



УДК 621.371.25

МАКРОМАСШТАБНЫЕ ДВИЖУЩИЕСЯ ВОЗМУЩЕНИЯ f_oF2 СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ, АССОЦИИРУЕМЫЕ С НАЗЕМНЫМИ ВБРОСАМИ ЭНЕРГИИ ПОРЯДКА 10^{16} Дж

Ю.К. Калинин¹, А.Ю. Репин¹, Е.Н. Хотенко¹, А.В. Щелкалин¹¹Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

Исследуются объекты, возникающие в ионосфере при наземных вбросах энергии порядка 10^{16} Дж. Они проявляются в виде относительных вариаций критической частоты δf_oF2 с пиковой контрастностью более 20 %, пространственным масштабом 2 – 3 тыс. км и «временем жизни» 20 – 100 часов. Объекты перемещаются с почти звуковой скоростью на расстояния до 10^5 км вдоль траекторий, тяготеющих к дугам большого круга, по большей части сохраняя свою амплитуду. При этом и антропогенные, и сейсмогенные возмущения, возникшие после момента главного удара, характеризуются отрицательными значениями. И только специфические сейсмогенные объекты, которые возникают до момента главного удара на отрезок времени упреждения, равный 10 – 15 часам, характеризуются положительным знаком. Приводятся конкретные примеры, относящиеся к различным энергетическим уровням источников возмущений. Отмечается возможность самого краткосрочного ионосферного прогноза с использованием текущих данных GPS времени и места главного удара сильных землетрясений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИОНОСФЕРА, ОБЛАСТЬ F2, ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВАРИАЦИЯ, ВОЗМУЩЕНИЕ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ, ЭНЕРГИЯ, АНТРОПОГЕННЫЙ ОБЪЕКТ, ВРЕМЯ УПРЕЖДЕНИЯ, СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ.

DOI: 10.54252/2304-7380_2021_31_41

1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Наличие в ионосфере случайных сгущений и разрежений электронной концентрации, именуемых неоднородностями, является общепризнанным фактом [Альперт, 1960]. Об этом можно судить по величине пространственно-временных относительных вариаций критической частоты области F2 среднеширотной ионосферы δf_oF2 . Они характеризуются некими параметрами, называемыми также масштабами (до десятков километров горизонтальных размеров и десятков секунд «времени жизни»). И это считалось стандартным фоном, когда были обнаружены макромасштабные движущиеся возмущения (МДВ) отрицательного знака, возникшие после момента главного удара сильного землетрясения [Leonard a.o., 1965]. Позднее было установлено, что МДВ положительного знака возникают до момента главного удара, на величину так называемого времени упреждения [Калинин и др., 2002; Kalinin a.o., 2003]. Кроме того, отрицательный объект может возникнуть после разного рода антропогенных акций (АА), связанных с большим выделением энергии E (запуск «тяжёлых» ИСЗ, выброс химически активных веществ и т.д.). Ниже используется нормирующее значение энергии $E_0 = 10^{16}$ Дж, что соответствует энергии землетрясения магнитудой $M = 7$, а также величина $\zeta = E/E_0$. То есть предполагается, что возникновение

рассматриваемых объектов формально характеризуются внезапным увеличением ζ от нулевого значения до уровня, попадающего в интервал 0,01 – 1,5. Образовавшаяся неоднородность, как отмечено выше, может быть либо положительной, либо отрицательной. Но в обоих случаях кажущаяся скорость её горизонтального перемещения близка к скорости звука. Продольные и поперечные размеры – примерно одинаковы и заключены в пределах 2 – 3 тыс. км. Время существования зависит от величины ζ и длины траектории, которая может достигать двух оборотов вокруг Земли. Величина модуля $\delta f_o F2$ может оставаться постоянной на значительном участке траектории. Ниже приводятся конкретные примеры, относящихся к различным энергетическим уровням источников возмущений. Отмечается возможность сверхкраткосрочного ионосферного прогноза времени и места главного удара сильных землетрясений с использованием текущих данных GPS.

2. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ИОНОСФЕРНОГО УПРЕЖДЕНИЯ ГЛАВНОГО УДАРА СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В поисках ионосферных явлений, упреждающих землетрясения, в частности МДВ, были проделаны расчёты, результаты которых опубликованы в приоритетных работах [Калинин и др., 2002; Kalinin a.o., 2003]. В них приведены экспериментальные данные, свидетельствующие в пользу гипотезы о возникновении в области главного максимума ионосферы, области $F2$, сейсмогенных МДВ с горизонтальными размерами $\sim(2 - 3)$ тыс. км. Причём речь шла об ионосферных объектах, предвещающих на несколько часов катастрофические землетрясения. Так рассматривалось землетрясение, имевшее место на Курильских островах 02.05.1985 г., 08.55 UT, $\zeta \approx 0,5$. При этом задолго до момента главного удара наблюдались разрозненные вариации $\delta f_o F2 > 0$. Но важны были упорядоченные объекты положительного знака, регистрируемые на различных АИС.

