

УДК 534.26+550.34

*Г. Ч. Тукембаева, аспирант, e-mail: tukembaeva.g@gmail.com**Б. К. Темиров, д.ф.-м.н., профессор**КНУ им. Ж. Баласагына*

ВОЗБУЖДЕНИЕ СЛОЕВ ОКЕАНА ПОДВОДНЫМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ В СПЕКТРЕ ЧАСТОТ ЦУНАМИ

В статье исследован ряд новых волновых явлений как предвестников цунами и подводных землетрясений или извержений вулканов. Показано, что *IS*-волны на частотах инфразвука и *FGSS*-волны (Free Gravity waves excited in the ocean by Seismic Surface waves) являются частным случаем акустико-гравитационных волн, распространяющихся в подводном звуковом канале. Землетрясение порождает ультразвук, вызывающий кавитацию H_2O на частоте 22 кГц, что ведет к насыщению атомарным водородом и росту рН вдоль трассы цунами, поэтому океаническая трасса становится плазмopodobной средой. Изучаемые волны обуславливают дифракцию в акустическом волноводе, где ширина русла реки соизмерима с длиной волны λ главной гармоники инфразвука. Следовательно, в устье реки возникает дифракционная картина в виде функции $\sin x/x$, а это первый замечательный предел и возможность описания солитонном, что в целом позволяет изучать данные природные явления уравнениями математической физики и моделями сложных систем.

Ключевые слова: акустико-гравитационные волны, цунами, кавитация, плазмopodobная среда.

Введение

Землетрясения происходят преимущественно в Срединном океаническом хребте, где на подводные вулканы приходится 80% действующих вулканов. Интерес к сейсмическому и вулканическому механизмам возникновения цунами связан с гидроакустическим (*ГА*) полем. Разрушительное действие принуждает к изучению и обнаружению цунами на частотах инфразвука по подводному звуковому каналу – ПЗК [1–3], где скорость звука на оси ПЗК равна 1461 м/с [4].

Скорость продольных *P*-волн (5000 м/с в граните) вдвое выше скорости поперечных *S*-волн и в 3.3 раза – скорости звука в океане ($c \approx 1500$ м/с). Тем самым данные сейсмографов поступают раньше инфразвуковых (infrasound) колебаний цунами – *IS*-волн. Вслед за *P-S* и *IS*-волнами наблюдаются отраженные ионосферой акустико-гравитационные (*AG*) волны, так как их скорость 1000 м/с [5, 6]. Источником *ГА*-поля служит сброс оползня, извержение вулкана или землетрясение. В нашем случае высокочастотная (*ВЧ*) энергия ультразвука возбуждает океаническую среду вдоль трассы цунами к устью реки, например, Гудзон.

При длине цунами свыше 1000 км действие силы Кориолиса на длинную волну существенно [8], поскольку зависит от количества движения переносимой воды, а цунами переносит огромную массу воды на больших скоростях. Поскольку сила приложена к центру масс длинной волны, то он следует вдали за головной волной цунами. В сжимаемой жидкости волны сжатия чередуются с участками разрежения. Поэтому на одном из участков разрежения, проходящегося на центр масс, сила Кориолиса изгибает длинную волну, как прицеп, который заносит на повороте. Данный факт не учтен в статье [там же] и в [9] в силу того, что в модели приняты уравнения Эйлера и уравнение несжимаемой жидкости.

В [9] обнаружено новое явление *FGSS waves* – Free Gravity waves excited in the ocean by Seismic Surface waves – свободные гравитационные волны, возбуждаемые в океане сейсмическими поверхностными волнами. Они генерируются горизонтальными колебаниями подводных склонов. Во время прохождения сейсмической поверхностной волны амплитуда определяется максимальными динамическими горизонтальными

движениями дна. *FGSS*-волны имеют особенностью одиночные импульсы, воспроизведенные для волн Лява и Рэлея на математической модели, см. fig. 6 [там же].

