



**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

18 Всероссийская открытая конференция 16-20 ноября 2020

**ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗВИТИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ И ОТДЕЛЬНЫХ
СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ИЮНЕ 1992 ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА
ПЛАЗМЫ ИОНОСФЕРЫ СО СПУТНИКА КОСМОС-1809**

Костин В., Беляев Г., Овчаренко О. ,Трушкина Е.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
имени Н.В.Пушкова Российской Академии Наук
kostin@izmiran.ru*

Введение

В данной работе исследуются взаимосвязи тропических циклонов и сильнейших землетрясений в Калифорнии. Обычно рассматриваются три механизма взаимодействия.

Первый механизм состоит в том, что вертикальные смещения поверхности Земли в зонах действия циклона и антициклона могут вызвать сброс напряжений в сейсмоактивных регионах, как показано в работе [Боков и Воробьев, 2018] на примере района Камчатки.

Второй связан с длинноволновыми колебаниями, возбуждаемыми ТЦ в прибрежной зоне. Данный механизм был исследован с помощью специальных сейсмодатчиков на ~2800 станциях США в течение более 10 лет [Fan et al., 2019].

Третий связан с литосферным механизмом передачи момента сил от воздействия удаленных ТЦ на края больших плит, прилегающих к очагу сейсмического напряжения. Данный механизм был рассмотрен при анализе без форшоковых землетрясений с магнитудой $M_w > 4.5$ Бирманской и Сандвической малых литосферных плит [Kostin et al., 2019; Kostin et al., presentation, 2019].

Наиболее изучаемый регион – область вдоль Калифорнийского разлома Сан-Андреас. На сайте международного Сейсмологического Центра представлено около 500 публикаций о землетрясении Landers 1992.

Карта Америки с основными разломами



Рис. 1

Указаны: вектора движения плит в мм/год, очаги сильных сейсмических толчков (звездочки), траекторий ТЦ и двух витков Космос-1809 24.06.92.

Интенсивность ТЦ 22 июня – 5 июля 1992

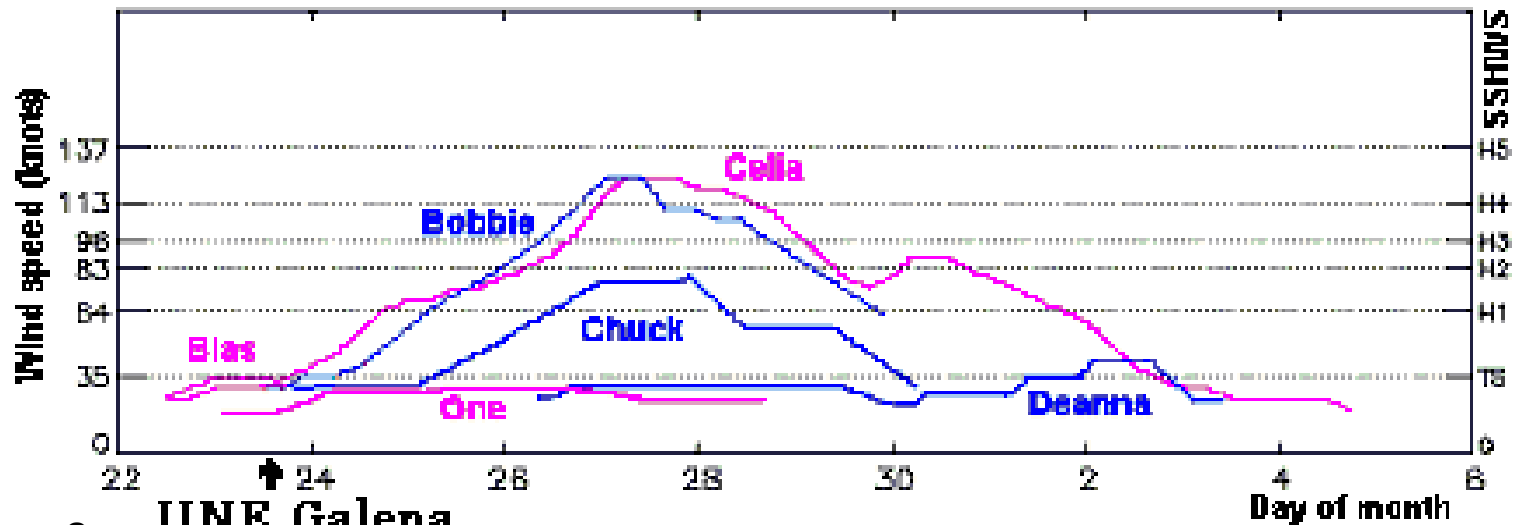


Рис. 2

UNE Galena

В июне развилось шесть ТЦ. Около побережья Центральной Америки 21 июня в Тихом океане началось формирование тропических депрессий (ТД) Blas и Celia, а в Атлантическом океане в середине Карибского моря плохо организованной конвективной зоны, позднее ТД One.

В западной части Тихого океана к 20 июня сформировался тропосферный мусонный желоб, внутри которого начали развиваться ТД Bobbie (7 N, 145 E) и Chuck (13 N, 125 E). С 22 июня в течение 3-х дней Bobbie и Chuck на удалении ~1390 км вращались около общего центра – эффект Fujiwhara [5, 6]. ТД Deanna начала формироваться 24.06 в области с центром (6 N, 146 E).

