

И.В. Степанов (НЦ ОМЗ ОАО
«Российские космические системы»)

В 2003 г. окончил географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «географ-картограф, специалист ГИС». В настоящее время – научный сотрудник отдела тематической обработки НЦ ОМЗ.

Подсистема ГИС для решения задач сейсмического мониторинга и прогнозирования

ВВЕДЕНИЕ

Проблема прогноза землетрясений по-прежнему остается тайной за семью печатями, т. е. однозначно ответа на триаду вопросов «Когда? Где? Какой силы?» нет. Природа очень неохотно открывает человечеству свои тайны, даже если они связаны с огромными жертвами. Поэтому выявление любой закономерности или признака, позволяющих приоткрыть завесу тайны с механизма подготовки и запуска землетрясений (ЗМТ), можно считать серьезным шагом в решении проблемы прогноза землетрясений. Широкие возможности открываются благодаря использованию космических средств мониторинга Земли и околоземного пространства и геоинформационных технологий обработки и анализа получаемых геофизических данных. Но эффективность любого мониторинга и анализа получаемых данных во многом зависит от целенаправленного применения средств, выбора признакововой базы, параметров и критериев оценивания наблюдаемого явления, в нашем случае механизма подготовки и запуска ЗМТ.

В Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) подобные задачи решены благодаря разработанной концепции сейсмогенеза. Данная концепция положена в основу решения задач сейсмического мониторинга и прогнозирования.

Концепция представляет собой совокупность закономерностей, отражающих последовательность и взаимодействие процессов в механизмах подготовки и запуска ЗМТ. Перечислим эти закономерности с кратким описанием их физической сущности [1].

1. Перемещение масс в теле Земли (геооболочках) обусловлено внешними космическими и внутриземными причинами и отражается в информационных составляющих – комплексах частот – градиента гравиполя [2].

2. Миграция водорода в геооболочках и его взаимодействие с геосредой изменяет физико-химические и механические свойства последней, составляя основу протонного тектогенеза [3, 4].

3. Глобальный электроротационный контур миграции протонов и электронов обеспечивает сохранение их баланса в геооболочках по принципу «сколько пришло – столько ушло» и механизм подготовки и запуска ЗМТ.

4. Причинно-следственная связь гравияномалий, нестабильностей вращения и обращения Земли, протонной диффузии в геооболочках, аномалий электротеллурического поля и сейсмотектонических процессов обуславливает наличие признаков подготовки ЗМТ. Факт совпадения указанных аномалий по месту или (и) времени может указывать на приближение мощных ЗМТ с магнитудой больше М6.0+.

5. Сейсмотектонические отклики в геоблоках при подготовке и запуске ЗМТ являются локальными проявлениями глобальных геофизических аномалий. Облачные сейсмоиндикаторы (ОС) как одно из проявлений таких аномалий позволяют локализовать зону потенциального ЗМТ и определить возможную магнитуду [5, 6].

6. Магнитно-меридиональная направленность запуска сейсмотектонического процесса определяется цепочками ЗМТ вдоль проекций геомагнитных силовых трубок запуска на геод.

7. Триггерный механизм запуска ЗМТ на 14-е или 22-е сутки после геоэффективных явлений на Солнце, вызывающих геомагнитные возмущения определенного класса, позволяет вычислить дату возможного ЗМТ (Дода, 2003).

Закономерности (пп. 1–6) определяют необходимые и часто достаточные (п. 7) условия механизма запуска ЗМТ.

На основе данной концепции решена задача среднесрочного прогноза ЗМТ с 2–3-недельным упреждением как обратная задача их подготовки и запуска в классах сейсмоиндуктивных признаков в геоблоках. Второй важной задачей, решаемой в рамках концепции, является создание системы мониторинга и сбора геофизических данных с признаками подготовки ЗМТ.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРИЗНАКОВ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Несмотря на то что сегодня известно более 200 предвестников ЗМТ различной природы, определить с приемлемой точностью дату, место и силу ЗМТ не удастся. Более того, предвестники в классическом представлении на самом деле таковыми не являются. С позиций приведенной концепции они представляют собой локальные проявления глобальных геофизических аномалий (см. п. 5). Но в таком случае на каких принципах необходимо строить системы мониторинга и каковы критерии отбора аномальных признаков? Специалистам НЦ ОМЗ с коллегами удалось сформировать систему, включающую следующие основные структурные элементы:

- станции гравиметрических измерений Центра «Прогноз» Тульского государственного университета (разработчик и генеральный директор д.т.н.

