

DOI: 10.18454/2079-6641-2016-14-3-64-71

ФИЗИКА

УДК 550.3

УДАРНАЯ ВОЛНА В ИОНОСФЕРЕ В МОМЕНТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В. В. Кузнецов

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684000, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: vvkuz38@mail.ru

Предлагается принципиально новая модель образования ударной акустической волны (УАВ) в атмосфере и ионосфере.

Ключевые слова: ионосфера, землетрясение, ударная волна, квантовая запутанность.

© Кузнецов В. В., 2016

PHYSICS

PACS 94.20.W

SHOCK WAVE IN IONOSPHERE DURING EARTHQUAKE

V. V. Kuznetsov

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684000,
Kamchatskiy kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

E-mail: vvkuz38@mail.ru

Fundamentally new model of the shock wave (SW) generation in atmosphere and ionosphere during earthquake is proposed. The model proceeds from the idea of cooperative shock water crystallization in a cloud

Key words: ionosphere, earthquake, shock wave, quantum effects.

© V. V. Kuznetsov, 2016

Введение

В течение последних 25 лет автором разрабатывается принципиально новая ударно-волновая модель землетрясения [1]. На конференции в ИКИРе в 2004 г. я ознакомил с этой моделью профессора Э.Л. Афраймовича из Иркутска. Ему понравилась моя идея, и в ответ он познакомил меня со своими работами [2] по УАВ в ионосфере, обнаруженных по анализу сигналов полного электронного содержания (ПЭС), полученных с GPS- датчиков (рис. 1). Позже, когда я ознакомился с этими работами подробнее, меня категорически не устроила интерпретация обнаруженного группой Афраймовича эффекта возникновения УАВ в ионосфере.

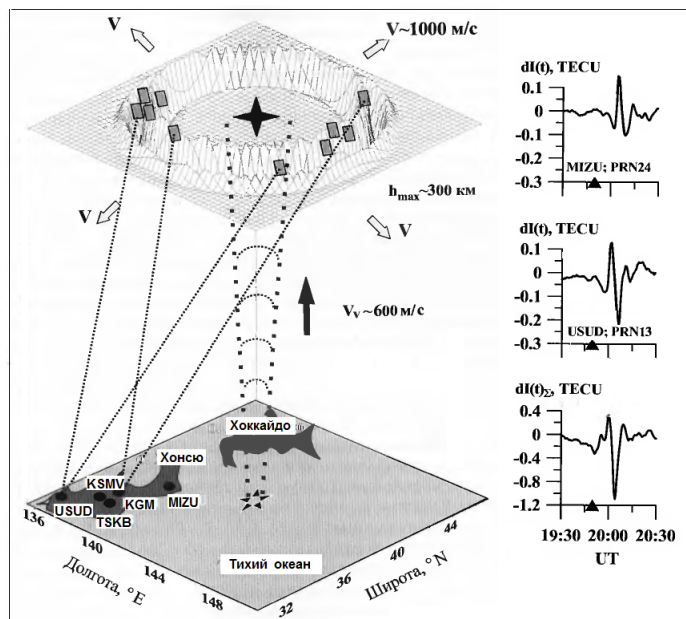


Рис. 1. Схема генерации и детектирования УАВ во время землетрясения 25.09.2003 в Японии. Звездочка – эпицентр землетрясения, крестик – вторичный источник, точки – станции GPS, прямоугольники – ионосферные точки. Справа – вариации ПЭС во время землетрясения у о. Хоккайдо 25.09.2003 [2].

Что же известно о механизме формирования ионосферных возмущений, связанных с сейсмоактивностью? В книге [2] утверждается, что такие механизмы «пока не ясны» (с. 338). В наше время подход к решению этой проблемы состоит в замене зоны землетрясения точечным источником [2-4]. Точечный подземный источник генерирует сферическую упругую волну в горной породе. Её появление на поверхности земли можно сравнить с сильным ударом, в результате которого участки породы последовательно приподнимаются и затем возвращаются в первоначальное местоположение. Это сопровождается возбуждением в атмосфере акустической волны. Ширина «диаграммы направленности» акустического сигнала, распространяющегося от возмущенной земной поверхности очень узкая [4]. Таким образом, на ионосферные высоты волновое акустическое возмущение проникает в узком секторе зенитных углов, и источник ионосферного отклика служит не сам эпицентр, а область в ионосфере над ним. Такая модель ионосферных возмущений обосновывается, например, в [3].