Тайфуны 22 июня – 5 июля 1992

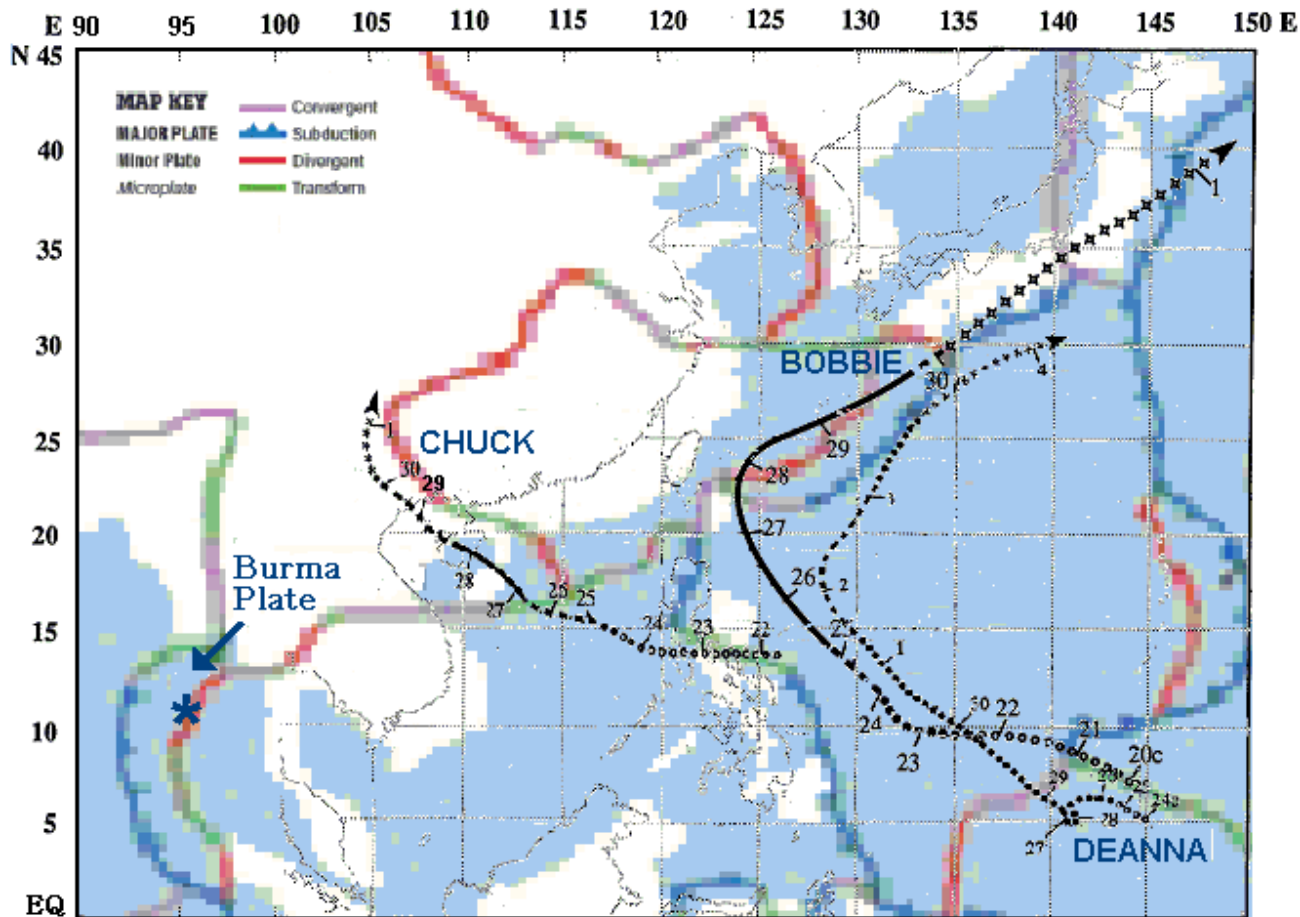


Рис. 3

Динамика всех тайфунов Тихого океана за 1992 суммирована в ежегодном отчете Объединенного центра предупреждения тайфунов (JTWC)

Модификация ураганов после ПЯВ в сентябре 92

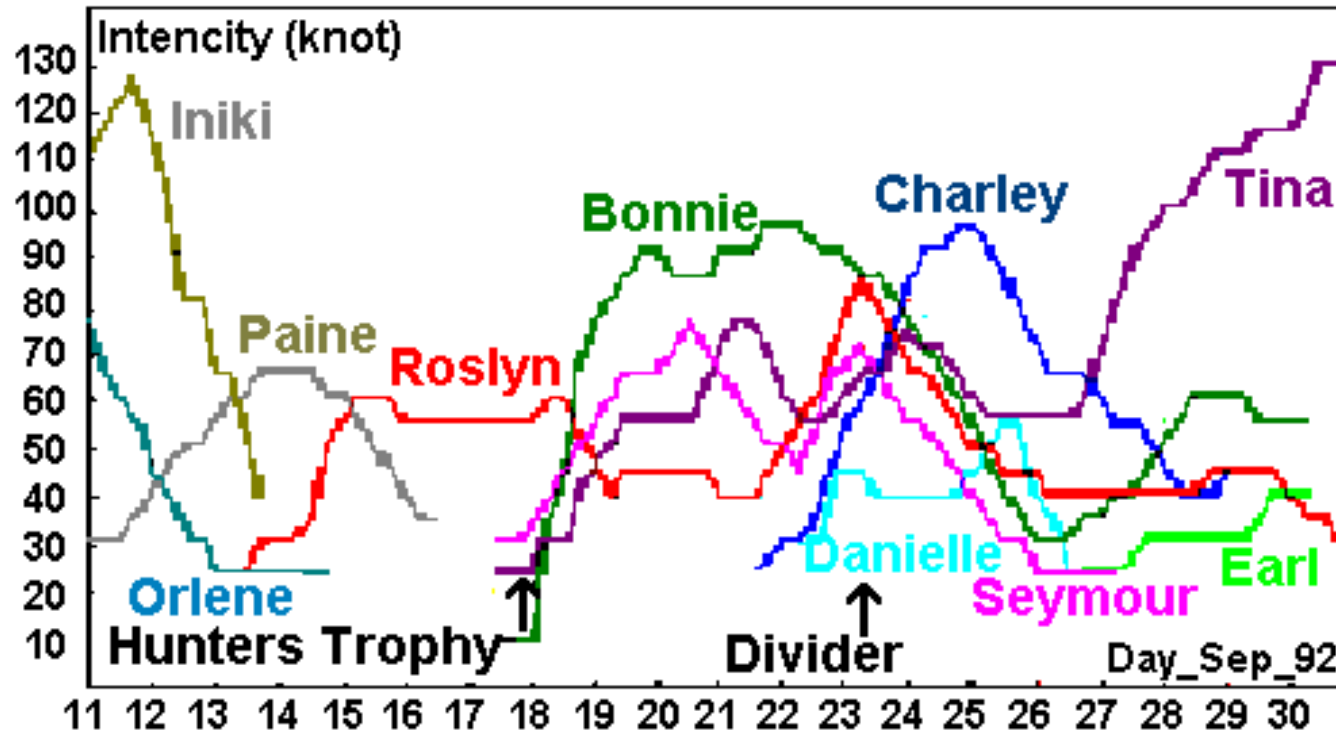


Рис. 4

1. Акустическое воздействие ПЯВ Hunters Trophy и Divider резко меняет интенсивность шести и направление движения пяти ТЦ.
2. Самоорганизация планетарных замагниченных волн Россби в присутствии неоднородного зонального ветра – возможный механизм [7, 8].

Подземные ядерные взрывы и отдельные землетрясения в сентябре 1992

Таблица 1

No	Date 09.92	UT h : m	Epicenter N / W	M	Depth km	Area / Name
1	18	17 : 00	37.2 / 116.2	3.8	1.83	NTS / Hunters Trophy
2	23	15 : 04	37.0 / 116.0	4.2	1.21	Nevada Test Site / Divider
3	24	00 : 52	- 59.5 / 26.0	5.5	21.2	South Sandwich Islands
4	24	06 : 10	14.3 / 91.4	4.6	33.0	Guatemala
5	24	07 : 48	13.7 / 91.1	4.6	33.0	offshore Guatemala
6	24	13 : 22	- 31.0 / 67.8	4.9	9.5	San Juan, Argentina
7	25	20 : 07	- 54.4 / 27.6	5.6	41.6	South Sandwich Islands

