

УДК 550.385.3,550.343

## ОБ ИСТОЧНИКЕ ОСОБОГО ВИДА ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ВО ВРЕМЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2014 г. Х.Д. Канониди

*Канониди Харлампий Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитно-ионосферных взаимодействий, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Московская обл., 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru*

*Kanonidi Kharlampiy Dmitrievich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Head of Sector of Magnetic-Ionospheric Interactions, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAS, Troitsk, Moscow Region, 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru.*

*Впервые рассмотрены типы геомагнитных пульсаций во время активной фазы глубинных землетрясений. Исследована зависимость периода и амплитуды наблюдаемых пульсаций во время сильных глубинных землетрясений от параметра L-высоты силовой трубки от экватора и l-длины силовой трубки от места расположения обсерваторий. Дан краткий обзор основных работ по ионосферным и геомагнитным данным, посвященным предвестникам землетрясений.*

**Ключевые слова:** землетрясения, вариации магнитного поля Земли, пульсации, ионосфера.

*It is at first time consideration a new type of geomagnetic pulsation in time of active phase strong deep earthquake. The dependes on staded period and amplitude observation pulsation in time of strong deep earthquake from parameter L-height of power line on equator and l-length of power line from the observation place. We give short survey about ionospheric and geomagnetic data of main reports precursor of earthquake.*

**Keywords:** earthquake, variation of the Earth's magnetic field, pulsation's, ionosphere.

В настоящее время тот факт, что процессы подготовки землетрясений в земной литосфере отражаются на развитии различных физических процессов как на поверхности Земли, так и в ее атмосфере и ионосфере, уже не вызывает сомнений. Имеются сведения о колебаниях удельного электрического сопротивления горных пород в приповерхностном слое, об аномальных изменениях концентрации некоторых химических составляющих в атмосфере, в частности, радона, перед землетрясениями, отмечают характерные ва-

риации геомагнитного и теллурического полей в связи с нарастанием сейсмической активности, претерпевает изменения электронная концентрация на высотах термосферы и т.д. На основе многочисленных данных сделан вывод о том, что электронная концентрация на уровне максимума F-области ( $Nm$ ) над эпицентральной областью изменяется за несколько суток до землетрясения, причем эффект лучше выражен в ночное время [1]. Как правило, наблюдается увеличение  $Nm$  по сравнению с расчетными модельными или меди-

анными значениями и с измеренными значениями вдали от эпицентра готовящегося землетрясения. Об уменьшении  $Nm$  накануне землетрясения сообщается гораздо реже [2]. Такая неоднозначность при попытках объяснить природу литосферно-ионосферных связей или прогнозировать сейсмические события по ионосферным данным вызывает настоятельную необходимость более детального знания, как именно реагирует ионосфера на процессы подготовки землетрясений в тех или иных условиях.

В подавляющем большинстве случаев как в нашей стране, так и за рубежом до сих пор рассматривались ионосферные эффекты подготовки землетрясений, эпицентры которых находились в высоких и средних широтах. Низкоширотные землетрясения практически не изучены, хотя весьма сейсмоактивные зоны расположены именно в низких широтах (районы Перу, Океании, Индии). Например, разрушительные землетрясения за последнее время: 17 июля 1998 г. с эпицентром в море у побережья Новой Гвинеи (магнитуда 7,1); 6 августа 1998 г. с эпицентром в 208 км от Кито, Эквадор, (магнитуда 7,1); 25 января 1999 г. в Колумбии (магнитуда 8,0); 26 января 2001 г. в Индии (магнитуда 8,0).

Физические процессы на магнитном экваторе и в низких широтах в большой степени определяются тем, что геомагнитное поле здесь содержит лишь горизонтальную компоненту (вертикальная либо нулевая, либо весьма мала), поэтому наблюдаются большие отличия в поведении ионосферы в этом регионе по сравнению с более высокоширотными регионами даже в спокойных условиях. В связи с этим естественно предположить, что и реакция на изменения в литосфере, происходящие перед землетрясениями, здесь должна иметь свои особенности.

