

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**



*имени
П. Н. Лебедева*

Ф И А Н

ПРЕПРИНТ Е.М. КУДРЯВЦЕВ, Е.Ф. МАКЛЯЕВ, С.Д. ЗОТОВ

6

**МЕДЛЕННЫЕ УЕДИНЁННЫЕ УПРУГИЕ ВОЛНЫ
КАК ВОЗМОЖНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ГИПОТЕТИЧЕСКИХ D-ВОЛН Ш.А. ГУБЕРМАНА,
ПРОВОЦИРУЮЩИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
В ЕГО МОДЕЛИ**

МОСКВА 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Тезисы	3
Abstract	3
1. Введение.	3
2. Суть гипотезы Ш.А.Губермана о D-волнах.	5
2.1. О задаче прогнозирования землетрясений.	5
2.2 Гипотеза Ш.А.Губермана.	6
2.3. Дискретный характер широт, подверженных землетрясениям.	9
2.4. Прогноз землетрясений.	10
3. Краткая информация о результатах исследования волн типа МУУВ в средах, близких по составу к коре Земли.	11
3.1. Кристаллический кварц.	11
3.2. Плавленый кварц.	12
3.3. Природный опал [20,21].	13
3.3.1. <i>Схема эксперимента и исследованные образцы.</i>	13
3.3.2. <i>Результаты измерения температурного хода образца и выводы по МУУВ.</i>	13
3.4. Вода [23,24] и пористые среды [25].	15
4. Заключение.	16
5. Благодарности.	17
Литература.	18

УДК: 550.343; 534.222

Тезисы

Обнаруженные в ФИАНе медленные уединённые упругие волны (МУУВ) рассмотрены как аналог гипотетических D-волн Губермана, провоцирующих сильнейшие землетрясения в его модели. Если наше предположение и модель Губермана верны, необходимо изучение МУУВ в геологических средах как возможного агента, инициирующего разрушения в критически напряженных структурах.

Abstract

The Slow Solitary Elastic Waves (SSEW) discovered in Lebedev Physical Institute are discussed to be analogous to Guberman's hypothetical D-waves, which provoke strongest earthquakes in his model. If our suggestion and Guberman's model are correct, one needs to study SSEW for the geological environment control, because these waves probably can provoke destructions in critically tense structures.

1. Введение.¹

Хорошо известны многообразные медленные (по сравнению, например, со скоростью звука) уединенные волны в природных средах, вызванные разными причинами: волна Рассела в узком канале после резкого торможения судна, цунами в океанах от землетрясений, циклоны и торнадо в атмосфере, приливные волны в морях и на материках от притяжения Луны и Солнца, связанные с вращением Земли и т. п.

Однако, указанные волны, из-за различия в скоростях, не могут служить прототипом гипотетических D-волн в литосфере, с воздействием которых в качестве спускового механизма связаны сильнейшие землетрясения в модели, предложенной Ш.А.Губерманом в 1975г. [1]. С другой стороны, обнаруженные недавно (1992) в Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН в лабораторных

¹ По докладу на Всероссийской конференции «Неделя горняка – 2009», январь 2009, МГГУ, Москва

условиях в разных конденсированных средах долгоживущие медленные уединённые упругие волны (МУУВ) с дискретными скоростями, лежащими в очень широком диапазоне [2,3], могут быть рассмотрены как возможный реальный аналог-прототип указанных гипотетических D-волн. Т.к. по существенным свойствам указанные волны схожи, то аналогичные процессы могут возникать *и при локальных техногенных воздействиях на геологическую среду*, для контроля состояния которой становится необходимым изучение этих волн.

Свойства МУУВ как последовательности из многих волн (импульсов) с дискретными скоростями, достаточно подробно изложены в предыдущей работе этого сборника [3].

Для МУУВ в разных твердых и жидких средах (импульсно возбуждаемых в опытах при локальном подведении к поверхности образца энергии с плотностью порядка 100 Дж/см^2) характерны следующие общие черты:

- *устойчивая форма волны типа солитона* в виде однополярного (одногорбого) импульса сжатия или разрежения, наблюдаемая для каждого из импульсов, составляющих МУУВ;
- *изменение длительности импульса в широких пределах* (от микросекунд до минут и более (в зависимости от скорости));
- *дискретный спектр наблюдаемых скоростей U_i* , (где $i = 0,1,2,3,\dots$) в большом диапазоне - от км/с до микрон/с (от скорости U_0 , равной скорости продольной звуковой волны v_l , до величин, во много раз меньших U_0);
- *возможность* (при некоторой конкретной схеме возбуждения и регистрации) *одновременного наблюдения* в избранном поддиапазоне скоростей *нескольких* совместно возбужденных *волн* (компонентов одной серии МУУВ), отношение скоростей которых U_i/U_{i-n} близко к 2^n , где $n = 1, 2, 3, \dots$;
- *малое затухание* и относительно *большая дальность распространения* (например, более десятков метров в кварцевом волокне);

- *способность отражаться от границ* образца с малыми изменениями параметров волны (десятки отражений);
- *“долгоживучесть”* при малых скоростях и амплитудах (до нескольких часов и более);
- *способность воздействия на самые разные датчики для измерения:* давления, температуры, проводимости, изменения отражения или преломления света и др. с генерацией регистрируемых сигналов.

2. Суть гипотезы Ш.А.Губермана о D-волнах.

2.1. О задаче прогнозирования землетрясений.