Развитие волн Россби – Абурджаниа после ПЯВ на Nevada Test Site в 1992

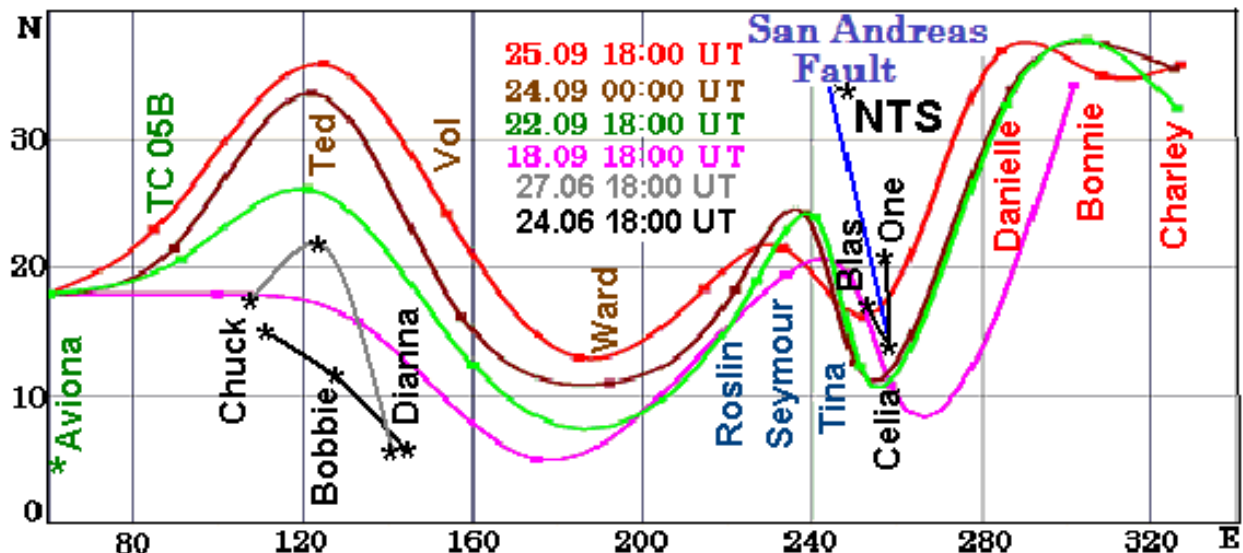


Рис. 5

Кривые проведены через центры ТЦ, квадратичная аппроксимация.

1. К формированию волн, по-видимому, привели акустические воздействия от ПЯВ Galena (23.06), Hunters Trophy (18.09), Divider (23.09).
2. Согласно теоретическим выводам Абурджаниа, самоорганизация цепочки ТЦ в виде замагниченной волны Россби обязана присутствию неоднородного зонального ветра [7, 8].
3. Общая точка всех кривых привязана к сопряженной области зарождающего ТЦ Aviona.

Тайфуны Page, Owen и Sina после французских ПЯВ

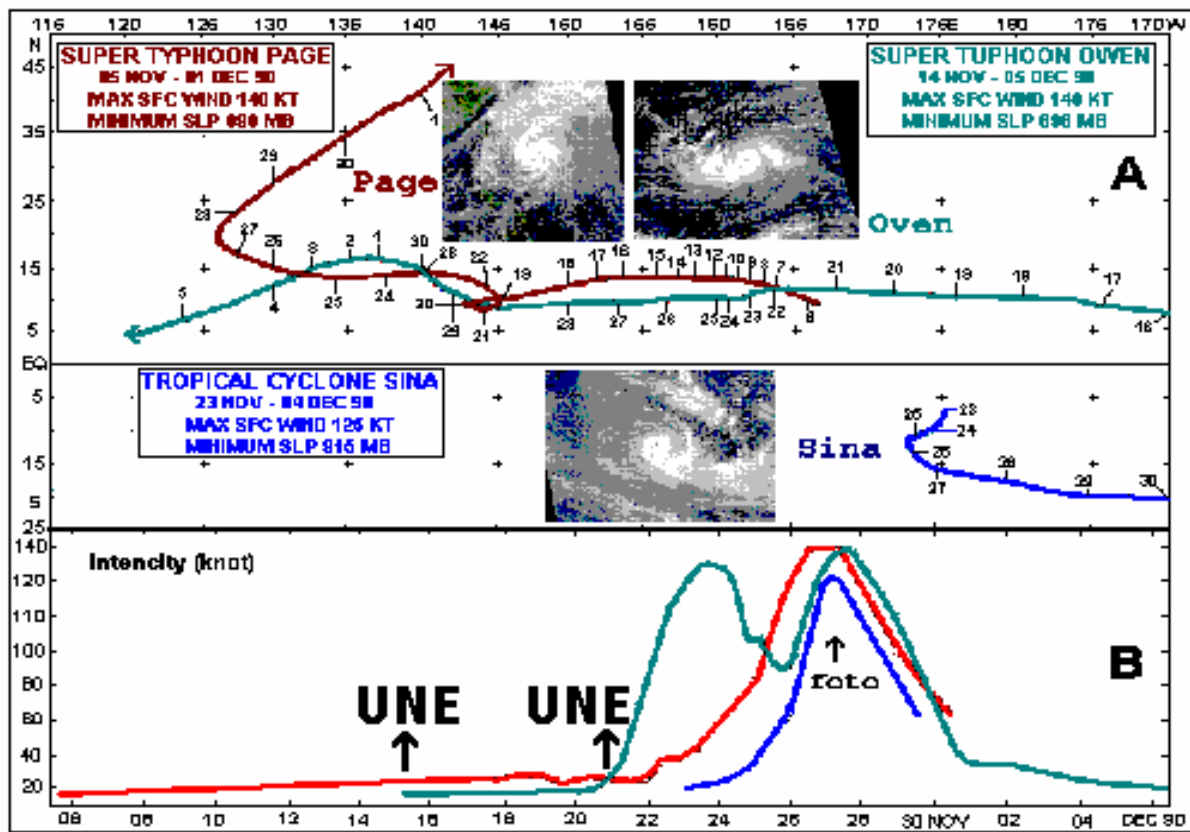


Рис. 6

UNE: 11/14/90, 18:12, 117 kt, 22.2 S 138.8 W; 11/21/90, 17:00, 36 kt, 21.9 S 138.98 W.
 21-23 нояб. – остановка и вращение Page, притяжение Owen – эффект Фудзивары [5,6].
 23-26 ноября – ослабление Owen и начальный рост Page и Sina.
 26-30 ноября – синхронное усиление до 5 категории всех ТЦ. Сформировалась цепочка Карман под действием ветра нижней стратосферы, Е-фаза КДЦ № 16 [9].

Схема взаимодействия тайфунов Page, Owen и Sina 27 ноября 90 [10]