Надо сказать, что результаты многих наблюдений сильных движений грунта в момент землетрясения известны, также известны результаты экспериментов по ге-

нерации ударных волн в различных средах. Скорости вертикальных перемещений грунта в момент очень сильных землетрясений оказываются значительно меньше скорости звука в воздухе. Этот факт «отсекает» идею генерации УАВ таким способом. В качестве примера мы ниже рассмотрим сильные движения при регистрации Нортриджского землетрясения.

Тем не менее, наблюдения поведения волн электронной плотности в ионосфере (рис.1) однозначно говорят о том, что мы имеем дело именно с УАВ. Эта задача требует развития принципиально новых подходов.

К сожалению, я занялся решением этой проблемы слишком поздно (2014) и не мог сообщить о полученных результатах автору, т.к. Эдуард Леонтьевич к этому времени скончался (2009). Статью я посвящаю светлой памяти профессора Э.Л. Афраймовича.

Наша модель

Сильные движения грунта в момент Нортриджского землетрясения (магнитуда 6.7, 17 января 1994 г.) - одно из наиболее изученных. Оно произошло вблизи Голливуда, пригорода Лос Анжелеса, в сейсмоопасном и густонаселенном районе, где сосредоточено наибольшее количество сейсмической измерительной аппаратуры [5]. Особую ценность, на наш взгляд, представляют собой результаты измерения трех компонент сильных движений на специально оборудованном полигоне Van Norman Complex [6], а так же результаты исследования величины и направления подвижек в очаге землетрясения.

На этом полигоне были зарегистрированы величины вертикальных и горизонтальных амплитуд и скоростей перемещений грунта. Амплитуды горизонтальных перемещений и скоростей больше, чем вертикальных, примерно в 2 – 3 раза, при этом амплитуда вертикальных колебаний порядка $h \approx 10 - 20$ см. Максимальная скорость горизонтальных движений грунта достигает 177 см/с, средняя скорость вертикальных, - 10 – 20 см/с. Максимальная амплитуда горизонтальных движений - до 40 см. Условная длина волны вертикальных колебаний $\lambda \approx$ не более 50 см. В момент толчка произошло поднятие грунта на высоту ≈ 50 см.

Наблюдение ударных волн в ионосфере в момент землетрясения

В работах группы Афраймовича была оценена высота h предполагаемого источника ($h \approx 300$ км). Источником ионосферного возмущения во время землетрясения являлся не эпицентр, а область расположенная на высоте F_2 слоя ионосферы над эпицентром. Вторичный источник «включается» через 8-9 минут после главного толчка. Вычисленная скорость распространения сигнала в атмосфере при этом оказывается порядка 600 м/с, что примерно вдвое больше принятой величины скорости звука. Легко показать, что эта модель ошибочна.

Наша модель призвана объяснить возможность проявления квантовой связанности (запутанности, сцепленности) между процессами, происходящим в литосфере и атмосфере. В качестве элемента сцепленности могут быть, например, использованы протоны водородных связей, присутствующих как в воде, но и во многих геологических средах, например, в калисините.

Образование УВ в литосфере

Обратимся к экспериментам по сжатию калисинита – минерала гидрокарбоната калия (KHCO_3). Этот минерал давно изучается как объект, обладающий водородными связями, в которых проявляются свойства квантовой запутанности. Сжатие калисинита приводит к резкой, одновременной по всему объему образца, перестройке структуры водородных связей (рис.2), что вызывает изменение его удельного объема (т.е. плотности) и, соответственно, (согласно нашей модели) генерацию ударной волны.

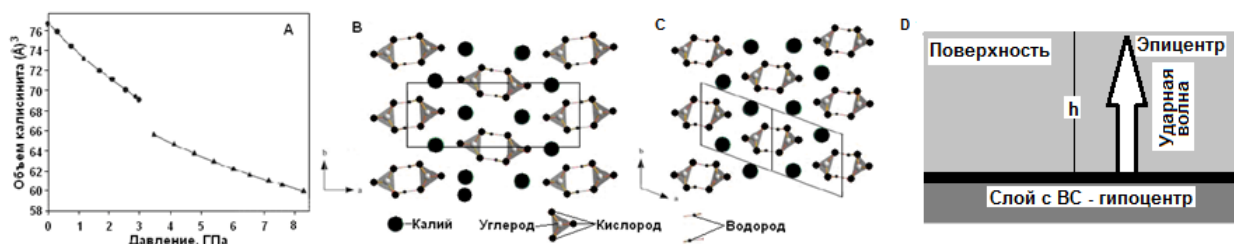


Рис. 2. Изменение удельного объема ($M V=V = 43.2$ ГПа – А, изменение пространственной структуры калисинита - В, С. [7]. Формирование ударной волны в слое литосферы с водородными связями - D.