С ростом населения Земли и его плотности всё больший ущерб общество испытывает от различных природных катаклизмов и техногенных аварий, также часто связанных с *воздействиями окружающей среды*. Наиболее катастрофичны по числу человеческих жертв и масштабам разрушений сильные землетрясения с магнитудой $M=6$ и более. (Магнитуда логарифмически зависит от суммарной энергии излученных сейсмических волн.) Поэтому всё более важными и срочными задачами становятся выяснение механизмов возникновения и развития этих явлений, а также разработка методов их надежного прогнозирования.

По современным представлениям тепловые конвективные процессы в слое магмы, а также гравитационные воздействия Солнца и Луны с учетом вращения Земли, приводят к относительному смещению крупных блоков литосферы. Это вызывает в них механические напряжения и постепенное накопление в их объёме *энергии упругой деформации*, которая затем может импульсно выделяться в очагах землетрясений за счет *быстрого волнового переноса её* в зону начинающихся разрушений. Собрано достаточно много геофизических данных, указывающих на *волновой характер также и медленных движений, возникающих при тектонических процессах*. Для интерпретации накопленного массива наблюдений разными авторами разработан ряд моделей, в которых показана возможность существования *уединенных волн напряжений*,

распространяющихся вдоль литосферной плиты *со скоростями 0,1 - 1000 км/год (3 мкм/с - 3 см/с)* при амплитуде деформации порядка $10^{-6} \dots 10^{-5}$ [4].

Целью данной работы, как уже указано выше, является обсуждение возможного наличия в земной коре и горных породах *долгоживущих очень медленных уединенных упругих волн (МУУВ) и их предполагаемой роли в провоцировании* мощных кратковременных деструктивных процессов, таких как *землетрясения, горные удары, обрушения, оползни и т.п.*

2.2 Гипотеза Ш.А.Губермана.

В качестве примера рассмотрим приведенную в обзоре [4] модель D-волн [1,8-12]. В ряде работ [5-7] были выявлены *цепочки землетрясений*, монотонно смещающихся вдоль разломов земной коры (границ литосферных блоков) со своей примерно постоянной в каждой цепочке скоростью от 20 до 100 км/год. Анализ широтно-временного распределения очагов самых мощных сейсмических катастроф, проведенный сотрудником ИПМ им. М.В. Келдыша Ш.А. Губерманом с учётом данных о *цепочках землетрясений*, показал, что в ряде разломов проекция этой скорости на направление меридиана, т.е. *локальная скорость изменения широты сильных землетрясений на разных материках оказалась практически одинаковой – около 16,6 км/год или 15 градусов широты за 100 лет.* Это позволило ему предположить, что спусковым механизмом землетрясения служит приход в зону, где напряжения приблизились к пределу прочности пород, некоего возмущения в виде общего для планеты широтного кольца, распространяющегося вдоль земной коры в виде *медленной уединенной волны, названной им D-волной* [1]. Её фронт в каждый момент времени располагается на определенной параллели, смещаясь без существенного затухания вдоль меридиана *со скоростью $0,15^\circ$ в год (0,53 мм/с).* Дальнейший анализ показал, что этих волн - две, и движутся они от полюсов к экватору. В качестве причины их образования он допустил (с приведением доказательств), что две мощные D-волны могут одновременно порождаться на полюсах Земли в моменты сильнейших землетрясений из-за изменения скорости вращения Земли

(от смещения больших масс). Таким образом он замкнул в единый цикл в своей модели процессы, формирующие систему D-волн (единую для Земли), с иницирующими воздействиями последних на потенциальные очаги разрушений [8-10]. На рис.1 представлена принципиальная схема D-волн Ш.А.Губермана, взятая нами из популярной статьи [11] и поясняющая саму идею его гипотезы (образование на этом рисунке первой пары D-волн на полюсах в момент, соответствующий началу координат, никак не связано с реальными землетрясениями).