Единичные попытки рассмотрения низкоширотных землетрясений подтверждают такое предположение. Например, работа Пулинца и других о возможности прогнозирования землетрясений по данным спутникового зондирования [3], в которой отмечен факт понижения электронной плотности и увеличения высоты максимума области F в районе, смещенном к северо-востоку от расположенного в низких широтах эпицентра землетрясения. Однако авторы работы не связывают такую аномалию с местоположением эпицентра, а считают, что знак сейсмоионосферных вариаций зависит от местного времени.

Региональные особенности проявления процессов подготовки землетрясений на ионосферных высотах не были до сих пор объектом отдельного изучения, и следовательно, предлагались одни и те же механизмы объяснения реакции ионосферы на подготовку землетрясений независимо от места события. На наш взгляд, довольно «пеструю» картину изменений электронной плотности в ионосфере перед землетрясениями крайне трудно представить в рамках единого механизма, хотя положительные результаты в этом направлении имеются [4, 5]. Нам представляется, что решение проблемы механизмов литосферно-ионосферной связи значительно упростится, если рассматривать сейсмоионосферные эффекты в широтных регионах, отличающихся спецификой протекания физических процессов, отдельно. Максимально досто-

верное представление о низкоширотной ионосфере перед землетрясениями позволит подойти к физической интерпретации результатов исследования с более конкретными позициями. В настоящее время существуют два подхода к решению этой проблемы: один – базирующийся на предположении электромагнитной связи в системе «литосфера–ионосфера», другой – на связи посредством акустико-гравитационных волн, причем весьма важным и малоизученным остается механизм передачи литосферного возмущения до высот областей D и E ионосферы и затем выше до F-области. До некоторой степени аналогом решения задачи передачи возмущения от E- к F-области на магнитном экваторе может служить хорошо известный механизм «фонтан-эффекта». На основе новой информации и знания специфики физических процессов в низкоширотном регионе можно рассчитывать получить приемлемую интерпретацию наблюдаемых ионосферных эффектов на заключительной стадии подготовки землетрясения.

В работе [6] была отмечена своеобразная реакция низкоширотной ионосферы на готовящееся землетрясение по спутниковым данным. Впоследствии теми же авторами было показано, что для отдельных землетрясений с эпицентрами, локализованными вблизи экватора наклонения, наблюдается понижение электронной концентрации за некоторое время перед событием, причем возмущение на высоте ионосферы захватывает не только окрестность проекции эпицентральной области, но и всю область в пределах радиуса подготовки землетрясения, который определяется по Добровольскому, как  $R = \exp(M)$ , где M – магнитуда землетрясения.

В работе [7] для катастрофического землетрясения в Чили был получен похожий результат из анализа наземных данных, когда на спокойном геомагнитном фоне наблюдалось аномальное понижение электронной плотности на уровне главного максимума ионосферы в ночные часы за двое суток до события, хотя не отмечалось зависимости степени возмущения от эпицентрального расстояния.

Наличие устойчивой модификации ионосферы на уровне и выше главного максимума в виде воронки, расположенной над эпицентром или на некотором удалении от него, для землетрясений в Америке и в акватории Тихого океана отмечено в работе [8]. Являются ли обнаруженные факты существенной характерной региональной особенностью низкоширотной ионосферы, еще предстоит выяснить.

В связи с изложенным выше представляется крайне важным изучение модификации ионосферы накануне землетрясений в Индийском регионе.

Во-первых, географическое положение Индии (Гималайская плита) обуславливает высокую вероятность сильных землетрясений, необходимость прогноза которых весьма актуальна. Во-вторых, до сих пор нет информации по Индийскому региону, подтверждающей или опровергающей выводы, сделанные для Американского и Тихоокеанского регионов. Вполне вероятно ожидать долготных особенностей в проявлении сейсмоионосферных возмущений.