О.В. Мартынов);

- станции подземных протонных измерений дистантной школы «Космометеотектоника» в г. Петропавловске-Камчатском (разработчик и научный руководитель к.ф.-м.н. Д.А. Кузнецов, директор к.т.н. В.С. Бобровский);
- станции электротеллурических измерений Какиока, Мемабецу, Каноя в Японии и Пиргос, Хиргос, Афины в Греции. Данные в открытом доступе на сайтах <http://www.kakiokajma.go.jp>; www.earthquakeprediction.gr;
- спутниковые системы дистанционного зондирования METEOSAT, MT SAT, GOES на геостационарной орбите и низкой орбите TERRA, AQUA, «Ресурс-ДК», «Метеор-М» с наклоном и тематической обработкой данных в НЦ ОМЗ;
- базы данных Парижского центра вращения Земли <http://www.hphiers.obspm.fr/eop-pc>;
- базы данных гелиогеофизических параметров различных стран: NOAA/NWS (<http://www.swpc.noaa.gov>), Solar Terrestrial Activity Report (<http://www.solen.info/solar/index.html>), ATC Technologies Solar (<http://www/lmsal.com>).

Перечисленные три группы станций, а также базы гелиогеофизических данных позволяют регистрировать отклики глобальных геофизических аномалий, предвещающих наступление сейсмических событий. Обработанные и проанализированные по соответствующим методикам данные измерений позволяют выявить причинно-следственную связь между процессами в соответствии с закономерностью сейсмогенеза. По факту пространственно-временного совпадения аномалий в регистрируемых процессах можно судить о приближении мощных ЗМТ и рассчитать их параметры – дату, место, силу. В этом заключается основное содержание работы экспертной системы ГИС, о которой будет сказано далее.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Вычисление даты сейсмического события основано на связи солнечной, геомагнитной и сейсмической

активности. Запуск ЗМТ происходит по 7-суточной гармонике в среднем на 14-е или 22-е сутки после геоэффективных явлений на Солнце, т. е. явлений, вызывающих геомагнитные возмущения. Возможные зоны ЗМТ определяются в местах пересечения совокупности возмущенных геомагнитных силовых трубок с границами тектонических плит, блоков или разломов, накопивших достаточный для сброса упругой энергии потенциал механических напряжений и деформаций. Совокупность отмеченных силовых трубок образует сейсмомагнитный меридиан запуска, который рассчитывается по определенным формулам и методикам. Магнитуда ЗМТ рассчитывается на основе облачных сейсмотектонических индикаторов (ОС). Установлена логарифмическая связь между максимальной протяженностью облачной структуры, трассирующей активизированный сейсмотектонический участок, и потенциальной магнитудой:

$$M = \ln D/D_0 \quad (1)$$

где M — магнитуда возможного ЗМТ;
 D — максимальная протяженность ОС [км] над активной сейсмотектонической областью;
 D_0 — эталонное облако протяженностью 1 км, полученное теоретически и подтвержденное модельными экспериментами.

ОС используются также для локализации в сторону увеличения или уменьшения выявленной по сейсмомагнитным меридианам 7-градусной зоны возможного ЗМТ.

В базе данных НЦ ОМЗ накоплены тематически обработанные спутниковые данные облачных структур с сейсмопризнаками по наиболее мощным и катастрофическим ЗМТ 2002–2010 гг.

Приведенные формулы, логические схемы, методики выявления признаков используются в экспертной системе ГИС.

