РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ СЕЙСМООПАСНЫХ РЕГИОНАХ В 1 – 2 КВАРТАЛЕ 2015 г.

Леонид Дода, геофизик. E-mail: l.doda@mail.ru

С целью верификации и валидации Эмпирической схемы (ЭС) краткосрочного прогноза землетрясений [1] разработана доказательная база и проведены реальные мониторинговые эксперименты признаков землетрясений (ЗМТ) в январе – июне 2015. Решены следующие задачи:

1. Проведена формализация схемы верификации признаков ЗМТ и ЭС.
2. Наработаны контрольные признаки и блоки данных для тестирования разрабатываемого программного обеспечения (ЭО ПО) для анализа признаков ЗМТ.
3. Проведено наполнение БД и каталогов признаков ЗМТ новыми продуктами, выполнена их унификация. В частности, тематически обработанные ОСТИ по реальным сейсмическим событиям января – июня 2015 пополнили Каталог ОСТИ на 12 тематических продуктов сейсмопрогнозного мониторинга.

1. ВЕРИФИКАЦИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В Эмпирической схеме [1], позволяющей вычислять потенциальные даты, интервалы магнитуд и зоны ЗМТ, используются геофизические данные, полученные наземно-космической системой сейсмопрогнозного мониторинга (НКС СПМ). Верификация основных закономерностей ЭС проводится с использованием нижеприведенных утверждений, строгое математическое доказательство которых основано на использовании элементов топологии, теории множеств и метода математической индукции. Далее представлена графическая иллюстрация доказательства указанных формализованных утверждений. В частности, параметрические отображения ЗМТ в виде 4-х мерных точек S(i) представляются в виде системы вложенных концентрических сфер, СММ – в виде секущей их плоскости на определенные даты. Индуктивный подход предполагает проверку выполнения условий соответствия СММ, лагранжевых точек (ЛТ) и ЗМТ на базисном i – м интервале (d1,2), например, 2 месяца, в задаче верификации. Индукционный переход – доказательство выполнения условий на (i+1) – м интервале и проверку обратных отображений в задаче валидации.

В основе верификации ЭС *по дате* лежит следующее

Утверждение 1: для любой 4-х мерной точки S(i) из множества сейсмических событий {S} найдется на геоиде сферический пояс SM (l, Δl, d, j) из множества СММ {SM}, соответствующий лагранжевой точке L(j) и образуемой в её окрестности области поляризации P(L(j)), накрывающий указанную точку S(i).

Здесь l – долгота СММ на экваторе, равная lo+7×к×ωι, к = 1,2,3, ωι – средняя угловая скорость смещения ЛТ L(j) на восток по вращению Земли, равная ~ 26º/сут; lo – начальная долгота СММ на дату d 3-х часового геомагнитного К-индекса с номером j; Δl – ширина сферического пояса, равная ± (7º-10º), с возможностью его уменьшения до 7º (~770 км.); d – дата геомагнитного возмущения, запустившего сейсмоэффективный СММ; j – атрибутивный номер СММ и ЛТ в базе данных, которая ежедневно обновляется и наполняется новыми СММ и ЛТ на основе анализа и оценки геофизических данных и признаков.

Обратное Утверждение 1R суть решение задачи прогноза ЗМТ по дате (валидация).

Верификация Схемы *по месту* проведена на основе следующего

Утверждения 2: для любой 4-х мерной точки S(i) в сферическом поясе соответствующего ей сейсмоэффективного меридиана M(j) найдется круг R (i, j) радиусом (7º-10º), центрированный на точку пересечения СММ с участком границы литосферной плиты P(b) или блока B(p), а в случае их меридионального простирания – в прилегающей к ним ε-окрестности, накрывающий указанную точку S(i).

Обратное Утверждение 2R является решением задачи прогноза ЗМТ по месту (валидация). На картах рис. 2, 3, 4, 12, 18 подобная процедура легко представима.

Верификация Схемы по магнитуде проведена на основе следующего **Утверждения 3:** в круге R (i, j) или прилегающем участке плиты или блока, содержащем точку S(i), гарантированно найдется облачная структура EQ (i, j), трассирующая (повторяющая) текстуру указанных тектонических элементов протяженностью D километров, или принадлежащая одному из типов ОСТИ EQ(t), определяющая потенциальную магнитуду события S(i) по формуле M(S(i)) = ln (D/Do) ± 0.2, где Do=1км.

Обратное Утверждение 3R позволяет решить задачу прогноза ЗМТ по магнитуде (валидация).

В совокупности Утверждения 1, 2, 3 R определяют необходимые и часто достаточные условия решения задачи прогноза ЗМТ. Соответственно, прямые Утверждения 1, 2, 3 – аналогичные условия для решения задачи верификации Эмпирической схемы краткосрочного прогноза ЗМТ.

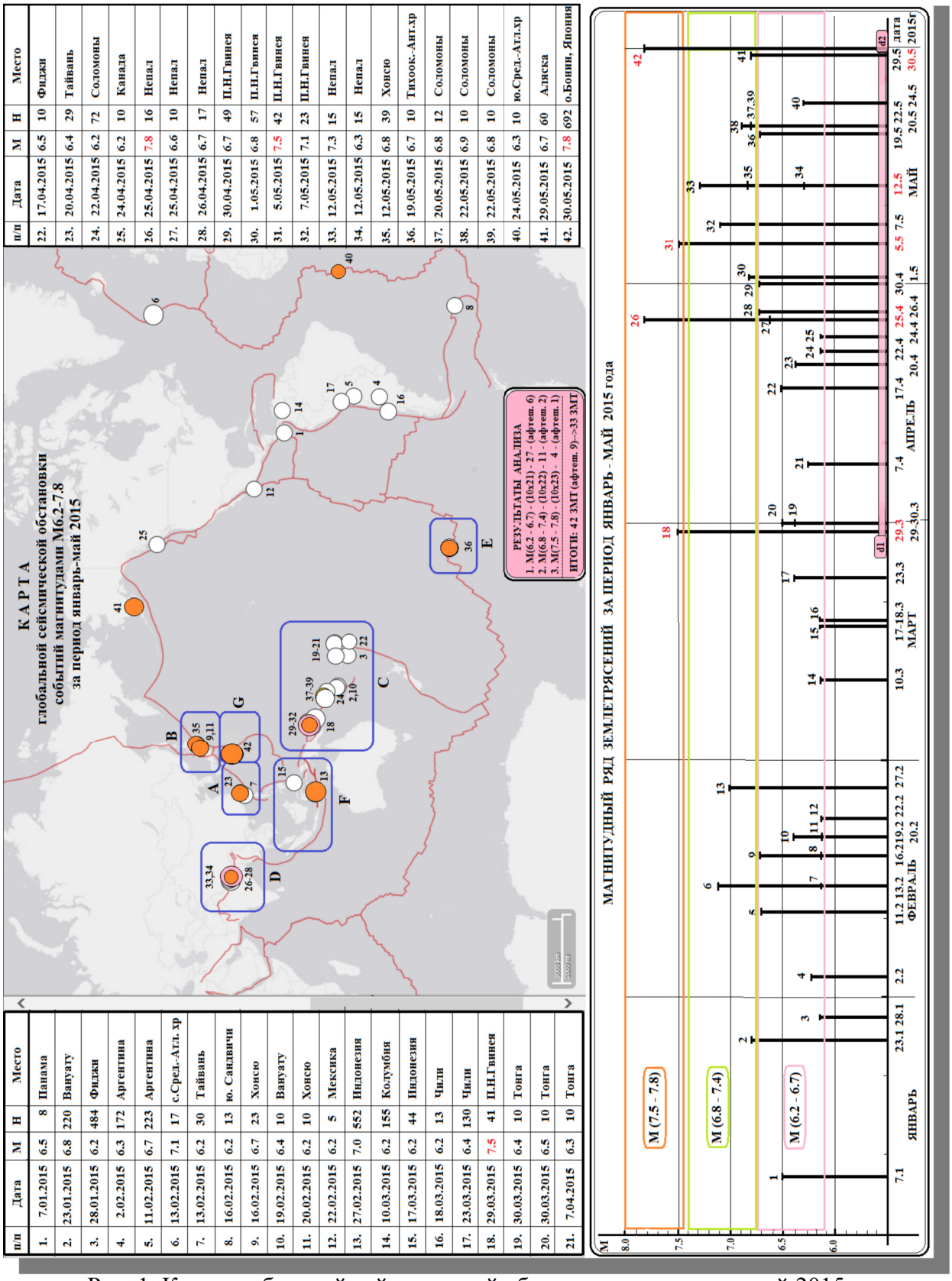
Разработанные с использованием ГИС – технологий на основе концепции сейсмотектогенеза (СТГ) тематические продукты, Каталог ОСТИ, сформированные базы данных ЗМТ, СММ, ОСТИ, позволяют с использованием Утверждений 1,2,3 и 1,2,3R успешно решать обозначенные выше задачи верификации и валидации Эмпирической схемы краткосрочного прогноза ЗМТ.

С 1 января по 1 июня 2015 сейсмологическими службами мира по данным USGS зарегистрировано 42 ЗМТ магнитудами М (6.2 – 7.8). Они представлены на Карте сейсмической обстановки рис. 1. Магнитудный ряд указанных событий (рис.1, схема) разбит на 3 кластера М (6.2 – 6.7), М (6.8 – 7.4), М 7.8+. Каждый последующий кластер включает совокупность ЗМТ, энергия которых отличается на порядок. Количественный анализ показал, что к 1 кластеру отнесены 27 событий, из них 6 афтершоков, ко 2-му – 11(2), 3-му – 4(1). Среди отмеченных событий укажем катастрофическое ЗМТ в Непале 25.04.2015 магнитудой М7.8 (№26 на Карте) и его афтершок 12.05.2015-М7.3 (№33), мощное ЗМТ на островах Бонин 30.05.2015-М7.8 (№42), два ЗМТ на о. Хонсю 16.02.2015-М6.7 (№18) и12.05.2015-М6.8 (№35). Напомним, Японская сейсмоактивная зона в наших мониторинговых и сейсмопрогнозных экспериментах является тестовой. Отметим также событие №23 на Тайване 20.04.2015-М6.4/6.0 также в тестовой зоне. В дальнейшем они будут рассмотрены более подробно в плане признаковой базы и других особенностей. Заметим, события №23, 35 на Тайване и Хонсю реализованы в прогнозном режиме, о чем также будет сказано далее.

1.1 ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДАТ И ЗОН ВОЗМОЖНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ СММ

Проверка достоверности дат всех 42 ЗМТ в соответствии с Утверждением 1 показала статистическую значимость гипотезы о геомагнитно-меридиональной направленности запуска ЗМТ на 14 или (и) 21 сутки после геоэффективных (точнее, сейсмоэффективных) явлений на Солнце. В качестве контрольного примера возьмем интервал d1d2 с 29 марта по 1 июня 2015, представленный на Карте-схеме рис.1. Он содержит 24 наиболее значимых мощных сейсмических событий магнитудами М (6.2 – 7.8), 9 из них – афтершоки. С другой стороны, указанный интервал будем считать базисом индукции для доказательства Утверждения 1. Проективный вариант топологических элементов из Утверждения1 в проекции Меркатора представлен на рис. 2,3. Приведем таблицу соответствия ЗМТ на Карте рис.1 и их аналогов на Картах сейсмомагнитной

обстановки (СМО) рис. 2,3 для следующих 12 событий: 22-0, 23-1, 24-2, 35-12, 26-13, 33-14 (рис.2); 36-1, 37-2, 38-4, 40-7, 41-11, 42-12 (рис.3).