На рисунке 1 представлена группа станций, зарегистрировавших детерминировано сосредоточенные во времени вариации $\delta f_o F2 > 0$. Географическое положение таких АИС отмечено на рис. 1. кружочками с крестиком. Положение эпицентра отмечено квадратиком. Кружочками с минусами отмечено положение АИС, на которых эффект $\delta f_o F2 > 0$ не наблюдался. Возле каждого кружочка проставлены первые буквы названия городов, в которых расположены станции. На рис. 1 также приведены две пунктирные кривые, условно отображающие сектор, в котором расположены АИС «со знаком +». Неадекватно изображено лишь положение АИС Мауи, на Гавайских островах. В целях уменьшения размеров рис. 1. этот кружочек был приближен к Камчатке.



Рис. 1. Расположение АИС, зарегистрировавших и не зарегистрировавших ионосферный эффект во время Курильского землетрясения

Таким образом, забегаая вперёд, отметим, что обнаружение эффекта произошло на АИС Иркутск, Томск, Алма-Ата и Слоу. На станциях Свердловск и Москва в соответствующее им время было зарегистрировано положительное изменение δf_o , имевшее, однако бóльшую длительность. Известно, что в это время происходило кратковременное магнитное возмущение, которое, по-видимому, и ответственно за эти вариации. Для остальных АИС возмущения характеризовались длительностью примерно два-три часа каждый.

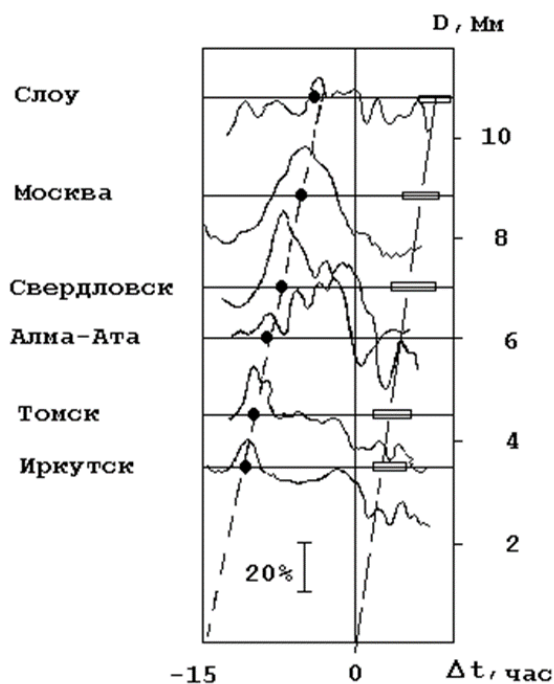


Рис. 2. Детерминированная изменчивость относительных вариаций критической частоты, зарегистрированных на цепочке АИС

На рисунке 2 представлены функции временной изменчивости $\delta f_o F2(t)$ на различных АИС с началом в момент главного удара. Они расположены друг под другом с вертикальным сдвигом осей абсцисс, пропорциональным расстоянию D от АИС до эпицентра землетрясения, шкала с правой стороны с единицей измерения Мм. Точки максимальных значений δf_o регистрировались тем позднее, чем дальше от эпицентра находилась АИС. Так для Иркутска это был момент примерно -10 часов по отношению к моменту главного удара, для Алма-Аты максимальное значение было в момент $\Delta t = -7$ часов. Для АИС Свердловск и Москва максимумы δf_o соответствовали более поздним моментам $\Delta t = -5$ и $\Delta t = -4$ часа соответственно. Однако сама форма возмущений $\delta f_o(t)$ для этих АИС характеризуется бóльшей величиной длительности по времени – порядка 6 часов. В этот период имело место кратковременное магнитное возмущение. Однако на АИС Слоу была зарегистрирована заметная ионосферная реакция на рассматриваемое землетрясение. Локальное изменение $\delta f_o(t)$ при этом характеризуется длительностью мене трёх часов и временем наступления максимального значения примерно $\Delta t = -3$ часа.

Существенно, что на плоскости $(D, \Delta t)$, где, напомним, D – расстояние от той или иной АИС до эпицентра, точки максимумов располагаются вблизи прямой линии. Её наклон соответствует кажущейся скорости 10^3 км/час, а моменту пересечения с осью абсцисс $D = 0$ соответствует $\Delta t = -15$ часов. При такой скорости МДВ её продольные размеры определяются примерно как 3 тыс. км. Характерно географическое расположение АИС, в данных которых не обнаруживаются локальные максимумы. Это в расположенных южнее двух японских станций, АИС в Дели и Мауи. Всё это позволило авторам работ [Калинин и др., 2002; Kalinin a.o., 2003] высказать гипотезу о существовании упреждающих момент главного удара сейсмогенных объектов в области $F2$ ионосферы. Их продольные и поперечные размеры примерно одинаковы - порядка 2 – 3 тысячи

километров. Они появляются за 10 – 15 часов до главного удара в окрестностях эпицентров сильных землетрясений. Так была получена оценка одного из самых важных параметров положительного МДВ - времени упреждения ионосферных эффектов по отношению к моменту главного удара – величины $\Delta t_{\text{упр}}$. На рис. 2 эта величина определяется графически. Через точки на осях времени, соответствующие максимальным значениям вариации для различных АИС, проводится прямая линия. Это означает также принятие гипотезы о том, что объект движется по своей траектории равномерно. Точка пересечения прямой линии с осью абсцисс – времени в районе эпицентра определяет величину $\Delta t_{\text{упр}}$.