Объект исследования

Гудзонский каньон (Hudson Canyon) является крупнейшим океаническим каньоном в мире. Он расположен близ 100-метровой изобаты и имеет глубину 2.2 км у основания континентального склона. Начинается с устья реки Гудзон, уходя от него на восток на 160 км. В целом простирается в сторону океана на 640 км и за шельфом стыкуется с дном океана на глубине 3–4 км ниже уровня моря. На бровке шельфа ширина дна каньона менее 500 м, но расширяется к основанию склона до 900 метров в виде раструба [7].

Ширина реки Гудзон 300 м, средняя глубина 9.1 м, но в устье Аппер-Бея – 14 метров. Подводный каньон является продолжением реки Гудзон, своего рода направляющей течения Гудзона в океан. По нему водный поток реки скатывается по шельфу, а с его бровки – на континентальный склон. Здесь по всей ширине направляющей водная масса возбуждена ВЧ-составляющей, разогревающей молекулы воды между дном и поверхностью океана, так как она отражает 0.9989 падающей энергии. Более низкие частоты инфразвука прилегают ближе к дну подводной реки, поэтому главная гармоника инфразвука зависит от размера русла. Низкочастотная компонента *ГА*-поля пронизывает русло Гудзона от бровки шельфа до устья реки. От устья реки ширина русла увеличивается до 500 м на расстоянии 160 км. По мере приближения к устью реки русло сужается по глубине до 14 м, а по ширине – до 300 м, как конфузор, но поскольку русло ограничено твердыми стенками, то оно представляет собой акустический волновод. В таком случае он фильтрует ВЧ-составляющую *ГА*-поля.

Энергия землетрясения расходуется на возбуждение слоев океана от источника до его поверхности. Нижней границей является трасса генерации *ГА*-поля, будущей трассы цунами, а верхней границей – поверхность океана. Ранее гидрофоны регистрировали землетрясения на 100-метровой изобате в виде остроконечных импульсов – одиночных волн, так как образованы продольными колебаниями. Они обнаружены на расстоянии 1030 км от подводного землетрясения на глубине 4000 м (см. рис. 1 и 2 в [4], затем в [9], см. fig. 6). Поэтому мощь источника землетрясения или извержения вулкана задается в начале координат в виде дельта-функции $\delta(x)$ в широком спектре частот (см. рис.).

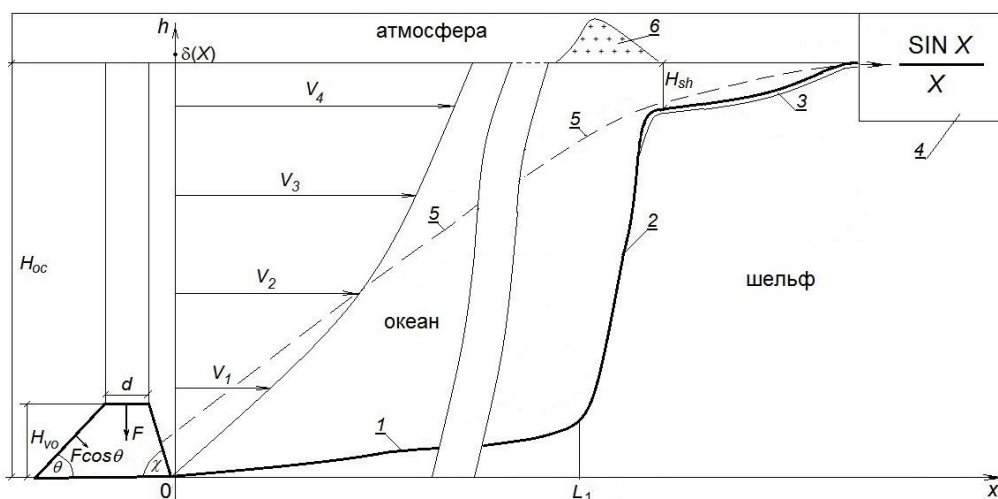


Рисунок 1 – Схема возбуждения *ГА*-поля:

- 1 – дно океана, 2 – континентальный склон, 3 – дно шельфа, 4 – система измерений,
- 5 – трасса генерации *ГА*-поля, 6 – плазмоподобная среда, L_1 – длина дна океана,
- $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$ – послойное поле скоростей

Таким образом, *P-S*, *IS*, *AG*-предвестники цунами упорядочены по мере убывания скоростей. Скорость цунами $V_4=200$ м/с в 5 раз меньше скорости *AG*-предвестника, поэтому отдаленность источника цунами (>1000 км) гарантирует эвакуацию движимого имущества (самолеты, ж/д поезда, автомобили, скот) и населения в безопасное место.

Постановка задачи

Основанием для настоящего исследования явилось некорректное изучение частоты ПЗК в зависимости от рН Мирового океана в интервале частот от 0.2 до 5 кГц, предпринятое в 1972 – 1974 годах [3, с. 316]. Гипотеза базировалась на методе температурного скачка для морской воды, содержащей бор и без него. Она поныне теоретически не обоснована, в том числе с помощью взрывов в интервале от 40 – 60 Гц до 1–2 кГц. Выведенная эмпирическая зависимость частоты от температуры и солености морской воды давала двукратное различие при измерениях в Тихом и Атлантическом океанах, см. формулу (3) [там же]. Ее дополнили параметром рН в виде: $A_B \approx 10^{(0.78\text{pH}-5)}$, так как в Тихом океане рН=8.09, но в Атлантике – 7.67, см. формулу (4) в [там же]. Однако уточнение эмпирической зависимости, проведенное в 1980-х годах в Средиземном, Японском и Черном морях, дало расхождение с опытными данными, что указывает на несостоятельность гипотезы рН.

На Индонезию приходится 17% вулканов, на Средиземноморье – 7% и 12% цунами. В Атлантике случается 9% цунами, в Индийском океане – 3%, и лишь 1% выпадает на остальные моря. Наибольшее количество действующих вулканов расположено в Тихом океане – 62%, где происходит 75% цунами. Поэтому следует полагать, что изменения рН являются следствием более глубоких причин, истекающих из источника землетрясения, по сравнению с гипотезой рН и *FGSS*-волнами. Во-первых, рН дает концентрацию H^+ в H_2O в целом, а не только бора и его соединений. Поэтому рост рН сигнализирует о росте числа атомарного водорода в океане из-за физико-химических реакций, которые активированы ГА-полем, возбуждаемым излучением источника землетрясения, нуждающемся в определении. Во-вторых, нет физико-химических процессов, определяющих передачу *AG* и *FGSS*-сигнала подводного землетрясения или извержения вулкана сквозь поверхность океан – атмосфера в ионосферу, так как поверхность отражает 0.9989 падающей энергии обратно в океан.

Цель работы – теоретическое обоснование *IS*, *AG* и *FGSS*-предвестников цунами.

Поставленная цель достигается тем, что возбуждение ГА-поля опирается на частоту 22 кГц, излучаемую подводным землетрясением или вулканом, поэтому в направлении излучения возникает кавитация [10], как следствие плазмopodobная среда [11]. Двухфазная среда, в которой пузырьки газа насыщены высокоактивированным атомарным водородом, по сути, является плазмopodobной (*PL* – plasma-like) средой. По мере роста силы землетрясения *PL*-среда вспучивается над поверхностью океана в верхние слои атмосферы. Взаимодействие этой среды с плазмой ионосферы обеспечивает отражение *AG*-волн, в том числе *FGSS*-волн из-за отрицательной диэлектрической проницаемости ионосферы $\epsilon < 0$.