В-третьих, в Индии давно и успешно функционирует долготная цепочка ионосферных станций, с по-

мощью которой можно воссоздать пространственную картину вариаций электронной плотности к северу от магнитного экватора независимо от того, имеются ли спутниковые данные для рассматриваемого промежутка времени. Кроме того, здесь проводятся регулярные измерения полного электронного содержания, мерцаний сигналов спутников, дрейфов и др., весьма полезные для проверки вышеизложенной гипотезы. Если допустить, что «возмущенная область» на уровне главного максимума ионосферы перед землетрясением представляет собой круг радиуса  $R = \exp M$ , то для землетрясений с  $M = 5,0-8,0$   $R = 200 - 2000$  км, т.е. область модификации ионосферы сопоставима с размерами полуострова. Это обстоятельство может способствовать получению комплексной картины возмущения в ионосфере перед землетрясением.

Таким образом, даже на основе тех измерений, которые проводятся на территории Индии регулярно, можно решить ряд задач, связанных с возмущениями в ионосфере перед сейсмическими событиями.

В работах Ружина и др. [9 – 13] показано, что размер области предвестников в ионосферно-магнитосферной системе сравним с зоной подготовки землетрясений согласно формуле Добровольского. Для экваториального землетрясения, по данным спутника Allouete 2, найдено, что ночью перед землетрясением в ионосфере появляется структура в распределении плазмы, подобная дневной экваториальной аномалии, что напрямую указывало на природу и механизм ионосферных предвестников, т.е. источником такой аномалии могло быть только соответствующее электрическое поле, сравнимое с природным, вызывающим в дневное время «фонтан-эффект» в экваториальной ионосфере. В этих работах также показана магнитная сопряженность ионосферных предвестников, а также проявление их локальности в отдельных случаях.

В работах [14, 15] обнаружена явная зависимость суточной вероятности появления землетрясения от спокойной солнечно-суточной вариации геомагнитного поля. Более того, найдена локальная зависимость проявления этого эффекта на примере регионов Кавказа и Греции, т.е. противоположное проявление (максимум вероятности днем в одном районе и минимум в другом) или полное отсутствие для одного из двух близлежащих областей земной поверхности (на расстояниях меньше 200 км). Кроме широко обсуждаемых сейчас предвестников в околоземном пространстве (в основном это ионосферные сейсмоаномалии), найдены аномалии, появляющиеся перед землетрясениями и в приземной области атмосферы. Атмосферные сейсмоаномалии (возможные предвестники) в настоящее время включают генерацию электромагнитного КВ-УКВ-излучения [16, 17], появление зарядовых (грозовых) облаков накануне землетрясений [16, 18], изменение условий распространения УКВ-радиоволн [20]. Даже при распространении сигналов от спутников сети GPS вблизи горизонта над зоной подготовки проявляется эффект аномальной рефракции за несколько дней до землетрясений [16, 17].

Предложена модель модификации атмосферы накануне землетрясений [18] и создана теория этого процесса [19]. Показано [21] отличие генерируемого УКВ-предвестника от возмущений, обусловленных солнечной активностью. Перечисленные проявления в атмосфере грядущей сейсмоактивности могут происходить в комплексе и отдельно. Это, по-видимому, связано с локальностью их генерации, которая определяется геологией и/или местными метеосообстоятельствами (условиями) [18 – 21].

Интересные результаты получены в работах [22 – 24] об аномальных геомагнитных возмущениях в вариациях магнитного поля Земли на этапах подготовки и развития глубокофокусных землетрясений. Такие измерения проводились на научном стационаре ИЗМИРАН (Карпогоры Архангельской области) и в районе эльбрусского вулканического центра Баксан, на базе ИЯИ АН и др.

Подробно анализировались черноморские землетрясения конца декабря 2012 г. и их проявление в геомагнитном поле [24].

Основное внимание уделено анализу аномальных «квазогармонических» магнитных возмущений, зафиксированных на этапе подготовки землетрясений. Детально обсуждаются наблюдаемые изменения в геофизических полях на этапе подготовки опасных сейсмических событий и анализируются причины их появления.