Также было сделано предположение, что после возникновения с временем упреждения $\Delta t_{\text{упр}}$ объекты перемещаются на значительные расстояния с кажущейся скоростью порядка 10^3 км/ч. После землетрясения появляются аналогичные объекты отрицательного знака, и это известно давно [Leonard a.o., 1965]. Траектории движения положительных и отрицательных объектов, по-видимому, совпадают. На рис. 2 в период времени после главного удара выделены отрезки осей времени для различных АИС, в пределах которых находятся минимумы δf_o . Через середины отрезков проведена экстраполирующая пунктирная прямая. Эта экстраполяция является упрощающей. В работе [Leonard a.o., 1965] по данным наблюдений за ионосферой после землетрясения на Аляске определяются два значения кажущейся скорости перемещения отрицательного объекта. В первый час эта скорость существенно выше скорости звука. Можно предположить, что этот временной интервал соответствует этапу формирования отрицательного объекта. Затем происходит движение объекта со скоростью более близкой к звуковой.

3. ТРАЕКТОРИИ ПЛАНЕТАРНОГО ДВИЖЕНИЯ МДВ

В задачу проводимого далее рассмотрения входит исследование МДВ для ситуаций более высокого условного уровня исходной энергетике. А именно будут рассмотрены планетарные траектории МДВ при $\zeta \cong 1$, возникающие до **очень сильных** землетрясений и продолжающих своё движение существенно позже главного удара. Напомним, что такое исследование возможно только в случаях, когда траектория объектов на значительной своей части совпадает с той или иной цепочкой средств зондирования ионосферы. При этом длина цепочки должна быть соизмерима с размерами Земли. Так, в цитированных работах [Калинин и др., 2002; Kalinin a.o., 2003] это были автоматические ионосферные станции (наземные АИС) в количестве пяти, расположенные почти равномерно вдоль отрезка дуги большого круга протяженностью ~ 10 тыс. км от эпицентра. В качестве следующего этапа исследований рассматриваются случаи, когда обнаружение неоднородностей также осуществлялось на основе данных, полученных методом вертикального зондирования ионосферной области F2 наземными средствами. Такими объектами проводимого рассмотрения будут парные землетрясения в Чили в мае 1960 г. с близкими координатами эпицентров. Данные приведены в таблице 1. Для анализа использованы положительные вариации $\delta f_o > 0$, зарегистрированные (или не зарегистрированные) на 17 АИС, из числа входящих в мировую сеть.

Таблица 1. Данные о землетрясениях в Чили в мае 1960 г.

Дата	Время. UT	Географические координаты		Магнитуда, <i>M</i>
		Долгота λ , град	Широта ϕ , град	
21 мая	10.52	-37.50	-73.50	7.3
22 мая	19.11	-39.50	-74.50	8.5

На рисунке 3 показана карта Мира в проекции Меркатора, на которой кружочками показаны положения АИС. Цифры обозначают ионосферные станции, приведенные в таблице 2.

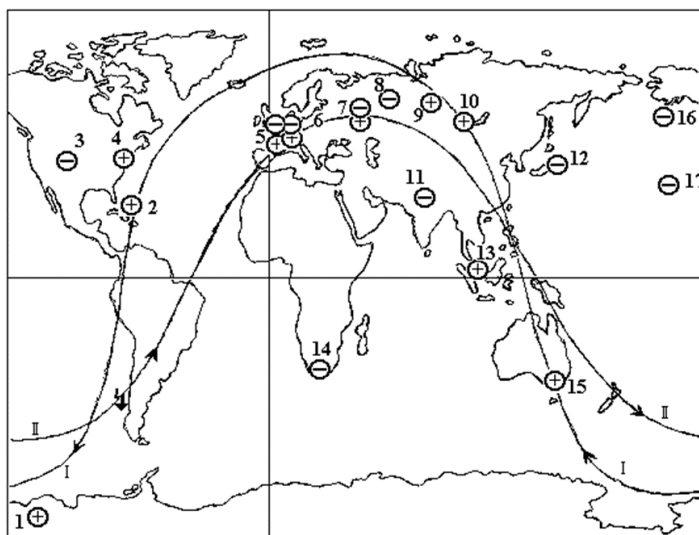


Рис. 3. Расположение АИС, действовавших во время землетрясений в Чили в мае 1960 г.

Значком ломаной стрелки обозначено положение эпицентров землетрясений (они практически совпадают). Из эпицентра под разными азимутами проводились дуги больших кругов. Из них были выбраны те, которые удовлетворяли двум условиям. Вблизи них группируются как минимум 4 – 5 АИС. Время наступления вариации $\delta f_o > 0$ пропорционально расстоянию D от АИС до эпицентра. Данные об АИС приведены в таблице 2. Знаки плюс и минус внутри кружков соответствуют наличию или отсутствию ионосферного аффекта от землетрясений, эпицентр которых отмечен стрелкой. Кривая I соответствует ЗТ 22 мая, а кривая II - 2 мая. Вместе с тем, как следует из таблицы 2 и данных рис. 3, рассматриваемые АИС расположены на всех континентах.