п/п	Дата	M	H	Место
1.	7.01.2015	6.5	8	Панама
2.	23.01.2015	6.8	220	Вануату
3.	28.01.2015	6.2	484	Фиджи
4.	2.02.2015	6.3	172	Аргентина
5.	11.02.2015	6.7	223	Аргентина
6.	13.02.2015	7.1	17	с.Сред.-Атл. хр
7.	13.02.2015	6.2	30	Тайвань
8.	16.02.2015	6.2	13	ю. Сандвичи
9.	16.02.2015	6.7	23	Хонсю
10.	19.02.2015	6.4	10	Вануату
11.	20.02.2015	6.2	10	Хонсю
12.	22.02.2015	6.2	5	Мексика
13.	27.02.2015	7.0	552	Индонезия
14.	10.03.2015	6.2	155	Колумбия
15.	17.03.2015	6.2	44	Индонезия
16.	18.03.2015	6.2	13	Чили
17.	23.03.2015	6.4	130	Чили
18.	29.03.2015	7.5	41	П.Н.Гвинея
19.	30.03.2015	6.4	10	Тонга
20.	30.03.2015	6.5	10	Тонга
21.	7.04.2015	6.3	10	Тонга
22.	17.04.2015	6.5	10	Фиджи
23.	20.04.2015	6.4	29	Тайвань
24.	22.04.2015	6.2	72	Соломоны
25.	24.04.2015	6.2	10	Канада
26.	25.04.2015	7.8	16	Непал
27.	25.04.2015	6.6	10	Непал
28.	26.04.2015	6.7	17	Непал
29.	30.04.2015	6.7	49	П.Н.Гвинея
30.	1.05.2015	6.8	57	П.Н.Гвинея
31.	5.05.2015	7.5	42	П.Н.Гвинея
32.	7.05.2015	7.1	23	П.Н.Гвинея
33.	12.05.2015	7.3	15	Непал
34.	12.05.2015	6.3	15	Непал
35.	12.05.2015	6.8	39	Хонсю
36.	19.05.2015	6.7	10	Тихоок.-Ант.хр
37.	20.05.2015	6.8	12	Соломоны
38.	22.05.2015	6.9	10	Соломоны
39.	22.05.2015	6.8	10	Соломоны
40.	24.05.2015	6.3	10	ю.Сред.-Атл.хр
41.	29.05.2015	6.7	60	Аляска
42.	30.05.2015	7.8	692	о.Бонин, Япония

Рис. 1. Карта глобальной сейсмической обстановки за январь – май 2015

Как показал анализ, все события магнитудами М6.2+ (исключая некоторые афтершоки) были запущены соответствующими СММ 0,1, …,11 на 14 или 21 сутки ± 2 (редко ± 3). Взяв по индукции событие (i + 1) из другого интервала, например, №9-16.02.2015-М6.7-Хонсю, в БД обнаружены три соответствующих ему СММ от 1, 3 и 4 февраля 2015, по 14 сут. гармонике запустивших ЗМТ на о. Хонсю, а также событие в сопряженной по СММ зоне вблизи Южных Сандвичевых островов магнитудой М6.2. Это указывало на сейсмоэффективность указанных СММ и геомагнитно-меридиональную направленность запуска сейсмотектонического процесса.

Анализ соответствия СММ и ЗМТ на рис. 2,3 подтверждает справедливость Утверждения 2, согласно которому для любого ЗМТ из выбранной совокупности найдется круг радиусом 770 км., накрывающий указанное ЗМТ и принадлежащий полосе СММ. Данный признак при верификации ЭС определяет место потенциального ЗМТ. В качестве примера на рис. 3 «подсвечена» зона потенциального ЗМТ на Аляске 29.05.2015-М6.7 (событие №11(41)), образованная СММ1,2,3. Вдоль полосы СММ «запущены» также ЗМТ №1(36) магнитудой М6.7 на юге Тихоокеанско – Антарктического хребта, серия ЗМТ №13 в зоне субдукции Орегон (рис. 11.1). Все отмеченные ЗМТ были реализованы в прогнозном режиме с выставкой прогнозных параметров на страничке facebook Л. Доды и других социальных сетях.

Определение потенциальных магнитуд ЗМТ с использованием ОСТИ для событий, представленных на рис. 2,3, было реализовано в 30% случаев. Причиной явилась доработка системы автоматизированного сбора данных и отсутствие достаточного количества операторов по тематической обработке спутниковых изображений облачности и выделению на них ОСТИ. На этапе 4 этот процесс предполагается автоматизировать и проводить в диалоговом режиме. Тем не менее по тестовым зонам Японии, Тайваня, а также Непальскому ЗМТ, ОСТИ были успешно выделены. Их описание будет дано в последующих подразделах.

Разработанные с использованием ГИС-технологий на основе концепции сейсмотектогенеза (СТГ) тематические продукты, каталог ОСТИ, сформированные базы данных ЗМТ, СММ, ОСТИ, геофизических признаков, позволяют с использованием Утверждений 1,2,3 и 1,2,3R успешно решать задачи верификации и валидации Эмпирической схемы краткосрочного прогноза ЗМТ.

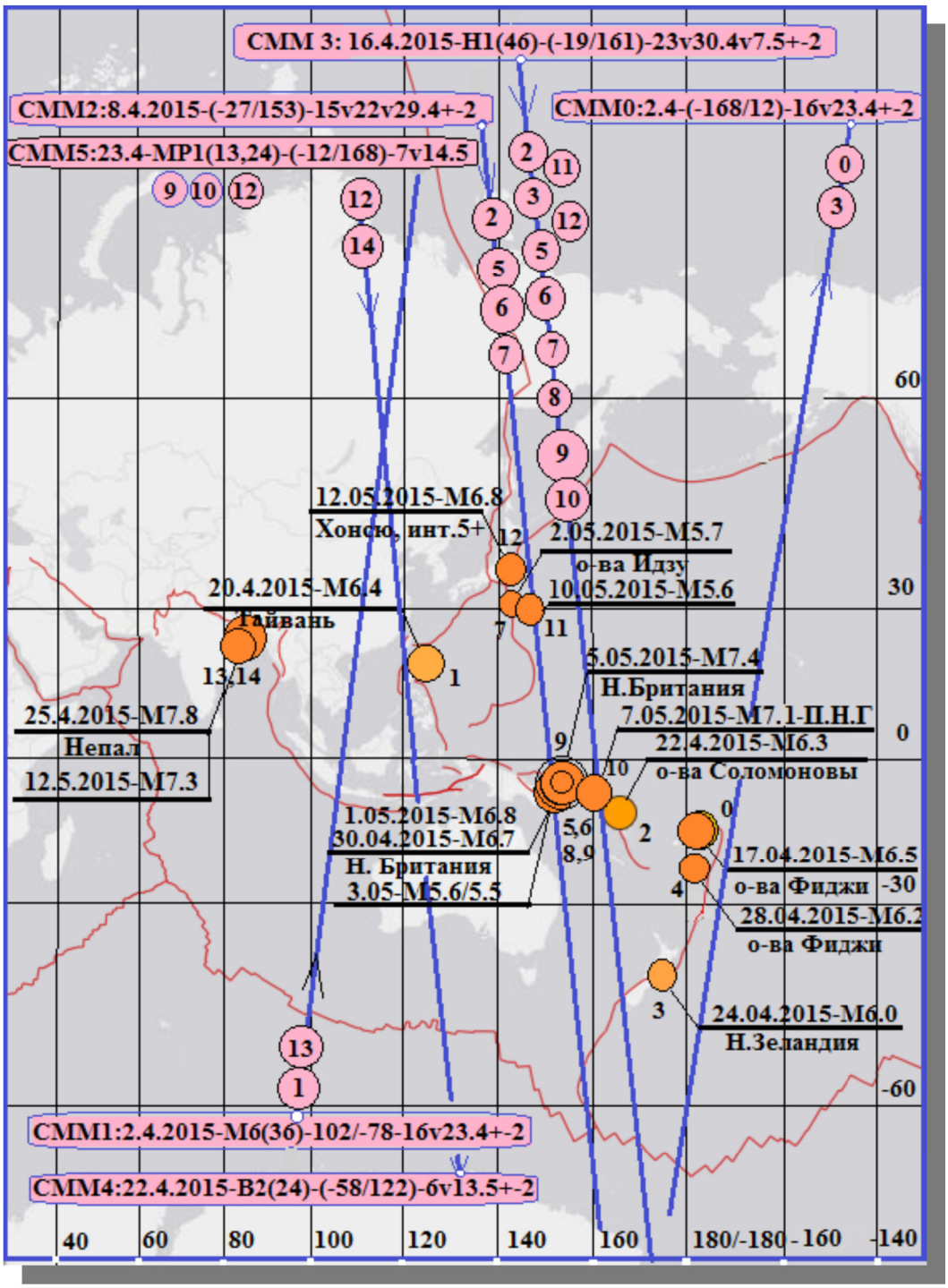


Рис. 2. Карта соответствия СММ и произошедших в апреле – мае 2015 землетрясений

Обозначения: границы литосферных плит показаны линиями красного цвета; СММ1,2,3,4,5 – параметры сейсмомагнитных меридианов запуска ЗМТ (в строке через дефис: дата, параметры геомагнитных К-индексов, долгота на экваторе, потенциальные даты ЗМТ по 14 или 21 сут. гармоникам ± 2 сут.); оцифрованные розовые кружки, «нанизанные» на СММ1,2,3,4,5 есть инициированные на 14 или 21 сут. соответствующими СММ землетрясения, которые обозначены оранжевыми кружками с атрибутивными данными: датой, магнитудой, местом.

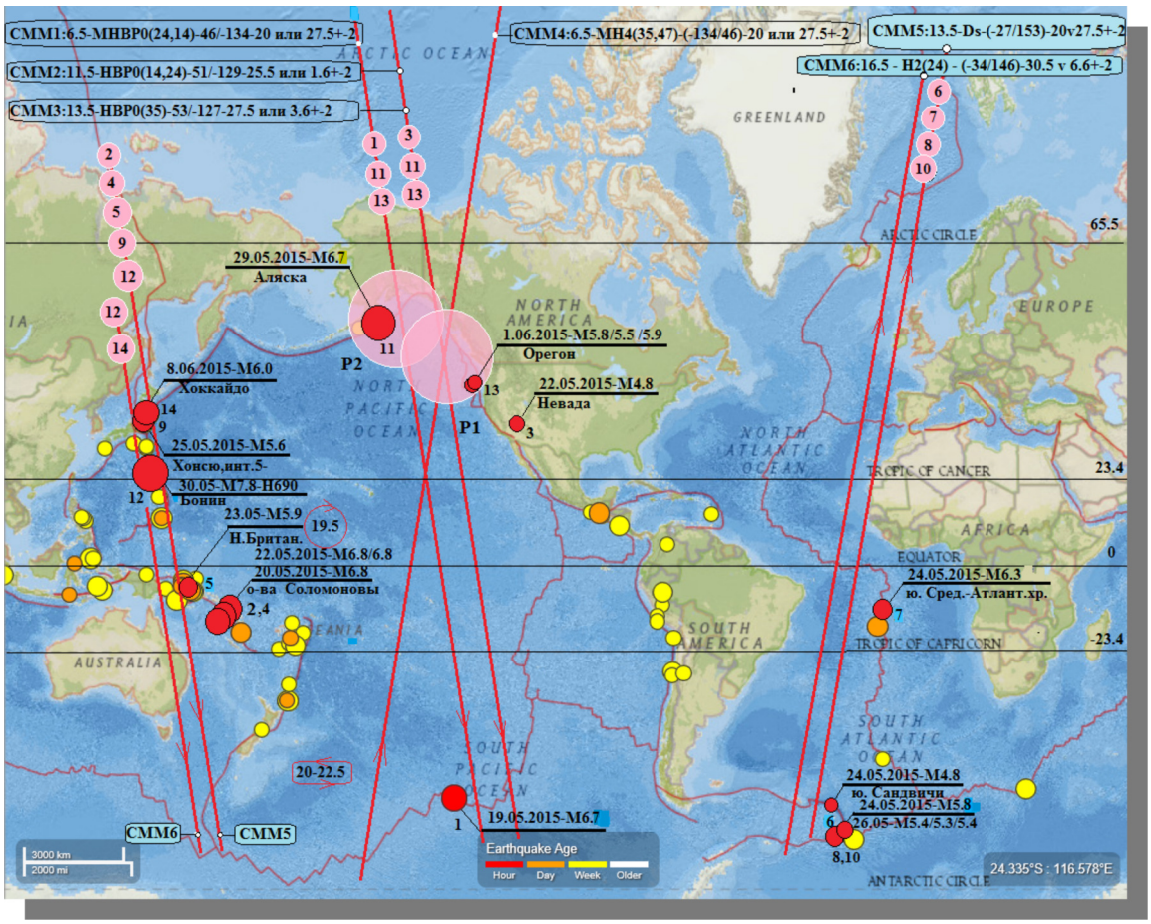


Рис. 3. Карта – схема соответствия СММ и ЗМТ в мае – июне 2015.
Расшифровка обозначений аналогична приведенной на рис. 2

2. АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МОЩНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЯПОНИИ В ЯНВАРЕ – ИЮНЕ 2015

Сейсмопрогнозный мониторинг Японской сейсмоактивной зоны проводится с июля 2011 по настоящее время (1 июля 2015). Из 19 мощных ЗМТ магнитудами больше М6.2, представленных следующим магнитудным рядом

М6.7/6.9 (2011г) – 6.9/6.8/6.4/7.3 (2012) – 6.9/6.5/7.1 (2013) – 6.5/6.3/6.7/6.3/6.2 (2014) – 6.8/6.8/7.8/6.3 (2015), шестнадцать событий произошли в соответствии с прогнозами, зарегистрированными в РЭС, КПЦ ИФЗ, социальных сетях.

На данном этапе анализ четырех событий №№ 9, 35, 42, 49 проведен в режиме верификации ЭС и являются наглядной иллюстрацией справедливости Утверждений 1, 2, 3. Два события 12.05.2015М6.8 (№35) и 23.06.2015-М6.3 (№49) реализованы в прогнозном режиме, тем самым подтвердив справедливость Утверждений 1, 2, 3 R и эффективность валидации Эмпирической схемы. Прогнозы событий № 35, 49 были опубликованы на странице Л. Доды в facebook соответственно 19, 22 апреля и 21, 22 июня 2015.

