

Мониторинг параметров плазмы верхней ионосферы для выявления мощных естественных и техногенных источников воздействия на атмосферу из опыта работы спутника Космос-1809

В.М. Костин¹, Г.Г. Беляев¹, О.Я. Овчаренко¹, Е.П. Трушкина¹

¹ Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
Российской Академии наук
108840, Москва, Троицк, Калужское шоссе 4
E-mail: kostin@izmiran.ru

Показано, что сопоставление спутниковых измерений параметров ионосферной плазмы, данных дистанционного зондирования Земли, а также результатов сейсмического контроля, позволяет выявлять источники мощного воздействия на атмосферу, прогнозировать место и время отдельных классов землетрясений. Для объяснения корреляционных связей аномальных параметров ионосферы с мощными источниками воздействия на атмосферу привлекаются упрощенные физические модели.

Ключевые слова: спутник Космос-1809, верхняя ионосфера, ДЗЗ, мощные источники.

Введение

Аномальные события на поверхности Земли происходят при перераспределении энергии из областей, где происходит максимум поглощения излучения Солнца, солнечного ветра и энергии радиоактивного распада в земных недрах. Наиболее мощные – тропические циклоны, магнитные бури, полярные сияния и землетрясения, а также техногенные – атомные взрывы. Все эти процессы отражаются в ионосфере [Данилов и др., 1987].

Структура и динамика верхней ионосферы изучалась со спутников аппаратурой радиозондирования – ионозондов. В нашей стране такой ионозонд работал на спутнике Интеркосмос-19. Его результаты широко обсуждались ранее в работах [Ижовкина и др., 1996], [Karpachev et al., 2013], [Карпачев и др., 2015], а в настоящее время – на ежегодных конференциях «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» в докладах А.Т. Карпачева.

Для решения задач Росгидромета был запущен спутник Космос-1809, который был копией Интеркосмос-19. Однако, основная задача – построение профилей верхней ионосферы решались только в первой половине 1987. После исчерпания ресурсов ионосферной станции ИС-338, диагностическая аппаратура включалась под научные программы ИПГ [Авдюшин и др. 1993] и ИЗМИРАН.

Так как было известно, что сотрудники ИЗМИРАН получили диплом за обнаружение со спутника эффектов воздействия землетрясений на ионосферу [Мигулин и др., 1985], то было принято решение проверить возможность контроля со спутника проведение подземных ядерных взрывов (ПЯВ) в ходе совместных советско-американских работ [Костин и Мурашев, 2002]. После успешного выполнения задачи, спутник Космос-1809 включался в режиме мониторинга источников мощного воздействия на ионосферу.

Данные спутника Космос-1809 стали более подробно рассматриваться после изучения теоретических работ [Абурджания, 2006], [Абурджания и др., 2013], в которых было показано, что сильное акустическое воздействие на возмущенные структуры в атмосфере при учете неоднородного стратосферного ветра и магнитного поля могут приводить к формированию, как отдельного вихря, так и цепочки вихревых структур.

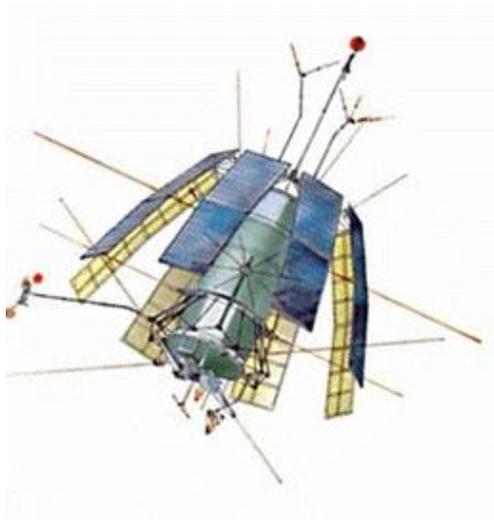
Акустическое воздействие американских ПЯВ на тропические возмущения (ТВ) в сентябре 1992 привело к возникновению цепочки из 10 тропических циклонов (ТЦ) [Костин и др., 2019a], [Kostin at al., 2019], а в июне 1992 вызвало взрывное усиление 3-х ТВ около американского континента. Дальнейшая интенсификация урагана Celia, сопровождавшаяся усилением КНЧ-колебаний, которые были зарегистрированы со спутника Космос-1809, вызвала коровое землетрясение Landers 27.06.92 [Костин и др., 2020]. Такой механизм воздействия ураганов на землетрясения подробно изучался с помощью специальных датчиков на ~2800 сейсмостанциях США в течение более 10 лет [Fan at al., 2019].

Акустическое воздействие французских ПЯВ на ТВ в Тихом океане (ноябрь-90) вызвало развитие 3-х взаимодействующих супертайфунов. Резкие изменения давления в центрах тайфунов на тектонические плиты (спусковой механизм) вызвали серию сильных литосферных землетрясений [Kostin at al., 2020].

Корреляционные связи литосферных землетрясений на различных разломах при развитии сильнейшего за 35 лет тайфуна Gay-92 (наблюдался со спутника Космос-1809) обсуждались в докладе на конференции ИТПЗ РАН [Kostin at al., 2021].

В настоящем докладе, в дополнение к ранее полученным авторами результатам, рассмотрено также не только торможение большим островом Новая Каледония ТЦ Harry [Исаев и др., 2010], [Костин и др., 2015], но и обратная задача – два спусковых механизма воздействия ТЦ Harry на литосферные землетрясения.

Спутник Космос-1809



Работал: 18 декабря 1986 – 23 мая 1993
Орбита: апогей - 980 км, перигей – 950 км,
наклонение – 82,5°, период – 104 мин.

Таблица 1. Основные приборы пассивной диагностики.

№	Прибор	Предназначение	Разработан	Обработка
1	АНЧ-2МЕ	Анализатор низких частот э/м колебаний в полосе 70 Гц – 20 кГц каналах 140, 450, 850, 4600, 15000 Гц	Михайлов Ю.М. Соболев Я.П.	Соболев Я.П. Овчаренко О.Я.
2	ИЗ-2	Импедансный зонд для измерений Ne и dNe	Комраков Г.П.	Трушкина Е.П.
3	ДЭП	Измерение электрического поля	Пущаев П.П. Исаев Н.В.	Трушкина Е.П.
4	КМ-9	Измерение Te в области 600 – 5000 К	Афонин В.В.	Трушкина Е.П.
5	АВЧ-2Ф	Высокочастотный радиоспектрометр, измерения на частоте 4,6 МГц	Пулинец С.В.	Селигей В.В.

Воздействие тропического циклона Harry-89 на ионосферу

Траектория спутника Космос-1809 в феврале 1989 на нисходящих витках проходила около полуночного меридиана. В это время 9-10 февраля поверхностный ветер в тропическом циклоне (ТЦ) Harry, средний за 1 мин в окрестности $R \sim 1^\circ$ глаза ТЦ, усилился до ~ 60 м/с (115 knot). ТЦ приближался к острову Новая Каледония, протяженность которого ~ 400 км. Вдоль острова тянется горная гряда высотой до 1600 м. Характеристики ТЦ брались из ежегодных отчетов объединенного центра предупреждения тайфунов (JTWC).

Со спутника Космос-1809 10 февраля наблюдались характерные возмущения в ионосфере [Исаев и др., 2010]. На Рис. 1 приведены данные регистрации прибора ИЗ-2.

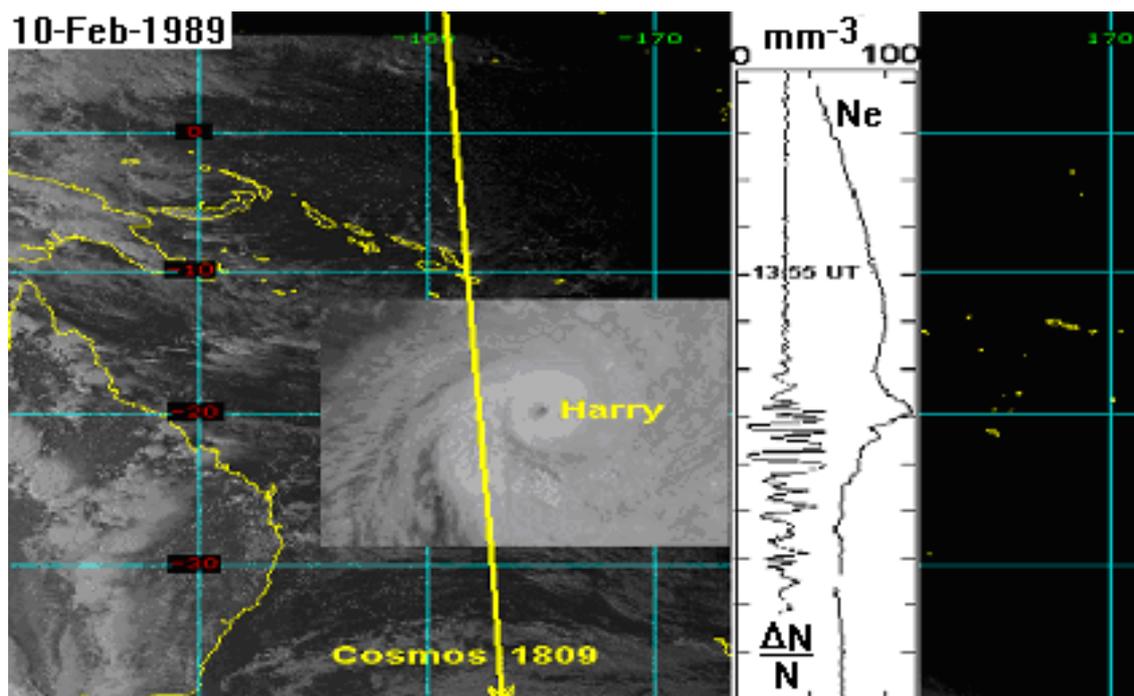


Рис. 1. Формирование пика плотности плазмы в зените над «глазом» тайфуна Harry.

Выделяются следующие особенности:

1. Проекция в 0:40 LT (13:56 UT) широкого $\max Ne$ по магнитному полю на широту «глаза» ТЦ Harry достигает высоты 200-220 км.
2. Дополнительный, узкий пик Ne шириной ~ 400 км наблюдается вблизи широты центра ТЦ.
3. Пространственный период флуктуаций Ne внутри пика в 2 раза меньше чем вне.

