

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ
БАЗОВЫХ ПРОДУКТОВ СЕЙСМОПРОГНОЗНОГО МОНИТОРИНГА
И ИХ ТЕСТИРОВАНИЯ В ЦЕНТРЕ «АНТИСТИХИЯ» В 2012 г**

© 2012 г. Л.Н. ДОДА, В.Р. БОЛОВ*, К.С. ЕМЕЛЬЯНОВ, Д.И. БУБНЕНКОВ,
М.А. ГУСЕВ, А.П. КОРШУНОВ, И.В. СТЕПАНОВ, А.Л. ФЕДОТОВ

Научный центр оперативного мониторинга Земли, г. Москва,
ОАО «Российские космические системы», г. Москва,
*Центр «Антистихия» МЧС России, г. Москва

В настоящее время во многих странах разрабатываются технологии формирования и ведения банка базовых продуктов (банк БП ДЗЗ) межведомственного использования [1]. Одной из единиц номенклатурного ряда базовых продуктов ДЗЗ являются БП сейсмопрогнозного мониторинга (БП СПМ), разработанные в НЦ ОМЗ.

БП СПМ – информационный продукт, получаемый в результате потоковой обработки первичной космической и геофизической информации, содержащей признаки землетрясений, определяющие их прогнозные параметры – дату, место, магнитуду.

На основе данных наземно-космического мониторинга и баз данных удаленных серверов геофизического профиля с помощью ГИС-технологий формируются классы признаков землетрясений (ЗМТ). Эти признаки отражают процессы подготовки и запуска ЗМТ в рамках концепции сейсмотектогенеза (СТГ), разработанной в НЦ ОМЗ [2, 3]. Наиболее важные закономерности реализованы в виде трёх базовых продуктов (БП1,2,3).

Данные закономерности определяют необходимые и достаточные условия механизма подготовки и запуска ЗМТ. Решение обратной задачи позволяет определить триаду прогнозных параметров – дату, место, магнитуду.

На основе концепции СТГ разработаны алгоритмы анализа признаков ЗМТ, их откликов в полевых структурах геоблоков, ГИС [4] для решения задач прогноза ЗМТ с использованием данных, получаемых от сформированной наземно-космической системы сейсмопрогнозного мониторинга (НКС СПМ). Особое место в данном подходе занимает анализ облачных сейсмотектонических индикаторов (ОСТИ) на космических снимках видимого и инфракрасного диапазонов, позволяющих обнаружить активизацию сейсмотектонических процессов в любой сейсмоопасной зоне планеты [5,6]. С помощью разработанных методик выявляются ОСТИ, по ним определяются магнитуды сейсмособытий и локализуются возможные зоны ЗМТ. Облачные индикаторы применяются в комплексе с другими классами признаков ЗМТ. Яркий пример комплексирования признаков показан в Сахалинском сейсмопрогнозном эксперименте [7].

Каждый класс сейсмопризнаков может быть представлен в виде отдельного БП, отражающего наиболее характерные особенности данного класса. Например, для класса гравияномальных признаков такой особенностью может быть направление прихода гравиволны аномальной амплитуды. Комплексирование аномальных признаков и соответствующих БП позволяет выявлять новые признаки ЗМТ, уточнять их параметры.

Перечисленные продукты целесообразно использовать, прежде всего, в МЧС России (Центрах "Антистихия" и НЦУКС, региональных подразделениях МЧС в наиболее сейсмоопасных регионах), РАН (Геофизической службе РАН, ИФЗ, ИПГ, ИЗМИРАН

и др. институтах геофизического профиля) для решения своих специфических задач. Эти задачи связаны, в первую очередь, с оценкой сейсмической опасности для населения и объектов инфраструктуры. Институты РАН геофизического профиля могут использовать БП СПМ для выявления признаков подготовки ЗМТ в наиболее сейсмоактивных регионах, для разработки моделей сеймотектонических процессов, а также исследования признаков подготовки ЗМТ, их откликов в полевых структурах геоблоков.