ПОДСИСТЕМА ГИС КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗМТ

Методика выявления сейсмопризнаков, расчет параметров возможного ЗМТ, планирование применения средств мониторинга и получения данных осуществляются в НЦ ОМЗ в среде разработанной автором подси-

стемы ГИС. В ней анализируется гелиогеофизическая обстановка, направленность сейсмического процесса, положение сейсмомагнитных меридианов относительно сейсмотектонических зон. Особую роль играет анализ ОС на основе снимков со спутников Meteosat, MTSAT, NOAA, Terra, Aqua и др.

В качестве средства реализации ГИС используется ГИС-приложение ArcGIS 9.3.1, в котором проводится сбор данных, а также анализ и оценка сейсмической ситуации, мониторинг и прогнозирование ЗМТ. На рис. 1 показана структурная схема ГИС для решения задач мониторинга и прогноза ЗМТ, используемая в НЦ ОМЗ.

В рамках решения задач мониторинга землетрясений, анализа и оценки сейсмической обстановки и прогнозирования ЗМТ используются следующие пространственные данные (слои ГИС):

- Цифровые карты: а) картографическая основа в проекции Меркатора, в качестве которой используется карта мира, поставляемая с пакетом ArcGIS, на которую наносят все данные, применяемые для создания подсистемы ГИС как составной части методики прогнозирования ЗМТ; б) карты границ литосферных плит различного ранга, а также карты разломов. Источником данных служит векторная карта-модель литосферных плит (Plate Boundary Model PB2002) П. Берда, векторизованная схема глубинных разломов территории бывшего СССР (карта 1977 г.), векторизованные карты других зон Земли.
- Регулярно пополняемая и поддерживаемая база данных (БД) ЗМТ. В ней содержатся сведения о произошедших ЗМТ; источник: сайт Геологической службы США (USGS) и Европейского сейсмологического центра (EMSC).
- Цифровые космические снимки облачного покрова с различных спутников (Terra, Aqua, Meteosat, MTSAT-1R и др.), по которым исследуются методом визуального компьютерного дешифрирования облачные сейсмотектонические индикаторы.
- База данных сейсмомагнитных меридианов, которая используется для расчета потенциаль-



Рис.1.
Структурная схема ГИС для решения задач мониторинга и прогноза землетрясений

ных зон риска ЗМТ. В НЦ ОМЗ регулярно создаются карты магнитных меридианов для всей Земли на конкретные даты. По этим данным выявляются предварительные зоны возможных ЗМТ.

- База данных наземных измерений, содержащая гравиметрические, теллурические, протонные данные.

К продуктам ГИС для решения задач мониторинга и прогнозирования ЗМТ относятся карты-схемы краткосрочного прогноза на расчетные даты. Эти карты-схемы, помимо основной карты зон потенциальной сейсмической опасности, включают врезки в виде графиков геофизических данных с выделенными аномалиями, космические снимки с ОС, сейсмомагнитные меридианы, карты границ плит и разломов.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА

Интеграция ГИС и экспертных систем (ЭС) открывает широкие возможности для оперативного анализа различных процессов и явлений [7], в частности при

прогнозе ЗМТ. По существу формализация закономерностей (пп. 1–7) концепции сейсмогенеза, выявление облачных и других сейсмоиндикаторов составляют алгоритмическую, логико-функциональную суть разрабатываемой экспертной системы. При этом автоматизация поиска и выделения на космоснимках облачных структур с сейсмопризнаками является наиболее сложной и трудноформализуемой задачей. И это несмотря на то, что математические методы распознавания образов достаточно хорошо разработаны. Вся проблема заключается в выборе и математическом описании классов признаков ОС и организации соответствующих решающих правил, позволяющих идентифицировать ОС и отнести их к определенному классу. Экспертами НЦ ОМЗ таких классов признаков сформировано более 7. На данном этапе разработки ЭС удается небезуспешно определять места возможных ЗМТ, рассчитывать потенциальные магнитуды по любому сейсмоопасному региону мира. На рис. 2 приведена сюжетная линия анализа экспертной системы.