Таблица 2. Расположение АИС, измерения которых использованы для построения траекторий движения МДВ

№ п/п	Название	географические координаты		D тыс. км.
		λ , град	ϕ , град	
1.	Бёрд	240	-80	5
2.	Гранд Багама	282	27	8
3.	Боулдер	255	40	11
4.	Форт Монмаус	285	40	11
5.	Слоу	0	52	13
6.	Де Билт	5	52	13
7.	Москва	37	56	16
8.	Свердловск	61	57	17
9.	Томск	85	56	26
10.	Иркутск	104	53	24
11.	Дели	77	27	19
12.	Акита	140	40	22
13.	Сингапур	103	1	17
14.	Йоханнесбург	28	-26	10
15.	Канберра	149	-28	28
16.	Адак	183	52	15
17.	Мауи	203	21	12

На рисунке 4 даны сводные графики зависимостей $\delta f_o F2(t)$ в процентах для различных ионосферных станций. По оси абсцисс – время, соответствующее датам суток 22 – 25 мая 1960 г. Масштаб отклонений по оси ординат показан справа вертикальным отрезком, соответствующим $\delta f_o F2$ в 20 %. Общая ось ординат - шкала дальности в тыс. км. Для каждой отдельной кривой указано

название станции и расстояние ее от эпицентра в тыс. км. Для ст. Берд ось абсцисс и зависимость $\delta f_o F_2(t)$ приведена полностью во всём рассматриваемом интервале дат. Для остальных станций приведены отрезки оси абсцисс.

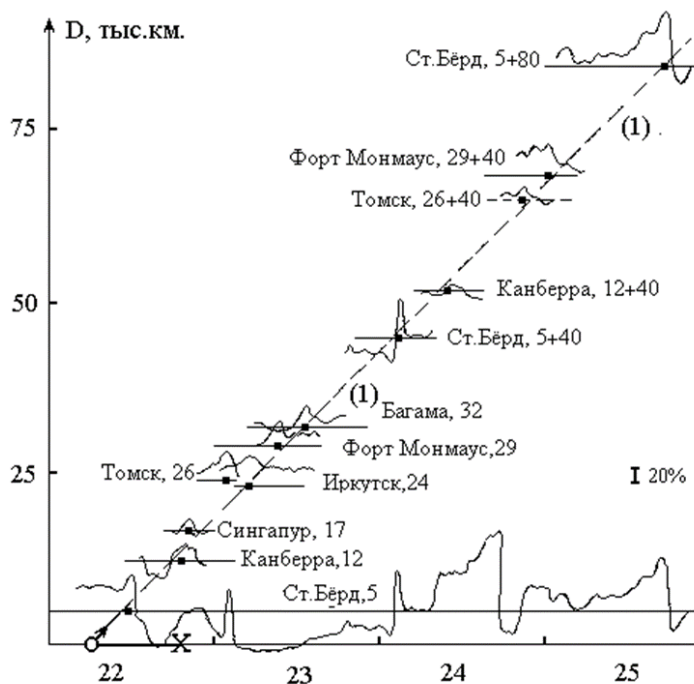


Рис. 4. Сводные графики зависимостей $\delta f_o F_2(t)$ в процентах для различных ионосферных станций.

Данные, представленные на рис. 4, позволили провести две траектории движения объектов. Кривая I соответствует землетрясению 22 мая, кривая II – землетрясению 21 мая. Следует сразу отметить те АИС (с номерами 3, 11, 12, 16, 17), которые расположены «вдали» от траекторий и которые не зарегистрировали в соответствующее время вариации $\delta f_o > 0$ для обоих землетрясений. Другая группа АИС, не зарегистрировавшие соответствующие вариации для траектории I, находится в Европе (номера 5, 6, 7, 8). Они расположены «между» траекториями I и II. Вместе с тем ряд европейских АИС (номера 5, 6, 7) зарегистрировали соответствующие вариации для траектории II. Ограничимся данными, представленными на рис. 4, отправив за подробностями к работе [Калинин, 2012]. Сейчас необходимо сделать несколько замечаний. Прежде всего, о том, что и по траектории II на рис. 3 имеется материал, аналогичный представленному на рис. 4. Равно как и по ряду других землетрясений. То есть гипотезы о равномерном движении объектов по траекториям близких к дугам большого круга находят отнюдь не однократное подтверждение. Равно как и гипотеза о почти звуковой скорости.

Далее следует указать на то, что в ряде случаев при выделении положительных МДВ приходится иметь дело с отрицательными участками функций $\delta f_o F_2(t)$. Это свидетельствует о том, что по причине не стационарности фона при выделении импульса могут быть ситуации, когда ось абсцисс следует сдвинуть вниз.

4. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МДВ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАКОВ

Представляет интерес сравнение особенностей МДВ с различными знаками, соответствующих различным интервалам времени, а именно «до» и «после» энергетического воздействия на атмосферу и соответственно на ионосферу. При выборе сравниваемых пар использовались данные о функциях $D(t)$, полученные при землетрясениях и активных акциях (АА). В качестве примера положительного

МДВ, возникающего до землетрясения, были выбраны данные землетрясения на Аляске при $\zeta \approx 1$, в мае 1999 г. В качестве примера отрицательного МДВ были выбраны данные АА, при $\zeta \approx 1.5$, в ноябре 1961 г. В соответствии с этим на рис. 5. представлены два случая таких зависимостей $D(t)$, дальности различных АИС от времени для МДВ соответствующего знака от момента энергетического воздействия на атмосферу.

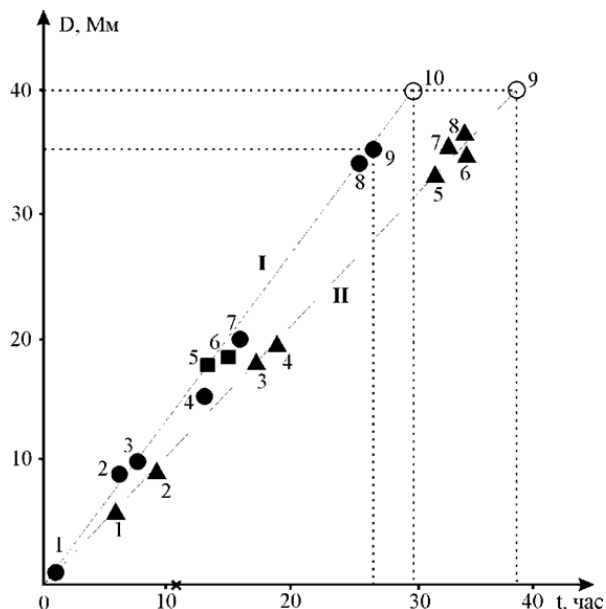


Рис. 5. Планетарное движение МДВ области $F2$ ионосферы, образованных во время Аляскинского землетрясения (пунктирная прямая I) и после активной акции $\zeta = 10$ на Севере РФ в октябре 1961 г. (пунктирная прямая II)

По оси абсцисс отложено время (UT), по оси ординат – дальность, измеряемая в мегаметрах (Мм). Прямая линия I относится к ионосферным МДВ, возникшим после времени упреждения землетрясения на Аляске. Цифры вблизи кружочков 1–4, 7–9 соответствуют обнаружению локальных максимумов на АИС. В частности, одной АИС, расположенной на Аляске, двум АИС в Центральной Сибири, одной на юге Африки, далее – на Фолклендских островах и двум – в США. Квадратики 5 и 6 соответствуют прохождению ИСЗ с бортовой АИС. Аномальные сигналы не были обнаружены. Светлый кружочек 10 вблизи прямой I на рис. 5. означает, что объект не совершил полностью кругосветного движения, и второй раз АИС на Аляске его не зарегистрировала. Крестик на оси t на рис. 5. обозначает момент главного удара землетрясения и относится только к зачерненным кружочкам вблизи прямой I. Обращает на себя внимание тот факт, что МДВ возникла за 11 часов до землетрясения, что находится в соответствии с данными о других землетрясениях. После главного удара положительное МДВ существует в течение примерно 20 часов. Для отрицательного МДВ время существования может быть значительно больше.

Представляет интерес сравнение характеристик временной изменчивости величины возмущения $\delta f_o F2$ вдоль соответствующих траекторий МДВ разных знаков. Так на рис. 6А представлен фрагмент карты Мира, где черными кружочками отмечено с теми же номерами, что и возле кривой I на рис. 5, положение АИС. Мимо них по пунктирной кривой, соответствующей дуге большого круга, ориентированной ортогонально ближайшей границе литосферной плиты [Калинин, 2012], перемещаются МДВ. Для АИС их «радиусы действия» изображены крупными кружками.

На рисунке 6А не отмечены станции, на которых не были обнаружены локальные максимумы в моменты времени, определенные данными на рис. 5. К числу таких АИС относятся три станции в Японии, АИС в Магадане, в Москве, в Европе, в Канаде и в Австралии. На фрагменте 6Б представлена нелинейная зависимость максимальной «амплитуды» $(\delta f_o F2)_{max}$ от дальности. Зависимость содержит горизонтальный участок – точки 2–8 и два собственно нелинейных участка – точки 1 и 8, 9. Следует отметить, что определяемое ими «время исчезновения» объекта ~ 3 часа близко ко времени диффузионной релаксации τ_D . Так, полагая $\tau_D = H^2/D$, для $H = 10^7$ см и коэффициента диффузии $D \sim 10^{11}$ см²/сек получаем, что τ_D примерно равно 3 часам [Альперт, 1960]. При проведении пунктирной линии – компромиссной дуги большого круга, учитывалось, что согласно данным работы [Калинин, 2012], такая дуга в рассматриваемом случае должна быть ориентирована нормально к границе тихоокеанской литосферной плиты в районе землетрясения. Все это позволило с учетом оценок размеров неоднородностей обосновать схему движения объекта, представленную на рис. 6А.