Облачные сейсмоиндикаторы ЗМТ 16.02.2015-М6.7 обнаружены на космоснимках 12-13.02.2015 (рис. 4). Они образовались на фоне мощного циклона, трассируя участок Японского желоба протяженностью ~ 750 км. Потенциальная магнитуда ЗМТ по протяженности ОСТИ равна M(D)=ln 750 ~ 6.6 ± 0.2. Реальная магнитуда была М6.8. Анализируемые ЗМТ

1. 16.02.2015-2306-(39.8;142.9)-6.8-15-Хонсю (s1)
2. 16.02.2015-2201-(-55.6; -28.4)-6.2-60-ю. Сандвичевы о-ва

имели следующие СММ запуска:

1. 1.02.2015-311-Н4(24)-131/-49-15.02 или 22.02±2 (m1)
2. 3.02.2015-313-Н4(24)-133/-47-17.02 или 24.02±2
3. 4.02.2015-314-Н4(24)-134/-46-18.02 или 25.02±2

СММ сработали по 14 сут. гармонике, запустив 16.02.2015 события (s1) в основной и смещенной на 180º сопряженной зонах.

Анализ проведен в режиме верификации ЭС. Точностные характеристики по дате, месту, магнитуде оказались в допустимых пределах Метода.

2.1 АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА О. ХОНСЮ 12.05.2015 МАГНИТУДОЙ М6.8 И ТАЙВАНЕ 20.04.2015 МАГНИТУДАМИ М6.4/6.0

Полученные с помощью наземно-космической системы сейсмопрогнозного мониторинга геофизические данные регулярно обрабатывались и анализировались с помощью алгоритмов анализа на предмет выявления геофизических аномалий с признаками подготовки ЗМТ.

Аномальные интервалы гравики (рис. 5,6), коррелированные с аномалиями в классах георотационных (рис.7,8), протонных (рис. 9), радоновых (рис.10), атмосферных (поправки dU атмосферного химического потенциала, электоропроводность, давление), ОСТИ, были выявлены на интервалах 8 – 17.04.2015, 3 – 7.05.2015, 16 – 26.05.2015. В соответствии с алгоритмом анализа геофизических признаков ЗМТ подобные когерентные аномалии указывают на приближение мощных сейсмических событий. Формирование над локальными зонами ОСТИ и СММ на указанных интервалах при глобальном мониторинге является необходимым условием возникновения мощных ЗМТ именно в этих зонах. Такие ОСТИ обнаружены 13 – 14.04.2015 над Окинавской плитой (рис. 11), явившись убедительным признаком подготовки мощного ЗМТ в Тайваньской прибрежной зоне. ЗМТ произошли 20.04.2015 магнитудами М6.4/6.0 (событие № 1 (23) на Карте СМО рис. 2).

Протяженность ОСТИ составила ~ 440 км., определив потенциальную магнитуду M(d1,d2) = ln 440 ~6.1 ± 0.2.

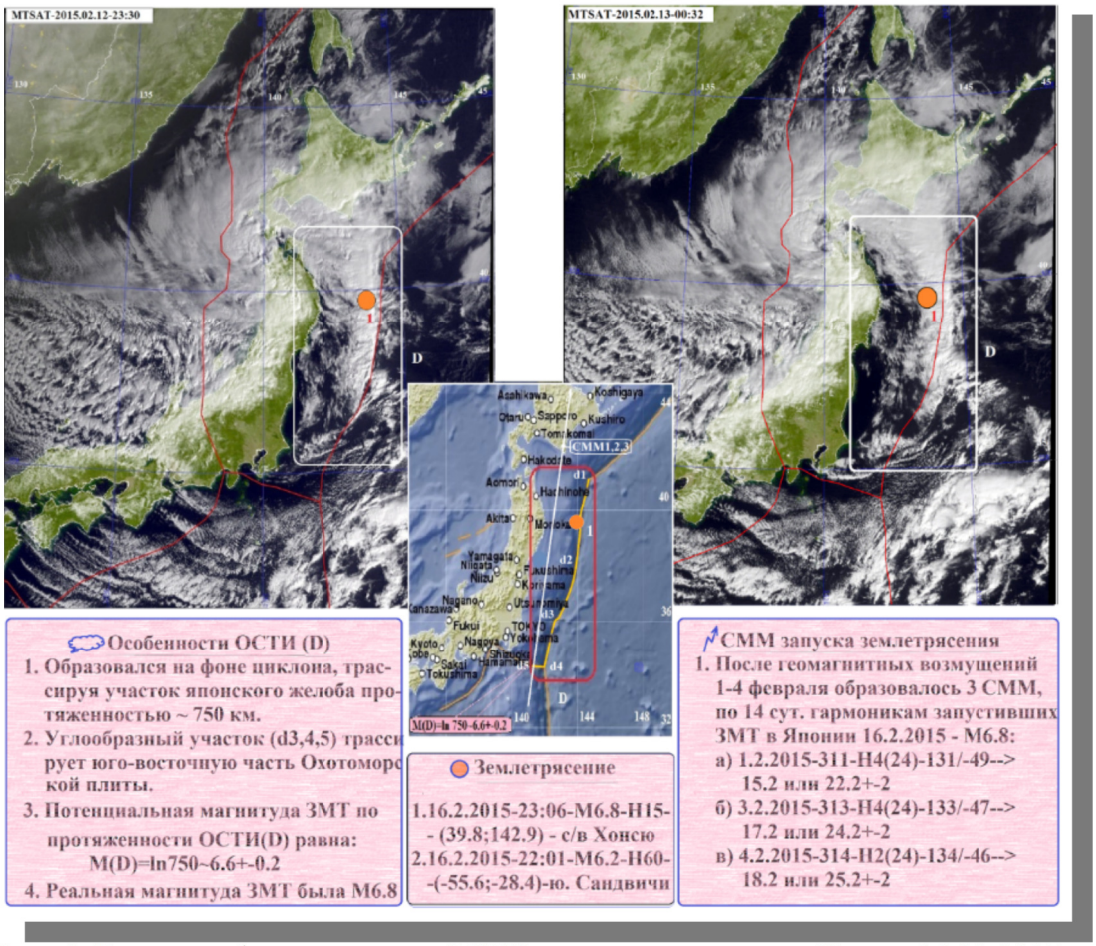


Рис. 4. Композит формирования ОСТИ землетрясения на о. Хонсю 16.02.2015 магнитудой M6.8

Обнаруженные в Японской тестовой зоне 16 – 17.04.2015 ОСТИ протяженностью ~ 750 км., трассировавшие участок желоба Идзу, не оставляли сомнений в возможности мощного ЗМТ магнитудой не менее M=ln 750 ~ 6.6 ± 0.2. Реальное событие №35 имело магнитуду M6.8, произошло 12.05.2015 в соответствии с СММ от геомагнитного возмущения 02.04.2015-M6(36)-102/-78-16 или 23.04.2015 ± 2 по 21 сут. гармонике (Карта СМО на рис. 2). Динамика формирования ОСТИ, прогнозная карта события №35 представлены на рис.12. Другие геофизические признаки, такие как аномалия атмосферного электричества и химического потенциала 17.04.2015 отражены на рис.13.

Обнаруженные априори геофизические признаки позволили реализовать ЗМТ 12.05.2015-M6.8 на о. Хонсю и 20.04.2015-M6.4/6.0 на Тайване в прогнозном режиме с допустимыми по точности Метода прогнозными параметрами.

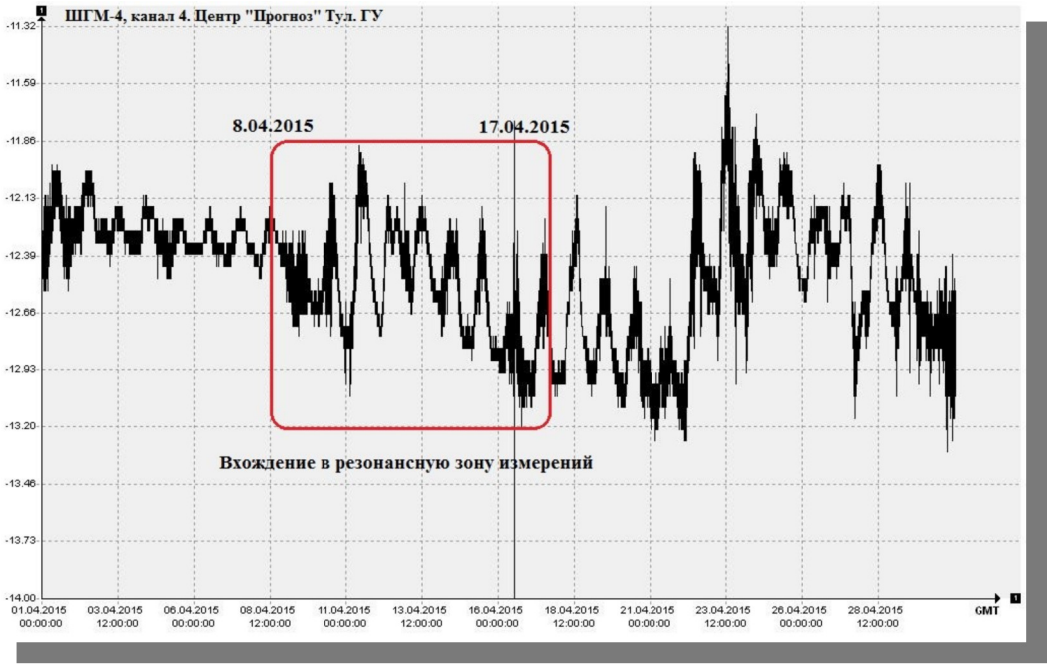


Рис. 5. Данные гравиметрических измерений на тульской станции ШГМ-4, канал 4 в апреле 2015

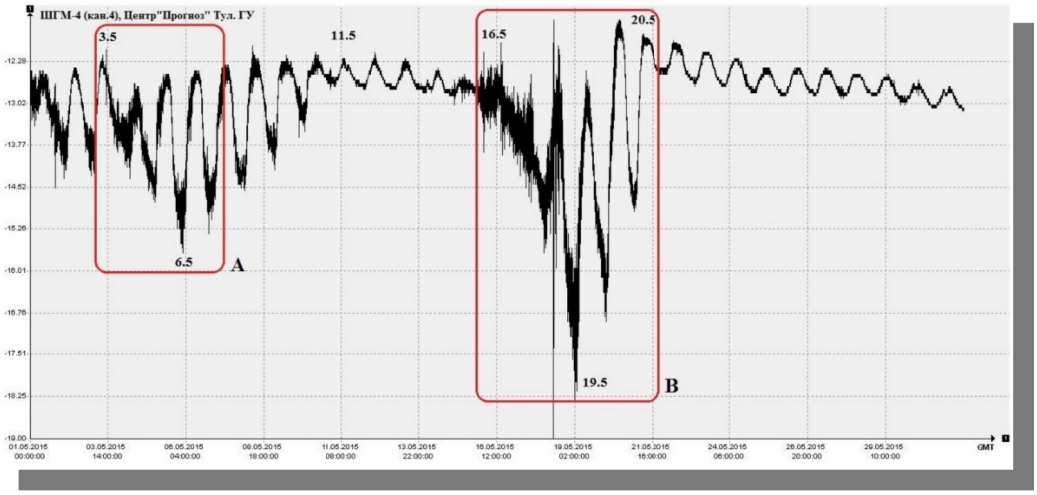


Рис. 6. Данные гравиметрических измерений на тульской станции ШГМ-4, канал 4 в мае 2015. Обведены зоны аномальных измерений.