Решение задачи

Кавитация порождает звукохимические реакции, близкие к радиолизу и фотолизу [10]. Адиабатическое сжатие при схлопывании кавитационного пузырька приводит к температурам порядка 10000 °К и ударной волне с давлением 10^4 атм. Растворенный в полостях пузырьков газ электризуется с образованием атомарных кислорода и водорода, свободных активных радикалов, диссоциированных и ионизированных молекул. Таким образом, вода под действием ультразвука на частоте 22 кГц обретает двухфазное состояние.

ВЧ-компонента ГА-поля поглощается водой, поэтому система измерений в устье реки регистрирует отклик $\delta(x)$ в виде функции $\sin x/x$ на частотах инфразвука. Максимум $\sin x/x$ отвечает главной гармонике дифракционной картины огибания щели инфразвуком, где ширина щели b равна ширине русла, поскольку продольная волна колеблется вдоль

оси x , но свет – по трем осям x , y , z . Для реки Гудзон ширина русла 300 м, $c \approx 1500$ м/с, поэтому на главной гармонике частота $f_0 = c/b$ равна 5 Гц, так как дифракция возникает тогда, когда длина волны λ_0 главной гармоники соизмерима с шириной щели b , а она равна ширине русла. Значит, дифракция определяется твердыми стенками русла – акустическим волноводом.

Появление нового состояния вещества в GA -поле поясняет рисунок. В начале координат расположен подводный вулкан океанического хребта на глубине H_{oc} от дна океана. Высота вулкана H_{vo} , диаметр кратера d . Покатый левый склон вулкана и его крутой правый склон образуют с осью x углы θ и χ , соответственно. Площадь кратера $S = \pi d^2/4$. Сила столба воды на нем $F = \pi d^2 \rho g (H_{oc} - H_{vo})/4$ (ρ – плотность воды, $g = 9.81$ м/с²) уравнивает силу извержения вулкана. Ее находят по шкале вулканической активности, несоизмеримой с известными физическими системами измерения силы. На левом склоне F уменьшается до $F \cos \theta$ согласно углу θ , но на правом – до $F \cos \chi$ так, что $F > F \cos \theta > F \cos \chi$.

Баланс сил нарушен относительно плоскости кратера. Начинает колебаться правый склон в направлении шельфа, так как он круче левого склона. Тем самым правый склон подвержен большей опасности, а потому колебания подводных склонов в горизонтальной плоскости [9] являются закономерностью. При колебаниях правого склона возможен прорыв боковой дайки. Сквозь нее извергается вулкан, обрушивается склон, что приводит к скачку $\delta(x)$, регистрируемому береговой системой измерений в виде функции $\sin x/x$ на частотах инфразвука в согласии с дифракционной картиной огибания щели IS -волной. Следовательно, IS - волна отслеживается после P - S - волн, даже в отсутствии AG и $FGSS$ -предвестников.

Из-за неизученности кавитации в физике цунами привлечем результаты физико-химического влияния ультразвука на изменение рН воды [10], где кавитация, вызывающая рост рН, имела место на частоте 22 кГц и времени облучения τ , равном 120, 300 сек. На частоте 1 МГц рН уменьшалось, а на частоте 8 кГц изменений рН не было. Изучалась водопроводная и артезианская вода Москвы и Подмосковья.

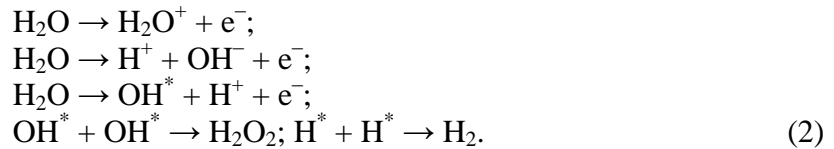
В момент образования пузырька формула Я.И. Френкеля выражает напряженность поля E (В/см) [10, с. 4]. Поскольку объектом изучения является вода, то преобразуем формулу. Тогда число ионов в единице объема

$$N^+ = \frac{1}{16\Delta} \left[\frac{Er}{e^-} \right]^2, \quad (1)$$

так как для воды заданы E , e^- , r , Δ , где e^- – заряд электрона, Кл; r – радиус кавитационной полости, см; Δ – расстояние между разорвавшимися слоями жидкости, Å.