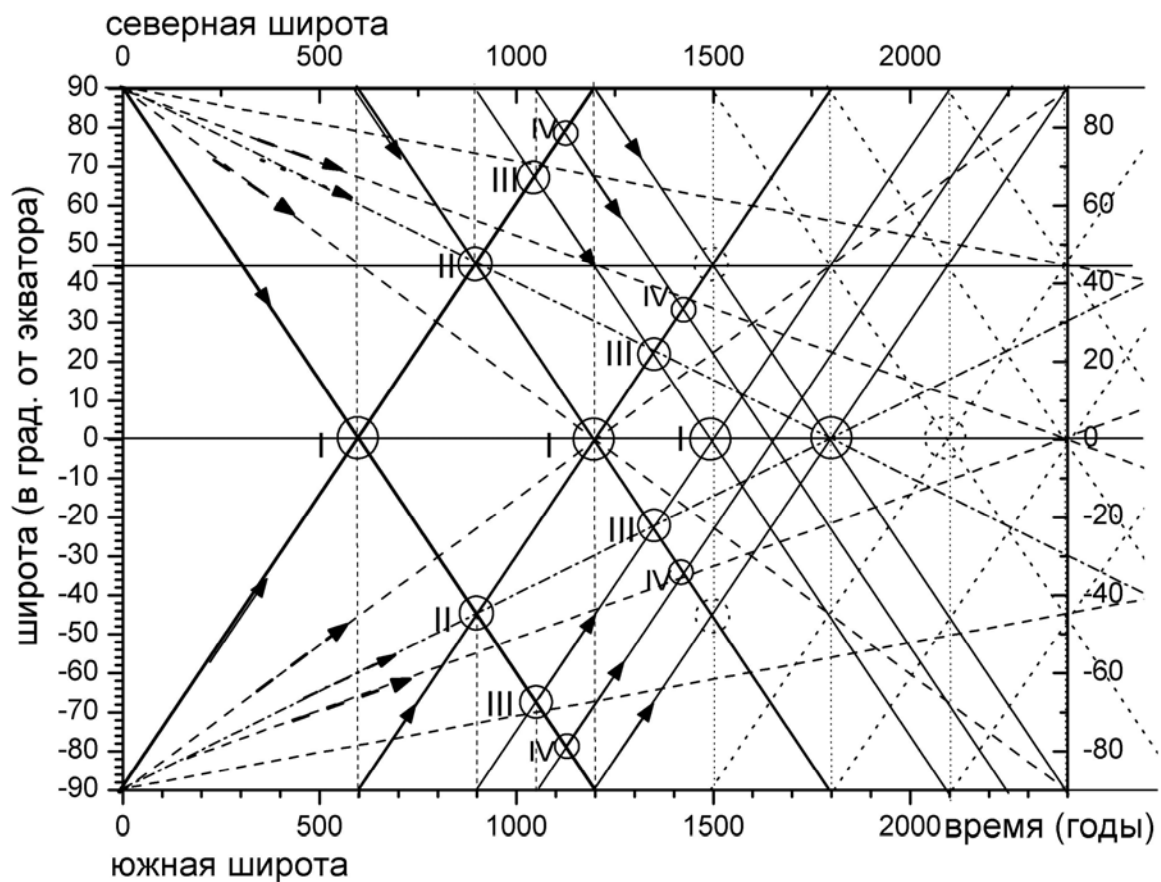


Рис. 1- схема D-волн Ш.А.Губермана [11] с добавлением траекторий МУУВ.

Схема на рис.1 представляет собой так называемую $(x-t)$ -диаграмму, которая используется (в том числе в работах, перечисленных в [2,3]), для отображения волновых процессов в образце исследуемого вещества. В данном случае, у Ш.А.Губермана, «образцом» является кора Земли (то есть сферический, определённой толщины, слой на поверхности Земли). Синхронное перемещение пары D-волн вдоль некоторого меридиана от полюсов к экватору

отображается на рис. 1 движением слева направо по двум сплошным наклонным прямым (пересекающимся на нулевой широте) двух точек, расположенных на одной вертикали, которые в каждый момент времени (на оси абсцисс) определяют широты положения волн на меридиане (на оси ординат). Модуль тангенса угла наклона этих прямых к оси абсцисс определяет скорость волн (в случае модели Ш.А.Губермана - она постоянная, $0,15^\circ$ в год или 16,6 км/год).

В случае, если бы роль D- волн играли волны типа МУУВ, то согласно их свойствам, - из полюсов выходили бы, по крайней мере, несколько пар компонентов. При этом, если скорость первой пары компонентов близка к 16,6км/год (что вполне допустимо, см. ниже), то они совпадают с первой парой (жирные прямые) на схеме Губермана, рис. 1. Скорости последующих отличаются, для каждой пары, примерно, вдвое. На рис. 1 - это 3 пары штриховых линий, которых нет на схеме Губермана.

Полыми кружками уменьшающегося радиуса с увеличивающимися римскими числами, обозначающими порядок пересечения от I до IV (более высокого порядка пересечения - не учитываются), на схеме рис 1 показаны пересечения траекторий D-волн [11], которые могут с некоторой вероятностью привести к возникновению мощного землетрясения в потенциальном очаге где-то на протяжении данной широты. (Для уточнения этих областей автор модели вводит на D-широтах соответствующие D-центры аналогичных порядков). Каждому такому кружку, если на его широте произошло в этот момент мощное землетрясение, соответствует момент образования новой пары D-волн на обоих полюсах и начало их движения к экватору и далее, - сплошные тонкие линии,- с одинаковой скоростью, указанной выше (16,6 км/год).

На схеме рис. 1 показана только часть первых пар D-волн. Полное число таких волн уточнялось автором гипотезы позднее [10] и на 01.01.1900 г он установил их число как 21 волну, двигающуюся к северному, и столько же волн, двигающихся к южному полюсу. Интересно, что представленные штриховыми линиями траектории МУУВ проходят *через* многие отмеченные полыми кружками на схеме рис.1 пересечения D-волн (или *вблизи* от них). Особенно много пересечений с кружками у одной пары траекторий, обозначенных штрих-

пунктирными линиями. Однако, скорости этой пары волн отличаются не в 2, а в 1,5 раза (что требует дальнейших выяснений).

2.3. Дискретный характер широт, подверженных землетрясениям.

Одним из явных следствий гипотезы Губермана является дискретный характер широтных областей, в которых происходят пересечения разных порядков траекторий D-волн (как это видно на схеме рис.1), и, соответственно, в которых происходят сильнейшие землетрясения. Для наглядности, на рис. 2 с той же сеткой координат, что и для рис. 1, мы привели выделенные штриховкой указанные дискретные области по широте (в работах Ш.А.Губермана эти данные приведены в виде таблиц). Их ширина составляет ± 1 градус, а положение Z_m определяется как [9] $Z_m = 5,6m$, где $0 < m < 16$, так что $Z_m = 0; 5,6^0; 11,25^0; \dots$

Из этой же работы Ш.А.Губермана [9] на рис. 2 приводятся экспериментальные точки, соответствующие зарегистрированным землетрясениям.