Перейдём теперь к рассмотрению поведения отрицательного МДВ. Прямая II на рис. 5. соответствует динамике МДВ, возникшего после АА в октябре 1961 г. На рисунке 5 треугольники 1–8 соответствуют обнаружению отрицательных вариаций $\delta f_o F2$ на АИС, расположенных на Чукотке, Гавайских островах, в Антарктиде (две станции), в Европе (4 станции). Кружочек – точка 9 на прямой II соответствует времени и дальности кругосветного движения, которое, однако, закончилось через

36 часов на дальности 36 тыс. км. Следует подчеркнуть, что при этом не было ни времени упреждения, ни экстраполяция прямой II к началу координат. Её начало просто соответствует известному моменту осуществления АА. Точки на рис. 5. достаточно тесно группируются вблизи пунктирных прямых I и II, что свидетельствует о равномерном движении объектов вдоль дуг больших кругов с околосвукосовой скоростью (1.25 и 1.05 тыс. км/час соответственно для прямых I и II).

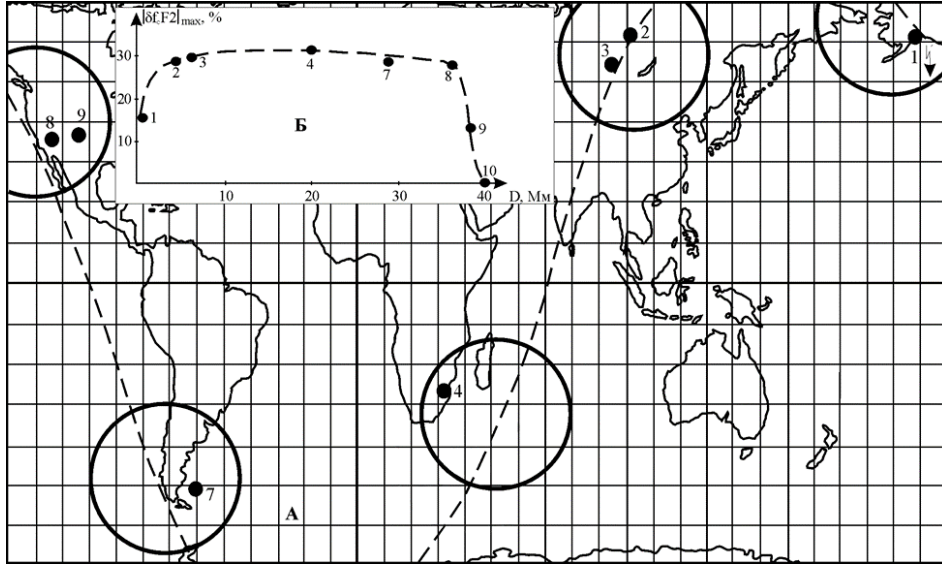


Рис. 6. А – Элементы кругосветной траектории движения положительного МДВ и расположение АИС; Б – Зависимость вариаций $(\delta f_o F2)_{max}$ от дальности

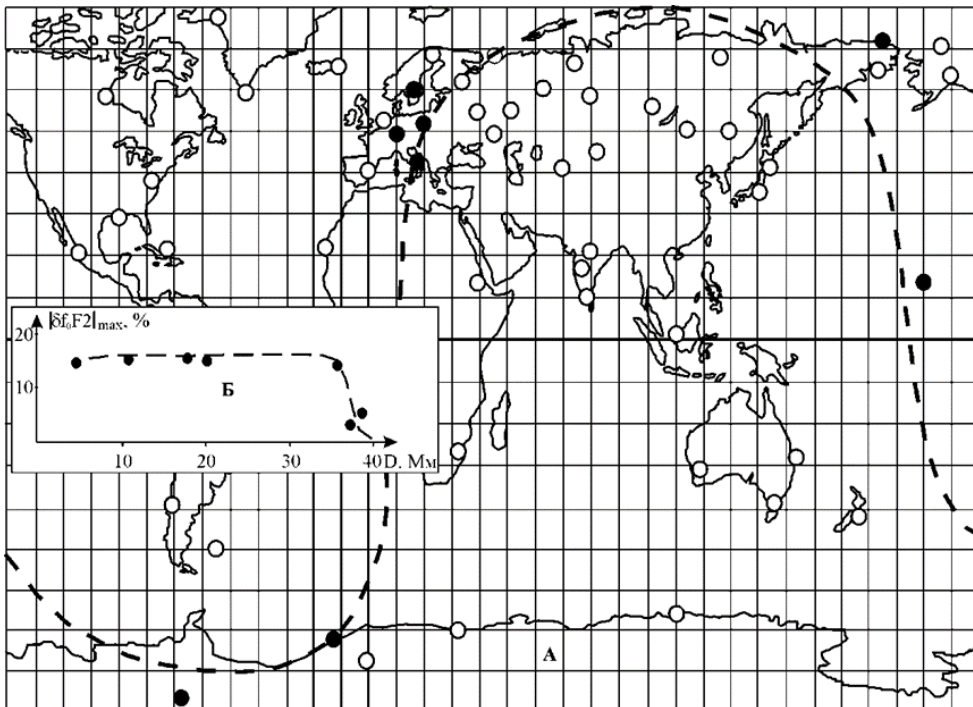


Рис. 7: А – Элементы кругосветной траектории неоднородности, чёрные кружочки – расположение АИС, зарегистрировавшие отрицательный выброс вариации критической частоты области F2, белые – не зарегистрировавшие; Б – Зависимость амплитуды отрицательной вариации от дальности

На рисунке 7А, аналогично рисунку 6А, представлены положения АИС, обнаруживших в соответствующее время локальный минимум зависимости $\delta f_o F2$ (темные кружочки) и не обнаруживших такой минимум (светлые кружочки). На фрагменте 7Б представлена зависимость модуля величины $\delta f_o F2$ (сама величина отрицательна) от дальности. Следует отметить, что первая точка наблюдения (АИС на мысе Шмидта) находится на расстоянии около 3 тыс. км от места осуществления АА.