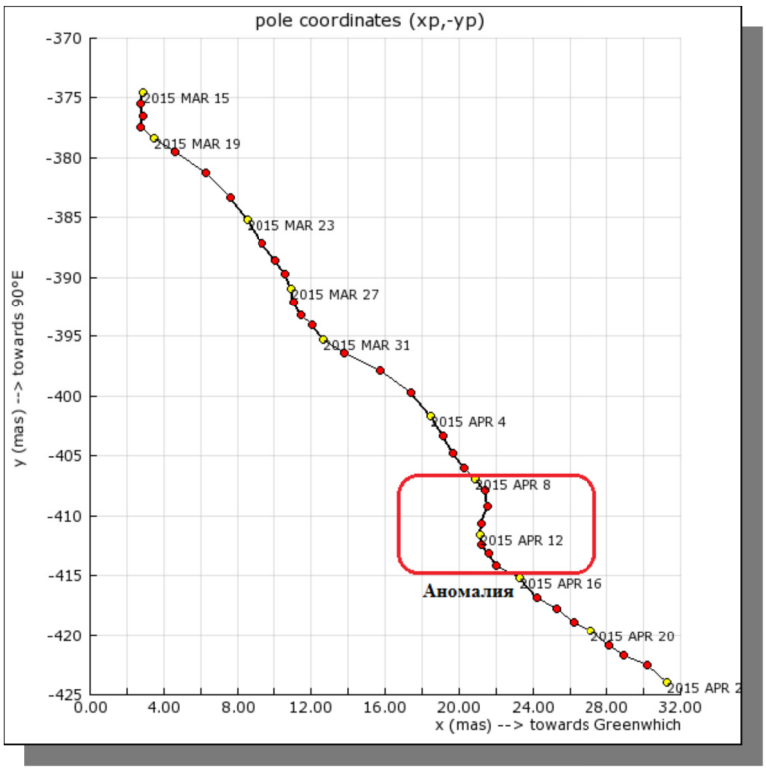


Рис. 7. График вариаций траектории геополюса в марте – апреле 2015

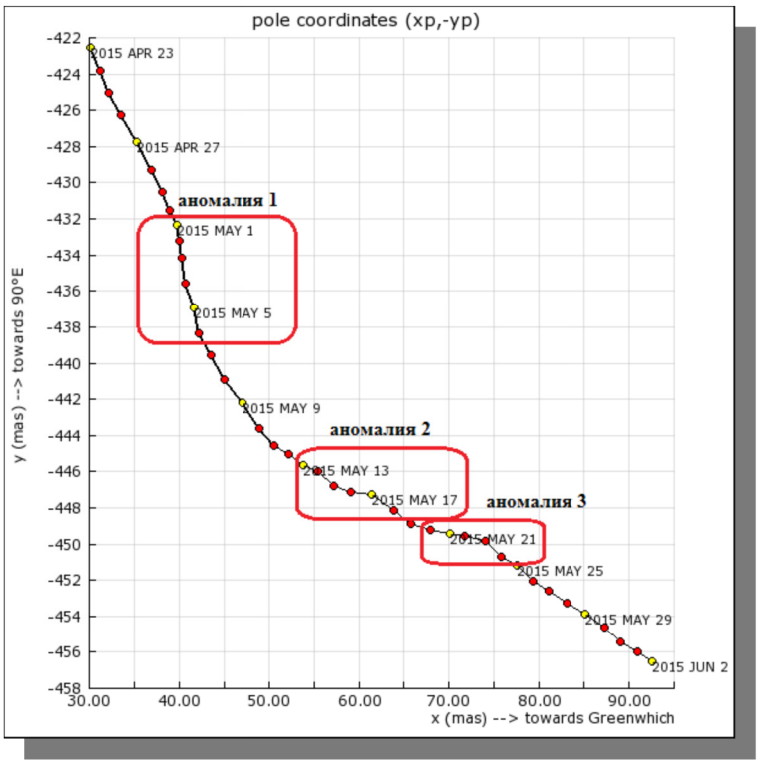


Рис. 8. График вариаций Чандлеровской траектории геополюса в мае 2015

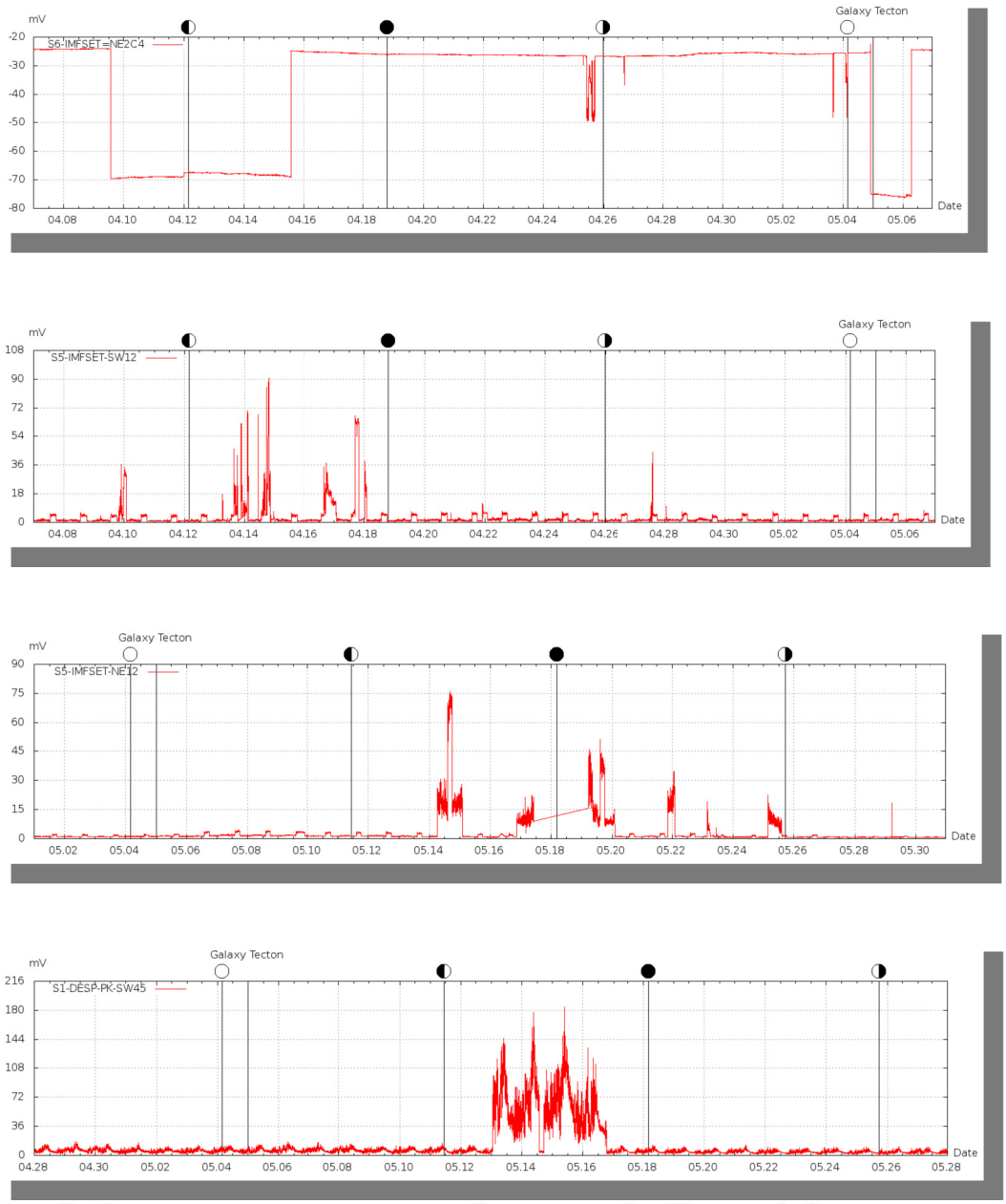
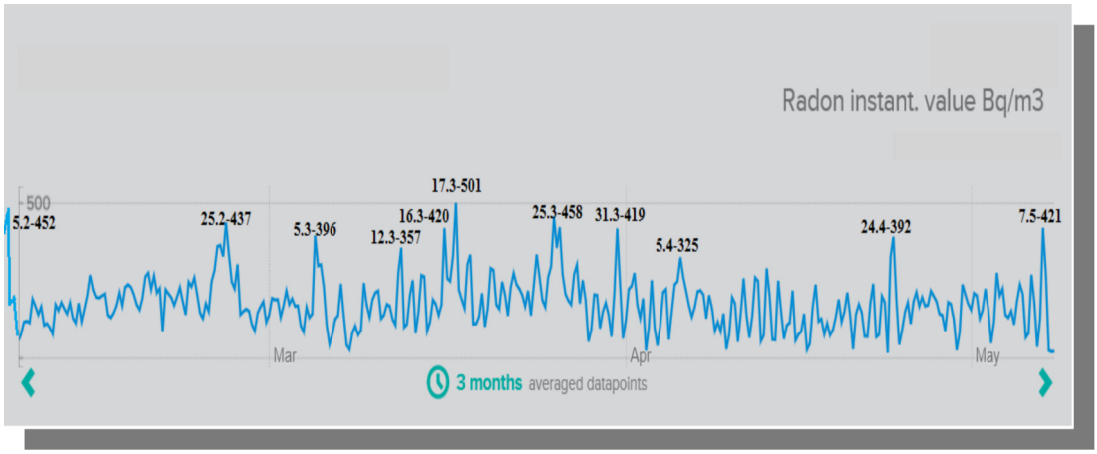


Рис. 9. Данные протонных измерений со станций в Италии (s6) – верхняя панель, Алтая (s6) – 2 средних панели, Камчатки (s1) – нижняя панель в апреле – мае 2015



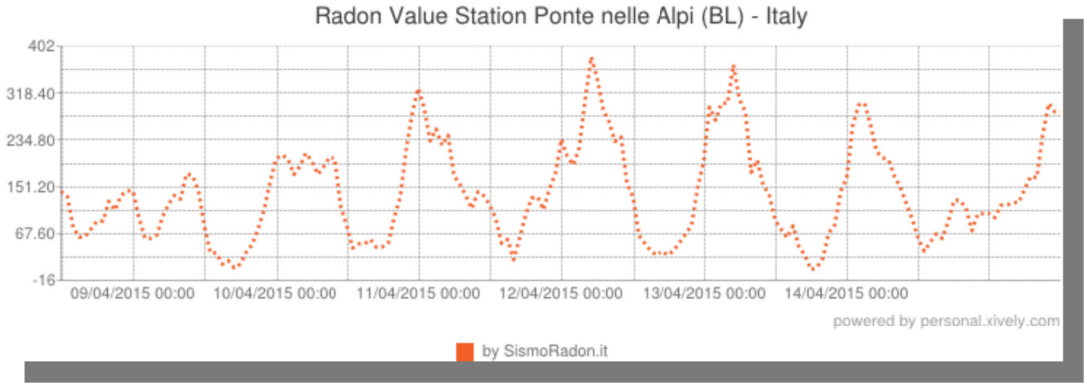


Рис.10. Графики измерений концентрации радона на станции в Альпах.

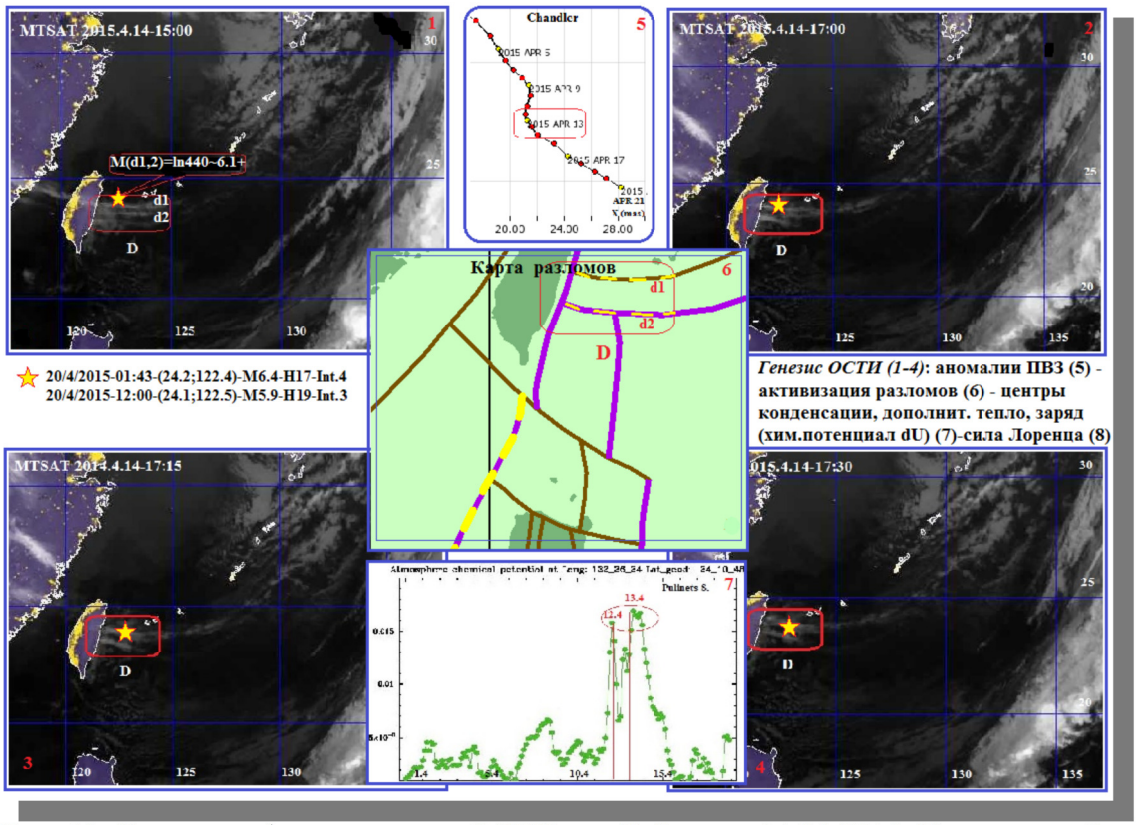


Рис. 11. Динамика формирования ОСТИ над Тайванем 14.04.2015. На врезках: блок 5 – вариации Чандлеровского колебания геополюса, обведена аномальная зона 12 – 15.04.2015; блок 6 – карта разломов, участки d1, d2 – активизированы по их трассированию ОСТИ (d1d2); блок 7 – график распределения поправок атмосферного химического потенциала dU, максимумы 12 и 13 апреля, предваряют даты формирования ОСТИ (d1d2)