При прохождении ТЦ острова структура возмущений в ионосфере резко изменилась [Костин и др., 2015]. Стрелками на Рис.2 отмечены основные, структурные образования.

Цифры соответствуют L-оболочкам:

- L=1.48 – проекция на широту центра ТЦ, где наблюдается усиление колебаний H^+ и He^+ ;
- L=1.82 – центр дополнительного пика Ne шириной ~ 800 км;
- L=1.31 – $\max Ne$, проецирующийся по магнитному полю на высоту $h=200-230$ км над ТЦ;
- L=1.2 – $\max Ne$ на витках, проходящих восточнее ТЦ Harry;
- г.э. – прохождение спутником геомагнитного экватора.

Все особенности хорошо согласуются в модели взаимодействия ТЦ с островом, представленной на Рис. 3.

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.

3. Затопленная струя формируется под воздействием акустических волн грозовых разрядов, разогревающих атмосферу над облачной структурой, что приводит к эффекту линзирования. Устойчивость обеспечивается поверхностными волнами, распространяющимися вдоль струи.
4. Генерация периодических структур в ионосфере может происходить из-за акустического воздействия землетрясений, спусковым механизмом которых может быть интенсификация ТЦ. Рассматривается в следующем разделе.
5. Роль метастабильных атомов разбирается в последнем разделе – регистрация ионосферных эффектов со спутника *Космос-1809* при нагревных экспериментах.

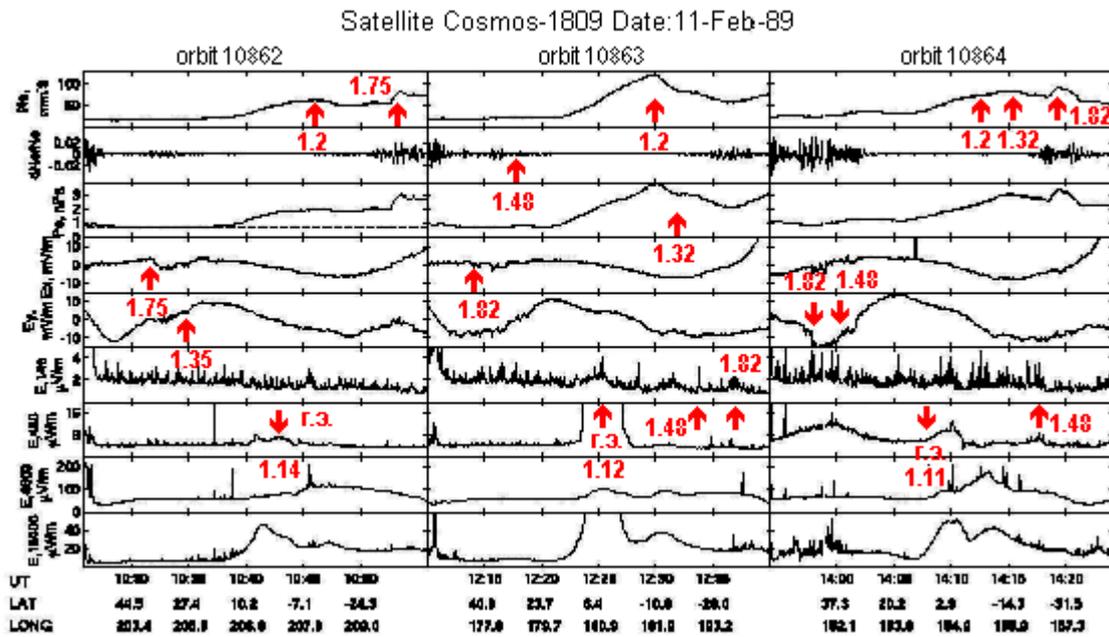


Рис. 2. Модификация плазмы ночной ионосферы в восточном секторе при прохождении ТЦ *Harry* острова Новая Каледония.

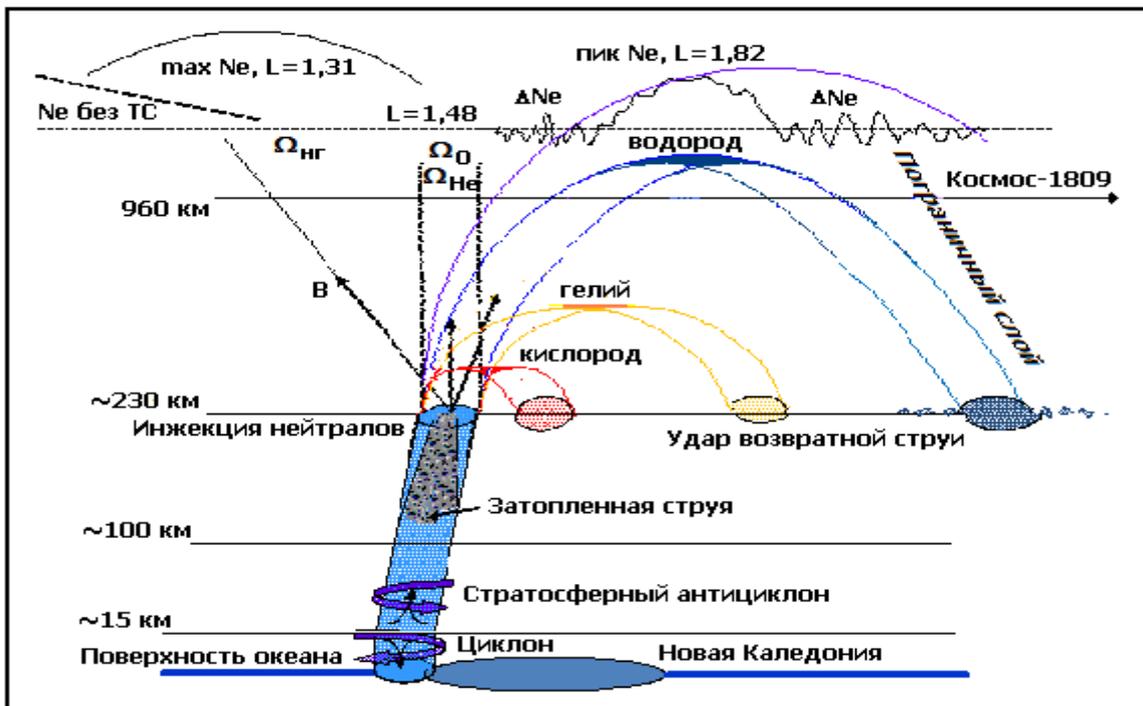


Рис. 3. Схема воздействия на ионосферу ТЦ *Harry* при взаимодействии с островом.

Воздействие тропического циклона Harry-89 на литосферные землетрясения

Развитие ТЦ Harry сопровождалось серией литосферных землетрясений. На рис.4 на траекторию движения ТЦ нанесены моменты сильнейших землетрясений из Таб. 2. Данные землетрясений были взяты с сайта Геологической службы США (USGS).

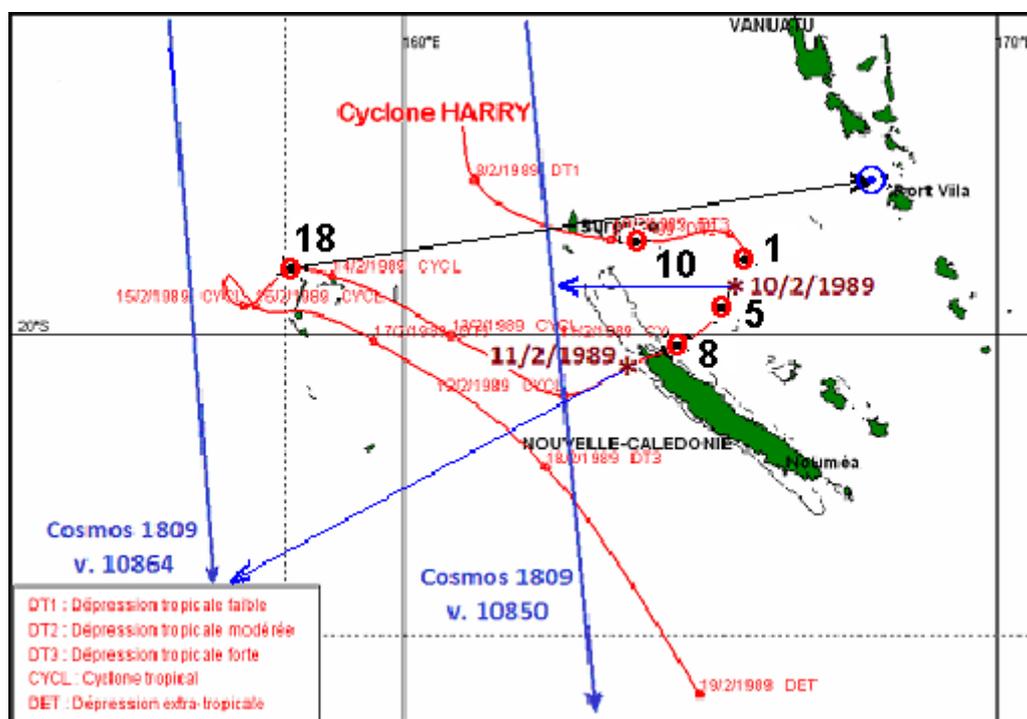


Рис. 4. Траектории Космос-1809, ТЦ Harry и моменты отдельных землетрясений (Таб. 2).

Совместный анализ траектории движения ТЦ Harry и данных Таб. 2 указывает на то, что имеется три временных интервала различных воздействий ТЦ на австралийскую плиту:

1. До 10 февраля надо учитывать развитие тайфуна Kirrily (Рис. 5 и 6).
2. С 10 по 13 февраля – взаимодействие ТЦ с островом Новая Каледония.
3. После 13 февраля – воздействие области сильного разрежения ТЦ на плиту.

Особенностью совместного воздействия ТЦ Harry и Kirrily на Индо-Австралийскую плиту были сильные землетрясения Сандвической плиты (№ 9, 10 и 12 в Таб. 2) на характерной глубине 20-30 км. Землетрясения этой плиты происходили при развитии всех ТЦ, рассмотренных в этой работе. Ионосферные эффекты детально приведены для событий в сентябре 1992 – (Рис.10). Механизм взаимодействия нескольких плит в данной работе не рассматривается.