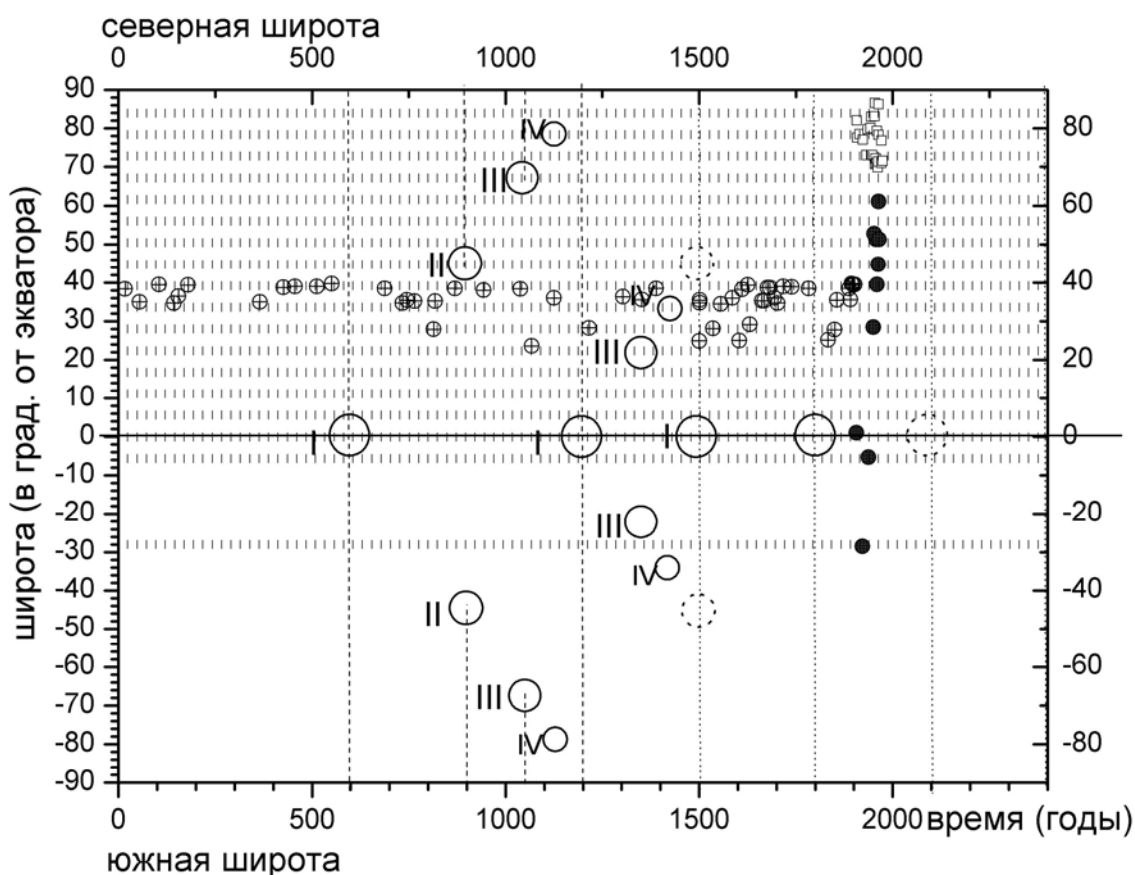


Рис. 2 - дискретные D-широты Губермана.

Сплошными кружками отмечены сильнейшие землетрясения 20-го века; кружками с крестом - известные менее точно аналогичные землетрясения за всю историю человечества; квадратами - приполярные землетрясения 20-го века. Как видно, все они достаточно хорошо укладываются на обозначенных дискретных широтных областях, что подтверждает рассматриваемую гипотезу. (Образование многих полезных ископаемых связано с теми же дискретными D - широтами, как установлено в [10]).

2.4. Прогноз землетрясений.

Ш.А.Губерман не ограничился лишь статистической проверкой соответствия своей модели известным за всю историю наблюдений данным о мощных землетрясениях. Разработанный им на основе описанного выше подхода с учетом еще ряда существенных обстоятельств, *прогноз сильных землетрясений на 10 лет вперед* для 17 сейсмоопасных регионов планеты (D-центров) *оказался весьма эффективным*. Из 12 сильных землетрясений за период с 1978 г. по 1987 г. - 10 совпали с предсказанными регионами и датами (с отклонениями менее полугода) [12], подтверждая *важную роль представлений о медленных уединённых волнах в описании природных явлений*.

При этом у автора гипотезы, как он пишет, «...никаких доказательств реальности этих волн ... пока нет...» [1]. Возвращаясь к схеме рис.1, можно предположить, что в районе полюсов Земли при сильнейших сейсмических толчках образуются не гипотетические D-волны, а реальные мощные серии МУУВ, первая пара компонентов которых имеет ту же скорость (16,6 км/год) и ту же траекторию, что и D-волна. Следующие три пары компонентов – должны иметь скорости в 2, 4 и 8 раз меньшие. Некоторым подтверждением справедливости нашего предположения является то, что траектории компонентов МУУВ проходят через многие области встречи D-волн, отмеченные на схеме рис.1, или вблизи от них. Особенно много землетрясений приходится на дополнительную пару траекторий (обозначенных штрих-пунктирными линиями). Как уже отмечалось, скорости соответствующих ей волн отличаются не в 2, а в 1,5 раза от скорости предыдущего компонента.