Характеризуя процесс зарождения и развития возмущений-предвестников, отмечено, что амплитуда наблюдаемого квазистатического сигнала колебалась в пределах 0,5–1,2 нТл, а период изменялся в диапазоне от 1 до 2 мин. С учетом удаления Северокавказской обсерватории Баксан от эпицентральной зоны представляется возможным ориентировочно оценить амплитуду возмущения в районе, прилегающем к области развития сейсмического процесса, величиной 50–120 нТл.

Волновые формы, полученные после фильтрации возмущения в диапазоне периодов 18–300 с, отражают тонкую структуру и характерную форму УНЧ-геомагнитного возмущения предвестника.

Греческими учеными [25] обнаружены кратковременные изменения электрического поля Земли (сейсмический электрический сигнал – СЭС), которые появляются за много часов до землетрясения.

Наиболее перспективное направление ионосферной диагностики дает томография. Она позволяет получить глобальную информацию об ионосферных разрезах (до высоты в 1000 км).

Оперативность и полнота информации дает возможность строить прогноз землетрясений по ионосферным предвестникам на новых принципах. Созданы достаточно простые аппаратные средства, которые в комплексе с разработанными пакетами программ позволяют автоматизировать процесс прогноза и повысить его надежность.

За последнее десятилетие в этом сложном вопросе намечился существенный прогресс. Выяснилось, что с космического расстояния предсказать время начала землетрясения значительно проще, чем вблизи. Ученые убедились, что на различные параметры околоземного космического пространства и на состояние

космической погоды будущее землетрясение оказывает существенное влияние. Наиболее чувствительной областью является ионосфера, т.е. ионизированная часть земной атмосферы, которая находится ориентировочно в области высот от 70 до 700 км над поверхностью Земли. Бортовые исследования имеют невысокую точность определения положения будущего эпицентра землетрясения, но они лучше других методов позволяют ответить на вопрос «когда?» и в качестве важнейшего звена должны войти в комплексную программу прогноза землетрясений. Ионосферные предвестники землетрясений проявляются в виде специфических вариаций параметров космической плазмы, электрических и магнитных квазипостоянных полей и электромагнитных волн, потоков энергичных частиц. Характерной особенностью наблюдаемых вариаций является то, что они регистрируются в определенной области пространства, проекция которой на поверхность Земли включает положение эпицентра будущего землетрясения.

Методика нахождения предвестника должна опираться на постоянное патрулирование зоны, где ожидается землетрясение, и постоянное определение фонового состояния, изменение которого и может дать предсказание момента начала землетрясения. Последнее означает, что космический ионозонд, предсказывающий землетрясения, должен одновременно выполнять задачи ионосферной службы, которая в настоящее время опирается только на наземные ионозонды.

Недавно появилась новая гипотеза, высказанная профессором Ю.К. Калининым из Института прикладной геофизики Росгидромета. Анализируя данные временных вариаций плотности ионосферы в ее максимуме на различных ионосферных обсерваториях планеты на основе применения современных статистических методов, Ю. Калинин нашел новый тип ионосферных неоднородностей, грубо говоря, ионосферных облаков больших размеров. Эти облака создаются над эпицентром будущего землетрясения задолго до начала первого толчка. Потом они «отрываются» от этого места и в соответствии с ветровыми и электромагнитными условиями на соответствующей высоте начинают двигаться над планетой, проходя иногда в течение нескольких часов десятки тысяч километров. В период этого движения они могут регистрироваться наземными или бортовыми ионозондами.

Рассмотрим неизвестное ранее явление воздействия сейсмичности Земли через акустические волны на ионосферу [26].

До открытия этого явления было принято считать, что любые изменения в состоянии ионосферы вызываются только изменениями солнечной активности. Многократно отмечалось, что при высокой солнечной активности ионосфера оставалась спокойной, и наоборот, значительные возмущения ионосферы наблюдались при спокойном Солнце.