Операторы космических систем (КС) могут использовать названные БП1,2,3 для планирования применения КС по выявлению признаков подготовки ЗМТ в лито-атмосфере, а также планирования и координации использования космических средств ДЗЗ для оперативной оценки ущерба и последствий ЗМТ.

Номенклатурный ряд базовых продуктов сейсмопрогнозного мониторинга

Базовый продукт № 1 представляет собой композит карты сейсмомагнитных меридианов (СММ) запуска ЗМТ и семантических таблиц потенциальных (прогнозных) дат ЗМТ. Исходными данными для расчета СММ по соответствующим алгоритмам являются гелио-геофизические данные, скачиваемые в автоматическом режиме с удаленных серверов с помощью программного комплекса автоматизированной загрузки данных. Это прежде всего индексы геомагнитной и солнечной активности, параметры подсолнечной точки на каждую дату и др. Выходными данными в алгоритмах расчета параметров СММ являются их экваториальные долготы (λ_i , $i = 1^\circ, \dots, 360^\circ$) на дату геомагнитного возмущения, потенциальные даты срабатывания СММ на 14 или 22 сутки (± 2 сут.) после геомагнитных возмущений и соответствующие им даты возможных ЗМТ. Отмеченные выходные данные оформляются в виде семантических таблиц. С помощью программных средств ArcGIS по рассчитанным экваториальным долготам на карт-основу в проекции Меркатора в пакетном режиме наносятся полученные на конкретную дату СММ.

Базовый продукт № 2 представляет собой композит спутникового изображения облачного покрова, на котором отмечены облачные сеймотектонические индикаторы, трассирующие определенные участки границ плит и блоков, и геофизической информации о границах тектонических плит. В других случаях ОСТИ могут отображаться на космических снимках в виде углообразных, трех- или четырех- угольных структур. Имеется 7 классов признаков выделения ОСТИ на спутниковых изображениях облачности [5,6].

Следует заметить, что реализовать автоматическую потоковую обработку космоснимков облачности по выявлению ОСТИ для БП2 на данном этапе является довольно сложной задачей. Причиной является отсутствие алгоритмов формализованного распознавания подобных облачных структур, а также датчиков, позволяющих с помощью космических средств выделять на фоне облачного покрова именно ОСТИ. Поэтому анализ спутниковых изображений облачности по выявлению ОСТИ осуществляется оператором в интерактивном режиме на рабочей станции специализированной обработки данных сейсмомониторинга, оснащенной соответствующим СПО. Дальнейшая обработка цифровых карт с выявленными ОСТИ, накопленными в буфере обмена, может проводиться в автоматическом потоковом режиме. На этом этапе с использованием пакетов программ ArcGIS формируется информационный слой границ тектонических плит, вычисляются по протяженности ОСТИ потенциальные магнитуды ЗМТ, определяются трассируемые ими активизированные участки тектонических плит, создаются базы данных атрибутивных таблиц семантической информации.

Результатом обработки первичной космической информации отображения облачности являются ОСТИ, которые представляют БП2, служащий общей основой для многоцелевой тематической интерпретации в интересах решения задач прогноза ЗМТ, оценки сейсмической опасности и др. задач.

Базовый продукт № 3 представляет рассчитанные и отображенные на карт-основе потенциальные зоны сейсмической опасности (ПЗСО) и прогнозные параметры ЗМТ. Входными данными для расчета ПЗСО являются СММ на конкретную дату или