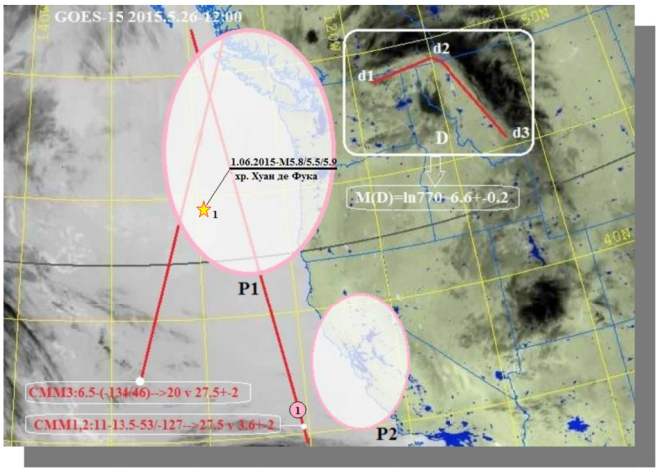


Рис. 11.1. ОСТИ серии ЗМТ 1.06.2015 M5.8/5.5/5.9 в зоне субдукции Орегон

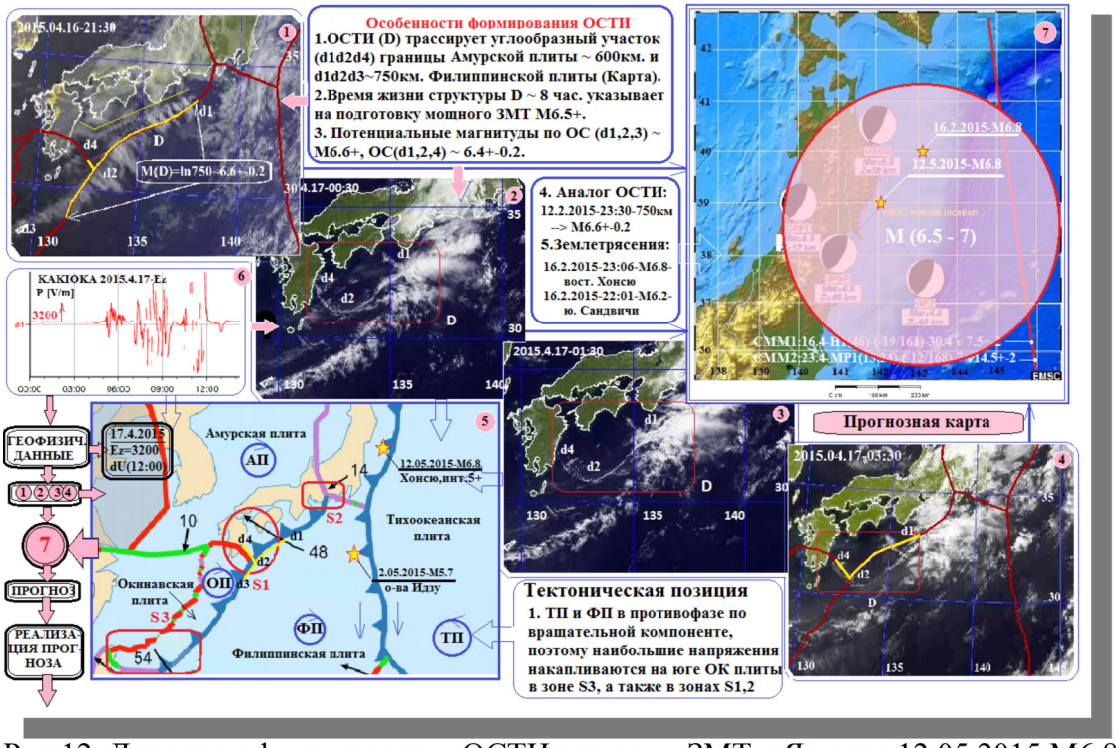


Рис.12. Динамика формирования ОСТИ мощного ЗМТ в Японии 12.05.2015 М6.8

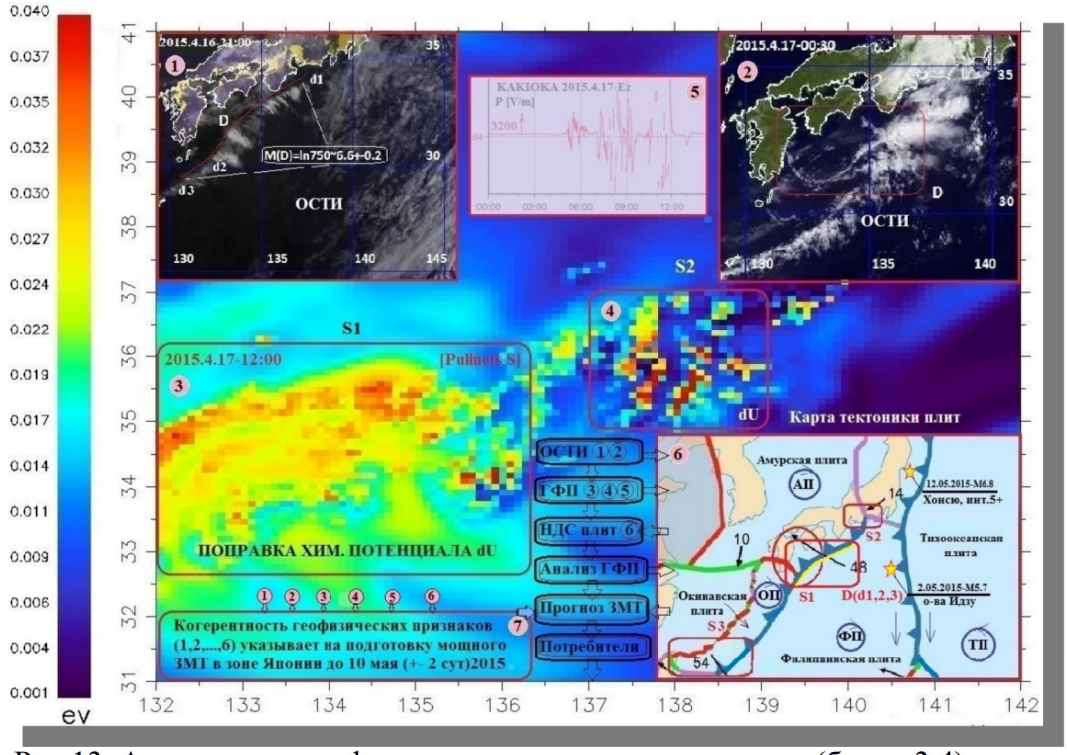


Рис.13. Аномалии атмосферного химического потенциала (блоки 3,4) и электричества (блок 5), ОСТИ (блоки 1,2) как признаки подготовки мощного ЗМТ в Японии

2.2. АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ МОЩНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ОСТРОВАХ БОНИН 30.05.2015 МАГНИТУДОЙ М7.8 И ЕГО АФТЕРШОКА 23.06.2015 М6.3

Наиболее значимым событием в Японской зоне за анализируемый период январь – июнь 2015 явилось глубокофокусное ЗМТ 30 мая 2015 магнитудой М7.8 глубиной 692 км. в зоне островов Бонин:

1. 30.05.2015-1123-(27.9;140.5)-7.8-692-о-ва Бонин (s2)

СММ запуска события (s2), определившие его потенциальную дату, были инициированы геомагнитными возмущениями 10, 13, 16 мая:

1. 10.05.2015-50-H2(14)-(-40/140)-24.05 или 31.05.2015 ± 2 (m2)
2. 13.05.2015-Dst(-27/153)-20.05 или 27.05 ± 2
3. 16.05.2015-56-H2(24)-(-34/146)-30.05 или 6.06 ± 2

Когерентными геофизическими аномалиями, определившими возможность мощного ЗМТ, были георотационные, гравитационные, протонные, атмосферные аномалии на интервале 14 – 20 мая. Они отражены на рис. 6, 8, 9.

Еще одним аргументом в пользу возможного мощного ЗМТ в зоне Марианского блока была повышенная вероятность времени возникновения ЗМТ в указанной зоне по алгоритмам М8 и MSc долгосрочного прогноза В. Кособокова (рис.14.1, 14.2). Заметим, в шести из десяти наших тестовых зон по В. Кособокову наблюдаются периоды повышенной вероятности возникновения ЗМТ магнитудами М7.5+. В качестве таких зон «подсвечены» Тайвань, Япония (северо-восток о.Хонсю), Камчатка. Краткосрочный прогноз с помощью Эмпирической схемы позволяет переводить долгосрочные прогнозы В. Кособокова, А. Любушина и других известных прогнозистов в плоскость оперативного прогноза путем квантования по 14 или (и) 21 сут. гармоникам заявленного периода ожидания повышенной тревоги. Иными словами, проводя ежесуточный мониторинг и анализ полученных геофизических данных по отмеченным зонам можно определить возможность ЗМТ магнитудой более М6.5+ в ближайшие 2 – 3 недели.

В соответствии с Утверждением 1 СММ (m2) проявили себя в зоне измерений тульских гравиметров по аномальному изменению амплитуды 14 – 20 мая (рис.6). Тем самым подтвердив свою сейсмоэффективность и возможную дату реализации мощного ЗМТ в интервале (27 – 31.05.2015) ± 2. Реальное событие (s2) произошло 30.05.2015.

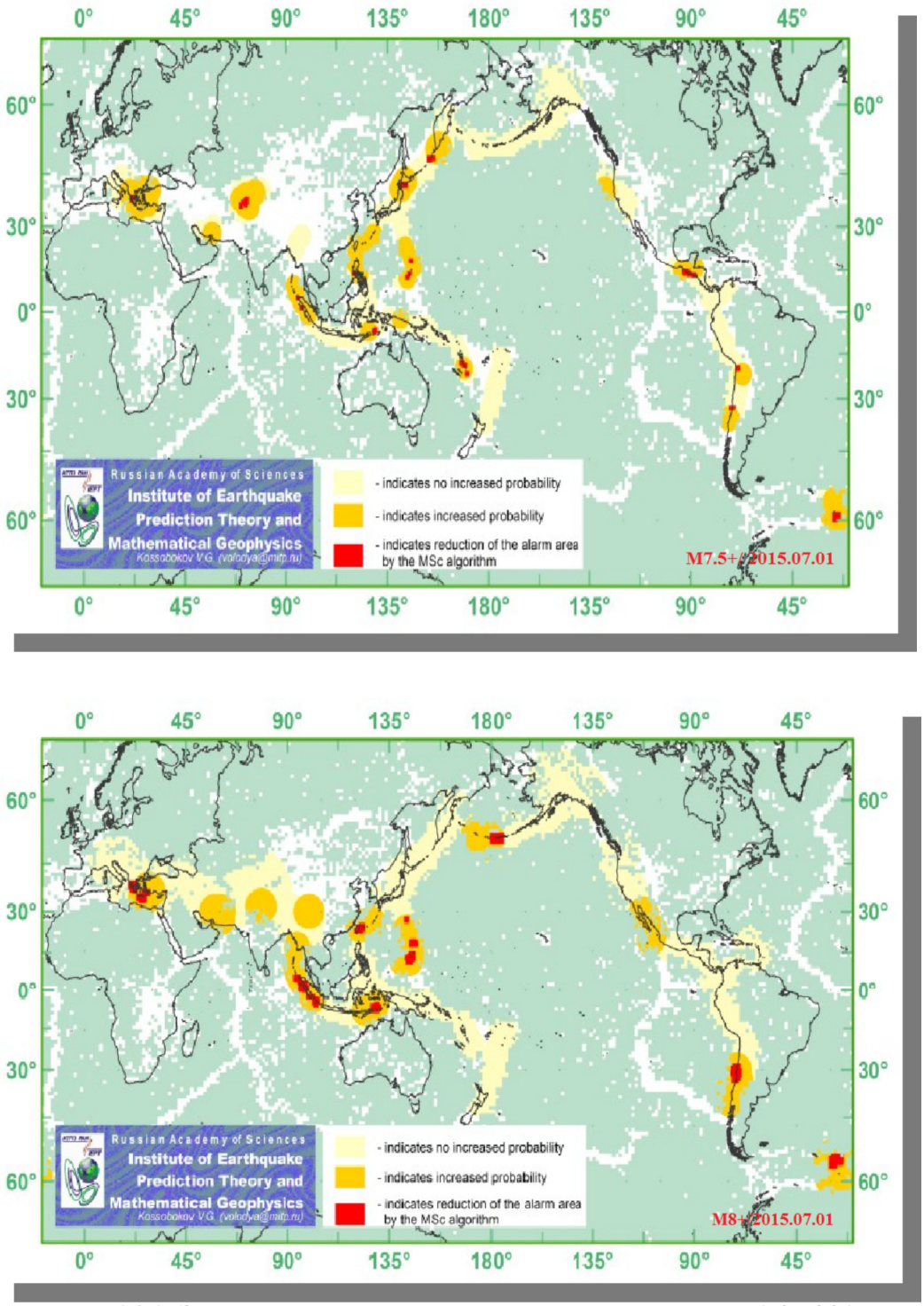


Рис. 14.1. Зоны повышенной сейсмической опасности до 1.07.2015 по долгосрочному прогнозу В. Кособокова [www.mitp.ru]. Верхняя панель: для событий M7.5+, нижняя – M8+. Отмеченные красным цветом зоны ежесуточно мониторятся с помощью ЭС.