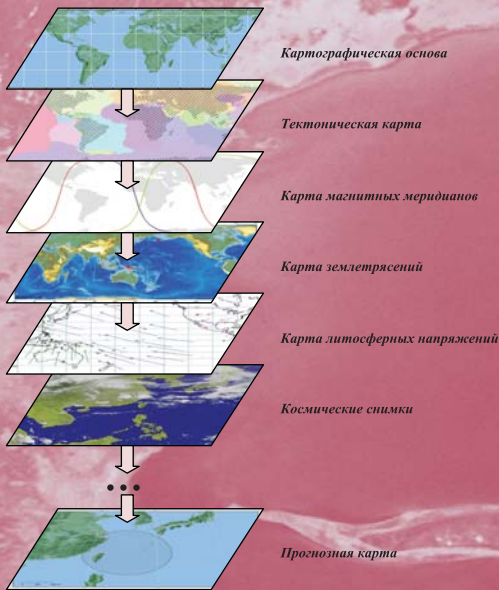


Рис. 2. Сюжетная линия анализа ЭСмониторинга и прогноза землетрясений.

РЕАЛИЗАЦИЯ ГИС В РОССИЙСКО-ТАЙВАНЬСКОМ СЕЙСМОПРОГНОЗНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В качестве примера применения ГИС, проверки основных закономерностей концепции сейсмогенеза приведем результаты прогнозного эксперимента по сейсмотектонической зоне Юго-Восточной Азии. Эксперимент проводился группой российских исследователей, в состав которой входил и автор статьи, с октября 2009 г. по май 2010 г. Результаты эксперимента удивили даже его участников: пять последовательных успешных реализаций заявленных в прогнозах сейсмических событий с магнитудой $M6.0+$, попавших в прогнозную зону радиусом, равным 7° , при одном пропуске события – 19.12.2009 г. с магнитудой $M6.4$.

На рис. 3 представлена оперативная прогнозная карта перед ЗМТ 03.10.2009 г. на о. Тайвань с магнитудой $M6.0$, полученная с помощью разработанной подсистемы ГИС. Расшифровка основных условных

обозначений приведена в легенде карты. Прогнозные параметры были следующими: дата до 5-го октября, зона радиусом 7° , возможная магнитуда $M6.5$. Прогноз передан тайваньским коллегам за неделю до события, после чего начался совместный эксперимент.

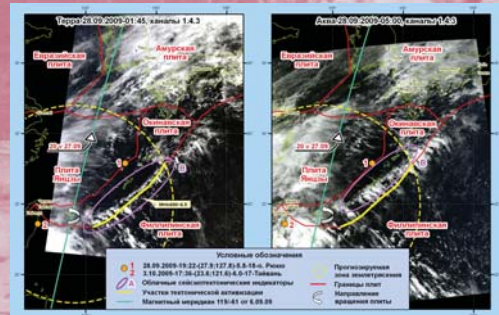


Рис. 3. Прогнозная карта по Тайваньско-Окинавской зоне, созданная в подсистеме ГИС

ПЕРВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗА

О напряженной геофизической обстановке на Филиппинской плите сигнализировала серия из 4 тайфунов в сентябре-октябре и ЗМТ на о. Рюкю 30.10.2009 г. с $M6.8$. Совокупность аномальных признаков на Тульской гравиметрической станции, электротел-лурики в Греции, георотационных параметров и протонов на Камчатской станции, выявленных одновременно 27.10.2009 г., указала на подготовку мощного ЗМТ. Облачные сейсмоиндикаторы, динамика и параметры которых представлены на рис. 4 по космоснимкам MTSAT за 31.10.2009 г. над Филиппинской плитой, также указывали на подготовку сильного ЗМТ.

Первая группа ОС появилась 31.10.2009 г. над северной оконечностью главного филиппинского сдвига в 02:00-05:00 UT (снимки 1–4). ОС продолжали появляться над Филиппинами 02-03.11.2009 г. в интервале 22:30-02:00 UT. Протяженность ОС вдоль северного участка Манильского желоба, равная 400 км, давала потенциальную магнитуду $M = \ln 400 - 5.9$.