период и границы литосферных плит. Они векторизованы в виде координат и атрибутов, хранятся в БД и представляют отдельные информационные слои, составляя тематическую основу разработки БПЗ. Алгоритм расчета ПЗСО заключается в следующем. Исходной посылкой для расчетов выбран статистически значимый факт попадания потенциального ЗМТ в круговую зону, радиус которой равен 7° и проведен из точки пересечения СММ с определенным участком границы литосферных плит. Атрибутами СММ являются экваториальные долготы λ_i и даты их возникновения. СММ, как правило, имеет несколько точек пересечения с границами плит, тем самым порождая такое же количество ПЗСО, из которых по определенным признакам и правилам выбираются наиболее вероятные. И если расчет всех ПЗСО производится в потоковом режиме, то выбор наиболее вероятных из них является исследовательской задачей. Одним из критериев отбора ПЗСО является факт попадания в неё облачных сейсмоиндикаторов. Данная задача решается в потоковом режиме с использованием БП1,2. Окончательный выбор наиболее вероятных зон делает оператор специализированной обработки данных на рабочей станции в интерактивном режиме. Выходными данными или атрибутами БПЗ являются координаты центра (φ_i, λ_i) i -ой зоны ПЗСО, возможная дата её срабатывания, вычисляемая по дате соответствующего ей СММ, и потенциальная магнитуда, определяемая по ОСТИ максимальной протяженности, попавшему в 7-градусную зону или зарегистрированному в пограничной с ней области по обрамлению литосферной плиты.

В банке БП СПМ НЦ ОМЗ содержится более 1000 единиц ОСТИ в виде БП2 по наиболее мощным ЗМТ с магнитудой $M7+$ за период 2002-2012гг. Сформированы также эталонные ОСТИ по Курило-Камчатской, Японской, Тайваньско-Окинавской, Суматрано-Яванской, Калифорнийской, Мексиканской, Иранской и другим сейсмогенным зонам.

С 2007г. на сайте НЦ ОМЗ www.ntsomz.ru/project регулярно выставляются ОСТИ и другие геофизические признаки мощных ЗМТ. Как правило, они носят упреждающий характер, тем самым позволяя принимать соответствующие решения и выявлять дополнительные признаки подготовки ЗМТ. Особый статус у Курило-Камчатской сейсмогенной зоны, в которой ожидается катастрофическое ЗМТ. С 2002г. в этой зоне нами проводится постоянный мониторинг сейсмопризнаков и не было пропущено ни одного ЗМТ с магнитудой $M7+$ [1], включая мощное ЗМТ магнитудой $M7.7$ и глубиной очага 625км в Охотском море 14.08.2012 (прогноз в РЭС от 6.07.2012). Тестирование БП по Курило-Камчатской зоне проводилось в центре «Антистихия» с мая по сентябрь 2012 года. Из 4 зарегистрированных в РЭС прогнозов все 4 реализовались в пределах точности метода.

Использование БП СПМ в реальных сейсмопрогнозных и мониторинговых экспериментах

Реальное использование БП СПМ было осуществлено в ряде сейсмопрогнозных и мониторинговых экспериментов, в том числе, с зарубежными партнёрами. Основной целью экспериментов была проверка концепции СТГ и построенных с использованием её закономерностей методик прогноза и мониторинга признаков ЗМТ на реальных сейсмических событиях с магнитудой более 6.

Первый эксперимент был проведен в октябре 2009 – апреле 2010 г.г. специалистами и экспертами НЦ ОМЗ совместно с кафедрой газовой и волновой динамики МГУ им. М.В. Ломоносова и Тайваньским университетом (Тайвань). Прогнозы регистрировались в Сейсмосовете России, на указанной кафедре с уведомлением экспертов метеобюро Тайваня (CWB), а результаты анализа и сейсмопризнаки выставлялись на сайте НЦ ОМЗ.

Из восьми ЗМТ с магнитудой $M6+$, зарегистрированных сейсмологическими службами за указанный период в Тайваньско-Окинавской зоне, семь реализовались в соответствии с разработанными прогнозами, при одном пропуске события 19.12.2009 с $M6.4$. Результаты данного эксперимента были доложены на 61-м Конгрессе по астронавтике (сентябрь 2010 г., Прага) и опубликованы в журнале Acta Astronautica [8].

Второй эксперимент проводится в рамках инструментального и методического сопровождения прогноза доктора А. Любушина [9]. Согласно этому прогнозу в ближайшие два года на юге Японии может произойти катастрофическое ЗМТ с магнитудой более 8.5.