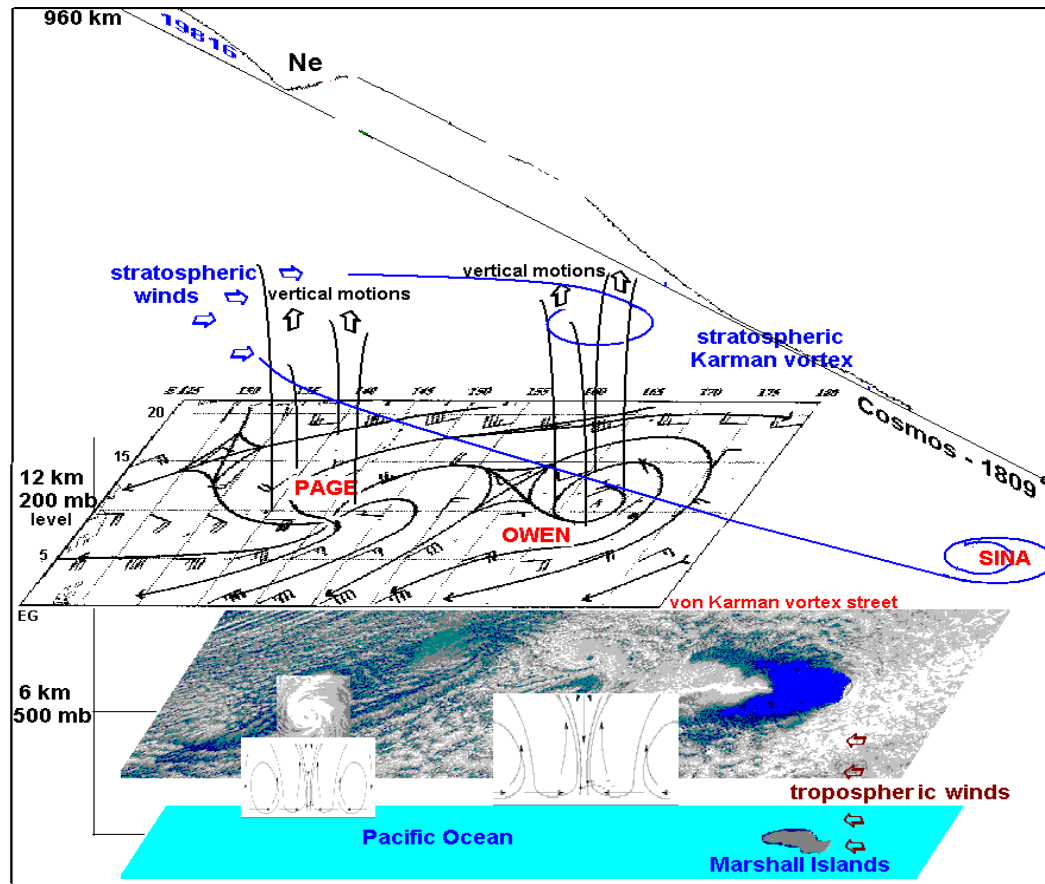
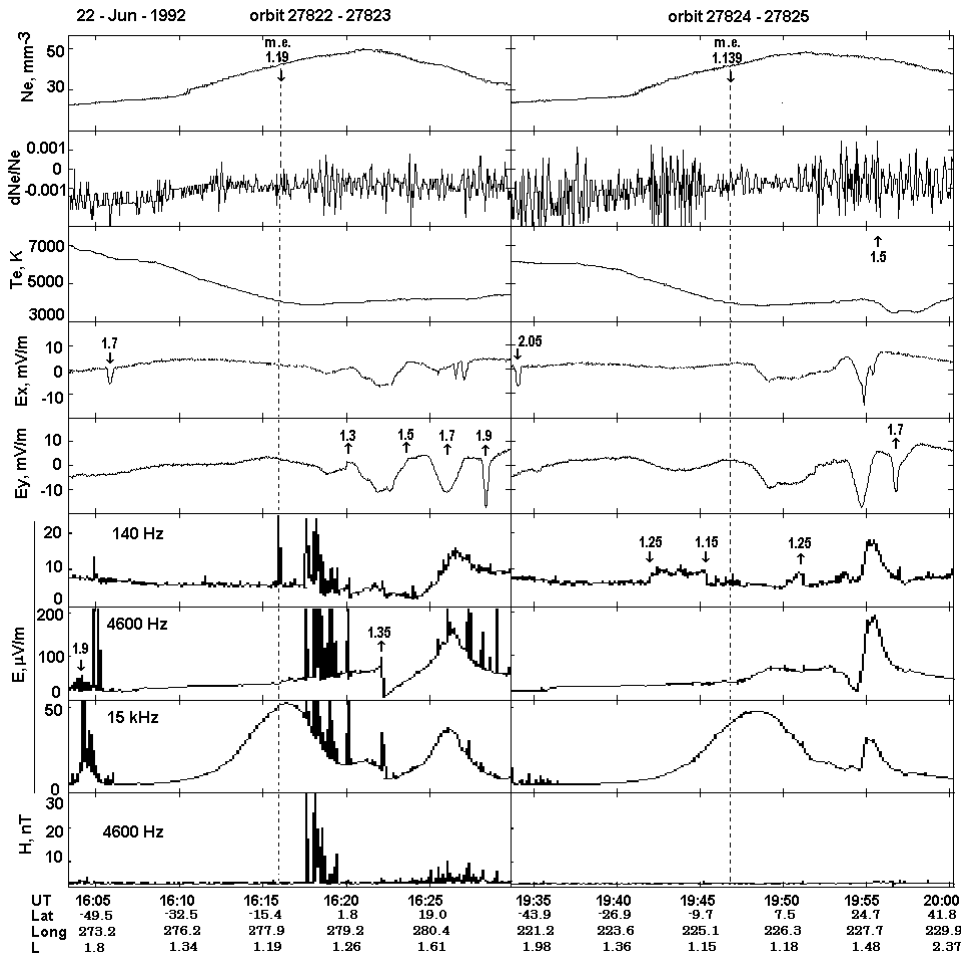


Рис. 7

- За океаническими островами вдоль воздушных потоков иногда наблюдаются вихревые облачные структуры – вихри Карман, что может происходить и в стратосфере.

Параметры плазмы верхней ионосферы вдоль траектории спутника Космос-1809 восточнее и западнее США за сутки до эксперимента Galena



На рисунках стрелками указаны моменты резкого изменения параметров ионосферной плазмы и соответствующие L-оболочки на высоте спутника.

В ходе мониторинга ионосферы спутником Космос-1809 в июне над США наблюдались похожие данные, исключение 10-11, запуск Ариана 2, и 17-18 геомагнитная активность.

Аномалии E_x и E_y связаны с ежедневными воздействием форшоков Landers на зоны над СДВ передатчиками и разлом Сан-Андреас.

Область $L < 1.3$ до геомагнитного экватора характеризуется прохождением множества восходящих вистлеров (имеют магнитную компоненту, канал H4600 Гц). В широкой полосе наблюдалось до 30 импульсов в секунду из плохо организованной конвективной зоны, позднее TD One.

Рис. 8

Землетрясения около Landers в июне 1992

Таблица 2

№	Дата 06.92	Число толчков Место	UT	Координаты N / W	Магнитуды
1	1	2	0 - 24	33-35/116-117	2.6
2	10	1	0 - 24	33-35/116-117	2.6
3	11	6	0 - 24	33-35/116-117	2.5 - 4.3
4	23	NTS, Galena	15:00	37.12 / 116.03	3.8
5	24	2	0 - 24	33-35/116-117	2.5 - 3.6
6	25	0	0 - 24	33-35/116-117	
7	26	1	0 - 24	33-35/116-117	3.3
8	27	3	0 - 24	33-35/116-117	2.6 - 2.9
9	28	12	0 - 11:57	34.2±0.4 / 116.4±0.4	2.5 - 3.6
10	28	Landers	11:57:34	34.2 / 116.4	7.3
11	28	10 35	11:58- 15:05	34.2±0.4/116.5±0.4	4.6 - 5.8 2.5 - 4.5
12	28	Big Bear	15:05:30	34.2 / 116.8	6.3

В таблице в отдельных строчках суммировано число землетрясений в квадрате 33-35 N, 116-117 W и диапазон наблюдавшихся магнитуд.