Землетрясения в ближайшей субдукционной зоне – Hebrides и разломе Vanuatu стали регистрироваться с 10 февраля. В этот день начались глубокофокусные землетрясения на разломе Vanuatu (Таб.1) и произошла большая серия сильнейших землетрясений около Tabela (Таб.2). Относительное расположение основных разломов, положения ТЦ Harry и районов землетрясений приведены на Рис. 5А. Спусковой механизм данных землетрясений представлен на Рис. 5В. Остров Новая Каледония играет роль рычага, который под воздействием напора ветра ТЦ поднимает северо–восточный край Индо-Австралийской плиты.

В районе Vanuatu она погружена под Тихоокеанскую плиту. 10 февраля, когда ТЦ развернулся и начал приближаться к острову, стал нарастать момент сил M_f (Рис.5В). Силы, создающие распределение компенсирующего момента на краю плиты, вызывают локальный рост напряжения внутри плиты и разрыв в слабейшей области – глубокофокусное землетрясение I (Таб. 1). На следующий день 11 февраля ТЦ прошел остров (отмечено

желтым кругом на Рис. 5B). Распределение максимума сил компенсирующего момента сместилось к югу. Землетрясение II (Таб. 1) произошло южнее (Рис. 5B).

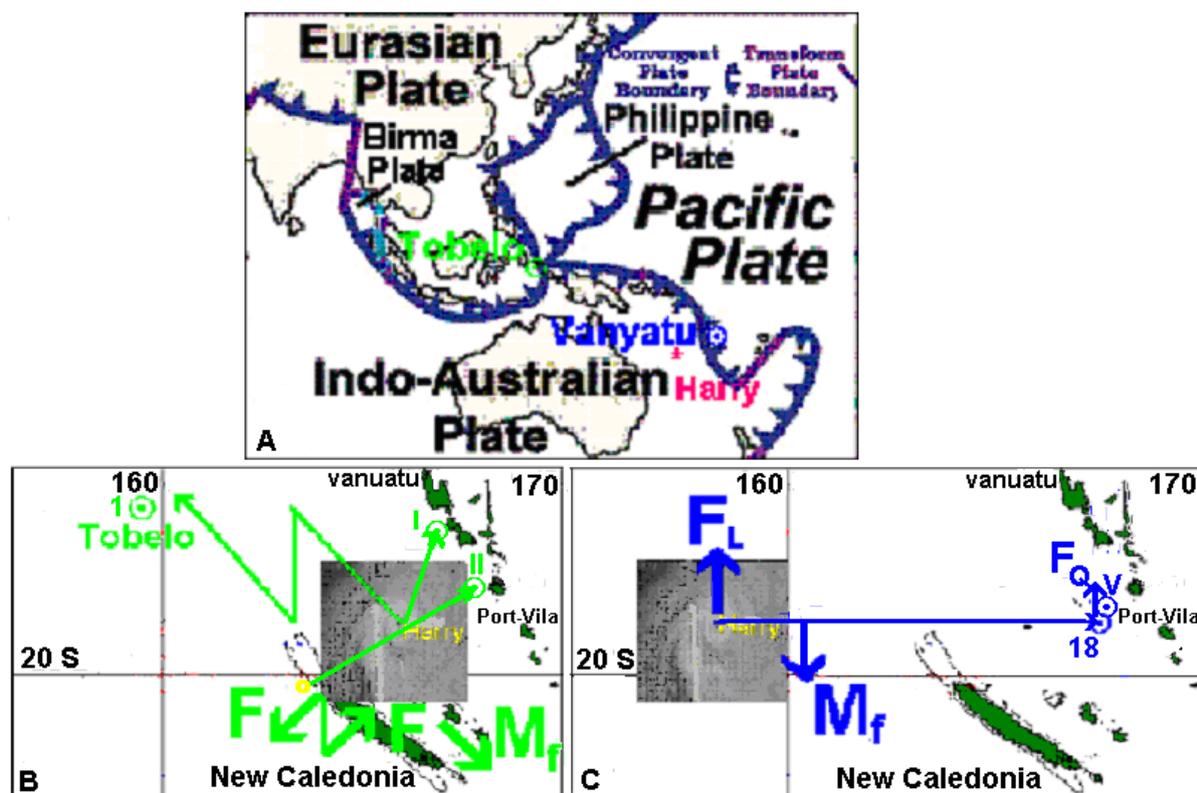


Рис. 5. Различные спусковые механизмы сброса напряжений при прохождении ТЦ острова.

На северном участке Индо-Австралийской плиты, под которую погружается Тихоокеанская плита (Рис. 5A), силы компенсирующего момента возникают только за Филиппинской плитой – в области малых плит (Рис.6). Это привело к серии сброса напряжений на характерной глубине 33 км в районе Tobelo (Таб.2). Более подробный анализ землетрясений $M_w > 4.5$ показал, что серия закончилась 12 февраля в 6:00 UT ударом $M_w = 4.6$.

14 февраля, когда ТЦ достаточно удалился от острова, произошла серия толчков на Vanuatu (Таб. 1). В этом случае разрезание в ТЦ приподнимает плиту, а пограничные области пытаются опуститься, но удерживаются выше расположенной плитой. Можно показать, что условие равновесия выполняется при равенстве момента сил в секторе с центром в глазе ТЦ и нейтральной точкой на границе облачной структуры ТЦ (Рис. 5C). При достижении критического напряжения в слабейшей области происходит землетрясение. Такой механизм был предложен в работе [Kostin et al., 2020].

Таблица 1. Землетрясения 9-14 февраля около разлома Vanuatu.

No	M _w	Date Feb 89	Area	UT h : m	Epicenter N / E	Depth km
I	4.7	10	106 km NW of Sola	15:23	-13.16/166.9	191.7
II	5.2	11	39 km NE of Norsup	15:44	-15.81/167.66	148.4
III	4.7	12	42 km NE of Norsup	10:20	-15.79/167.67	218.4
IV	4.9	13	37 km NW of Isangel	23:13	-19.26/169.08	160.7
V	5.5	14	100 km WNW of Port-Vila	13:06	-17.42/167.43	33.0
VI	4.9	14	106 km WNW of Port-Vila	13:18	-17.53/167.33	33.0
VII	4.8	14	69 km WNW of Port-Vila	13:59	-17.59/167.68	33.0
VIII	5.6	14	111 km WNW of Port-Vila	14:53	-17.45/167.31	33.0
IX	5.4	14	81 km WNW of Port-Vila	17:11	-17.51/167.58	12.5
X	4.8	14	48 km WSW of Port-Vila	22:48	-17.92/167.9	33.0

Таблица 2. Сильнейшие литосферные землетрясения 7-23.02.1989.

No	Mw	Date Feb 89	Area	UT h : m	Epicenter N / E	Depth km
1	7.1	10	Tobelo, Indonesia	11:15	2.305/ 126.76	44.0
2	6.5	14	Solomon Islands	06:20	-10.45/ 161.37	31.9
3	6.0	19	Port-Olry, Vanuatu	12:49	-14.894/ 167.171	101.2
4	6.0	22	Akhiok, Alaska	10:25	56.152/ -153.642	33.0
5	5.9	10	Tobelo, Indonesia	15:23	2.464/ 126.689	38.3
6	5.8	10	Nicobar Islands, India	16:59	6.317/ 92.269	41.7
7	5.8	10	Tobelo, Indonesia	20:29	2.396/ 126.653	33.0
8	5.8	11	Tobelo, Indonesia	1:57	2.384/ 126.603	65.7
9	5.7	8	Sandwich Islands	23:46	-55.623/-26.795	23.7
10	5.7	9	Sandwich Islands	02:15	-55.795/-26.527	19.8
11	5.6	7	Papua New Guinea	15:08	-3.381/ 148.809	38.0
12	5.6	9	Sandwich Islands	02:06	-55.748/-26.818	25.7
13	5.6	10	Tobelo, Indonesia	12:12	2.254/126.598	46.5
14	5.6	10	Tobelo, Indonesia	12:59	2.429/126.7	33.0
15	5.6	10	Tobelo, Indonesia	19:56	2.445/126.612	33.0
16	5.6	11	Tobelo, Indonesia	4:05	2.442/126.685	33.0
17	5.6	13	Sarangani, Philippines	12:15	4.987/126.915	88.4
18	5.6	14	Port-Vila, Vanuatu	14:53	-17.452/ 167.31	33.0
19	5.6	17	Ternate, Indonesia	01:14	0.455/ 126.345	38.9
20	5.6	19	Kasukabe, Japan	12:27	35.964/ 139.788	60.4
21	5.6	21	Aisen, Chile	22:08	-44.462/ -78.766	25.6
22	5.6	23	Port-Olry, Vanuatu	05:51	-14.771/ 167.300	155.2

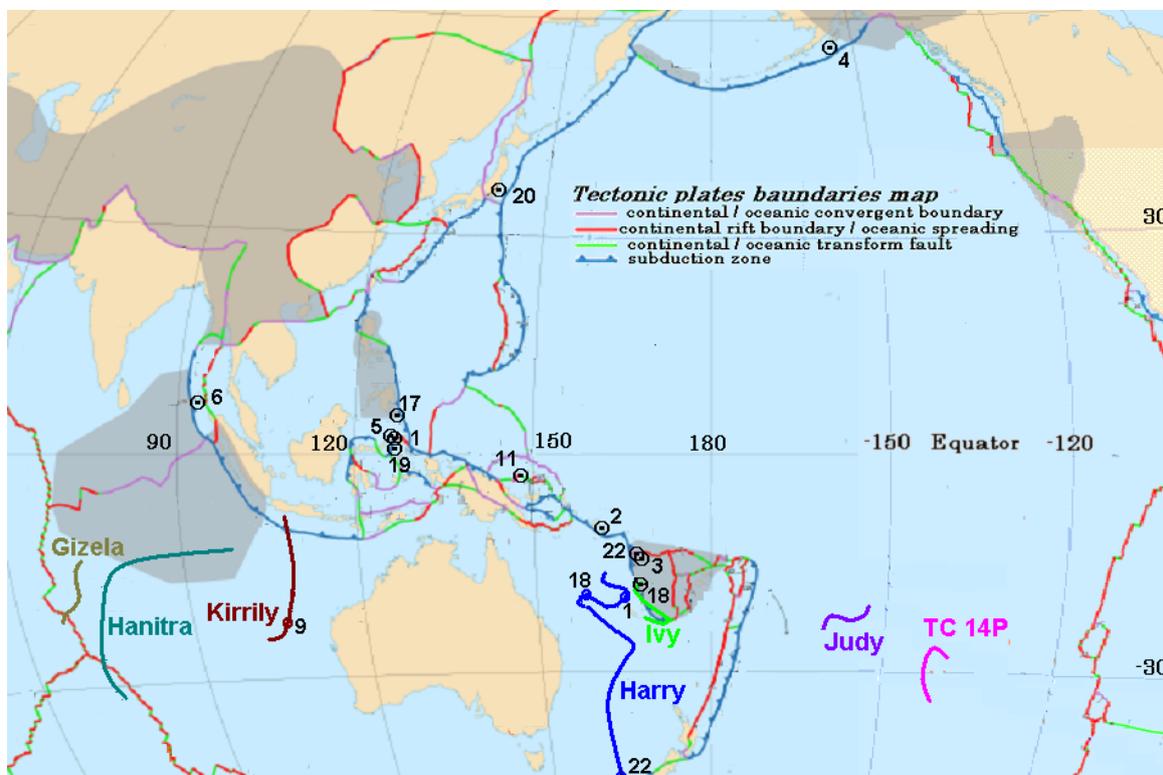


Рис. 6. Траектории движения ТЦ 7-23.02.1989 и их связь с землетрясениями из Таб. 2.