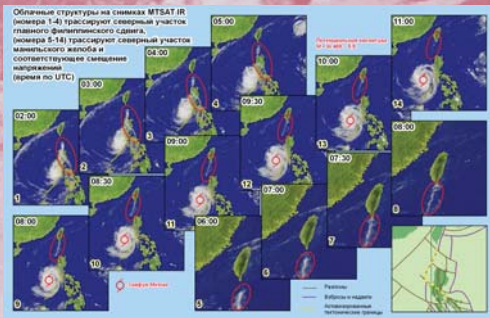


Рис.4.
Динамика облачных сейсмоиндикаторов в Тайваньско-Филиппинской зоне

Реальная магнитуда по разным источникам (USGS, EMSC, CWB) была 5.8-6.0, что оказалось в пределах точности метода $\pm 0,2$ для прогнозируемых магнитуд.

Возможными датами событий в расчетах по сейсмомагнитным меридианам (проекции геомагнитных силовых трубок на моменты начала 23.10.2009 г. и 30.10.2009 г. геомагнитных возмущений) в соответствии с закономерностью 7 концепции могли быть числа 6, 13 или 20 ноября ± 2 суток. Реальное событие произошло 5 ноября, совпав в пределах точности метода по дате. Таким образом, прогноз оправдался по дате, месту и магнитуде.

Данный прогноз был выставлен на сайте НЦ ОМЗ 3 ноября 2009 г. (<http://www.ntsomz.ru/projects/earthquake>) и представлен в виде упреждающего доклада-презентации в Тайваньском университете 4 ноября 2009 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная подсистема ГИС позволяет разрабатывать тематические продукты сеймопрогнозного профиля по заявкам потребителей практически для любого сейсмоопасного региона Земли. В дальнейшем предполагается создать web-оболочку ГИС на сайте НЦ ОМЗ, которая предоставит возможность удаленному пользователю не только получать собственно готовые

тематические продукты, но и самому создавать в интерактивном режиме прогнозные либо ретроспективные карты на любую заявленную сейсмоопасную зону. При появлении новых геофизических данных или объектов анализа в подсистеме ГИС имеется возможность наращивания информационных слоев с целью получения новых признаков или других элементов для анализа и прогноза сейсмической обстановки.

Список литературы

1. Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений//Наука в России, 2009, № 6, с. 30-37.
2. Мартынов О.В. Концепция прогноза природных катастроф и практические результаты, полученные на основе аппарата нелинейной физики, математики и данных системы//Нелинейный мир, 2008, № 10, т. 6, с. 579-615.
3. Ларин В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли.—М.: Недра, 1980, 216 с.
4. Кузнецов Д.А. Протонно-электрическая подготовка и запуск полиморфного вскипания протонов в очаге землетрясения. Дел. в ВИНТИ, 28.03.91, № 1371-В91, 40 с.
5. Морозова Л.И. Спутниковый мониторинг землетрясений. — Владивосток: Дальнаука, 2005, 137 с.
6. Дода Л.Н. Геосейсмическое эхо солнечных бурь, или землетрясения рождаются на Солнце.//Новости космонавтики, 2003, № 6, с. 56-59.
7. Лурье И.К. Основы геоинформатики и создание ГИС. М.: Изд-во ООО ИНЭКС-92, 2002, 140 с.

Info 2010
trans

XV Международная конференция

ИНФОТРАНС2010

«Информационные технологии
на железнодорожном транспорте»

Генеральный партнер



Стратегический партнер

**DIGITAL
DESIGN**
the digital way forward

26-29 октября 2010

Санкт-Петербург

«Холмдей Инн Санкт-Петербург
Московские ворота»

Организатор



БИЗНЕС
ДИАЛОГ

При поддержке

news

Генеральные
информационные партнеры

РЖД ПАРТНЕР ГИЛОК

По вопросам участия и спонсорства: тел.: +7 (495) 988-18-00, факс: +7 (495) 624-59-32