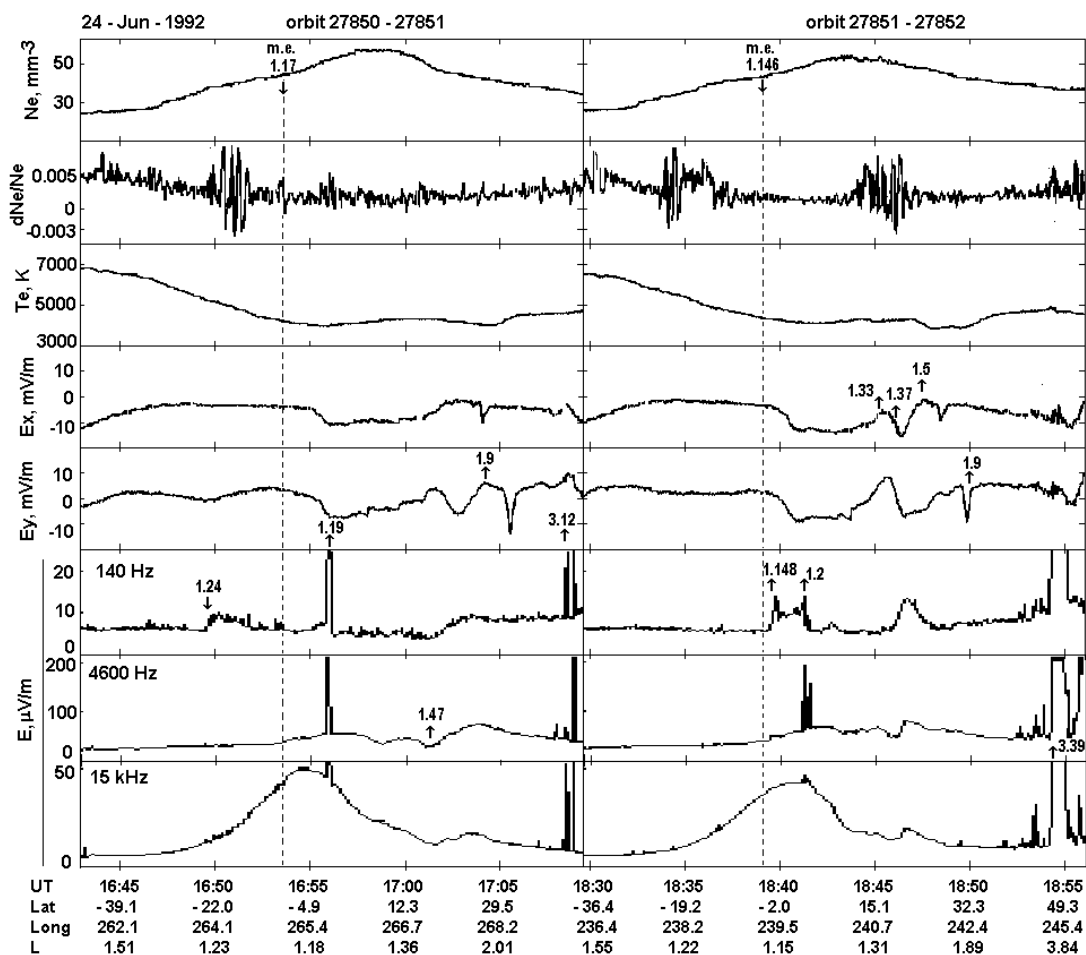
После увеличения числа форшоков и их локализации 27 июня, площадь выборки в таблице с 28 июня уменьшили в 7 раз. Резкое увеличение числа форшоков перед главным толчком указывает на возможность предсказать землетрясение Landers.

Литосферные землетрясения после эксперимента Galena из трех ПЯВ

Таблица 3

	Date	Area	UT	Epicenter	Mag	Depth
1	24	south Sandwich Islands region	8:35	59.7 S / 25.8 W	4.7	33
2	24	offshore Guatemala	8:59	13.9 N / 91.7 W	4.8	33
3	24	Andreanof Islands, Aleutian Islands	12:11	51.5 N / 173.4 W	5.9	33
4	24	Andreanof Islands, Aleutian Islands	14:02	51.5 N / 173.5 W	4.7	33
5	25	offshore El Salvador	2:50	12.7 N / 88.3 W	3.7	84.9
6	25	Andreanof Islands, Aleutian Islands	4:38	51.6 N / 173.4 W	5.1	33
7	25	south Sandwich Islands region	4:48	59.7 S / 24.6 W	4.8	33
8	25	Puebla, B.C., MX	7:10	32.5 N / 115.2 W	2.9	19.7
9	25	Andaman Islands, India region	15:46	11.7 N / 92.5 E	4.6	35.1
10	25	Andreanof Islands, Aleutian Islands	18:14	51.2 N / 173.6 W	4.6	33
11	26	south Panama	4:39	5.9 N / 83.0 W	4.1	33
12	26	southern Sumatra, Indonesia	5:15	5.6 S / 102.6 E	4.9	45.9
13	26	south Panama	7:22	6.2 N / 82.3 W	5.1	10
14	26	south Panama	11:32	6.1 N / 82.3 W	5.9	10
15	27	off the coast of El Salvador	6:26	12.5 N / 89.6 W	4.4	33

Параметры плазмы верхней ионосферы над Калифорнийским разломом через сутки после эксперимента Galena



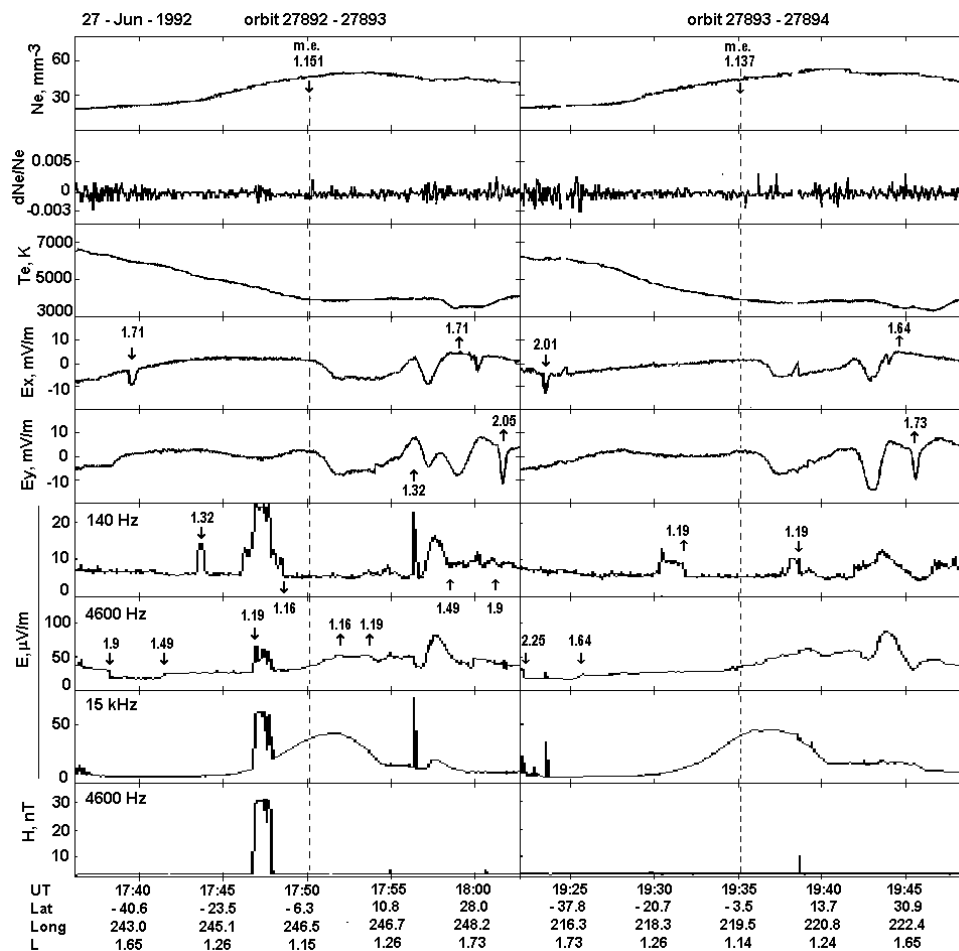
Через 18 часов после эксперимента Galena произошли без форшоковые литосферные землетрясения $M=4.7$ и 4.8 Сандвической и Панамской плит. За это время:

В Атлантике произошла организация тропического возмущения One до тропической депрессии. На западе Кубы начались сильнейшие за 10 лет дожди. В Тихом океане произошло взрывное усиление Blas до тропического шторма и синхронный рост интенсивности ТЦ Bobbie, Chuck и Celia, отстоящих на ~ 14000 км.

На витке 27850-51 выделяется резкий пик КНЧ-ОНЧ через 8 часов в зените после землетрясения в Гватемале и рост E140 в области сопряженной ТЦ Celia. Виток 27851-52 проходил около центра TS Blas. На $L=1.15-1.2$ регистрировались характерные КНЧ-ОНЧ аномалии.

Рис. 9

Параметры плазмы верхней ионосферы над Калифорнийским разломом за сутки до землетрясения Landers



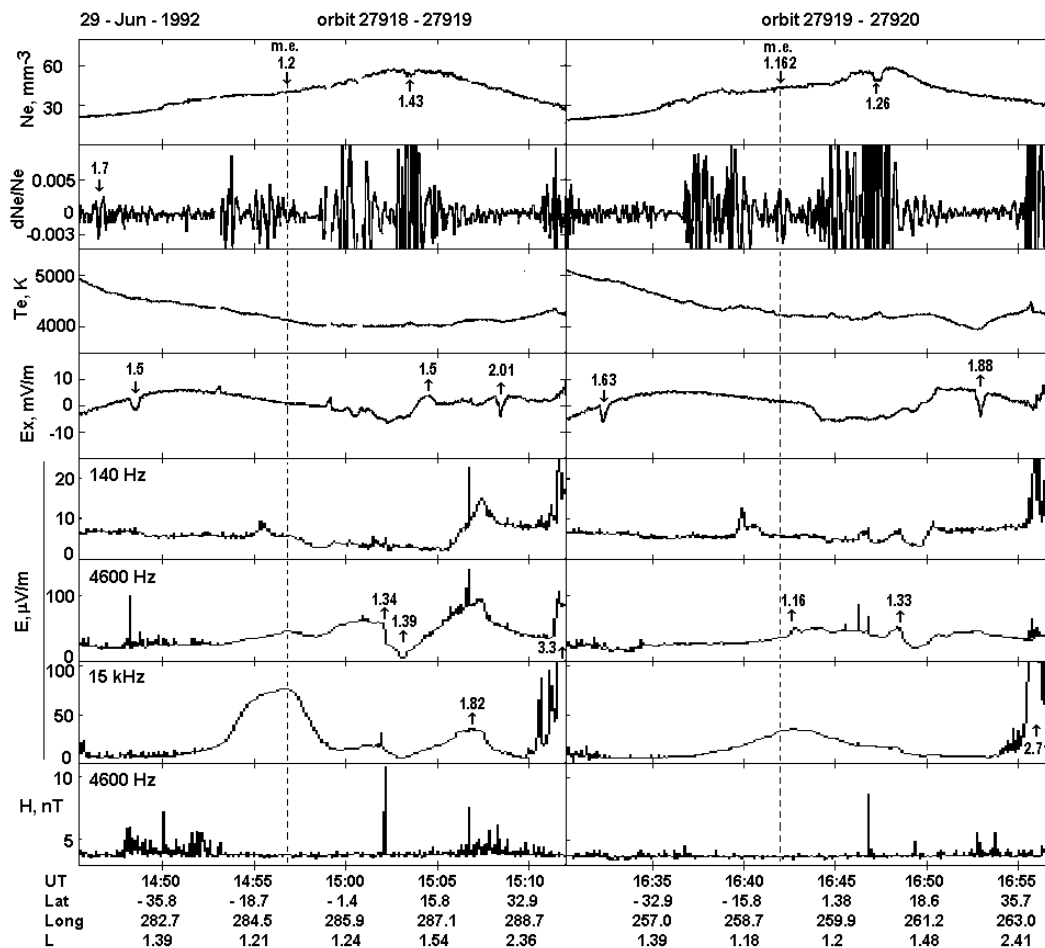
За сутки до главного толчка Landers ТЦ Celia и Bobbie достигли своего max – 4 категории.

На витке 27892-93, ближайшем к эпицентру, наблюдалось:

- в магнитном зените Landers $L=1.32$ узкий всплеск электростатических колебаний в канале 140 Гц;
- рост Ne над всем разломом Сан-Андреас;
- необычный всплеск э/м колебаний на $L=1.16-1.19$ в южном полушарии.

Рис. 10

Возмущения верхней ионосферы через 4-6 часов после афтершока 5.7 Mw землетрясения Landers



На витке 27918-19 после сильного акустического воздействия на ионосферу выделяются следующие главные особенности:

1. Формирование ПИВ на $L \sim 1.5$. Он выделяется по сильному возмущению dNe , падению Ne и глубокому \min в канале 4600 Гц, в который обычно попадают НГР колебания плазмы. При сильном увеличении концентрации водорода на высоте спутника ~ 960 км происходит смещение интенсивных НГР колебаний вверх по частоте и выход их из канала регистрации. Оценка средней скорости перемещения ПИВ дает ~ 340 м/с.
2. Возникновение сильно возмущенной ионосферы в магнитном зените и сопряженной области $L \sim 1.3-1.45$. После ПЯВ обычно наблюдаются оба признака, причем, локальное возмущение ионосферы при ПЯВ ~ 100 кТ держится несколько дней [12].