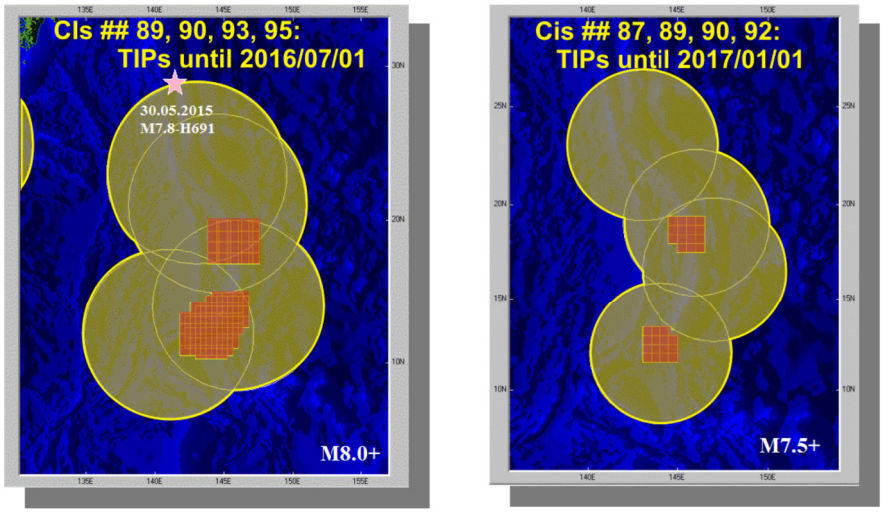


Рис. 14.2. Параметры прогноза ЗМТ в зоне Марианского блока по В. Кособокову [www.mitp.ru].

Еще одним прогнозным признаком была аномалия атмосферного химического потенциала на уровне 200 ед., зарегистрированная 19.05.2015 на большой территории Японии (рис. 15) и всплеск атмосферного электричества 20.05.2015 на 3050 В/м. Данные признаки косвенно указывали на приход фронтов волн Лагранжевых точек, порожденных СММ (m2), в Дальневосточную зону (исходя из средней угловой скорости их смещения ~ 26°/сут).

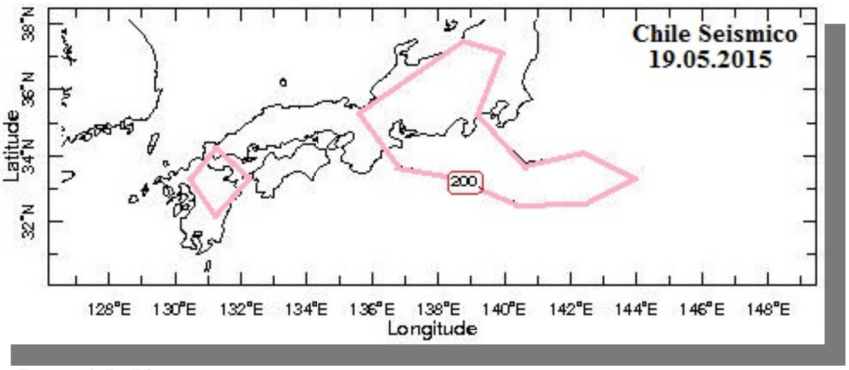


Рис. 15. Карта распределения значений поправок химического потенциала в Идзу – Бонинской зоне Японии 19.05.2015 [Chile Seismico]

С конца апреля и в течение мая 2015 над Филиппинской и Окинавской плитами наблюдались серии ОСТИ различной текстуры и протяженности. Однако параметрически адекватные произошедшему 30.05.2015-М7.8 событию выделить среди них не удалось. Анализ был затруднен мощной циклонической и тайфуногенной деятельностью в регионе. Наиболее значимым оказался углообразный ОСТИ на космоснимках 30.04.2015 на фоне

мощного циклона (рис.16). Его протяженность оказалась ~ 660 км., что определяло потенциальную магнитуду M=ln 660 ~ 6.5+.

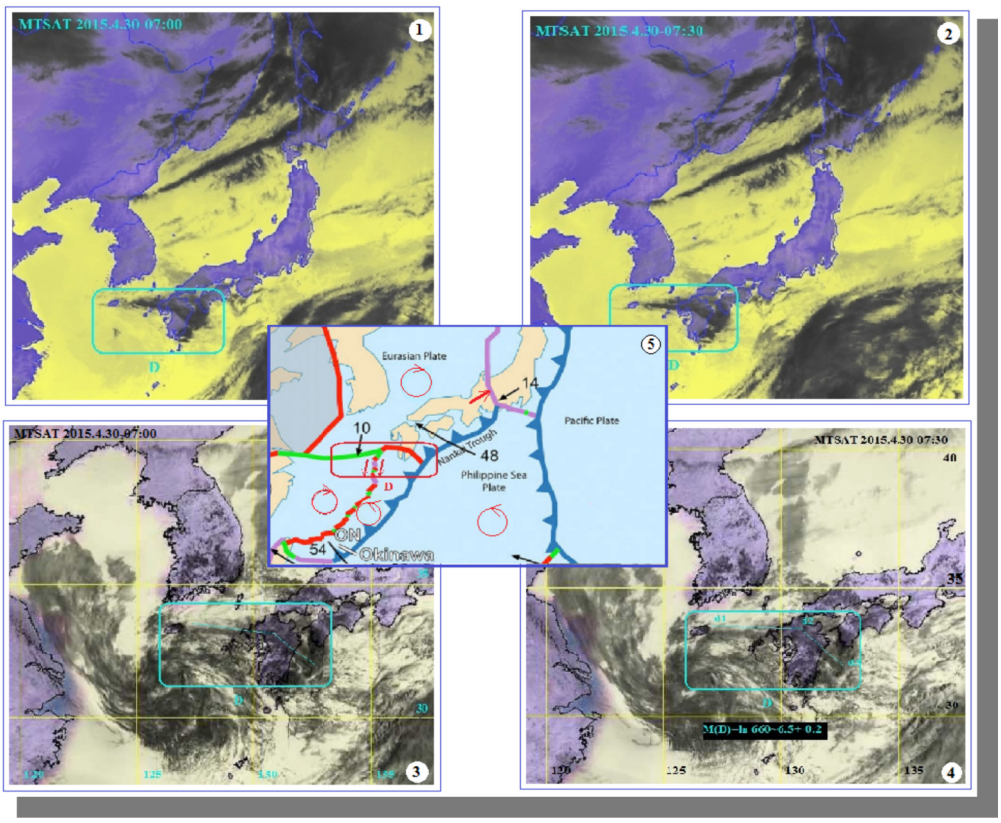


Рис. 16. Динамика формирования ОСТИ над Окинавской плитой 30.04.2015

В интервале 18 мая ± 3 сут. согласно Методике анализа геофизических признаков ЗМТ в зоне Филиппинской плиты (ФП) могли сформироваться ОСТИ большой протяженности или значительного смещения относительно трассируемого участка плиты или блока. Однако в это время над Филиппинской плитой развивался мощный тайфун «Dolphin» со сложной траекторией смещения по направлению о. Хонсю (рис.17). Связь между сейсмотектоническими и тайфуногенными процессами неоднозначна, параметрически точно на сегодня не установлена. Некоторые проблемные вопросы выявления такой связи нашли отражение в настоящей работе. На эмпирическом уровне тайфуны «ослабляют» сейсмику на одних участках плит и блоков, и «усиливают» - на других. Топология распределения ОСТИ по обрамлению Филиппинской и Окинавской плит все же позволила определить наиболее напряженные участки на северо-восточной границе Филиппинской плиты (см. врезку 5 на рис. 16).

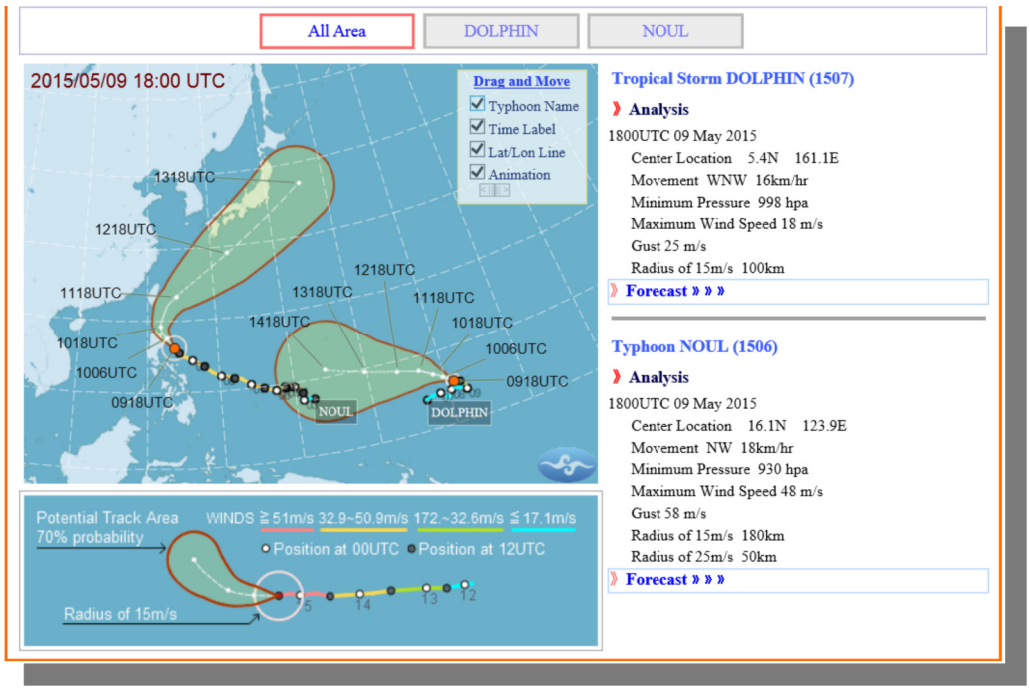


Рис. 17. Мощные тайфуны «Dolphin» и «Noul» над Филиппинской плитой

Аналогичную ситуацию удалось наблюдать после ЗМТ на островах Бонин 30.05.2015. ОСТИ на снимках 31.05 – 3.06.2015 (рис. 18) четко отражали распределение напряжений на обрамлении Филиппинской плиты (как следствие взаимодействия смежных плит и вращательной компоненты кинематики ФП «против часов»). На снимке 3.06.2015 углообразная структура d1, 2, 3 определяла потенциальную магнитуду M(d1,2,3) = ln 1100 ~ 7.0 ± 0.2. Наиболее мощный афтершок события 30.05.2015 имел магнитуду M6.3. Событие произошло 23.06.2015 на глубине 473 км. Другие сопутствующие события и СММ запуска отражены на врезке 6 рис. 18.