На Рис. 7 приведены интенсивности всех ТЦ (Рис.6) в феврале 1989 и гистограмма \log суммы энергии в ТДж за сутки всех литосферных землетрясений, глубина которых $h > 20$ км.

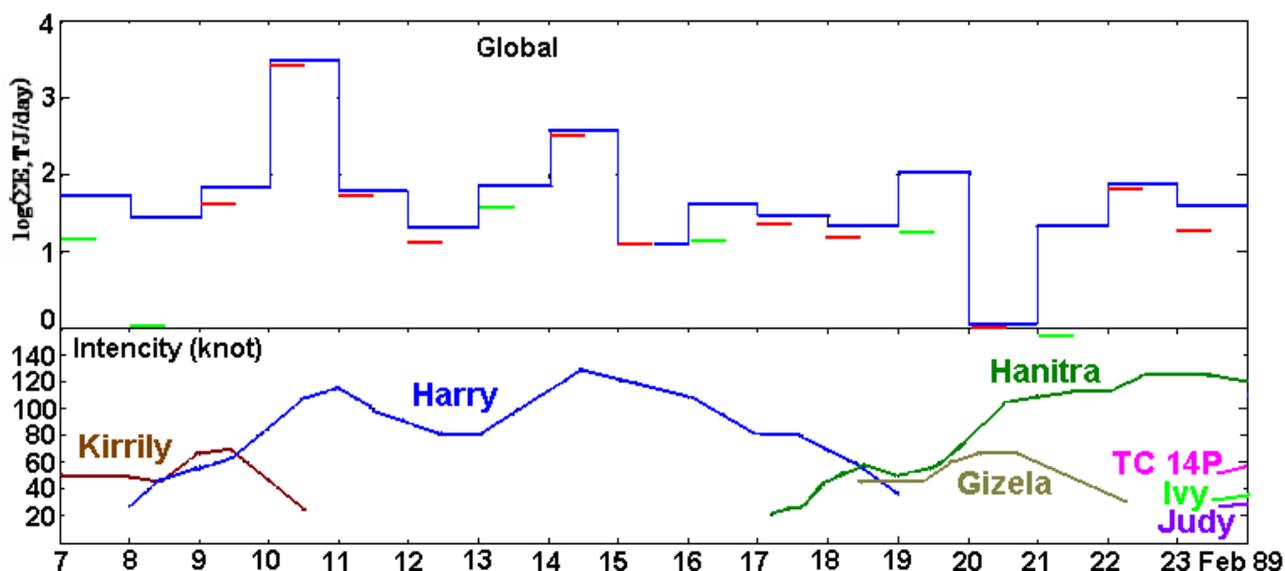


Рис. 7. Интенсивность тропических циклонов и энергия литосферных землетрясений за день.

Дополнительно на гистограмме черточками отмечен полусуточный уровень энергии толчков: зеленой, если уровень меньше половины дневного; красной, если уровень выше 1/2 дневного.

Учитывались толчки $M_w > 4.5$, E -энергия отдельных землетрясений вычислялась из формулы

$$M_w = 2/3 (\lg E - 4.8) \quad (1)$$

Из Рис.7 видно, что энергия литосферных землетрясений связана с развитием ТЦ. В частности, их энергия возрастает на фазе интенсификации ТЦ Harry, что совпадает с выводами работы [Kostin at al., 2021], где рассматривалось воздействие сильнейшего за 35 лет тайфуна Gay на землетрясения.

Воздействие американских ПЯВ в сентябре 1992 на развитие ТЦ и землетрясения

Расчеты показали, что нелинейное взаимодействие сильной акустической волны с неоднородной ионосферой может приводить к формированию как отдельных ТЦ, так и цепочки [Абурджания, 2006], [Абурджания и др., 2013]. Такое поведение ТЦ наблюдалось после ряда ПЯВ. На Рис.8 приведена плотность плазмы на 10 нисходящих витках спутника Космос-1809 в сентябре 1992. Начало первого интервала 0:45:32 UT, длительность 26.2 мин. Остальные интервалы повторялись через период спутника $T=104.2$ мин.

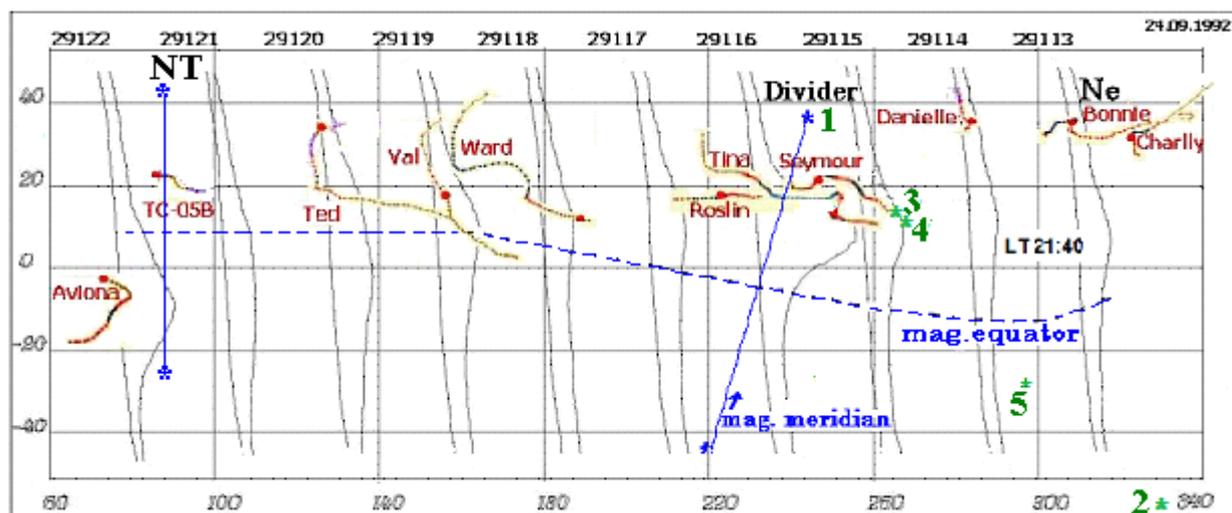


Рис. 8. Плотность электронов на 10 пролетах спутника при проведении ПЯВ Divider (Таб.3). Точками на траекториях 11 ТЦ показаны центры циклонов в момент пролета спутника. Звездочками с цифрой – землетрясения 24 сентября и номером из Таб. 4.

В это время были произведены ПЯВ Hunters Trophy, Divider в США и Nuclear Test (NT) в Китае (Таб.3). После ПЯВ Hunters Trophy интенсифицировались 3 тропических возмущения около американского континента (Рис.9В) и сформировалась цепочка из 10 тропических циклонов (Рис. 8) – волна Rossby-Aburjania. Дополнительная энергия для формирования ТЦ поступает от стратосферного ветра [Абурджания и др., 2013].

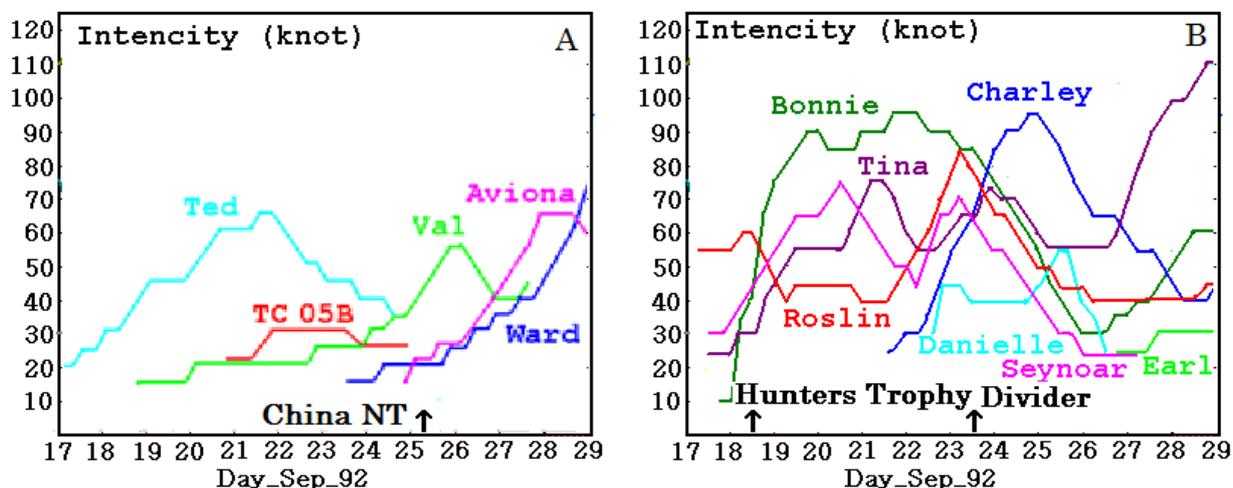


Рис. 9. Интенсивности тропических циклонов в сентябре 1992: (А) Indian and West Pacific Oceans; (В) Atlantic and East Pacific Oceans.