Акустическая энергия распространяется от Земли к ионосфере двумя путями. Первый – по вертикали к поверхности Земли; при этом воздействию подвергается область ионосферы, лежащая над поверхностью Земли, охваченной землетрясением. Второй

путь – под углом к вертикали. Начальное искривление пути распространения акустической волны возникает вследствие неровности рельефа местности и под воздействием струйных течений на высотах 20–30 км. Дальнейшее увеличение угла пути распространения происходит вследствие повышения температуры атмосферы. При определенных условиях углы могут достигнуть таких величин, при которых дальнейшее распространение акустической волны будет происходить в ионосфере параллельно поверхности Земли. В этих случаях акустические волны сейсмического происхождения будут распространяться в ионосфере на большие расстояния, вызывая в ней возмущения, особенно сильные и продолжительные в полярных областях. Последнее обстоятельство связано с тем, что движение заряженных частиц газа под воздействием акустической волны происходит почти перпендикулярно вектору магнитного поля Земли.

При вулканических и искусственных взрывах первичным носителем возмущающей энергии является ударная волна взрыва, которая на некотором расстоянии от центра взрыва вырождается в спектр акустических волн, достигающих ионосферы и распространяющихся в ней так же, как в случае землетрясения.

Обнаружен новый вид короткопериодической вариации напряженности геомагнитного поля с периодом 5–10 с с постепенным нарастанием и последующим уменьшением амплитуды [27]. Этот вид вариации появляется сначала на более низких широтах, а затем перемещается в высокие широты (рис. 1).

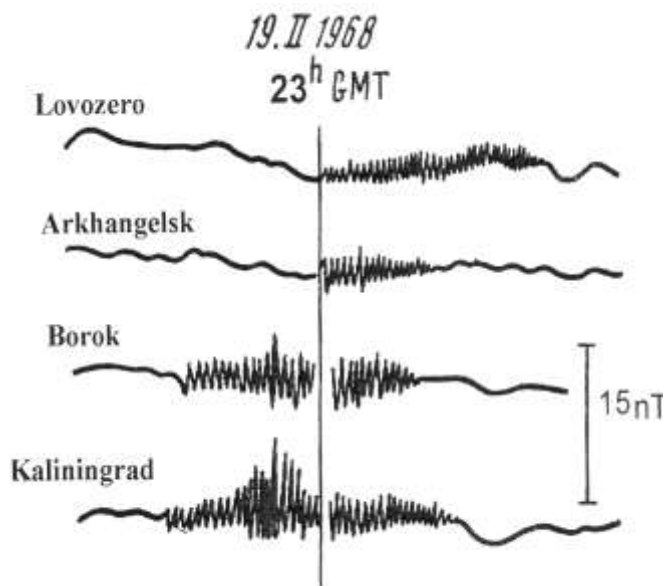
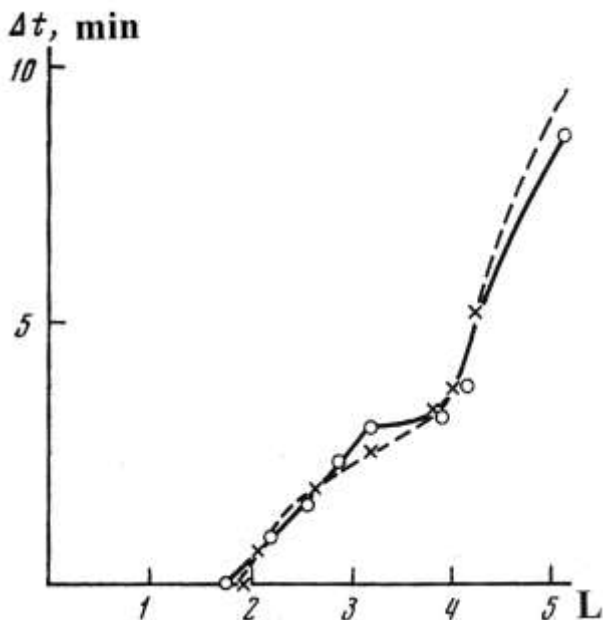