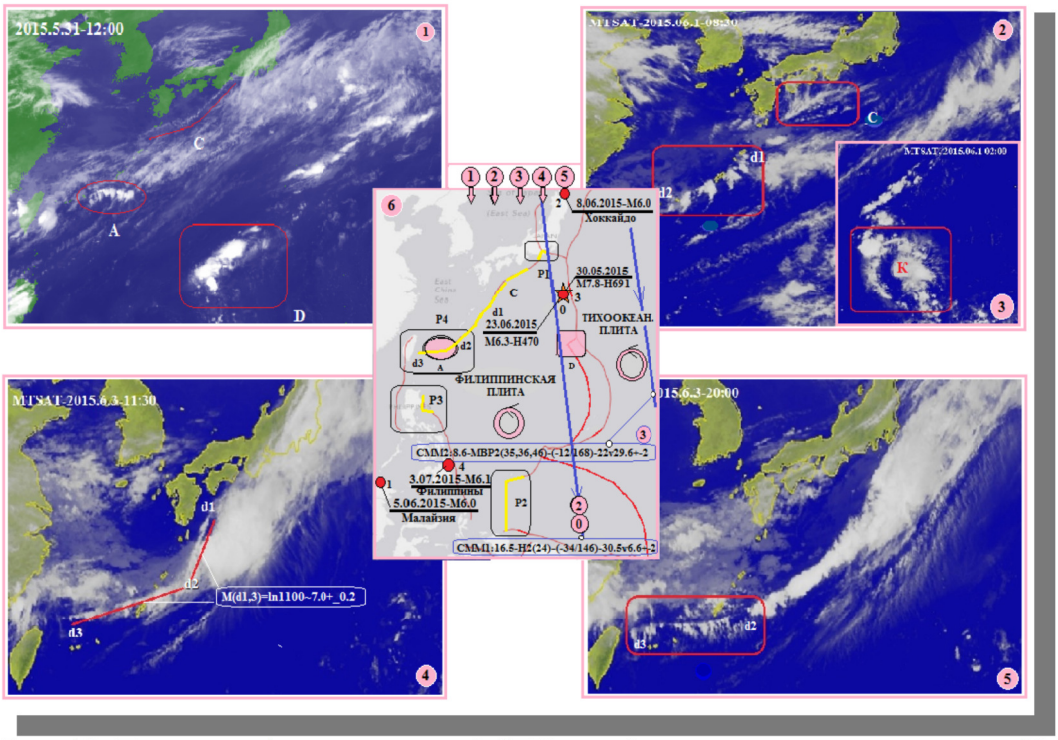


Рис. 18. Динамика формирования ОСТИ над Филиппинской плитой перед ЗМТ на островах Бонин 23.06.2015 магнитудой М6.3

3. ПРИЗНАКИ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В НЕПАЛЕ 25 АПРЕЛЯ 2015 МАГНИТУДОЙ М7.8 И ЕГО АФТЕРШОКА 12 МАЯ М7.3

После сейсмической катастрофы в Непале 25.04.2015 магнитудой М7.8

1. **25.4.2015 – 06:11 – (28.1; 84.7) – 7.8 – 15 – Непал,** **(s3)**

хлынул поток публикаций и сообщений, в которых описывали те или иные признаки и предвестники ЗМТ. Наш подход с позиций Метеотектоники позволяет открыть новые грани в исследовании генезиса Непальского ЗМТ, позволяющие упреждать подобные катастрофические события в Тибетско – Гималайском сейсмическом поясе.

Вершиной достижений современной геофизики является определение *после* ЗМТ механизма его очага на основе данных о параметрах распространения сейсмических волн, регистрируемых мировой сетью сейсмических наблюдений (рис. 20). В случае Непальского события механизм определен как движение по вертикальной плоскости в виде взброса с компонентами левостороннего сдвига, по горизонтали – как надвиг с правосторонними компонентами сдвига. Решением механизма очага установлено, что движение возникло под действием сжимающих напряжений, направленных на север, и растягивающих напряжений – в южном направлении. На приведенном композите (рис.19)

это отражено в бл.3,4, подтверждено данными наземной сети, измерениями GPS и интерферометрией по данным спутниковой РЛС InSAR. Наиболее близким историческим аналогом нынешнего события по механизму очага, макропроявлениям считается Бихар – Непальское ЗМТ, произошедшее 1 января 1934 с М7.4, и унесшее жизни более 11.5 тыс. человек (рис. 20). Жертвами нынешнего ЗМТ стали более 8.8 тыс. человек.

С помощью ОСТИ *до события* имеется возможность определить наиболее напряженные участки на границе плит, потенциальную магнитуду по протяженности ОСТИ и локализовать зону подготовки ЗМТ (бл.1,2,5). Основная изюминка заключается в выделении вращательной компоненты в кинематике взаимодействия плит, используя параметры и свойства ОСТИ. В нашем случае её направление определено «по часовой стрелке», что соответствовало разрядке напряжений на северном – северо – восточном участке Индийской плиты. Об этом сигнализировал ОСТИ (d1,2,3), давший потенциальную магнитуду М8.0 ± 2 по его протяженности ~ 3000 км.: M(D)=ln 3000~8.0 ± 0.2. (рис. 19, блоки 1,2,5). Реальная магнитуда ЗМТ оказалась М7.8 (в пределах прогнозного допуска). Прогнозную дату события по 14 и 21 сут. гармоникам определяли сейсмомагнитные меридианы (СММ1,2) от геомагнитной бури 2 и 10 апреля:

1. 2.4.2015 – М6(36) – 102/-78 – 16 или 23.04 ± 2
2. 10.4.2015 – Н2(47) – (-70/110) – 24.04 или 1.05 ± 2 (m3)
3. 16.4.2015 – МВ7(35) – 71/-109 – 23.04 или 30.04 ± 2

Дата реального события 25.04.2015 попала в допустимые прогнозные интервалы запуска возможного события от СММ 1,2,3.

После катастрофических событий, как правило, следует ожидать мощные афтершоки. Такое событие произошло 12.5.2015 магнитудой М7.3:

2. **12.5.2015 – 07:05 – (27.8; 86.1) – 7.3 – 15 – Непал (s4)**

СММ (4,5,6) запуска события (s2) были следующими:

4. 27.4.2015 – 37 – Н3(04) – (-98/82) – 11.05 или 18.05 ± 2 (m4)
5. 28.4.2015 – 38 – Н3(24) – (-97/83) – 12.05 или 19.05 ± 2
6. 29.4.2015 – 39 – Н3(03) – (-96/84) – 13.05 или 20.05 ± 2

Другие геофизические признаки Непальского ЗМТ (гравика, протоны и ПВЗ) приводились ранее на рис. 5, 7, 9. Смещения поверхности по данным радиолокационных измерений со спутника Sentinel-1 отражены на рис.21. Поправки атмосферного химического потенциала dU представлены на карте его распределений на рис. 22.

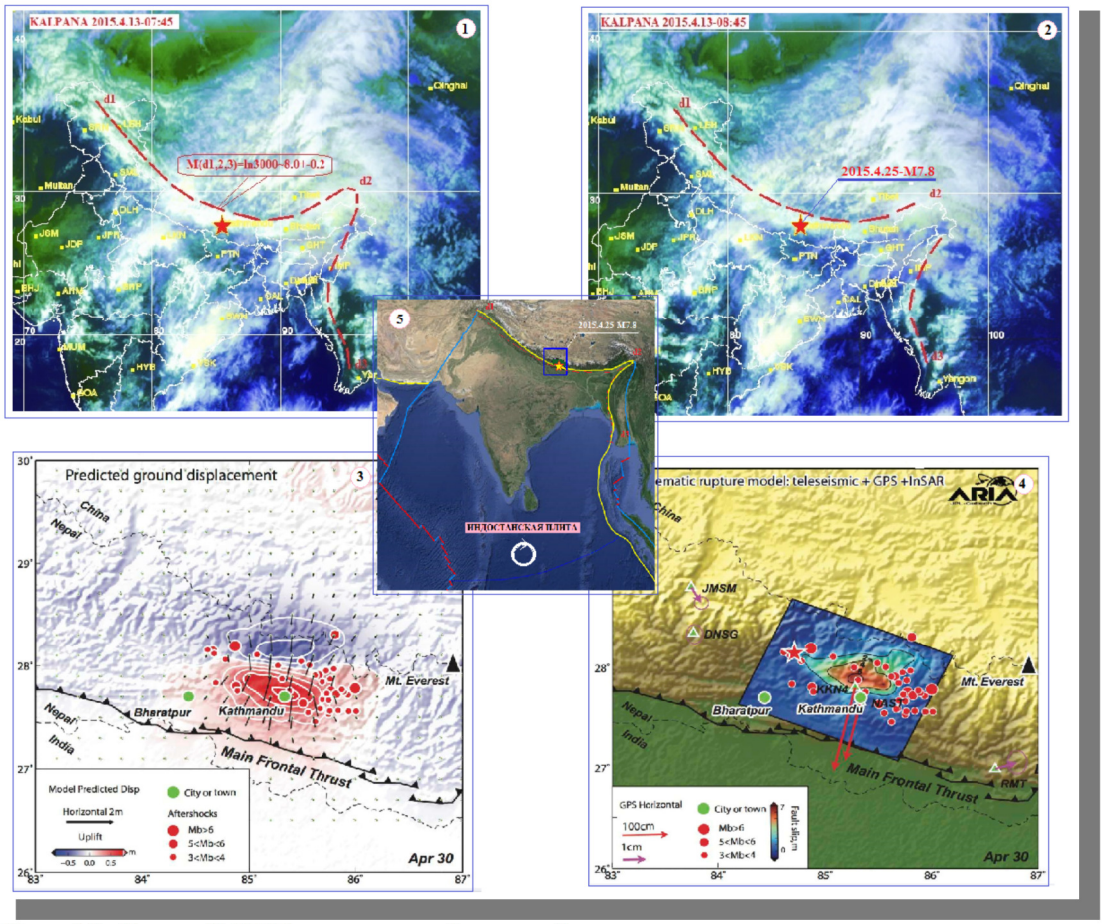


Рис. 19. Связь ОСТИ и смещений земной поверхности на примере землетрясения в Непале 25 апреля 2015 магнитудой M7.8

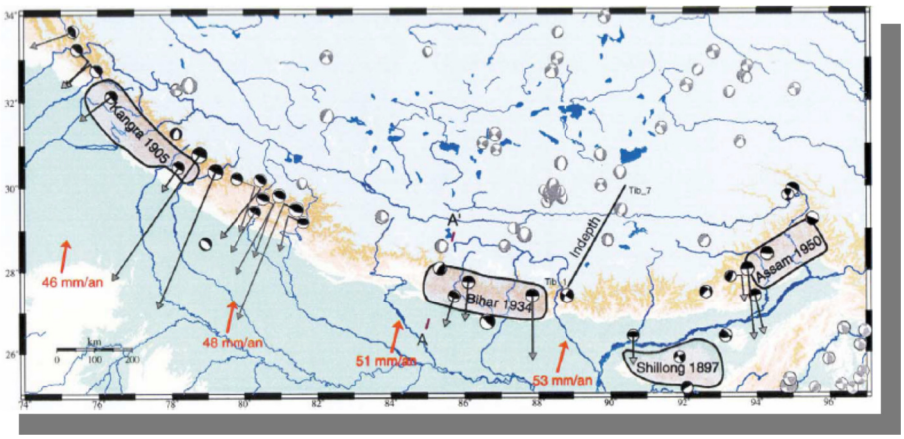


Рис. 20. Механизмы очагов землетрясений в Гималайской горной системе

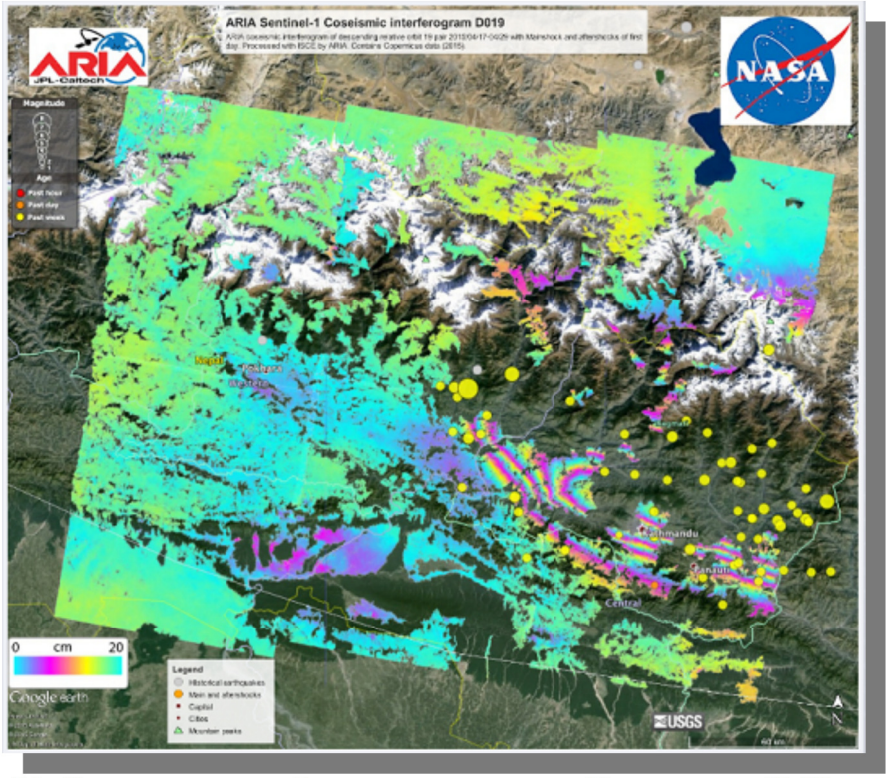


Рис. 21. Смещения земной поверхности после Непальского ЗМТ по данным радиолокационных измерений со спутника Sentinel-1

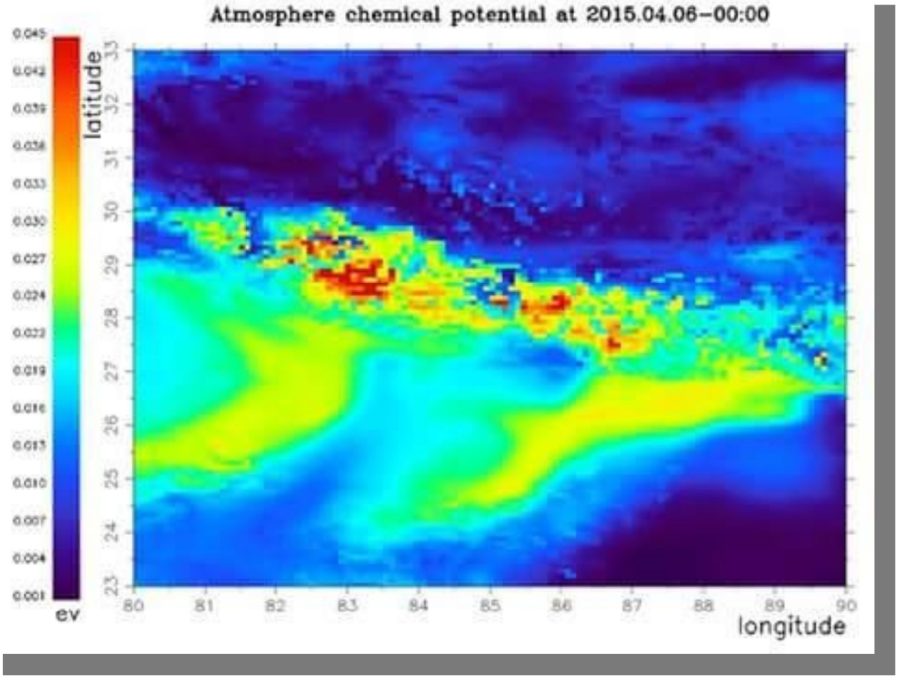


Рис. 22. Карта распределения поправок dU химического потенциала вдоль Гималаев; красные пятна – наиболее значимые аномалии [Пулинец, Озунов]

Максимум значений TIR, как признак подготовки мощного ЗМТ в зоне Непала, обнаружен 6.04.2015 (рис.23), максимум TEC 24.05.2015 (рис. 24), за сутки до ЗМТ.