С целью снижения неопределенности по временной компоненте в методе А.Любушина прогнозный интервал 2 года может уточняться путем его квантования по 2-3 недельным гармоникам сейсмо-эффективных геомагнитных возмущений с использованием закономерности концепции СТГ о триггерном механизме запуска ЗМТ на 14 или 22 сутки после геоэффективных явлений на Солнце (прогноз даты) и разработанных на её основе методик прогноза ЗМТ.

Эксперимент по сопровождению прогноза доктора А. Любушина проводится с июля 2011 г. (даты регистрации прогноза в РЭС). По состоянию на сентябрь 2012 г. без пропусков событий оправдались прогнозы всех 25-ти ЗМТ в Японии с М6.0+. Из них 4 наиболее мощных с магнитудами М6.7/6.9/6.8/6.9 совпали по всем прогнозным параметрам. Композит совместного использования БП1,2,3 для составления прогнозной карты на основе изображений облачности по данным спутников «Тerra», «Aqua» и «Метеор-М» за 19.10.2011 представлен на Рис. 1. Реальное ЗМТ, зарегистрированное в рамках проводимого эксперимента, произошло на Окинаве 08.11.2011 с магнитудой М6.9, подтвердив все три прогнозных параметра заявки сейсмопрогноза в РЭС от 18.10.2011г.

Эксперимент будет продолжен до реализации катастрофического ЗМТ в Японии с целью его возможного упреждения.

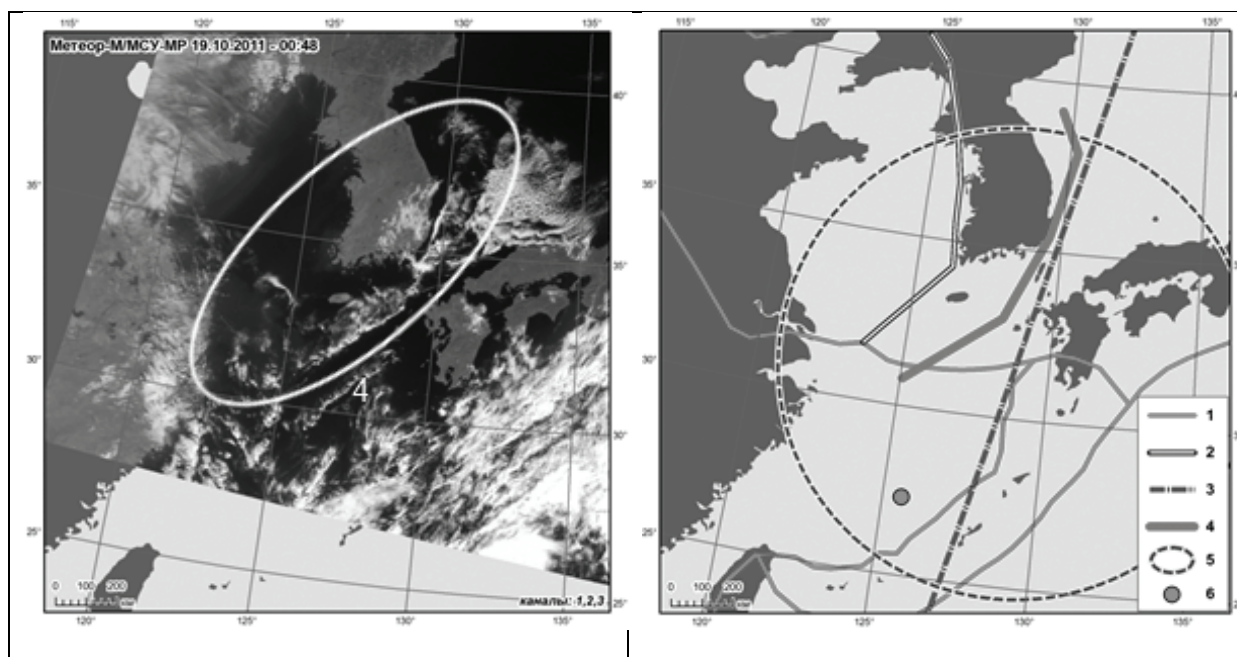


Рис. 1. Композит совместного использования базовых продуктов БП 1,2,3 для составления прогнозной карты землетрясений на Окинавскую зону.