Возможно, что это является «подсказкой» схемы Ш.А.Губермана (анализировавшего корреляции землетрясений) исследователям волн типа МУУВ - о том, что надо провести дополнительный поиск возможности таких соотношений в скоростях компонентов МУУВ.

3. Краткая информация о результатах исследования волн типа МУУВ в средах, близких по составу к коре Земли.

Приведенная ниже информация поможет не только представить сегодняшнюю ситуацию с наблюдением волн типа МУУВ в средах, близких по составу к коре Земли, но и поставить вопрос об инструментальном обнаружении, - в избранных участках поверхности планеты, - обсуждаемых D-волн, если они действительно являются аналогами МУУВ.

3.1. Кристаллический кварц.

Наиболее интересным веществом с точки зрения темы, обсуждаемой в настоящей работе, является кристаллический кварц, так как он является самым распространённым соединением литосферы Земли (55,2%, [13]). Нами (в кооперации с ФТИ РАН, Санкт-Петербург) проведен цикл исследований по механолюминесценции (МЛ) кварца [14]. МЛ возникала при воздействии удара острия по оптически обработанному образцу прозрачного высококачественного синтетического кварца. (Предварительные опыты с грубо обработанными образцами природного кварца, дали качественно те же результаты). Регистрация свечения велась с помощью фотоумножителя. МЛ в виде серии отдельных вспышек света с разными амплитудами позволила надёжно обнаружить 4 самых быстрых компонента МУУВ ($i=0,1,2,3$) (скорость первого совпадает со скоростью v_l продольного звука в кварце, остальных - отличается от него, примерно, в 2, 4, 8 раза). Эта работа продолжается в настоящее время.

3.2. Плавленый кварц.

Ряд интересных исследований по доставке мощного лазерного излучения на расстояние в десятки метров - (например, для демонтажа аварийных блоков атомных станций [15,16]) или на километровые расстояния - для разработки метан-гидратных залежей на дне океана или бурения нефтяных или газовых скважин [17,18] были опубликованы в последние годы. Первые работы [15,16] нам удалось проанализировать, благодаря помощи авторов, предоставивших нам исходные данные ряда опытов [19]. В этих опытах изучалось пропускание мощного (6÷11) кВт-непрерывного излучения кислород-йодного лазера с длиной волны 1,315 мкм. Оказалось, что три 8-секундные записи эволюции пропускания волокна диаметром 1 мм² повторимым образом демонстрируют распространение со многими отражениями от обоих торцов - четырёх компонентов ($i=6,7,8,9$) МУУВ. Эти импульсы - уединённые волны - возникают на облучённом торце с вдвое падающими скоростями, начиная от 76 м/сек. Потери на отражения от торцов (2,5% скорости) оказались постоянными для всех компонентов. «Погонных» потерь, зависящих от длины пути распространения, установить не удаётся, поскольку длина волокна не изменялась.

Здесь уместно отметить недостаток МУУВ (с их известными на сегодня свойствами) как *реального аналога-прототипа гипотетических D-волн*, путешествующих на расстояния тысяч километров по земной коре, имеющей толщину порядка 10 километров. Этим недостатком является ограниченный геометрический размер волны-импульса. Он наблюдался до сих пор в лабораторных условиях, составлял величину ~5мм при исследованиях образцов с размерами порядка 0,5м, так что отношение длин составляло $\sim 500\text{мм}/5\text{мм}=100^x$. Можно ожидать, что в дальнейших исследованиях с увеличением размеров исследуемых образцов геометрический размер волны-импульса возрастёт, составляя также величину порядка процента от длины образца.

3.3. Природный опал [20,21].

Как выяснилось, волны типа МУУВ особенно надёжно регистрируются в образцах *природного опала*.

3.3.1. Схема эксперимента и исследованные образцы.

Применялся непрерывного действия СО₂-лазер с длиной волны излучения 10,6 микрон и с мощностью 4÷7 Вт. Для облучения образцов фотозатвор формировал импульс излучения с передним фронтом около 15 мсек и длительностью плоской вершины 30 мсек. Излучение фокусировалось ИК-линзой $f=600$ мм на поверхность образца. В качестве тепловых датчиков применялись отечественные миниатюрные (0,5x0,5мм) кремниевые транзисторные устройства с временем разрешения около 20 мсек. Они приклеивались к образцам тонким слоем лака.

Встречающийся в природе минерал - коллоидный опал представляет собой гидратированный кремнезем SiO₂ xH₂O. Содержание воды в нём колеблется от 1 до 34%. Кроме воды, опал, как коллоид, поглощает и другие соединения. Образец натурального опала (из уральского Халиловского месторождения), на вид не отличающийся большой однородностью, после обработки имел форму, близкую к диску диаметром 24 мм, толщиной 6,4 мм. Два тепловых датчика были помещены на нём – один, В, под эпицентром, другой, С, – на боковой поверхности диска.

3.3.2. Результаты измерения температурного хода образца и выводы по МУУВ.

Для примера, на рис.3 а) б) для образца природного опала представлена запись вариаций температуры Т, полученная с помощью датчика В (расположенного под эпицентром, как это видно из схемы, встроенной слева в рис. 1 б)).