Акустическое воздействие следующего ПЯВ Divider на ураганы в Атлантическом и Тихом океанах около американского континента резко изменило траектории их движения. На Рис.8 показаны эти изменения. NT в Китае 25 сентября добавил в цепочку одиннадцатый ТЦ Aviona.

Таблица 3. Характеристики ПЯВ.

No.	Name	Date - 1992 time UT	Epicenter N / E	Yield kt	Mw	Es/En %
1	Hunters Trophy	18 Sep 17:00	37.21 /-116.21	4	4.4	1.5
2	Divider	23 Sep 15:04	37.02 /-115.99	5	4.2	0.6
3	China NT	25 Sep 8:00	41.76 / 88.39	8	5.0	6.0

Оценка энергии ПЯВ (Таб. 3) по формуле (1) энергии землетрясения дают Es, а расчет энергии через ядерный эквивалент Y(kt) дают En. В последней колонке приведен процент энергии взрыва, который преобразовался в сейсмическую энергию.

24 сентября произошло несколько землетрясений, параметры которых приведены в Таб. 4.

Таблица 4. Землетрясения 24 сентября 1992.

№	День 09.92	UT h : m	Эпицентр N / W	M	Глубина км	Место
1	23	15:04	37.0 / 116.0	4.2	1.21	Nevada Test Site
2	24	00:52	- 59.5 / 26	5.5	21.2	South Sandwich Islands region
3	24	06:10	14.3 / 91.4	4.6	33.0	Guatemala
4	24	07:48	13.7 / 91.1	4.6	33.0	offshore Guatemala
5	24	13:22	31 S / 67.8	4.9	9.5	San Juan, Argentina

Данные землетрясения связаны, скорее всего, с воздействием на литосферные плиты следующих ТЦ на фазе резкого падения интенсивности: 2 – с Bonnie, 3 и 4 – с Roslin, а 5 (коровое) – с прохождением шельфов Tina, Seymour и Danielle, что соответствует работе [Fan at al., 2019].

На следующем Рис. 10 приведены данные спутника Космос-1809 в момент землетрясения на Сандвической плите.

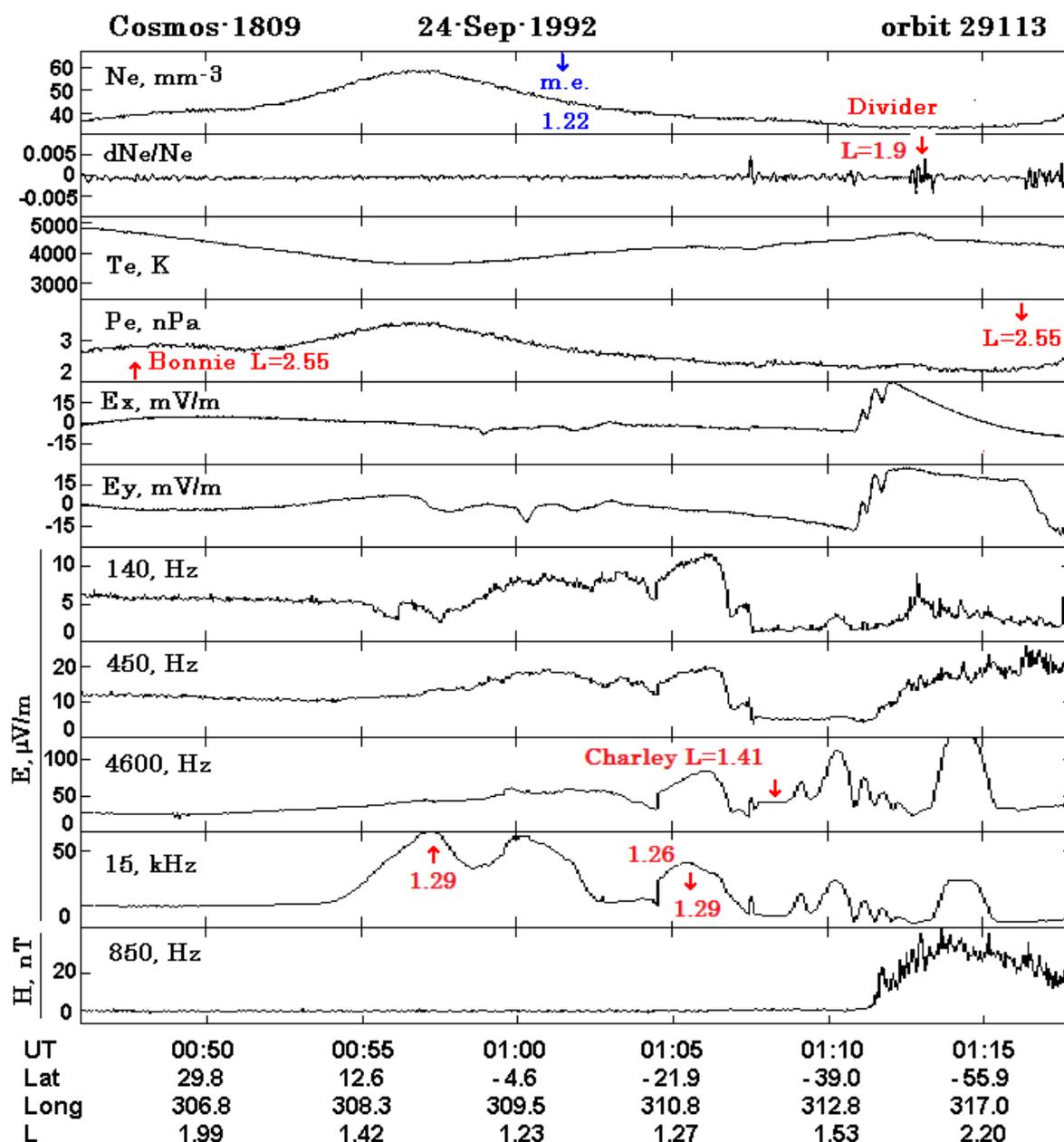


Рис.10. Формирование солитонных структур в ионосфере в момент землетрясения №2, Таб.4.

1. При движении спутника к очагу (-59.5 N, 334.0 E) наблюдалось:

В 1:07:30 э/м предвестник формирования ПИВ.

В 1:09 предвестник группы – ОНЧ колебания.

В 1:10 начало солитонной группы.

В 1:11 – 16 поднятие ионов H+ в верхнюю ионосферу (канал H850 Гц), осцилляции Ex, Ey.

2. Данные структуры распространялись на запад вслед за терминатором. Наблюдались на тех же широтах (витки 29114 – 29122).

Через 11 час спутник пролетал над Сандвической плитой в утреннем секторе. Наблюдались эффекты, приведенные в презентации к докладу [Костин и др., 2019a]:

1. Над очагом землетрясения в области $2.3 < L < 4$ изменения Ne с периодом ~ 150 км и амплитудой до 15 %.

2. В области магнитного зенита 3 пика Те амплитудой 1500 К, совпадающие с пиками электрического поля, направленного по магнитному полю к Земле из области ураганов Bonnie и Charley.
3. Возмущенная область $1.64 < L < 2.06$, которая проецировалась по магнитному полю на область предстоящего через 1 час землетрясению в Аргентине.
4. Отмечается также очень широкая область возмущения Ne до 10 % над нагревным стендом Аресибо.

Воздействие французских ПЯВ в ноябре 1990 на развитие ТЦ и землетрясения

Удаленное взаимодействие между несколькими ТЦ до возмущения атмосферы извержением Пинатубо отличается. Так воздействие ПЯВ Франции в 1990 (Таб.5) на тропические возмущения привело к возникновению трех взаимодействующих ТЦ (Рис.11). Схема взаимодействия представлена на Рис.12. Возникшие литосферные землетрясения обсуждаются в работе [Kostin at al., 2020].

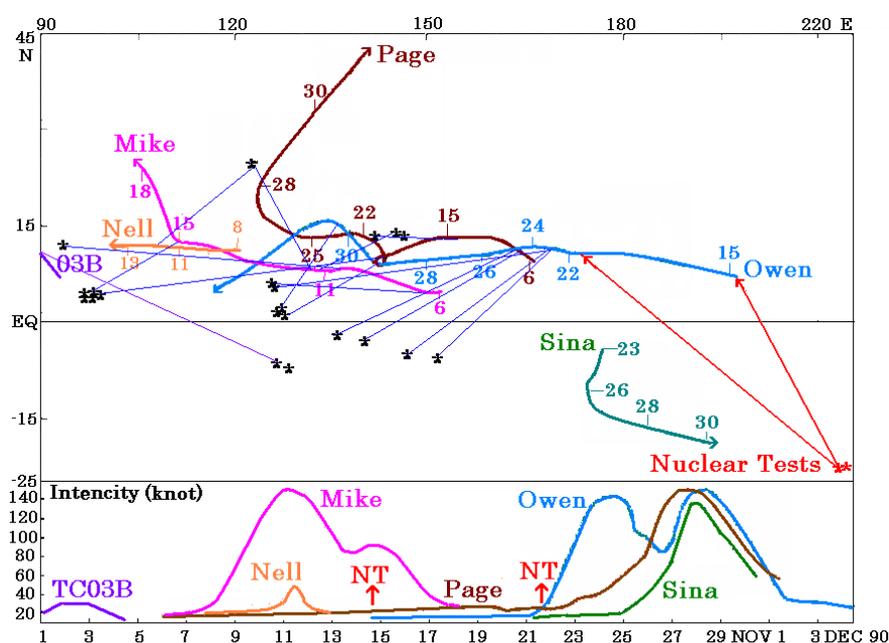


Рис. 11. Траектории тайфунов и землетрясения (звездочки) после французских ПЯВ в 1990.

Из рисунка видно, что очаги сильных землетрясений перемещаются за тайфунами.

Выделяются периоды взаимодействия тайфунов:

21-23 ноября – остановка и вращение Page, притяжение Owen – эффект Фудзивары [Похил и др., 2013]

23-26 ноября – ослабление Owen и начальный рост Page и Sina

26-30 ноября – синхронное усиление до 5 категории всех ТЦ. Сформировалась вихревая цепочка Карман под действием ветра нижней стратосферы, Е-фаза КДЦ № 16 [Gabis and Troshichev, 2011].

Таблица 5. Характеристики ПЯВ Франции.