Аналогичные результаты получены и на других образцах горных пород, в составе которых находятся атомы водорода и кислорода (азота, фтора и др.). Как отмечалось авторами многих исследований, такие перестройки водородных связей происходят мгновенно в больших объемах, именно эта особенность и названа их кооперативностью.

Водородная связь - особый вид связи, возникающий за счет того, что атом водорода, связанный с сильно электроотрицательным элементом (азотом, кислородом, фтором и др.), испытывает недостаток электронов и поэтому способен взаимодействовать с неподеленной парой электронов другого электроотрицательного атома этой же или другой молекулы. Наличие водородных связей и их кооперативные свойства, в частности, в воде приводит к тому, что её свойства изменяются в зависимости от количества водородных связей. Так, например, во льду водородных связей много, их количество уменьшается по мере того, как лед тает. В талой воде водородных связей – меньше, ещё меньше их в нагретой воде и практически нет – в воде кипящей. Если бы вода полностью лишилась возможности образовывать водородные связи, то превратилась бы в пар, конденсирующийся в жидкость при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Водородные связи присутствуют не только в воде, но и в литосфере, определяя её особые свойства. Природа водородной связи состоит в том, что электронная плотность на линии $\text{H}\dots\text{O}$ (N, F и т.п.) смещается к отрицательному атому. Это способствует сближению электронов отрицательных атомов соседних молекул. В результате расстояния $\text{O} - \text{O}$, $\text{O} - \text{N}$ и т.п. становятся значительно меньше чем они были бы без атома H.

Энергия землетрясения определяется энергией, необходимой для операции сжатия калисинита, показанного на рис 2-А. Внешнее давление $p = 3$ ГПа приводит к изменению объема среды (ΔV) примерно на 5%, что составляет около 100 Дж см^{-3} . На рис. 2-В и С изображен т.н. структурный фазовый переход типа «упорядочение

– разупорядочение». В этой работе приведены величины энтальпий таких переходов для широкого спектра кристаллов. Можно принять, что при переходе выделяется (поглощается) энергия порядка 0.5 эВ на одну связь (1 эВ (10^{-19} Дж)). Рассмотрим, насколько энергия, выделяющаяся при разрушении (излома, поворота и пр.) водородной связи, согласована с оценкой, полученной из соотношения $E = p\Delta V$.

Наличие водородных связей у минералов, находящихся под внешним давлением, может обеспечить необходимую для генерации ударной волны энергию.

Квантовая сцепленность (запутанность) как новое перспективное научное направление журналом «Наука в фокусе» (по материалам BBC Science Focus, №22, 2014) включено в список «20 ВЕЛИКИХ ИДЕЙ». Наука не может существовать без потрясений и исследовательского азарта. В любое время её питают Великие Идеи. Часть из них ошибочны, другие приводят к новым прорывам. Разработка таких идей и попытки их опровергнуть двигают науку вперед. Побочным результатом становятся достижения в технике и появление новых отраслей науки . . . Среди этих 20-ти идея 6 – квантовая запутанность.

О том, что это совсем новое веяние в физике, говорит хотя бы то, что у него нет устоявшегося русского названия. По-английски все однозначно: Quantum Entanglement. А вот по-русски . . . Квантовая нелокальность, квантовая сцепленность, запутанные квантовые состояния . . . Кажется, постепенно побеждает термин «квантовая запутанность».

Именно квантовое запутывание лежит в основе таких прорывных направлений, как квантовая телепортация, квантовый компьютер и квантовая криптография.

В нашей модели землетрясения ударная волна возникает при декогеренции квантовой системы. При этом система теряет свои квантовые свойства и приобретает свойства классические, такие как кристаллизация и другие фазовые переходы, в результате при быстром переходе возникает ударная волна. Особенности декогеренции приводят к проявлению новых свойств системы, например таких, как возникновение афтершоков, телепортация протонов и пр.