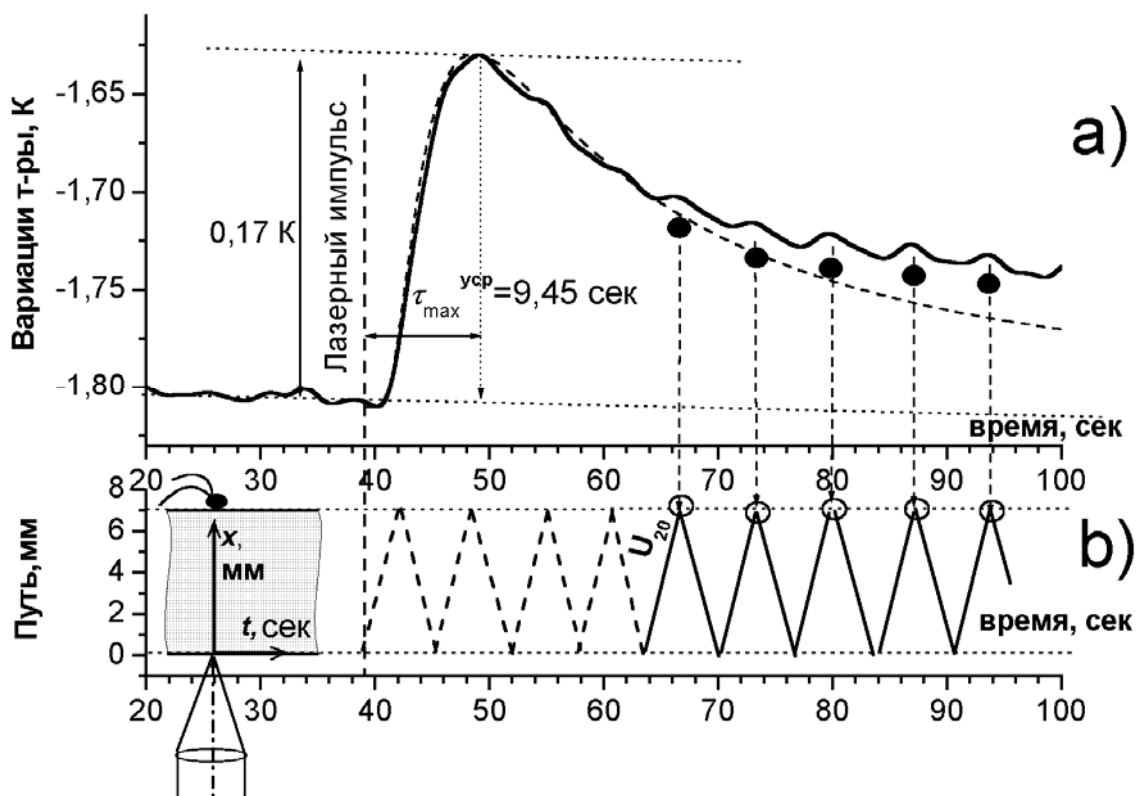


Рис. 3 а). Запись для природного опала вариаций температуры T , полученная с помощью датчика В (сглаживание по 100 точкам); б) схема измерений и предлагаемая $(x-t)$ - диаграмма волнового процесса (с траекторией 20-го компонента МУУВ). Штриховой вертикальной линией показано положение лазерного импульса на шкале времени.

Приводимые здесь записи наглядно и убедительно демонстрируют наличие важной особенности экспериментальных зависимостей $T(t)$. Очевидно, что гораздо раньше, чем диффузионное тепло, к датчику приходят упругие уединённые волны, компоненты МУУВ, которые в рассматриваемых здесь опытах с натуральным опалом также вызывают небольшой нагрев материала. Для других материалов МУУВ могут вызывать локальное охлаждение; как это можно видеть в работе [22], выполненной аналогичным методом для кремния. Эти волны хорошо видны на рис. 3а), где представлена (со сглаживанием по 100 точкам) 60-секундная эволюция температуры на датчике В прямо под эпицентром. Следы МУУВ проявляются на спаде температуры в виде периодических максимумов (величиной около 10мК). Оценить надёжность

такого отождествления можно из сравнения с шумовой кривой, регистрируемой на том же рисунке перед подачей лазерного импульса. Величина отдельных максимумов шума ($\pm 5\text{мК}$) вдвое ниже по величине. Однако, главное в том, что шумовые сигналы, как им и положено, не имеют той строгой периодичности, которую мы видим на спаде T -кривой через ~ 20 сек после лазерного импульса. С другой стороны, указанные периодические максимумы хорошо соответствуют движению 20-го компонента МУУВ поперёк образца (см. $(x-t)$ -диаграмму на Рис 3 б) с началом при $t=0$). Величина его усреднённой по 17 проходам скорости $U_{20} = 0,20$ см/сек совпадает с расчётным значением по формуле (1) [2]. (Точное совпадение может носить случайный характер, так как в ф-ле (1) для скорости звука взята величина, соответствующая синтетическому опалу, а не опалу естественному, для которого скорость звука нам неизвестна).

В этих же работах [20,21] с помощью двух тепловых датчиков (сглаживание по 400 точкам) по аналогичной схеме измерений получены записи, расшифровка $(x-t)$ - диаграмм волнового процесса которых показывает участие в процессе ещё и 21, 22, 23, 24-го компонентов МУУВ. Скорости их уменьшаются каждый раз примерно вдвое. Вместе с вышеприведенным 20-м компонентом, они лежат в интервале от 0,20 см/сек до 0,012 см/сек. При этом повторимся, что компоненты МУУВ в натуральном опале имеют характер волн *сжатия* (а не разрежения).