No.	Name	Date time UT	Epicenter S / W	Yield kt	Mw
1	Hyracos	14 Nov 1990 18:12	22.23 138.34	118	5.5
2	Thoas	21 Nov 1990 17:00	21.85 138.93	36	5.4

Оценка энергии ПЯВ (Таб. 5) по формуле (1) энергии землетрясения дают в первом случае 11.2 ТД, а во втором 7.94 ТД. Расчет энергии через ядерный эквивалент Y(kt) дают 494 ТД и 151 ТД. Это означает, что в первом случае 2.3 % энергии взрыва, а во втором – 5.3 % преобразовалось в сейсмическую энергию.

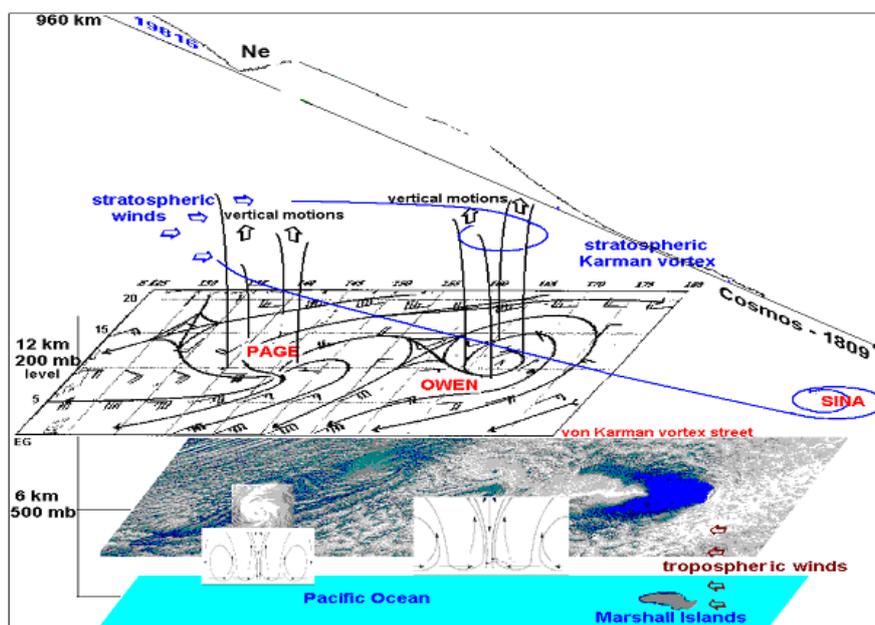


Рис. 12. Схема взаимодействия тайфунов Page, Owen и Sina.

За океаническими островами вдоль воздушных потоков наблюдаются вихревые, облачные структуры – вихри Карман, что происходит и в стратосфере.

Регистрация Космос-1809 ионосферных эффектов при нагревных экспериментах

Техногенными источниками сильного воздействия на ионосферу являются мощные радиосистемы. Стенд Сура является одной из систем, с помощью которой изучаются эффекты взаимодействия мощного КВ-излучения с ионосферой. Основные полученные результаты можно найти в специальном выпуске журнала Известия вузов, Радиофизика № 9 за 2005, а также в обзорах [Фролов и др., 2007], [Frolov et al., 2008].

В рамках программы «...Антропогенные эффекты в ионосфере» [Авдюшин и др., 1993] стенд Сура более 100 раз включался под пролеты спутника Космос-1809 [Костин и др., 1993], [Костин и др., 2019]. Для идентификации эффектов воздействия работы стенда на ионосферу в ряде экспериментов его несущая частота модулировалась низкой частотой, совпадающей с частотой канала прибора АНЧ-2МЕ (Таб.1). На Рис.13 приведены результаты работы двух передатчиков из трех (P=200 МВт на частоте 5828 кГц) [Костин и др., 1993].

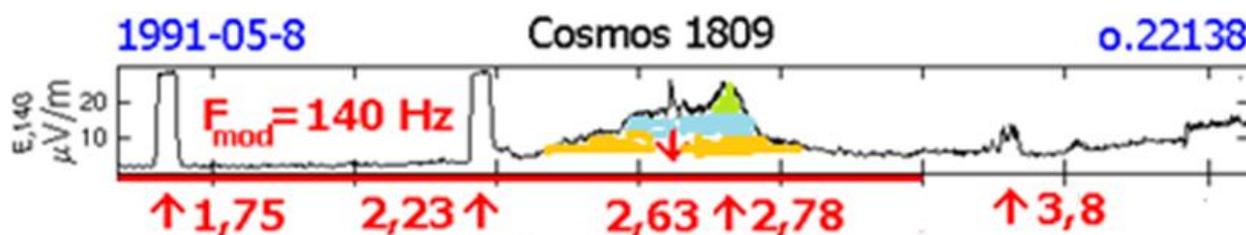


Рис. 13. Амплитуда электрического сигнала регистрируемого в канале 140 Гц. Работа стенда Сура отмечена красной линией. Стрелками указаны L-оболочки, пересекаемые спутником.

Выделяются следующие характерные особенности сигналов:

1. Пик на 2.63 – прохождение свистов из области нагрева.

2. Голубая область – область ионизации нижней ионосферы метастабильными атомами гелия – He^* (19.82 эВ для 2^3S_1 и 20.61 для 2^1S_0 , $\tau = 131 \pm 9$ мин), вылетающими бесстолкновительно вверх и теряющими энергию из-за столкновений в плотной ионосфере, протяженность ± 180 км.
3. Зеленая область – область ионизации метастабильных атомов кислорода – O^* ($2p_4$, $1D \rightarrow 3P$, $\lambda=630$ нм, $\tau = 110$ с), с центром $L=2.78$ на высоте ~ 100 км над областью нагрева и протяженностью ± 70 км.
4. Светло-коричневая – область ионизации метастабильных атомов водорода – H^* ($2S \rightarrow 1S$, $\tau = 0,122$ с, $E_{\text{ионизации}}=3.4$ эВ) с центром $L=2.64$ и протяженностью ± 700 км.
5. Аномальные области над СДВ радиопередатчиками (Краснодар, Сызрань). “Хвосты” пульсирующих потоков атомов водорода могут пролететь более 10000 км. Под воздействием излучения Солнца они могут переходить в возбужденное состояние. В зоне воздействия СДВ передатчиков наблюдаются потоки электронов с энергией в несколько эВ [Sonwalkar et al., 1994], которые легко ионизуют H^* .

Таблица 6. Передатчики системы дальней навигации, режимы работы.

NEW RSDN-20 transmission sequence by frequency

Segment nr. station	1	2	3	4	5	6
Frequency kHz						
F3p 14.881091 kHz				Revdia, Seyda		
F3 14.880952 kHz	Krasnodar				Seyda	Revdia
F2 12.648809 kHz	Revdia			Krasnodar		Seyda
F4 12.090773 kHz		Revdia				
F5 12.044270 kHz			Seyda			
F1 11.904761 kHz		Seyda	Krasnodar		Revdia	

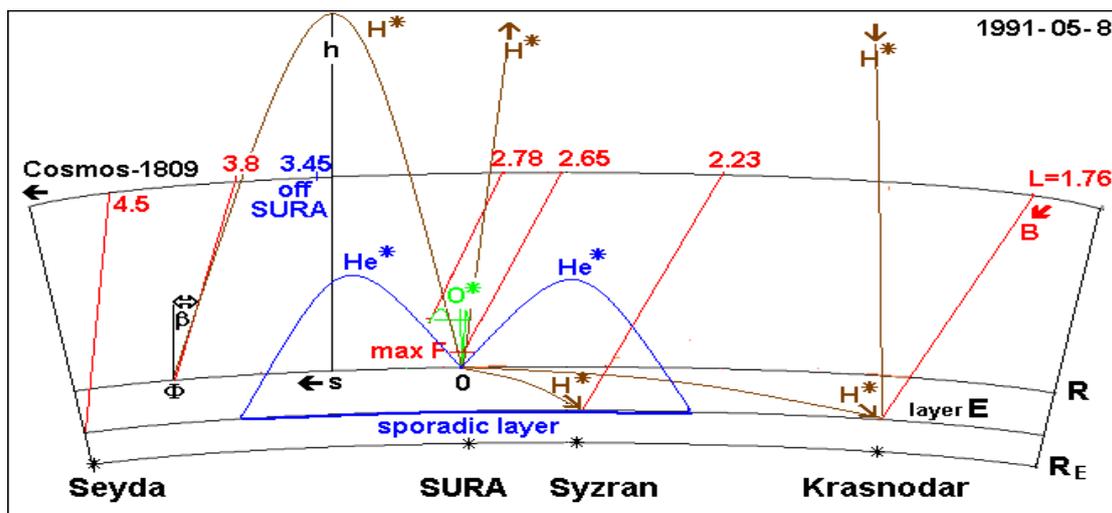
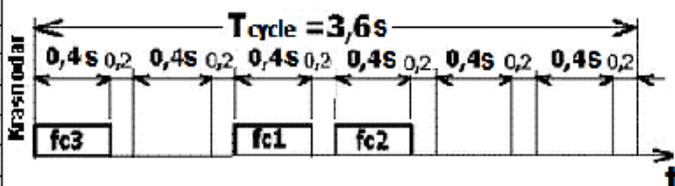


Рис. 14. Схема разлета возбужденных атомов при работе стенда Сура [Костин и др. 2019].

Эксперименты при работе стенда Сура в вечерне-ночном секторе в период высокой солнечной активности показали, что механизм № 5 работает и в экваториальной ионосфере, происходит подавление развития бабблов. На рис.15 приведены данные спутника на двух последовательных восходящих витках около вечернего терминатора. Спутник входил в тень на широте $\sim 17^\circ$ S, отмечено стрелкой. Режим работы стенда указан внизу рисунков.

В ионосфере в магнито-сопряженной области нагрева (37° S, 63° E), наблюдалось:

1. Выключение работы стенда в 16:06 UT в канале E140 на частоте модуляции.
2. Сильные флуктуации в потоке ионов водорода в области $5.1 > L > 1.9$, канал B850, куда попадают циклотронные колебания H^+ .
3. Работа стенда подавляет развитие бабблов к западу от плоскости магнитного меридиана Суры, орбита 21078-79, но не подавляет к западу, орбита 21077-78.
4. В неосвещенной ионосфере эффекты нагрева регистрируются в магнитном зените на частоте модуляции в 18:20 UT, магнитный канал B140.