Время релаксации отрицательного МДВ тоже близко к $\tau_D = 3$ часа. Таким образом, сейсмогенные и антропогенные макромасштабные движущиеся неоднородности области F2 ионосферы обладают рядом одинаковых специфических свойств, обуславливающих особенности их возникновения и дальнейшей динамики. Неоднородности совершают перемещения с околосвуковой скоростью на расстояния, превышающие радиус Земли. Их «амплитуды» остаются постоянными на протяжении всей траектории существования. За исключением концевых участков.

5. ГИПОТЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КРАТКОСРОЧНОГО ИОНОСФЕРНОГО ПРОГНОЗА ПО ДАННЫМ GPS ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА И КООРДИНАТ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Рассмотрим данные, приведенные в работе [Сергеенко, 2006]. Но в контексте именно гипотетического алгоритма прогноза параметров землетрясения. Так пусть предполагается, что для выбранного региона представлены:

- данные о геомагнитной обстановке, и они позволяют осуществлять прогноз;
- текущие данные GPS с тактом два часа в виде мировых карт относительных вариаций δTEK , отождествляемых с $\delta f_o F2$, см., например, рис. 8.

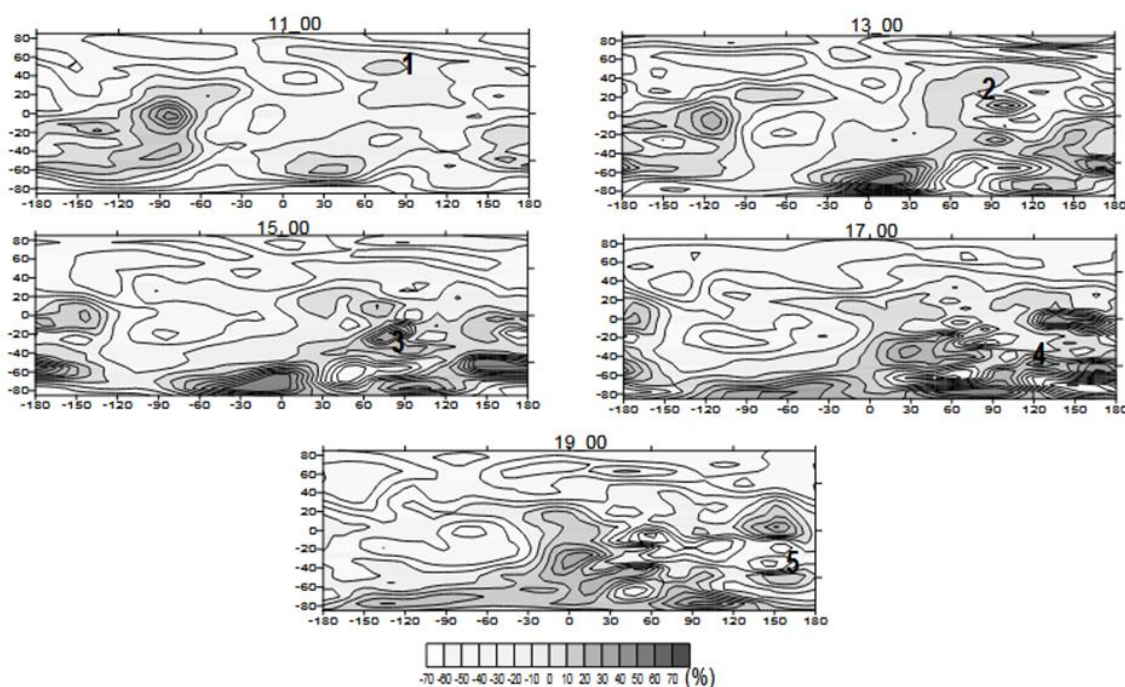


Рис. 8. Мировые карты δTEK 16.08.1999 г. с интервалом 2 часа

Далее по каждой из этих карт находят локальные максимальные значения δTEK . Общая цель - найти последовательность меток из разных карт, принадлежащих общему участку дуги большого круга. Например, см. рис. 9.