3.4. Вода [23,24] и пористые среды [25].

Как показано в [23,24], ИК - лазерный импульс ($\sim 0,3$ сек, ~ 1 Дж) возбуждает в воде серию волн типа МУУВ с дискретными (квантующимися) скоростями. Вызванные им звуковые колебания в сосуде с водой затухают, по оценкам, за 1 секунду, поверхностные волны - за 5 секунд (по наблюдению за отражением луча гелий-неонового лазера от поверхности воды). С помощью термодатчиков регистрировалось распространение тепла и повторяющиеся в течение более 500 секунд обратимые непериодические изменения температуры T (на 0,01-0,1 градуса), которые позволяют восстановить картину волнового процесса.

В [23] опыты производились в плоском круглом сосуде (диаметром 10см, слой воды ~1см). Регистрация волн велась с помощью либо 4 термопар на дне в центре сосуда, либо 50 термопар на его боковой стенке. В случае узкого вертикального канала с водой (диаметром ~0,5см и длиной ~12см) [24], судя по 10-секундной записи, две уединённых волны друг за другом двигались вниз по каналу от облученного участка на поверхности и отражались от конца трубки. Скорость первой волны ~ 4 см/сек, второй - ~ 2 см/сек.

Все найденные для воды значения скоростей U_i отдельных уединённых волн соответствуют общему для конденсированных сред соотношению (1). Поскольку волны типа МУУВ наблюдаются как в твёрдых телах, так и в жидкостях, становится ясным, почему согласие с экспериментом для расчётов по выражению (1) получается только, если пользоваться продольной скоростью звука. Дело в том, что в жидкостях поперечной скорости звука нет.

Измерения скоростей компонентов МУУВ в воде в совокупности обеих работ [23, 24] дали значения от 4,0 и 2,0 см/сек до 0,014 см/сек (соответствующие значения $i = 15, 16, 19, 20, 21, 22$).

Общие соображения, справедливые для распространения волн типа МУУВ в пористых средах, заполненных жидкостями, с которыми имеют дело при бурениях нефтяных скважин, были сформулированы в [25]. На этой конференции обсуждались также возможности воздействия на нефтеносные пласты, в том числе и волн типа МУУВ.

4.Заключение.

Из приведенных примеров видно, что в различных веществах - типичных компонентах пород, составляющих земную кору, могут распространяться МУУВ с разными скоростями, иногда на порядки меньшими звуковой. Даже при малой амплитуде они могут вносить регистрируемые изменения в параметры среды, локально меняя её температуру, давление и плотность. На основании рассмотренного сравнения гипотетических D-волн, обуславливающих мощные

землетрясения в модели Губермана, с волнами типа МУУВ по-видимому, нельзя исключить возможность существования в природных структурах большой протяженности также и мощных МУУВ. Это - весомые аргументы для расширения проводимых в последние годы исследований свойств МУУВ в различных твердых и жидких средах и разработки методов их использования, в частности, для надёжного предсказания землетрясений, а также диагностики и прогноза состояния горных пород. В таких исследованиях надо от лабораторных экспериментов переходить к *натурным* опытам, разработав соответствующие способы регистрации обсуждаемых волн. В любом случае целесообразно провести исследования наличия в земной коре процессов генерации и распространения МУУВ, их возможных взаимосвязей с землетрясениями, а также с другими мощными разрушительными процессами, в том числе техногенного характера (используя также данные, полученные Ш.А. Губерманом при обосновании его модели).

5. Благодарности.

Авторы благодарят Ш.А.Губермана за проявленный интерес к физическим экспериментам с МУУВ; коллег из ФРГ, сотрудников Германского аэро-космического центра К. Грюневальде и В.Бонна, за предоставление исходных данных по исследованию пропускания мощного лазерного излучения через кварцевое волокно [15, 16]. Образец натурального опала был любезно предоставлен нам сотрудниками Минералогического музея РАН. Авторы также благодарят сотрудников МГГУ за приглашение участвовать в «Неделе горняка - 2009», подтолкнувшее нас к анализу возможности рассмотрения МУУВ в качестве D-волн в модели землетрясений Губермана. Если эта возможность подтвердится, то она будет ещё одним важным и независимым подтверждением существования МУУВ, - явления, которое пока известно узкому кругу специалистов.

Литература.