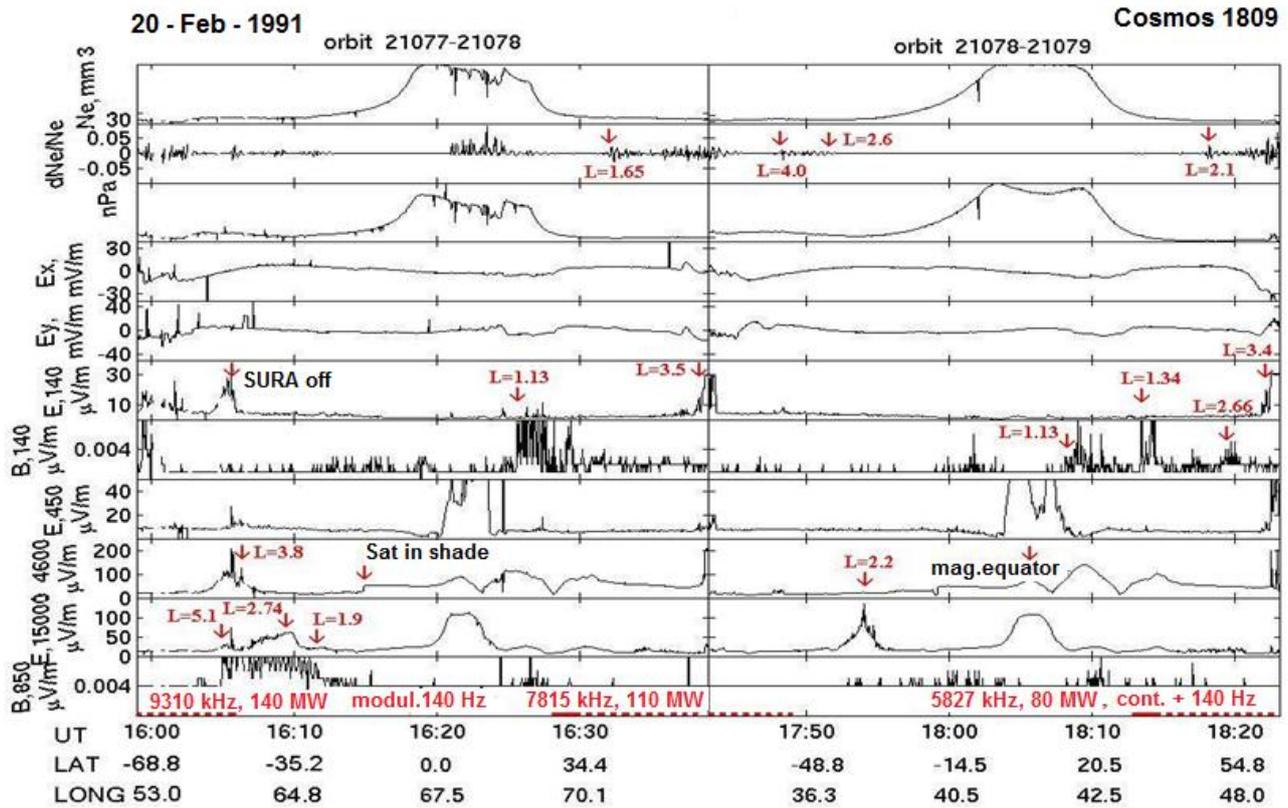


Рис. 15. Параметры плазмы ионосферы при работе станда Сура. Режим указан внизу панелей.

На Рис.16 приводятся эффекты подавления бабблов при непрерывной работе станда с максимальной мощностью. Спутник находился в южном полушарии, изучался ее разогрев и релаксационные эффекты в ионосфере над стандом после его выключения.

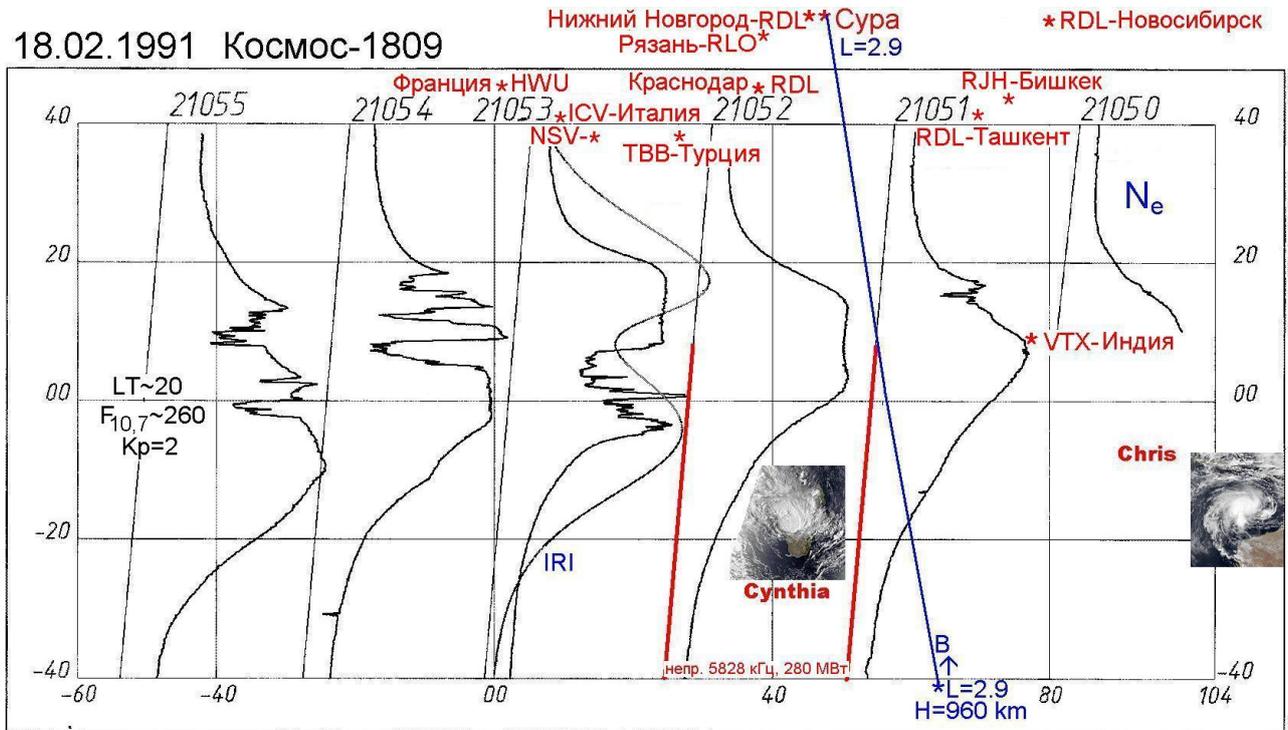


Рис. 16. Подавление формирования бабблов при работе станда Сура. Моменты работы отмечены красными линиями. Режим работы станда приведен красным цветом в нижней части рисунка. Для орбиты 21053 приведен расчет N_e по модели ИРИ.

В следующей серии экспериментов при уменьшенной в 2 раза мощности и изменении режима модуляции эффект подавления развития бабблов также наблюдался (Рис.17).

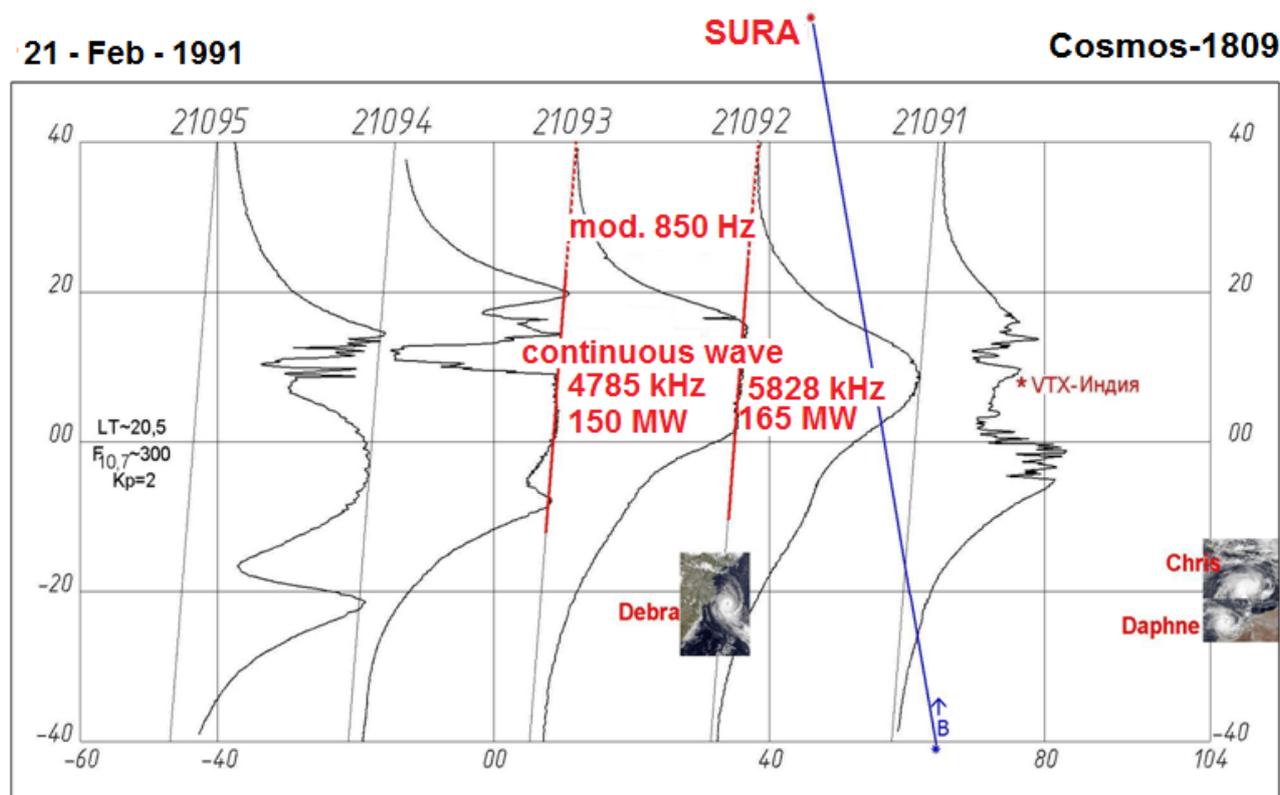


Рис. 17. Подавление формирования бабблов при работе стенда Сура. Режим указан красным цветом.