Квантовая декогеренция квантовой системы (КС) происходит каждый раз, когда её состояние запутывается с состоянием ее окружения, так что информация о состоянии системы "записывается" в состоянии ее окружения. Д - физический процесс, который сопровождается уменьшением квантовой запутанности (потерей когерентности квантовых суперпозиций) в результате взаимодействия КС с окружением. Она сопровождается появлением у КС классических черт, соответствующих информации, записанной в окружении. Это можно описать как образование квантовых корреляций (или запутывание, entanglement) между системой и ее окружением, возникающих в процессе их взаимодействия. Д, обусловленная взаимодействием КС с ее окружением, разрушает квантовые эффекты, превращая их в классические. Из-за этого взаимодействия происходит «перепутывание» состояний системы с таким большим количеством состояний окружающей среды, что когерентные эффекты «теряются» при происходящем усреднении и становятся ненаблюдаемыми.

В природе мы имеем дело с открытыми системами. В них из-за записи в окружении информации о состоянии системы, происходящей в ходе взаимодействия - суперпозиционные состояния переходят в смешанные. Возможны и обратные переходы, от смешанных (классических) состояний к чисто квантовым. Этот процесс обретения системой квантовых свойств при прекращении или ослаблении взаимодействия с окружением называется рекогеренцией. Для рекогеренции системы в

квантовое состояние ничего «особенного» не нужно — необходимо лишь прекращение или ослабление обмена информацией с окружением.

Необходимо учитывать, что результаты измерений в квантовой механике носят принципиально вероятностный характер, а также то, что теорема клонирования квантового состояния запрещает статистическую проверку запутанных состояний. Это замечание относится, в большой степени, к оценке возможностей прогноза землетрясения.

Квантовая телепортация (КТ), по определению, – это передача квантового состояния (КС) на любое, сколь угодно большое расстояние при помощи разъединенной в пространстве сцепленной пары (пара, находящаяся в состоянии квантовой запутанности) и канала связи. Заметим, что выделить канал связи далеко не всегда удается. Например, в случае передачи КС протонов ВС переохлажденной воды циклона в Карском море протонам ВС камфары штормгласса в Новосибирске [8]. Другой пример, телепортация квантового состояния землетрясения на Суматре в 2004 в Италию где было обнаружено характерное для землетрясений изменение атмосферного электрического поля [9]. Примеров сверхбыстрой связи землетрясений, находящихся на огромных расстояниях, сравнимых с земным радиусом, - очень много. Единственной причиной таких связей может быть только квантовая телепортация. По всей видимости, именно квантовая телепортация может быть причиной возникновения насыщенной водой в атмосфере частиц высокой энергии, спрайтов, джетов и т.п. Кстати, в этом случае канал (как канал молнии) - легко выделяется.

Квантовая природа афтершоков как и временная последовательность землетрясений — закон Гутенберга-Рихтера и фликкер-шум. Проведенные в последние годы исследования квантовой сцепленности показали, что фликкер-шум присущ многочастичным квантово запутанным (сцепленным) системам. Отсюда следует, что природа землетрясений, в том числе и афтершоков – квантовая.

Если условия в квантовой системе позволяют произойти полной декогеренции, система вся преобразуется в ударную волну. Если происходит частичная декогеренция, то после образования первой ударной волны может возникнуть вторая УВ, третья и т.д. Иначе, образуются афтершоки.

Что такое УАВ? В Интернете приведены любопытные кадры испытания макета ударно-акустической «пушки». Генерируемая в этом устройстве УАВ приводит к разрушению специально построенных макетов (муляжей) строений, расположенных на расстоянии в нескольких десятках метрах от пушки. В камере пушки происходит генерация УАВ при объемной детонации взрывчатого вещества, находящегося в виде аэрозолей. Из «ствола» пушки во время «выстрела» ничего не выбрасывается, только излучается ударная волна, которая и производит эффект разрушения. Эти эксперименты можно считать механистической моделью рассматриваемого нами природного явления генерации акустической ударной волны. Роль детонации, в нашем случае, исполняет ударная кристаллизация переохлажденной воды в облаке.

Ударная кристаллизация и образование УАВ

Наша модель УАВ, как альтернатива общепринятой, представлена на рис. 3.

Модель базируется на экспериментальных и теоретических результатах исследований ударной кристаллизации переохлажденной воды.

