Publishing, 2013. 196 с.
- Мишин С. В., Хасанов И. М. О физике сейсмических процессов. *Геофизика*. 2015. № 4. С. 73—80.
- Певнев А. К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. Москва: ГЕОС, 2003. 152 с.
- Рамберг Х. Сила тяжести и деформации в земной коре. Москва: Недра, 1985. 399 с.
- Сальников А. С., Старосельцев В. С., Соболев П. Н. Отчет о результатах работ по объекту «Создание опорного геолого-геофизического профиля 3 ДВ (Северо-Восточный участок)». Росгеолфонд ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу, 2014.
- Справочник по инженерной геологии. Под ред. М. В. Чуринова. Москва: Недра, 1974. 408 с.

Earth's gravity — the reason of earthquakes

S. V. Mishin, A. A. Panfilov, I. M. Hasanov, 2019

In the paper, an attempt has been made to describe seismic processes by means of classical mechanics. Dynamic parameters such as energy, impulse, and forces that determine the movement of masses are estimated.

An earthquake model is regarded with consideration of the Earth gravity field influence on distribution of masses composing the Earth crust. The Earth crust is considered as a complex of geological bodies which is ordered by the planets gravity field. Due to isostasy the difference in density of the equal matter volumes leads to formation of mountain structures specific for the surface. When a base of such structures collapses a rock block shifts down and acquires mechanical impulse. Authors assume that this acquired mechanical impulse determines the earthquake's magnitude.

Impulse propagates in medium as a seismic wave. Front of the wave generates pressure effected on an environment that is not active yet. It determines macro-processes of the earthquake measured as earthquake intensity. Authors consider mass (weight) of a rocks block, magnitude (mechanical impulse acquired during an impact), seismic emission, which is a distribution of a momentum and a pressure of wave front (product of impulse by time), as parameters of a seismic process. To estimate dynamic parameters of earthquake processes, such as shifted mass, mechanical impulse, pressure of wave front, a nomogram is presented. Magnitude of a seismic event has dimension of a mechanical impulse, seismic intensity (earthquake intensity) has a dimension of pressure. Nomogram consists of several parts. The first one, allows analyzing the source of the emission. It shows the relation between emitted momentum, mass of a shifted body and energy. The next part of the nomogram represents momentum density per unit of area of the wavefront, which decreases in proportion to the square of a distance from the source. It characterizes the spherical propagation of seismic radiation in an isotropic medium. The third part of the nomogram helps to estimate the value of an average seismic pressure of the wavefront. The last part of the nomogram allows rating the empirical characteristics of a seismic event. A relation between a scale of seismic pressure and standardized scale of seismic intensity MSK-64 is established. As an example a Spitaka earthquake, December 7th, 1988, was analyzed.

Key words: earthquake, seismic radiation, weight, momentum, energy.

References

- Aki, K., & Richards, P. (1983). *Quantitative Seismology*. Moscow: Mir, 336 p. (in Russian).
- Bridgman, P. (1955). *Studies of large plastic deformations and fracture*. Moscow: Foreign Literature Publ. House, 444 p. (in Russian).
- Genkin, M. D. (Ed.). (1981). *Vibration in technology. Handbook in 6 volumes. Vol. 5. Measurements and tests*. Moscow: Mashinostroyeniye, 496 p. (in Russian).
- Vorobiev, A. A. (1974). *Physical conditions of occurrence of deep matter and seismic phenomena*. In 2 volumes. Tomsk: Publ. House of Tomsk State University (in Russian).
- Gedakyan, E. G., Golinskiy, G. L., & Papalashvili, V. G. (1991). *Spitak earthquake of December 7, 1988. Isoleist maps*. In *Earthquakes in the USSR in 1988* (pp. 74—86). Moscow: Nauka (in Russian).
- Gorshkov, G. P. (1984). *Regional seismotectonics of the south of the USSR. Alpine belt*. Moscow: Nauka, 272 p. (in Russian).
- Dmitriev, A. P., Kuzyaev, L. S., Protasov, Yu. I., & Yamshchikov, V. S. (1969). *Physical properties of rocks at high temperatures*. Moscow: Nedra, 160 p. (in Russian).
- Kondorskaya, N. V., Vandysheva, N. V., & Zakharova, A. I. Spitak earthquake of December 7, 1988. Instrumental data. In *Earthquakes in the USSR in 1988* (pp. 60—74). Moscow: Nauka (in Russian).

- Kostrov, B. V. (1975). *The mechanics of the source of a tectonic earthquake*. Moscow: Nauka, 172 p. (in Russian).
- Mishin, S. V. (2016). About experiments in seismology. *Sodruzhestvo*, (3), 105—109 (in Russian).
- Mishin, S. V. (2013). *About the physics of seismic processes. Experiments and models*. Lambert Academic Publishing, 196 p. (in Russian).
- Mishin, S. V., & Khasanov, I. M. (2015). About the physics of seismic processes. *Geofizika*, (4), 73—80 (in Russian).
- Pevnev, A. K. (2003). *Ways to practical earthquake prediction*. Moscow: GEOS, 152 p. (in Russian).
- Ramberg, H. (1985). *Gravity and strain in the earth's crust*. Moscow: Nedra, 399 p. (in Russian).
- Salnikov, A. S., Staroseltsev, V. S., & Sobolev, P. N. (2014). Report on the results of work on the object «Creation of a reference geological and geophysical profile 3 Far East (North-Eastern section)». Rosgeolfond TFGI in the Far Eastern Federal District (in Russian).
- Churinov, M. V. (Ed.). (1974). *Handbook of engineering geology*. Moscow: Nedra, 408 p. (in Russian).