Радиусу пузырька $r \approx 10^{-4}$ см отвечает пара значений: $E = 600$ В/см и $\Delta = 5$ Å, соответствующая кинетическому диаметру молекулы воды H_2O , поэтому формула Френкеля преобразована к виду (1). Значит, кинетика химических реакций под влиянием ультразвука зависит от акустической мощности источника. Генератор УЗГ-2-4 с интенсивностью 2 Вт/см² выдает напряженность поля $E = 600$ В/см в (1) в течении τ , равном 120, 300 сек, на частоте $f = 22$ кГц и направлением излучения вверх, перпендикулярно поверхности воды, согласно которому пузырьки всплывают на поверхность. Число ионов в единице объема N^+ на этой частоте отвечает значению $pH = -\lg[H^+]$. На практике рН находят потенциометрическим методом с помощью ионометра марки ЭВ-74, погрешность которого ± 0.01 рН [там же, с. 5].

В воде, облучаемой ультразвуком, образуются свободные электроны, активированный атомарный водород и гидроксильные группы, ионы водорода, гидроксильные ионы, ионизированная вода, пироксид водорода по следующим реакциям [там же, с. 4]:



Перекись водорода H_2O_2 (рН=4.75) на показатель рН среды не влияет, так как вступает в реакцию Фентона с растворенными минералами, соединениями и ионами Fe^{2+} с выпадением Fe^{3+} и др. примесей в осадок, что предвещает переход воды в новое агрегатное состояние.

Результатом реакций (2) является ионизированный газ в GA -поле, а это PL -среда, описываемая уравнениями Власова [11]. Она порождена излучением землетрясения, вулкана на частоте 22 кГц в направлении, перпендикулярном подводному склону, поэтому вызывает волну накачки вдоль трассы генерации GA -поля. Следовательно, рост рН – это следствие облучения воды на частоте 22 кГц в отличие от гипотезы рН. Взаимодействие PL -среды с плазмой ионосферы образует канал AG -волн, в том числе $FGSS$ -сигнала.

Диэлектрическая проницаемость ионосферы $\epsilon < 0$ принуждает к отражению AG -волн, так как в PL -среде $\epsilon > 0$, поскольку в ней подвижность обусловлена положительными ионами N^+ , а потому $0 < \epsilon < 1$. В вакууме $\epsilon = 1$, в газах $\epsilon > 1$, в воде $\epsilon \approx 81$. При малых времени τ и интенсивности источника AG -волны затухают в виде IS -волн инфразвука. Перенос одиночных волн (см. рис. 1, 2 в [4] и fig. 6 в [10]) в направлении излучения ультразвука вызван волной накачки, формирующей ионно-звуковые волны в PL -среде. В ней перенос определен числом ионов (1) и описывается динамикой плазмы, для которой решение уравнений является солитоном [11, сс. 204-205].

Отсюда следует связь шкалы землетрясений и вулканической активности с системой измерения физических величин СИ посредством подсчета числа ионов N^+ , образовавшихся под действием ультразвука и электромагнитного поля в зоне землетрясения или извержения вулкана. Их интенсивность находим по интенсивности дифракционного изображения функции $\sin x/x$ или $\sin^2 x/x^2$, для чего надо решить обратную задачу.

Над трассой GA -поля двухфазная среда образует туман на поверхности океана. Она вспучивается в верхние слои атмосферы. Избыток положительных ионов N^+ в облаке объясняет 5% случаев разряда молнии снизу вверх. Морское или воздушное судно не предназначено для движения в PL - и/или двухфазной среде, поэтому теряет ориентацию и управление. Судя по рассмотренным их признакам, присутствие PL -сред выражено в Бермудском треугольнике из-за примыкающего к нему желоба Пуэрто-Рико, а также по большей части это те неопознанные летающие объекты, которые представимы плазмоном, как солитоном ионно-звуковой волны.