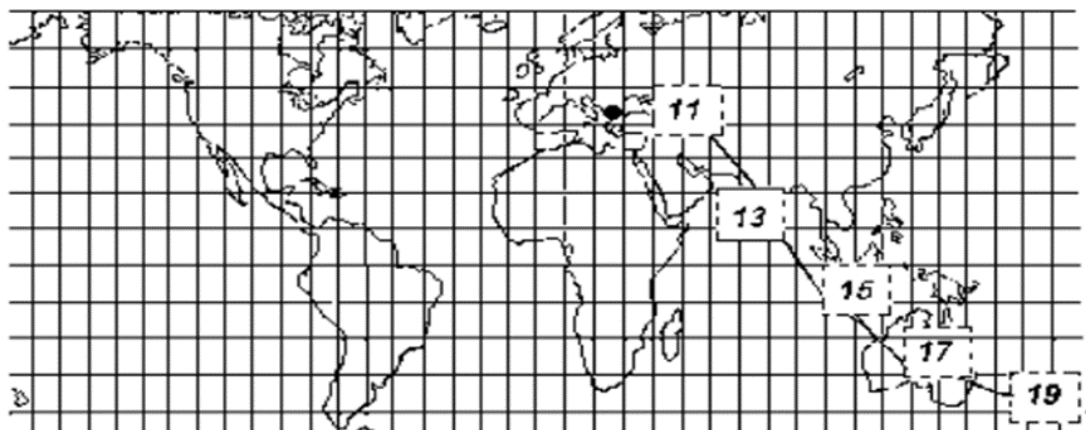


Рис. 9. Динамика положительной макромасштабной неоднородности, появившейся при подготовке землетрясения 16.08.1999 г.

Точка на рисунке 9 соответствует времени начала упомянутой траектории, а именно 10 часам предыдущих суток, и время главного удара прогнозируется спустя время упреждения. То есть не раньше, чем минимальное значение этой величины и не позже, чем максимальное. В соответствии с этим главный удар должен состояться не раньше, чем в 20 часов данных суток и не позже, чем в час ночи последующих суток. Реально главный удар произошёл ровно в полночь [Сергеенко, 2006]. Здесь особенно важно определить те локальные максимумы, за которыми последует «хвост» из удаляющихся максимумов вдоль дуги большого круга. Если предполагать, что факт наличия «хвоста» требует данных трёх–четырёх двухчасовых тактов получения карт, то, вычитая это время из времени упреждения получим прогноз временного интервала главного удара в точке начала «хвоста». Например: событие произойдёт не раньше, чем через два часа и не позже, чем через семь часов.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены экспериментальные данные о макромасштабных движущихся возмущениях критической частоты области $F2$ среднеширотной ионосферы, предположительно ассоциирующихся с выделением в атмосферу у земной поверхности энергии порядка 10^{16} Дж. Оценены основные параметры возмущений, что позволяет рассматривать их возможное влияние на работу радиотехнических средств, использующих ионосферу, как элемент тракта передачи информации. Сформулированы гипотетические особенности сверх краткосрочного ионосферного прогноза с использованием текущих данных GPS места и времени сильных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

- Альперт Я.Л. Распространение радиоволн и ионосфера. - М.: Из-во АН СССР. 1960. С. 479.
- Калинин Ю.К., Сергеенко Н.П. Макромасштабные движущиеся неоднородности, возникающие в ионосфере за несколько часов до сильных землетрясений // Доклады РАН, 2002, Т.387, №1. с.105.
- Калинин Ю.К. Вопросы ионосферной геофизики и радиофизики. - Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. С. 260.
- Сергеенко Н.П., Захаренкова И.Е., Шагмуратов И.И., Сазанов А.В., Рогова М.В. Анализ проявления в ионосфере крупномасштабных перемещающихся неоднородностей, ассоциированных с землетрясениями, по комплексным измерениям // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9, № 3. с. 445-452.
- Kalinin Y.K., Sergeenko N.P. The large-scale isolated disturbances dynamics in the main peak of electronic concentration of ionosphere. // Journ. of Atmosph. and Sol.-Terr. Phys., 65(2003) p.1175.
- Leonard R.S., Barnes R.A. Observation in ionospheric disturbances following the Alaska earthquake // J. of Geoph. Res. 1965.V.70. P.1250.

MACROSCALE MOVING DISTURBANCES f_oF2 OF THE MID-LATITUDE IONOSPHERE ASSOCIATED WITH GROUND-BASED ENERGY INJECTIONS OF THE ORDER OF 10^{16} J

Kalinin Yu. K., Repin A. Yu., Khotenko E. N., Shchelkalin A.V.

Objects arising in the ionosphere at ground-based energy emissions of the order of 10^{16} joules are studied. They are manifested in the form of relative variations of the critical frequency δf_oF2 with a peak contrast of more than 20 %, a spatial scale of 2 – 3 thousand km and a "lifetime" of 20 – 100 hours. Objects move with at almost sound speed for distances up to 10^5 km along trajectories gravitating to the arcs of a large circle, for the most part retaining their amplitude. At the same time, both anthropogenic and seismogenic disturbances that occurred after the moment of the main impact are characterized by negative values. And only specific seismogenic objects that appear before the main impact for a period of lead time equal to 10 – 15 hours are characterized by positive signs. Specific examples relating to different energy levels of disturbance sources are given. The possibility of the shortest-term ionospheric forecast using the current GPS time data and the location of the main impact of strong earthquakes is noted.

KEYWORDS: IONOSPHERE, $F2$ REGION, RELATIVE VARIATION, DISTURBANCE, EARTHQUAKE, ENERGY, ANTHROPOGENIC OBJECT, LEAD TIME, ULTRA-SHORT-TERM FORECAST.