Рис. 1. Вариация напряженности геомагнитного поля с периодом 5–10 с

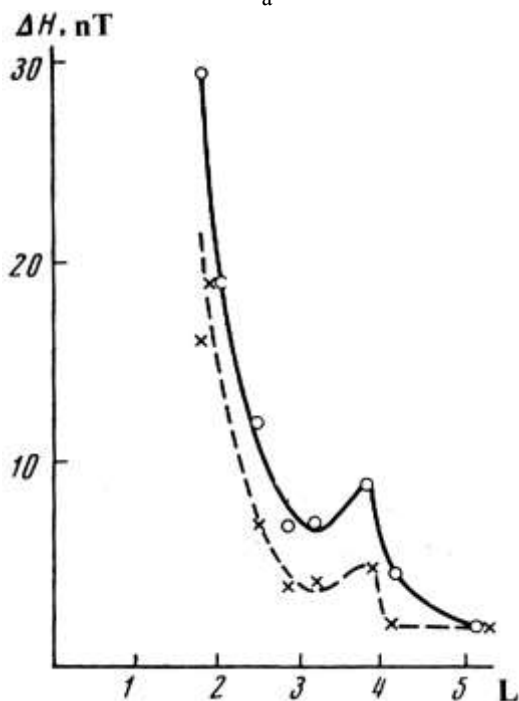
С увеличением широты амплитуда вариации уменьшается. Еще одной характерной особенностью является то, что указанная короткопериодическая вариация наблюдается во всех трех составляющих магнитного поля Земли, что не имеет места для других вариаций такого же периода. Необычно и то, что заметного эф-

факта в земных токах не наблюдается (по данным ст. Шацк, Борок и Нимек). Таких случаев пока обнаружено только четыре: 13.11.1965 г., 22.07.1967 г., 19.02.1968 г., 28.03.1970 г.

На рис. 2 изображены соответственно времена начала и изменение максимальной амплитуды горизонтальной составляющей во время двух наиболее явно выраженных случаев – 19.02.1968 г. между 22 и 23 ч UT и 28.03.1970 г. между 21 и 22 ч UT в зависимости от параметра  $L$ .



а



б

Рис. 2. Максимальная амплитуда горизонтальной составляющей: а – время начала; б – изменение. Сплошная линия – случай 19.02.1968 г., штриховая – 28.03.1970 г.

Анализ временного и пространственного распределения возмущений поля позволяет высказать сле-

дующие соображения. Возмущающий агент должен перемещаться перпендикулярно силовым линиям от Земли вверх. Постепенно энергия возмущающего агента уменьшается, что подтверждается уменьшением амплитуды  $H$ -составляющей с увеличением  $L$  (рис. 2б). Учитывая, что скорость распространения возмущения вдоль магнитной силовой трубки велика, легко показать, что разность во времени регистрации возмущения в разных наземных пунктах (рис. 2а) может быть объяснена не распространением по разным оболочкам от единой возмущающей области, а лишь перемещением самой возмущающей области поперек силовых линий. Скорость перемещения агента для двух указанных случаев должна была составлять 20–200 км/с.

Из рис. 2б и с учетом того, что амплитуда  $H$ -составляющей возмущения поля определяется в основном внешним источником (заметного эффекта в земных токах нет), следует, что наблюдаемое увеличение амплитуды  $H$ -составляющей на оболочке  $L \sim 3,8$  определяется местоположением плазмопаузы, а не индукционными источниками в Земле.

По характеру и периоду колебаний этот тип пульсаций наиболее близок к иррегулярным пульсациям типа  $Pi1$ . Для удобства назовем этот особый тип КПК  $Pi1$ .

Анализ геофизической обстановки в период появления  $Pi1$  показал, что возмущающим агентом для  $Pi1$  может быть акустическая волна, вызванная землетрясением; все обнаруженные  $Pi1$  по времени совпадают с началом сильных глубинных землетрясений. В [2, 3] показано, что возникающая при землетрясении акустическая волна может быть источником электромагнитных возмущений.