Рис. 11

Сильные землетрясения в Калифорнии

Таблица 4

	Name	Date	M_w	h km	Epicenter N / W	T_{for} hour	δt min	r km	Tropical Cyclone	Max N / W	Δ day
1	Loma Prieto	1989-10-18	6.9	17.2	37.0 121.9				Typhoon Elsie	17 -123	0
2	Joshua Tree	1992-04-23	6.1	11.6	34.0 116.3	2.4	1.7	1	SS One	25.5 62.4	-1 0
3	Cape Mendocino	1992-04-25	7.2	9.9	40.3 124.2	2.8	16.2	25	TC Innis	-14 169	+4
4	Landers	1992-06-28	7.3	-0.1	34.2 116.4	6.2	1.3	0.2	Hurricane Celia	15 110	-1 0
5	Big Pine	1993-05-17	6.1	3.6	37.2 117.8				TD Jack TC Adel	-8 153	+2 -3
6	Northridge	1994-01-17	6.7	18.2	34.2 118.5				STC Rewa	-17 157	0
7	Hector Mine	1999-10-16	7.1	13.7	34.6 116.3	15.2	254	0.6	Hurricane Irene	28.6 79.9	0
8	Central California	2003-12-22	6.5	8.4	35.7 121.1				STC Heta	-19 170	+5
9	Delta, B.C., MX	2010-04-04	7.2	10	32.3 115.3	23.6	205	34	TD 15F TC Robyn	14/76 -16/92	0 +1
10	Ridgecrest	2019-07-04	6.4	10.5	35.7 117.5				Hurricane Barbara	28 87	+6

Характеристики трех предшочков землетрясений восточнее разлома Сан-Андреас:

T_{for} - время до; δt – продолжительность; r – радиус круга около эпицентра

Выводы

- При прохождении ТЦ пограничных областей больших литосферных плит могут произойти безфоршоковые землетрясения магнитудой $M > 4.6$ на границах малых литосферных плит глубиной около 30 км. Физический механизм связан с литосферной передачей дополнительного момента сил из области разреза над ТЦ.
- Коровое землетрясение Landers 92 произошло, когда ураган Celia усилился вблизи Калифорнии. Физический механизм связан с воздействием КНЧ колебаний, возникавших в урагане Celia на неустойчивую область вблизи очага, что соответствует многолетним наблюдениям [Fan et al., 2019] и подтверждается прямыми измерениями спутника Космос-1809.
- Анализ сильных землетрясений Калифорнии $M > 6$ за 30 лет показал, что в эти моменты наблюдались ТЦ в различных регионах мирового океана. Причем, землетрясения западнее разлома Сан-Андреас не имели форшоков, а восточнее имели форшоки. Форшоки в течение суток локализуются $R \sim 10$ км в районе главного толчка – до трех, за несколько минут.
- Отмечено, что сильные акустические воздействия от отдельных американских и французских ПЯВ интенсифицировали тропические возмущения и приводили к возникновению нескольких взаимодействующих ТЦ интенсивностью до 5 категории [11]. Физический механизм соответствует теоретическим выводам Абурджаниа о самоорганизации ВГВ структур в неоднородной ионосфере [7, 8].
- Мониторинг ПЯВ спутником Росгидромета Космос-1809 проводился с 1987 по 1992 по заданию Службы Сейсмического Контроля, научный руководитель академик В.В. Мигулин [12].
- Авторы признательны разработчикам спутника Космос-1809. Особенно: Я.П. Соболеву (ИЗМИРАН), разработавшему анализатор э/м колебаний в области частот 20 Гц – 20 кГц; Г.П. Комракову (НИРФИ), разработавшему импедансный зонд для измерения N_e и dN_e ; В.В. Афонину (ИКИ) – прибор для измерения T_e в области 600 – 5000 К. Авторы благодарят В.Д. Кузнецова за поддержку работы и полезные обсуждения.
- Написание данной работы поддержано ООО Каскад, Москва, Генеральный Директор Е.С. Голубов.

References

1. **Боков В.Н., Воробьёв В.Н.** 2018. Атмосферные процессы, инициирующие механизм очага землетрясений // Ученые записки РГГМУ. № 51. С. 9-21.
2. **Fan W., McGuire J. J., de Groot-Hedlin C. D., Hedlin M. A. H., Coats S., Fiedler J. W.** 2019. Stormquakes // Geoph. Research Letters. V. 46(22). P. 12909-12918.
3. **Kostin V., Belyaev B., Ovcharenko O., Trushkina E.** 2019. Features of some interacting tropical cyclones in the Indian Ocean after the Mount Pinatubo eruption // Intern. J. Engineering Research & Science. V. 5(9). 19-26.
4. **Kostin V., Belyaev B., Ovcharenko O., Trushkina E.** 2019. Parameters of the upper ionosphere over Tropical Cyclones during changes in the stratosphere wind after eruption of the Mount Pinatubo // Presentation of Pushkov readings. IZMIRAN.
5. **Fujiwhara, S.** 1921. The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 47.
6. **Pokhil, A.E., Glebova, E.S., Smirnov, A.V.,** 2013. Studying an interaction between tropical cyclones and jet streams using the numerical simulation data // Russian meteorology and hydrology. 38, 141-149.
7. **Aburjania, G.D.** 2011. Self-localization of planetary wave structures in the ionosphere upon interaction with nonuniform geomagnetic field and zonal wind // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 47 (4). 533-546.
8. **Aburjania, G.D., Kharshiladze, O.A., Chargazia, K.Z.** 2013. Self-organization of IGW structures in an inhomogeneous ionosphere: 2. Nonlinear vortex structures // Geomgn. Aeron. 53 (6). 750-760.

9. **Gabis, I.P., Troshichev, O.A.** 2011. The quasi-biennial oscillation in the equatorial stratosphere: Seasonal regularity in zonal wind changes, Discrete QBO-cycle period and prediction of QBO-cycle duration // *Geomgn. Aeron.* 51 (4). 501-512.
10. **Boychev B., Belyaev G., Kostin V., Ovcharenko O., Trushkina E.** 2018. Ionosphere parameters changing by interactive tropical cyclones according to Cosmos-1809 and Intercosmos Bulgaria-1300 satellite data // *SunGeo.* 13 (1). 31-39.
11. **Belyaev G., Hotinov B., Kostin V., Trushkina E, Ovcharenko O.** 2018. On the possibility of powerful underground explosions impact to release of the earth's crust stresses and on the development of hurricanes // *Fourteenth International Scientific Conference Space, Ecology, Safety – SES 2018.* Sofia. Bulgaria. Proceedings. 403-409.
12. **Костин В.М., Мурашев В.Д.** 2002. Экспериментальные исследования возможностей спутникового радиомониторинга подземных ядерных испытаний // *Рожденная атомным веком: сб. ст. / Под ред. А.П. Васильева.* М.: ССК. Т.3. С. 178-191.
13. **Kostin, V.M., Belyaev, G.G., Boychev, B., Trushkina, E.P., Ovcharenko, O. Ya.** 2015. Ionospheric precursors of the intensification of isolated tropical cyclones according to the IKB-1300 and Cosmos-1809 satellite data // *Geomgn. Aeron.* 55(2). 246-260.
14. **Belyaev, G., Boychev, B., Kostin, V., Trushkina, E., Ovcharenko, O.** 2015. Modification of the ionosphere near the terminator due to the passage of a strong tropical cyclone through the large Island // *SunGeo.* 10 (1). 31-38.