Выводы

1. Возникновение и развитие мощных источников воздействия на атмосферу: тропических циклонов и сильных литосферных землетрясений взаимосвязаны. В области разрежения ТЦ литосферные плиты резко приподнимаются, а на краях опускаются. Происходит сброс напряжений – спусковой механизм. В свою очередь, акустическое воздействие сильных землетрясений на области тропических возмущений или ослабленный ТЦ может интенсифицировать их.
2. Прогноз возникновения землетрясений, в настоящее время, можно дать вероятностно [Горшков и др., 2019], [Kosobokov, 2021]. Развитие коровых землетрясений, сопровождающееся выходом радона, можно прогнозировать по изменению ряда геофизических параметров [Пулинец и др., 2015, 2020], [Ружин и Депенева, 2018]. В отдельных случаях, восточнее разлома Сан Андреас, можно точно указать место и время предстоящего сильного землетрясения [Костин и др., 2020].
3. Мониторинг опасных явлений на Земле должен сочетать космические системы дистанционного зондирования Земли, спутники, измеряющие параметры плазмы ионосферы (пример Космос-1809) и солнечного ветра, а также наземные системы, регистрирующие сейсмические колебания.

Литература

- Абурджания Г.Д. Самоорганизация нелинейных вихревых структур и вихревой турбулентности в диспергирующих средах. М.: КомКнига. URSS. 2006. 325 с.
- Абурджания Г.Д., Харшиладзе О.А., Чаргазия Х.З. Самоорганизация ВГВ структур в неоднородной ионосфере. 2. Нелинейные вихревые структуры // Геомагнетизм и аэронавигация. 2013. Т. 53. № 6. С. 797–808. DOI: 10.7868/S0016794013060023.

- Авдюшин С.И., Ветчинкин Н.В., Козлов С.И., Петров Н.Н., Романовский Ю.А. Программа «Активные эксперименты и антропогенные эффекты в ионосфере»; организация, аппаратно-методическое обеспечение, основные результаты исследований // Космич. исслед. 1993. Т. 31. № 1. С. 3-25
- Беляев Г.Г., Костин В.М., Трушкина Е.П., Овчаренко О.Я., Бойчев Б., Банков Н. Взаимодействие косых альвеновских волн с ионосферой по данным спутника Интеркосмос-Болгари-1300 // Сб. трудов 5 научной конференции SENS 2009. ИКИ БАН. София. Болгария. С. 13-19.
- Беляев Г.Г., Костин В.М., Трушкина Е.П., Овчаренко О.Я. Вариации параметров плазмы верхней ионосферы после подземных ядерных испытаний // Сб. докладов V международной конференции: Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Петропавловск-Камчатский. ИКИР ДВО РАН. 2010. С. 342-348.
- Беляев Г.Г., Костин В.М. Проявление мощных естественных и антропогенных процессов в ионосфере и на Земле / Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. Сборник ИЗМИРАН-75. Ред. В.Д. Кузнецов. 2015. С. 170-184.
- Горшков А.И., Соловьев А.А., Шебалин П.Н. К 30-летию ИТПЗ РАН // <https://www.itpz-ran.ru/wp-content/uploads/2020/09/2019-ITPZ-Conference-30y-1.pdf>.
- Данилов А.Д., Казимировский Э.С., Вергасова Г.В., Хачикян Г.В. Метеорологические эффекты в ионосфере. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 269 с.
- Ижовкина Н.И., Карпачев А.Т., Пулинец С.А. Структурные особенности верхней дневной ионосферы по данным спутника Интеркосмос-19 // Космические исследования. 1996. Т. 17. № 10. С. 125-129.
- Исаев Н.В., Костин В.М., Беляев Г.Г., Трушкина Е.П., Овчаренко О.Я. Возмущение верхней ионосферы, вызванные тайфунами // Геомагн. Аэрномия. 2010. Т. 50. №2. С. 253-264.
- Карпачев А.Т., Телегин В.А., Жбанков Г.А. Неоднородная структура ионосферы по данным спутника Интеркосмос-19 // Известия Вузов. Физика. 2015. Т. 58. № 8-2. С. 317-320.
- Костин В.М., Романовский Ю.А., Чмырев В.М., Синельников В.М., Афонин В.В., Борисов Н.Д., Зюзин В.А., Исаев Н.В., Комраков Г.П., Михайлов Ю.М., Овчаренко О.Я., Петров М.С., Намазов С.А., Селегей В.В., Соболев Я.П., Трушкина Е.П. Спутниковые исследования возмущений внешней ионосферы при воздействии мощных КВ-радиоволн на F – область ионосферы // Космич. исслед. 1993. Т. 31. № 1. С. 84-92.
- Костин В.М., Мурашев В.Д. Экспериментальные исследования возможностей спутникового радиомониторинга подземных ядерных испытаний // Рожденная атомным веком: сб. ст. / Под ред. А.П. Васильева. М.: ССК. 2002. Т.3. С. 178-191.
- Костин В.М., Беляев Г.Г., Трушкина Е.П., Овчаренко О.Я. Эффекты воздействия на ионосферу мощных техногенных источников летом 1992 г. по данным спутника Космос-1809 // Материалы 16-й Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ. 2018. С. 473+19.
- Костин В.М., Соболев Я.П., Беляев Г.Г., Трушкина Е.П., Овчаренко О.Я. Возмущения в верхней ионосфере при нагревных экспериментах по данным спутника Космос-1809 // Материалы 17-й Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ. 2019. С. 485+26.
- Костин В.М., Беляев Г.Г., Овчаренко О.Я., Трушкина Е.П. Параметры верхней ионосферы над тропическими циклонами при изменениях стратосферного ветра после извержения вулкана Пинатубо. // Сборник материалов конференции «Пушковские чтения – 2019. Магнетизм на Земле и в Космосе». ИЗМИРАН. 2019а. С. 95-98.
- Костин В.М., Беляев Г.Г., Трушкина Е.П., Овчаренко О.Я. Взаимосвязь развития тропических циклонов и отдельных сильных землетрясений в июне 1992 по данным

мониторинга плазмы ионосферы со спутника Космос-1809 // *Материалы 18-й Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. ИКИ. 2020. С. 401+20.

- Мигулин В.В., Ларкина В.И., Молчанов О.А., Наливайко А.В. Способ прогнозирования землетрясений // *Авторское свидетельство SU 1171737 А*. 07.08. 1985. Бюл. № 29.
- Похил А.Э., Глебова Е.С., Смирнов А.В. Исследование взаимодействия тропических циклонов и струйных течений по данным расчетов на численных моделях // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 3. С. 5-16.
- Пулинец С.А., Узунов Д.П., Карелин А.В., Давиденко Д.В. Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в системе литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера, стимулируемых ионизацией // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2015. Т. 55(4). С. 521-538.
- Пулинец С.А., Давиденко Д.В., Будников П.А. Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий // *Материалы 18-й Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. ИКИ. 2020. С. 408.
- Ружин Ю.Я., Депенева А.Х. Аномалии в ионосфере накануне землетрясений // *Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. Юбилейный сборник ИЗМИРАН-75*. Т. 2 / Под ред. В.Д. Кузнецова. М. ИЗМИРАН. 2018. С. 40-82.
- Фролов В.Л., Бахметьева Н.В., Беликович В.В. и др. Модификация ионосферы Земли мощным коротковолновым радиоизлучением // *УФН*. 2007. С. 330-340.
- Fan W., McGuire J. J., de Groot-Hedlin C. D., Hedlin M. A. H., Coats S., Fiedler J. W. Stormquakes // *Geophysical Research Letters*. 2019. V. 46 (22). P. 12909-12918.
- Frolov V.L., Rapoport V.O., Komrakov G.P., et al. Satellite measurements of the characteristics of the plasma disturbances created during heating of the Earth's ionosphere a powerful short-wave radiation of the stand SURA // *Radiophys. Quant. Electron*. 2008. V. 51(11). P. 915.
- Gabis I.P., Troshichev O.A. 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*. 2011. 51 (4). P. 501-512.
- Karpachev A.T., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Kuleshova V.P. Statistical study of the F3-layer characteristics retrieved from Intercosmos-19 satellite data // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys*. 2013. V. 103 (10). P. 121-128. DOI: 10.1016/j.jastp.2013.01.010.
- Kostin V.M., Belyaev G.G., Boychev B., Trushkina E.P., Ovcharenko O.Ya. Ionospheric precursors of the intensification of isolated tropical cyclones according to the IKB-1300 and Cosmos-1809 satellite data // *Geomagn. Aeron*. 2015. V. 55(2). P. 246-260.
- Kostin V., Belyaev G., Ovcharenko O., Trushkina E. Features of some interacting tropical cyclones in the Indian Ocean after the Mount Pinatubo eruption // *International Journal of Engineering Research & Science*. 2019. V. 5(9). P. 19-26.
- Kostin V., Belyaev G., Ovcharenko O., Trushkina E. Impact of France Nuclear Tests on typhoons and Earthquakes in November 1990 // *International Journal of Engineering Research & Science*. 2020. V. 6(12). P. 25-31.
- Kostin V., Belyaev G., Ovcharenko O., Trushkina E. Impact of typhoon Gay on lithospheric earthquakes // *II All – Russian Scientific Conference with international Participation “Modern methods of seismic hazard assessment and earthquake prediction”*. 2021.
- Kossobokov V.G. Hazard, risks, and prediction // In book “Earthquakes and Sustainable Infrastructure” Elsevier. 2021. P. 1-20. DOI: 10.1016/C2020-0-00052-6.

- Mautner D.A., Guard C.P. Annual tropical cyclone report 1992 // Joint typhoon warning center. 1992. Guam, Mariana island. 269 p.
- Plante R.J, Guard C.P. Annual tropical cyclone report 1989 // Joint typhoon warning center. 1989. Guam, Mariana island. 253 p.
- Rudolph D.K., Guard C.P. Annual tropical cyclone report 1990 // Joint typhoon warning center. 1990. Guam, Mariana island. 279 p.
- Sonwalkar V.S., Inan U.S., Bell T.F., Helliwell R.A., Chmyrev V.M., Sobolev Ya.P., Ovcharenko O.Ya., Selegej V. Simultaneous observations of VLF ground transmitter signals on the DE 1 and COSMOS 1809 satellites: Detection of magnetospheric caustic and a duct // J. Geophys. Res. 1994. V. 99 (A9). P. 17511-17522.