Для выяснения возможного источника  $Pi1$  мы проанализировали более детально данные о КПК в период землетрясения, имевшего место 19.02.1968 г. В таблице приведены значения периодов колебаний КПК для трех станций с разными значениями параметра  $L$  ( $l$  – длина силовой трубки в радиусах Земли). Более четко зависимость  $T$  от  $l$  видна из рис. 2б. Можно заключить, что период колебаний линейно зависит от длины силовой трубки.

Данные по КПК 19.02.1968

Станция	$L$ (R)	$l$ (R)	$T$ , с	$V$ , км/с $10^3$
Борок	2,88	5,83	5	
Согра	3,65	7,97	8	12,8
Ловозеро	5,18	12,24	13	12,3

Примечание. R – радиус Земли,  $l$  – длина силовой трубки.

В предположении, что этот период колебаний определяется временем прохождения пульсаций от одного конца силовой трубки до другого и обратно, была определена скорость ее распространения. Длина силовой трубки была взята из [28].

Как показывают вычисления, скорость колебательного движения пульсаций между двумя зеркальными точками вдоль силовой линии практически одинакова для различных  $L$ .

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Предлагается такая последовательность процессов, участвующих в генерации сейсмогенных магнитных пульсаций:

1. Акустическая волна от землетрясений, достигая ионосферных слоев с высокой педерсоновской проводимостью, генерирует магнитозвуковую волну.

2. Магнитозвуковая волна, распространяясь вверх, трансформируется в альвеновскую в тех силовых трубках, где исходный пакет волн имеет резонанс на основной гармонике или гармоника имеет более высокий порядок. По всей видимости (рис. 1), судя по периоду пульсаций, это скорее всего нечетные гармоники.

3. Собственные колебания силовой трубки частично отдают энергию при периодических отражениях в ионосфере, которая достигает земной поверхности в виде магнитных пульсаций. Подтверждением такой модели служит диапазон скоростей (до 200 км/с) вдоль земной поверхности, оцениваемой по широтной задержке появления сейсмогенных пульсаций. Приведенные оценки и расчеты с учетом реальной геометрии свидетельствуют в пользу представленной модели генерации специфических магнитных пульсаций, регистрируемых на больших удалениях от эпицентра.