1. Губерман Ш.А. «О некоторых закономерностях возникновения землетрясений». // ДАН СССР. 1975. Т. 224. №3. С. 573-576.
2. Кудрявцев Е.М. «Последовательность из многих уединённых упругих волн с дискретными, вдвое убывающими, начиная от скорости звука, скоростями, возбуждаемая однократным импульсом в конденсированных средах». (Сборник трудов XIII сессии РАО, т.1 Физическая акустика. Распространение и дифракция волн, сс.204-207, Москва, ГЕОС, 2003) <http://rao.akin.ru/rao/sess13/sect1f.htm> pp.165-168 (PDF, 220K).
3. Кудрявцев Е.М., Зотов С.Д., Лебедев А.А. Медленные уединённые упругие волны, – о характеристиках этого нового явления и о перспективах его использования для контроля за состоянием горных пород (предыдущая статья в этом сборнике).
4. Викулин А.В. Мир вихревых движений. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008.
5. Mogi K., Bull. Earthquake Res. Inst., (1968) v.46, 53.
6. Wood M.D., Allen S.S., Recurrence of seismic migrations along the Central California segment of the San Andreas fault system. Nature (1973) v.244, 5413, pp.213-215.
7. Вилькович Е.В., Губерман Ш.А., Кейлис-Борок В.И. Волны тектонических деформаций на крупных разломах. ДАН СССР (1974) Т.219, №1, 77-80.
8. Губерман Ш.А. D-волны и неравномерность вращения Земли. ДАН СССР (1976) Т.230, №4, 811-814.
9. Губерман Ш.А. Вычислительная сейсмология. (1979), вып. 12, 158-188.
10. Губерман Ш.А. Неформальный анализ данных в геологии и геофизике. М.: Недра, 1987.-261с.
11. «Наука и жизнь» (1990) №2, стр. 53-55.
12. Губерман Ш.А. Всес. конф. «Катастрофы и человечество». Суздаль, 1991. М., С. 113.
13. Физические величины. Справочник. Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова.- М.; Энергоатомиздат, 1991. -1232с. (Табл.44.2.)

14. К.Б.Абрамова, С.Д.Зотов, Е.М.Кудрявцев, И.П.Щербаков, «Временная структура импульса механолюминесценции как подтверждение генерации солитоноподобных возбуждений в кристаллическом кварце при ударе остриём», Труды 19 сессии РАО (Нижний Новгород, 2007) *Имеются в Интернете на английском языке*: К.В. Abramova, S.D.Zotov, Kudriavtsev E.M., I.P. Scherbakov. ([http://rao.akin.ru/Proc.of XIX Sess.of the RAS, Sept. 2007 Phys.Acoust.\(PDF,144K\)p77-79](http://rao.akin.ru/Proc.of XIX Sess.of the RAS, Sept. 2007 Phys.Acoust.(PDF,144K)p77-79)).
15. Gruenewald K., Handke J., Schall W.O., Duschek F. COIL fiber transmission for material cutting applications. (2002) Proc. SPIE **5120**, 345-349, Wroclaw.
16. Gruenewald K., Bohn W.L., Duschek F., Handke J., Schall W.O. High power COIL fiber transmission for D&D application. Preprint: XIth Conference on Laser Optics LO'2003, St.Petersburg, 2003.
17. Ilyin S.P., Buzoverya V.V., Adamenkov A.A., Bakshin V.V., Efremov V.I., Moiseev V.B., Vyskubenko B.A. Industrial COIL systems--part 1: laser beam delivery by fiber. (2004), Proc. SPIE **5777**, 290-293.
18. Takeuchi N., Tei K., Sugimoto D., Vyskubenko O., Fujioka T. Long range fiber delivery of COIL for petroleum applications. (2004) Proc. SPIE **5777**, 298-301.
19. Kudriavtsev E.M., Slow elastic solitary waves with discrete velocities in optical fiber at high CW laser power transmission experiments (conclusions from DLR – Institute of Technical Physics data analysis), Abstracts, P2-20, GCL/HPL-2004, Prague, Czech Republic, 2004.
20. Kudriavtsev E.M., Zotov S.D. The observation of slow solitary elastic waves with discrete velocities in natural opal. (Статья в Трудах 16-ой сессии Российского Акустического Общества ([http://rao.akin.ru/Proc.of XVI Sess.of the RAS, Nov 2005 Phys.Acoust.\(PDF,144K\)p728-731](http://rao.akin.ru/Proc.of XVI Sess.of the RAS, Nov 2005 Phys.Acoust.(PDF,144K)p728-731))).
21. Кудрявцев Е.М., Зотов С.Д. Наблюдение медленных упругих уединённых волн с дискретными скоростями в природном опале, Препринт ФИАН №32, 2005г. (<http://ellphi.lebedev.ru/13/pdf33/pdf>).
22. Кудрявцев Е.М., Зотов С.Д. Статья 1/2. Квантованные скорости медленных солитон-подобных возбуждений в монокристалле кремния.

- Измерения с помощью термопар. Электронный журнал "Исследовано в России", 8, 1550-1561, 2005. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/148.pdf>
23. Kudriavtsev E.M., Zotov S.D., Kudriavtsev A.I. Slow solitary waves with discrete velocities traveling through the water after excitation on the surface by IR laser pulse, Intern. Workshop "Solitons, collapses and turbulence: Achievements, Developments and Perspectives", 2002, Chernogolovka *Abstracts*, p. 20. (Landau Inst. Theor. Phys., Chernogolovka, Russia).
24. Е.М.Кудрявцев, С.Д.Зотов, Медленные уединённые упругие волны, распространяющиеся в воде с дискретными скоростями после их возбуждения ИК лазерным импульсом. Труды 14-ой сессии РАО и 10-ой школы-семинара «Акустика океана», Москва, 2004г.
25. E.M.Kudriavtsev, Soliton-type elastic waves with discrete velocities as a new factor for the study of its effect on fluids in porous media (experiment). Book of Abstracts, Intern. Conf. On Nonlinear Acoustics (Satellite Conf "Influence of elastic waves on fluids in porous media," Moscow 2002), Абстракт доклада на Межд. Конф. «Воздействие упругих волн на флюиды в пористых средах» (2002 г. в рамках 16 Международного симпозиума по нелинейной акустике).