Слева: космический снимок облачного покрова, полученный со спутника Метеор-М, сканер МСУ-МР 19.10.2011 – 00:48. Справа: композит совместного использования БП 1,2,3 для разработки прогнозной карты землетрясений на Окинавскую сейсмоопасную зону. 1 – границы тектонических плит; 2 – тектонически активные участки границ плит; 3 – сейсмомагнитный меридиан запуска землетрясений с наиболее вероятными датами 8 и/или 15 ноября +2 сут.; 4 – положение ОСТИ, трассирующего активный участок 2 протяженностью 1170 км, по которому с помощью формулы $M = \ln 1170 \sim 7.1$ была рассчитана магнитуда 7,1 +- 0,2; 5 – прогнозная зона возможного эпицентра ЗМТ, радиусом 800 км; 6 – эпицентр произошедшего 08.11.2011 ЗМТ с магнитудой 6,9.

Выводы

1. Проведенные сейсмопрогнозные и мониторинговые эксперименты подтвердили справедливость основных закономерностей концепции СТГ при решении прямой (подготовки и запуска ЗМТ) и обратной (сейсмопрогнозной) задачи.

2. На основе концепции СТГ и ГИС-технологий разработан номенклатурный ряд базовых информационных продуктов сейсмопрогнозного мониторинга. Продукты по наиболее мощным ЗМТ, произошедшим с 2004г. по сентябрь 2012г., накоплены в банке БП и могут быть предоставлены авторизованным пользователям через ГИС-портал "Сейсмопрогнозный мониторинг". Кроме экспорта БП СПМ предусмотрено совместное с пользователем создание проектов с дополнительным набором слоев и сервисов.

3. С мая по сентябрь 2012 в рамках отработки технологий на экспериментальном участке (ЭУ СПМ) НЦ ОМЗ проведены сейсмопрогнозные и мониторинговые эксперименты в тестовых сейсмоактивных зонах Камчатки и Японии. Из 4-х разработанных на основе БП1,2,3 и зарегистрированных в РЭС прогнозов все четыре реализовались в пределах точности метода. Создано с применением GIS-технологий более 30 БП СПМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лупян Е.А., Саворский В.П. Базовые продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сборник научных статей. 2012. - Т9. - №2. - С.87-96.
2. Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений // Наука в России. 2009. - № 6. - С. 30-37.
3. Дода Л.Н., Мартынов О.В., Пахомов Л.А., Натяганов В.Л., Степанов И.В. Наземно-космический мониторинг и прогноз мегаземлетрясения в Японии 11 марта 2011 г. // Наука и технологические разработки. 2011. - Т. 90. - № 1. - С. 35-44.
4. Степанов И.В. Подсистема ГИС для решения задач сейсмического мониторинга и прогнозирования землетрясений // Геоматика. 2010. - № 3. -С. 97-102.
5. Степанов И.В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для прогнозирования землетрясений // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. 2010. - № 5. - С. 19-24.
6. Степанов И.В. Геоинформационное обеспечение оперативного прогноза землетрясений с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Автореферат диссертации кандидата географических наук. - М.: Изд-во МГУ, 2011. - 25 с.
7. Пулинец С.А., Романов А.А., Урличич Ю.М., Романов А.А. (мл.), Дода Л.Н., Узунов Д. Первые результаты пилотного проекта по комплексному диагностированию предвестников землетрясений на Сахалине // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. - Т. 49. - № 1. - С. 123-132.
8. Doda L.N., Dushin V.R., Natyaganov V.L., Smirnov N.N., Stepanov I.V. Earth quakes forecasts following space and ground-based monitoring // ActaAstronautica. 69 - (2011). - P. 18-23.
9. Любушин А.А. Прогноз сейсмической катастрофы в Японии 11 марта 2011 года по анализу микросейсмического шума. – <http://alexeylyubushin.narod.ru>