Схема воздействия на ионосферу одиночного ТЦ Harry при взаимодействии с островом Н. Каледония [13,14] при окончания стадии стагнации стратосферного ветра

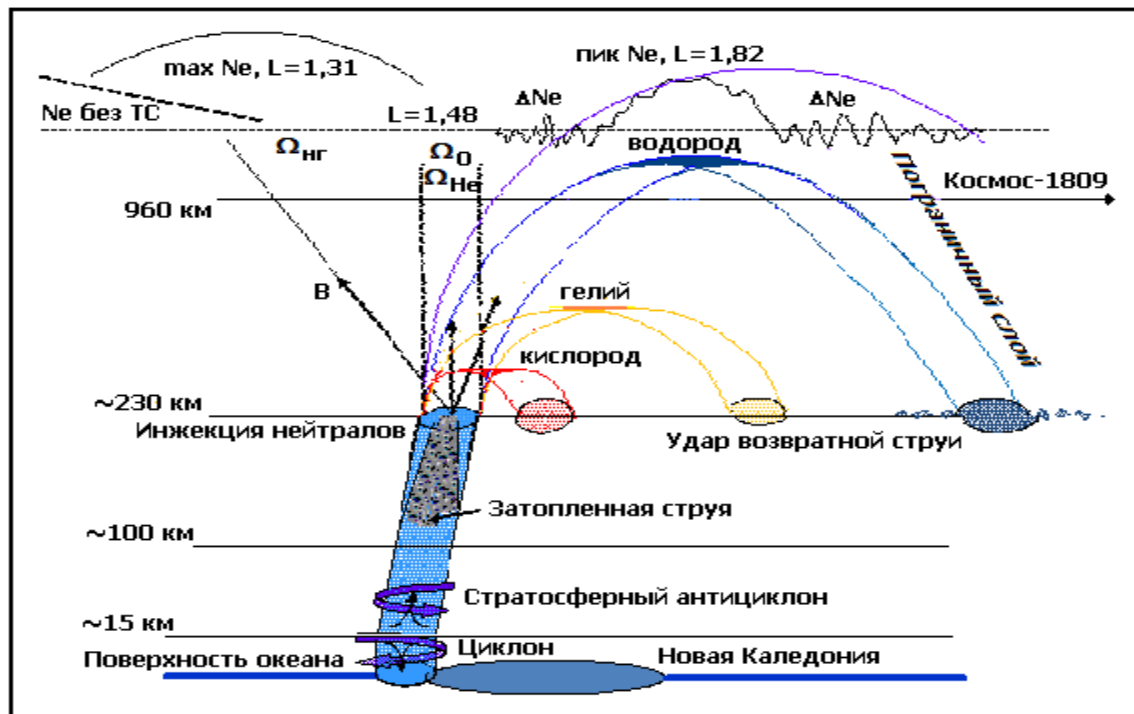


Рис. 12

1. Отклонение вращающейся структуры ТЦ от вертикали происходит из-за воздействия момента сил между напором тропосферного ветра и поверхностным торможением островом.
2. Усиление ТЦ до ураганной силы происходит, если над ним формируется стратосферный антициклон, стимулирующий генерацию инфразвуковых колебаний, распространяющихся к поверхности океана и усиливающих теплообмен океан атмосфера.

Модификация плазмы ночной ионосферы (LT=00:27) в восточном секторе при прохождении ТЦ Harry о. Н. Каледония

SATELLITE COSMOS-1809 DATE: 11.02.1989

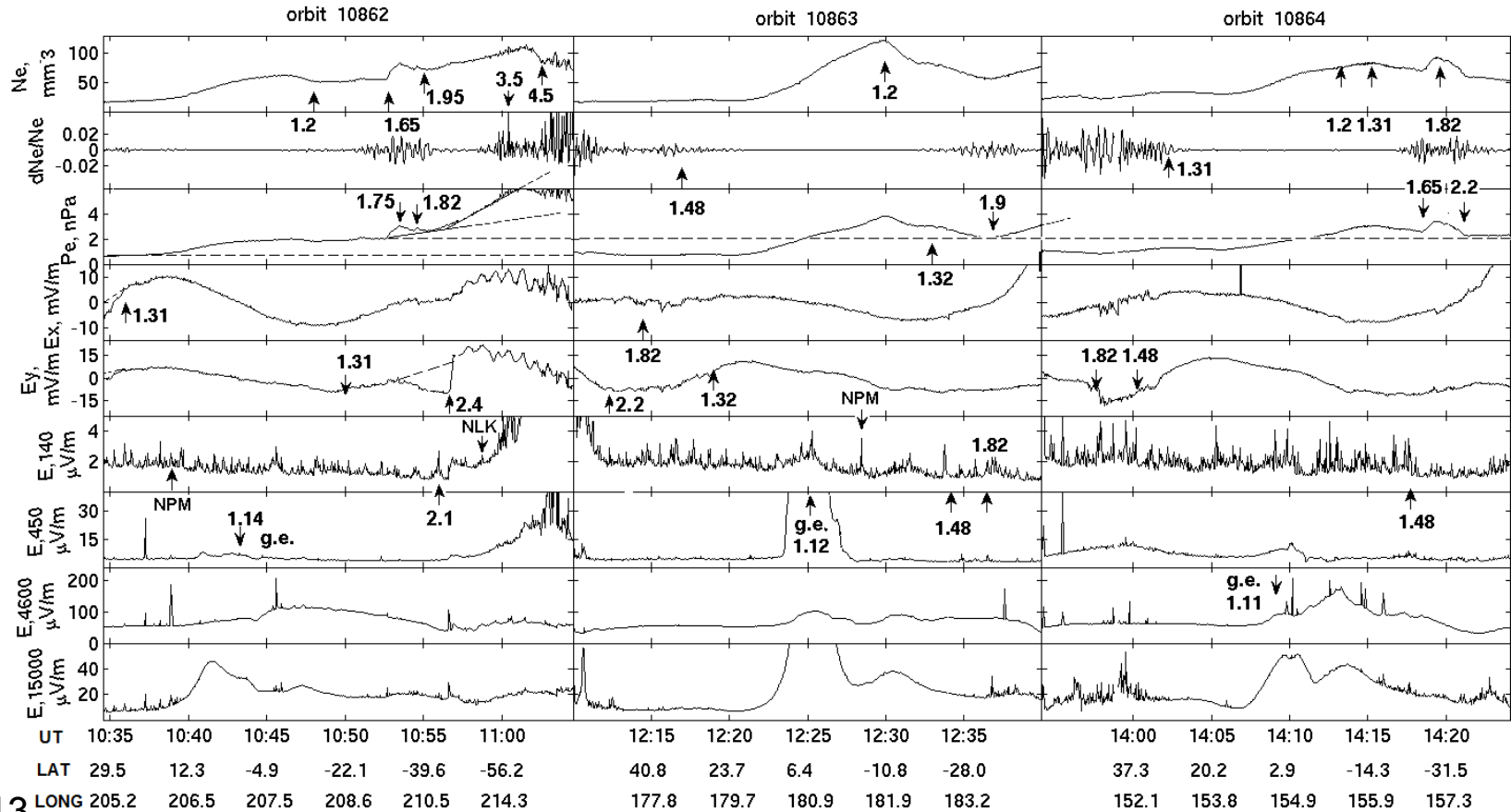


Рис.13

1. Возмущения ионосферы вдоль о.10862 передаются электронами, дрейфующими вдоль южного полярного терминатора из области ТЦ Harry, к которому подходит вечерний терминатор.
2. Пространственный период осцилляций электрического поля совпадает с горизонтальным расстоянием в ионосфере до возвратной струи метастабильных атомов гелия [13,14]. ²²