Выводы

Дифракцию в акустическом волноводе определяет ширина русла реки, когда она соизмерима с длиной волны λ_0 главной гармоники инфразвука. Поэтому в устье реки изображение дифракционной картины имеет вид функции $\sin x/x$ на частотах инфразвука. Землетрясение порождает ультразвук, вызывающий на частоте 22 кГц кавитацию H_2O в направлении излучения, перпендикулярного углу подводного склона, т.е. вдоль трассы GA -поля. Волна накачки по направлению излучения образует ионизированный газ в полостях пузырьков двухфазной среды, так как они насыщены высокоактивированным атомарным водородом, что ведет к росту рН в океане. Превращение воды в PL -среду вспучивает поверхность океана в верхние слои атмосферы по мере роста силы землетрясения, а потому зарождает тайфун в ясную погоду и плазмоны в атмосфере, не идентифицируемые известными средствами измерений. Следовательно, PL -среда взаимодействует с плазмой ионосферы и обеспечивает наблюдение AG и $FGSS$ -волн из-за их отражения, вызванного диэлектрической проницаемостью ионосферы $\epsilon < 0$.

Результаты настоящего исследования основаны на лабораторном физико-химическом анализе артезианской и водопроводной воды. Для полного опровержения гипотезы рН требуется проверить действие ультразвука на частотах от 22 кГц до 1 МГц на пробы воды из различных регионов Мирового океана и на кратных частотах для изучения превращения воды в двухфазную среду и далее в ионизированный газ. Распад молекул H_2 на атомы водорода, вероятно, возникает при $f=110$ кГц, так как диаметр молекулы H_2 , равный 1 \AA , в 5 раз меньше $\Delta=5\text{ \AA}$ молекулы H_2O . Таким образом, для подтверждения предложенной теории исследуемого явления необходим натурный эксперимент в океане.

Литература

1. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. – М.: Яуза-К., 2005. – 360 с.
2. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. – М.: Наука, 2007. – 370 с.
3. Вадов Р.А. Открытие подводного звукового канала, экспериментальные исследования, региональные различия // Акустический журнал. – 2007. – Т. 53. № 3. – С. 313–328.
4. Абакумова Н.К., Галкин О.П., Лысанов Ю.П. Пространственная структура гидроакустического поля от подводного землетрясения на больших расстояниях в океане // Акустический журнал. – 1997. – Т. 43. № 6. – С. 725–729.
5. Шалимов С.Л., Рожной А.А., Соловьева М.С. и др. Воздействие землетрясений и цунами на ионосферу // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 199–213.
6. Куницын В.Е., Крысанов Б.Ю., Воронцов А.М. Генерация акустико-гравитационных волн различными источниками на поверхности Земли // Вестник МГУ. Серия 3. Физика и астрономия. – 2015. – № 6. – С. 112–119.
7. Butman B., Twichell D., Rona P. et al. Seafloor topography and backscatter intensity in the Hudson Canyon region offshore New York and New Jersey". USGS Public Domain Report 2004–1441. 2006. Version 2.0.
8. Носов М.А., Колесов С.В., Нурисламова Г.Н. и др. Роль силы Кориолиса в динамике волн, возбуждаемых в океане глубоководными землетрясениями // Вычислительные технологии. – 2019. – Т. 24. № 1. – С. 73–85. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.1.006.
9. Sementsov K.A., Nosov M.A., Kolesov S.V. et al. Free gravity waves in the ocean excited by seismic surface waves: Observations and numerical simulations // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. V. 124, P. 8468–8484. <https://doi.org/10.1029/2019JC015115>
10. Викулин П.Д., Викулина В.Б. Влияние ультразвука на изменение рН воды // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 4(80). – С. 3–8.
11. Александров А.Ф., Рухадзе А.А. Лекции по электродинамике плазмоподобных сред. Часть II (неравновесные среды). – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 233с