#### Литература

1. *Литеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л.* Ионосферные предвестники землетрясений. М., 1992. 304 с.
2. *Ondoh T.* International Workshop on Seismo Electromagnetics. Tokyo, 1997. P. 83.
3. *Пулинец С.А., Легенька А.Д., Карпачев А.Т., Кочеткова Н.А., Мигулин В.В., Ораевский В.Н., Флигель М.Д.* О возможности прогнозирования землетрясений по данным спутникового зондирования : препринт № 34а (981). М., 1991.
4. *Goberg M., Pokhotelov O., Shalimov S.* IUGG 99 Birmingham Abstracts.
5. *Sorokin V., Chmyrev V., Borisov N.* IUGG 99 Birmingham Abstracts.
6. *Ружин Ю.Я., Ораевский В.Н., Демуева А.Х.* Сейсмоионосферные предвестники : препринт № 92 (1039). 1993. 47 с.
7. *Ишкова Л.М., Ковалевская Е.М., Моргунов В.А.* Ионосферные возмущения в период землетрясения в Чили в мае 1960 г. // Докл. АН СССР. 1994. Т. 334, № 4. С. 504–506.
8. *Демуева А.Х., Ротанова Н.М.* Модификация ионосферы низких и экваториальных широт перед землетрясениями // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т. 40, № 6. С. 50–54.
9. *Ruzhin Yu.Ya., Depueva A.K.* Seismoprecursors in space as plasma and wave anomalies // J. of Atm. Electricity. 1996. Vol. 16, № 3. P. 271 – 288.
10. *Depueva A.Kh., Ruzhin Yu.Ya.* Seismoionospheric fountain-effect as analogue of active space experiment // Adv. Space Res. 1995. Vol. 15, № 12. P. 151 – 154.
11. *Ruzhin Yu.Ya., Larkina V.I., Depueva A.Kh.* Earthquake precursors in magnetically conjugated ionosphere regions // Adv. Space Res. 1998. Vol. 21, № 3. P. 525 – 528.
12. *Ruzhin Yu.Ya., Depueva A.Kh., Larkina V.I.* Local and global effects of space earthquake precursor anomalies // Adv. Space Res. (includes Cospar Information Bulletin). 2000. Т. 26, № 7. С. 1195 – 1198.
13. *Devi M., Barbara A.K., Depueva A.H., Ruzhin Y.Y., Depuev V.* Anomalous total electron content (TEC) and atmospheric refractivity prior to the very strong China earthquake of May 2008 // International J. for Remote Sensing. 2010. Vol. 31, № 3. P. 3589 – 3599.
14. *Duma G., Ruzhin Yu.* Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2003. № 3. P. 171 – 177.
15. *Ружин Ю.Я., Канониди Х.Д., Канониди К.Х.* Sq-вариация геомагнитного поля и особенности локальной сейсмичности Кавказа // Природ. процессы, геодинамика, сеймотектоника : тр. конф. Нальчик, 2010. С. 392 – 399.
16. *Voinov V.V., Gufeld I.L., Kruglikov V.V. et al.* Effects in the ionosphere and atmosphere before the Spitack earthquake // News of USSR Academy. Fizika Zemli (in Russian). 1992. № 3. P. 96 – 101.
17. *Ruzhin Yu., Nomicos C., Vallianatos F.* High frequency seismoprecursor emissions // Fifteenth International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC 2000). Poland, 2000. Part. II. P. 512 – 516.
18. *Ruzhin Y., Nomicos C.* Radio VHF precursors of earthquakes // Natural Hazards. 2007. Vol. 40, № 3. P. 573 – 583.
19. *Sorokin V.M., Ruzhin Y.Y., Yaschenko A.K., Hayakawa M.* Generation of VHF radio emissions by electric discharges in the lower atmosphere over a seismic region // J. Atm. and Sol.-Terr. Physics. 2011. Vol. 73, № 5,6. P. 664 – 670.
20. *Devi M., Ruzhin Yu.Ya., Barbara A.K., Hayakawa M.* Over-the-Horizon Anomalous VHF Propagation and Earthquake Precursors, Surv. // Geophys. DOI 10.1007/s10712-012-9185-z; 2012.
21. *Koulouras G., Balasis G., Ruzhin I.Y.* Discrimination between pre-seismic electromagnetic anomalies and solar activity effects // Physica Scripta. Vol. 79. 2009. 45901/1-12.
22. *Собисевич А.Л., Канониди К.Х., Собисевич Л.Е., Гриднев Д.Г.* Об одном классе электромагнитных возмущений, возникающих перед сильными землетрясениями // Сейсмические приборы. 2009. Т. 45, № 3. С. 48 – 55.
23. *Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л., Мисеюк О.О.* Геомагнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли на этапах подготовки и развития турецкого (08.03.2010 г.) и северокавказского (19.01.2011 г.) землетрясений // Докл. АН. 2013. Т. 449, № 1. С. 93 – 96.
24. *Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л.* Аномальные геомагнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли на этапах подготовки и развития глубокофокусных землетрясений // Докл. АН. 2013. Т. 453, № 3. С. 329 – 333.
25. *Вартос П., Алексопулос К.* // Тектонофизикс. 1984. Т. 110, № 1/2. С. 99 – 125.
26. *Бирфельд Я.Г., Таранцов А.В.* Явление воздействия сейсмичности Земли через акустические волны на ионосферу // Ежегодник БСЭ. 1974. С. 512.
27. *Канониди Х.Д.* Особый вид геомагнитных пульсаций // Геомагнетизм и аэрономия. 1972. № 12. С. 365.
28. *Ижовкина Н.И.* Исправленные геомагнитные координаты и исправленное геомагнитное время : препринт № 27. М., 1972..