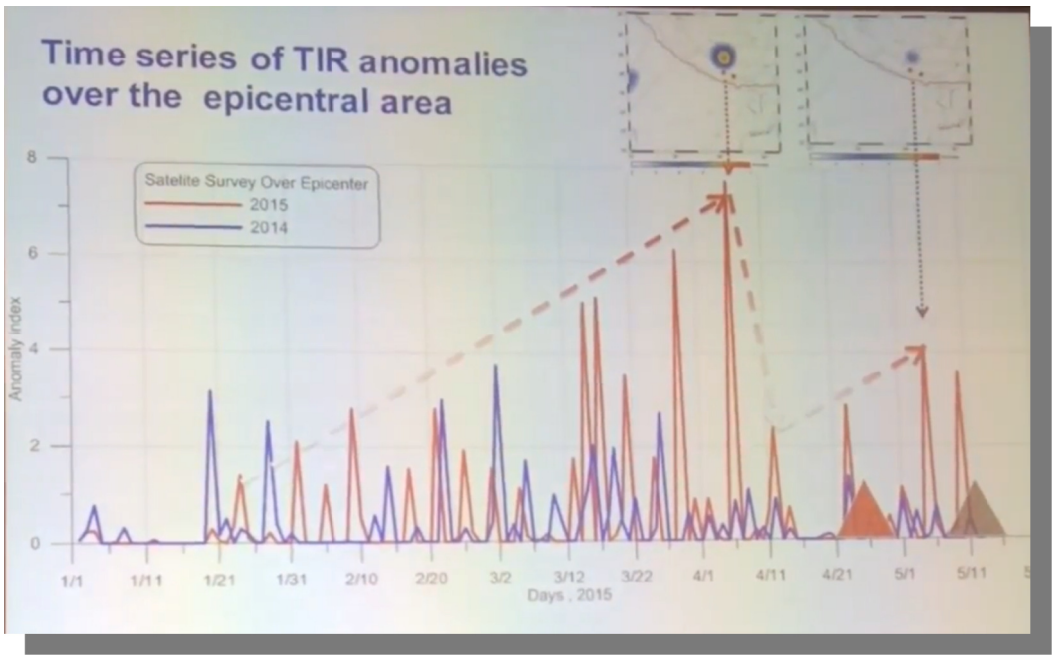
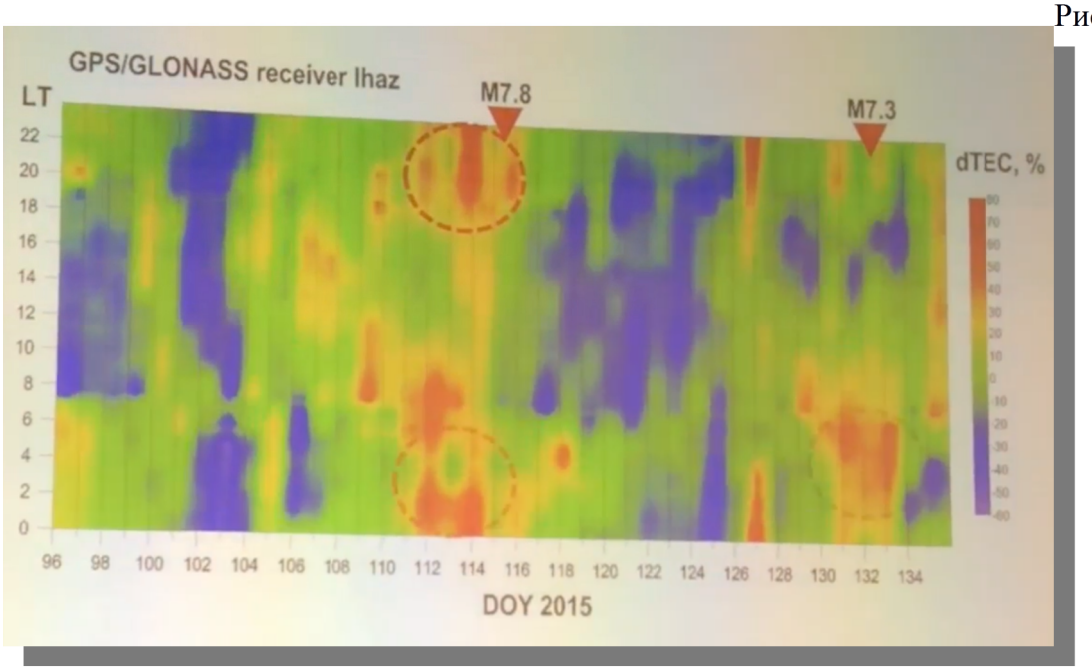


Рис. 23. График распределения TIR перед ЗМТ в Непале 25.04 и 12.05. 2015 [Озунов]. Аномальные признаки 6.04.2015 и 5.05.2015

Рис.24.



Карта распределения TEC перед ЗМТ 25.04 и 12.05.2015 в Непале [Озунов].

4. ПРОВЕРКА ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ПРОГНОЗОВ ПО ДАТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАРМОНИКИ Г-104 В МЕТОДЕ А. КУБЫШЕНА.

Челябинский исследователь А. Кубышен разработал методику «РАМЕС» (Расчет метеорологических ситуаций), позволяющую на основе аномалий атмосферного давления и температуры на метеостанции «Челябинск» с упреждением 104 суток прогнозировать

даты ЗМТ магнитудами М6+. Тестирование методики в течении 2013 – 2015 показало её высокую эффективность. Результаты поверки за январь – июнь 2015 представлены в таблице на рис. 23. Они впечатляют. Таблица с прогнозной частью прислана для тестирования в апреле и дополнена в мае 2015.

№ п/п	Дата получения признака	Метеопризнаки: Атм давл	Метеопризнаки: Темпер миним	Метеопризнаки: Относит влажность	Прогноз даты ЗМТ М6+	Фактически произошедшие ЗМТ М6+
41	03.01.2015	"+++	"+++	3-4.01 "++	16.04.2015	16.04: 6,1/30; 17.04: 6,5/10
42	06.01.2015	"++		"++	19.04.2015	20.04 (1,43 итс):6,6/30
43	09.01.2015	"+	"+++	8.1 "++	22.04.2015	22.04: 6,4/100
44	13.01.2015	"+++	12.1 "+++	14-16.1 "+	26.04.2015	24.4: 6,0/80; 6,1/10. 25.4: 7,8/10;6,7/10. 26.4: 6,7/14
45	16.01.2015	"+		"++	29.04.2015	28.4: 6,2/566. 30.4: 6,7/54
46	18.01.2015	"+	"++	19.1 "++	01.05.2015	01.05: 6,8/60
47	21.01.2015	"+	"++	20.1 "++	04.05.2015	04.05: 6,0/5. 05.05: 7,4/40
48	24-25.01.15		"+++		07.05.2015	07.05: 7,1/20
	29-30.01.15		"+++			12.05: 7,3/10; 6,2/10; 6,8/60 (антициклон мешает)
49	5-8.02.15	"+++	6-9.2 "+++	7.2 "++	19-22.5.15	19.05: 6,7/33. 20.05: 6,0/173; 6,8/10. 22.05: 6,8/10;6,8/10
50	11.02.2015	"+++	"+++	12.2 "+	25.05.2015	24.05: 6,4/10; 5,7/10
51	13.02.2015	"+		12.2 "+	27.05.2015	
52	15-16.02.15	"++	15-17.2 "+++	16.2 "+	29-30.05.15	29.05: 6.8/55; 30.05:7.8/691
53	20-21.02.15	"++	19-21.2 "+++	22.2 "+	3-4.06.15	5.6: 6.0/10
	1-6.03.15	(+?)	"+++		12-16.06.15	17.6:6.9
54	9-10.03.15	"+++	9.3 "+++	10.3 "++	20-21.06.15	20.6:6.4; 21.6:6.0; 23.6:6.5
55	20-23.03.15	"+++	20-21.3 "++	23.3 "+	1-4.07.15	3.7:6.4; 7.7: 6.3;
56	25.03.2015	"+	24.3 "++	"+	06.07.2015	
57	09.04.2015	"+++	"+	"+	21.07.2015	
58	11-12.04.15	"++	"++		23-24.07.15	
59	15.04.2015	"+	14-16.4 "+		27.07.2015	
60	17-18.04.15	"++	19.4 "++	19-20.4 "++	29-30.07.15	
61	20.04.2015	"++	19.4 "++	"++	01.08.2015	
62	23.04.2015	"++	24.4 "+	24.4 "+	04.08.2015	
63	25.04.2015	"++			06.08.2015	
64	26.04.2015	"++	26-28.4 "+++	"+	07.08.2015	
65	3-4.05.15	"+	3.4 "+	4.4 "+?	14-15.08.15	
66	09.05.2015	"+++	10-12.5 "++	7-10.5 "+++	20.08.2015	
67	16.05.2015	"+++		"+++	27.08.2015	
68	20.05.2015	"+++ (+?)	19.5 "++	"+	31.08.2015	
69	24.05.2015	"+	23.5 "++		04.09.2015	

Примечание:	
"+++	Интенсивное проявление признака
" ++	Проявление признака средней интенсивности
" +	Слабоконтрастное проявление признака

Рис. 23. Таблица результатов тестирования гармоники Г-104

Применение методики А. Кубышена и гармоники Г-104 позволяет расширить порог прогнозируемости сейсмических событий по дате с применением ЭС до 104 ± 2 суток.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Выполненные на основе Эмпирической схемы и алгоритмов анализа геофизических данных с признаками ЗМТ, получаемых с помощью НКС СПМ, проведенные в 1 – 2 квартале 2015 мониторинговые и прогнозные эксперименты в различных сейсмоопасных регионах Земли, позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанные на основе Утверждений 1, 2, 3 процедуры и графические приложения Эмпирической схемы краткосрочного прогноза ЗМТ позволили оценить её высокую эффективность.

2. Полученные геофизические данные с признаками подготовки ЗМТ целесообразно применить в дальнейшем для тестирования разрабатываемого ПО для

3. Тестирование на протяжении 2014 – 2015 гг. прогнозов ЗМТ по дате с использованием гармоники Г – 104 показало возможность расширения порога прогнозируемости ЭС до 104 ± 2 суток.

4. ЭС позволяет переводить долгосрочные прогнозы В. Кособокова, П. Шебалина, А. Любушина и других прогнозистов – долгосрочников в плоскость краткосрочного прогноза путем квантования по 14 и 21 сут. гармоникам заявленных интервалов повышенной сейсмической опасности, т. е. при ежедневном СПМ с упреждением 2 – 3 недели делать вывод о возможности ЗМТ М6.5+ в заявленных зонах по долгосрочному прогнозу.

5. Каталог ОСТИ пополнен 12 новыми тематическими продуктами, полученными по результатам мониторинга и анализа облачного покрова перед наиболее мощным ЗМТ магнитудами М (6.2 – 7.8), имевшими место в январе – июне 2015. Восемь из 12 продуктов приведены в статье. Наиболее ценными из них являются ОСТИ катастрофического ЗМТ в Непале 25.04.2015 и Японских сейсмических событий 16.02.2015-М6.8 и 12.05.2015-М6.8

Список литературы

1. Дода Л. Н., Натяганов В. Л., Степанов И. В. Эмпирическая схема краткосрочного прогноза землетрясений // Докл. РАН. 2013. Т. 453. №5. С.551 – 557