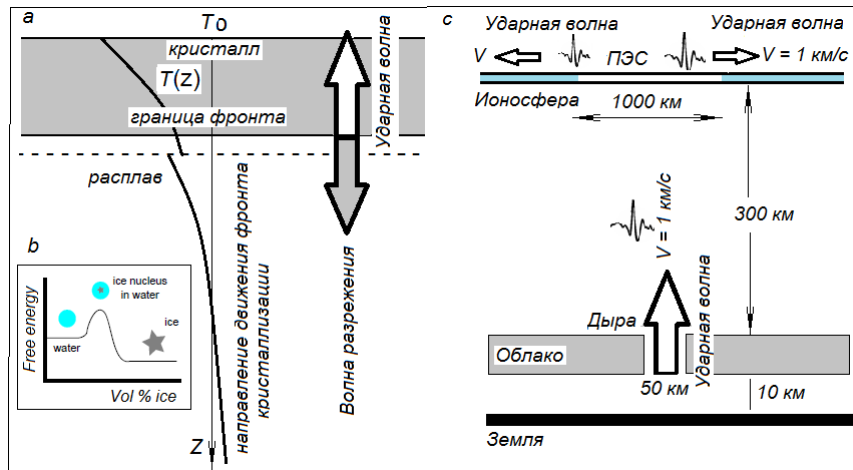


Рис. 3. Возникновение в переохлажденной воде облака ударного фронта кристаллизации, волны разрежения и УАВ – а. Сравнительная энергия частиц (Free energy) снежинки (ice), водных капель с ядрами льда и капель без льда – б. УАВ достигает ионосферы и распространяется по ней. В облаке после прохождения ударной кристаллизации остается дыра - с. Заметим, что образование дыр в атмосфере хорошо изученное явление, не получившее до сих пор объяснения

Модель попутно находит решение двум задачам: возникновение круглых дыр в облаках и появление «грома среди ясного неба». Разность энергий между льдинками и каплями с ледяными зародышами (рис. 3-б) определяет энергию УАВ.

В облаке переохлажденной воды возникают условия, приводящие к возникновению ударной кристаллизации (рис. 3-а). КС облака может быть квантово запутанным с ВС в литосфере. УВ в облаке вызывается как афтершок основного землетрясения.

Вывод

В статье рассмотрен один из примеров природных явлений, которые Эйнштейн в своё время называл «жутким дальнедействием». В физике Земли и солнечно-земной физике практически все явления в той или иной степени подпадают под это определение. Тем не менее, и в физике и в математике успешно развиваются подходы к решению проблем многочастичной квантовой сцепленности и методы их решения.

Список литературы

- [1] Кузнецов В. В., “Ударно-волновая модель землетрясения”, *Физическая мезомеханика*, **12**:6 (2009), 87-96, [Kuznetsov V.V. Shock-wave earthquake model. *Physical Mesomechanics*. (in Russian)].
- [2] Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П., *GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли*, ГУНЦ РВХ СВНЦ СО РАН, Иркутск, 2006, [E.L. Afraimovich, N.P. Perevalova. *GPS-monitoring of the Earth’s upper atmosphere*. Irkutsk: SC RRS SB RAMS. 2006. 480 p (in Russian)].
- [3] Row R. V., “Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere due to a nuclear detonation and an earthquake”, *J. Geophys. Res.*, **72**:5 (1967), 1599-1610.
- [4] Rudenko G. V., Uralov A. M., “Calculation of ionospheric effects due to acoustic radiation from an underground nuclear explosion”, *J. Atm. Terr. Phys.*, **57**:3 (1995), 225-236.

- [5] Bardet J. P., Davis C., “Engineering observations on ground motions at the Van Norman Complex after the 1994 Northridge Earthquake. Northridge Earthquake January 17, 1994”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**:1B (1996), 333-349.
- [6] Anderson J. G., Yu G., “Predictability of strong motion from the Northridge, California Earthquake. Northridge Earthquake. January 17, 1994.”, *Bulletin Seismological Society of America*, **86**:1B (1996), 100–114.
- [7] Allan D. R., Marshall W. G., Pulham C. R., “The high-pressure crystal structure of potassium hydrogen carbonate (KHCO₃)”, *American Mineralogist*, **92** (2007), 1018-1025.
- [8] Кузнецова Н. Д., Кузнецов В. В., “Что “показывает” штормглас”, *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, **3**:9 (2015), [Kuznetsova N.D., Kuznetsov V.V. What stormglass registered. J. of Science Forming Direction. (in Russian)].
- [9] Roder H., Braun T., Schuhmann W. et al., “Great Sumatra earthquake registers on electrostatic sensor”, *EOS. Trans. AGU*, **86**:45 (2005), 445-460.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 10.06.2016