

ГИС-ПЛАТФОРМА МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ПОЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Гитис В.Г.¹, Дерендяев А.Б.¹, Салтыков В.А.²

¹Институт проблем передачи информации (ИППИ) им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва, gitis@iitp.ru,

²Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

Введение

Ряд сайтов предоставляют в реальном времени данные сейсмического мониторинга: поля эпицентров землетрясений, параметры их механизмов и записи сейсмограмм. Эти данные характеризуют каждое отдельное землетрясение и качественно показывают распределение сейсмичности. Для более глубокого анализа сейсмического процесса этих данных недостаточно. В них отсутствуют параметрические поля, которые отображают поведение процесса в пространстве и во времени.

Мы предлагаем технологию, которая дополняет имеющиеся данные мониторинга аналитикой пространственно-временных параметров сейсмических полей. Технология реализована на платформе, состоящей из двух сетевых ГИС. Наглядный экспресс-анализ сейсмичности обеспечивается с помощью ГИС SeismoMap, а детальный анализ этого же сейсмического процесса выполняется пользователем с помощью ГИС ГеоТайм 3.

Прототип этой платформы предназначен для мониторинга и анализа полей сейсмической активности 24 регионов. Он установлен на сайтах ИППИ РАН <http://dcs.isa.ru/geo/2/> и Камчатского филиала Геофизической службы РАН <http://saltlab.emsd.ru/server2/>.

ГИС SeismoMap

ГИС SeismoMap реализована в клиент-серверной архитектуре с тонким клиентом. Она выполняет экспресс-анализ сейсмической активности в географическом контексте Google Maps API и предназначена как для специалистов, так и для широкого круга пользователей сети Интернет.

ГИС SeismoMap для каждого региона ежедневно считывает региональный каталог землетрясений с одного из сайтов <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/feed/>, www.isc.ac.uk, <http://geonet.org.nz>, <http://www.emsd.ru/ts/alldemo.php> и вычисляет пространственно-временные (3D) сейсмические поля: (1) поле фоновой сейсмической активности, (2) поле текущей сейсмической активности и (3) поле изменения (аномалий) текущей сейсмической активности по сравнению с фоновой (поле статистической разладки сейсмической активности). Алгоритм вычисления пространственно-временных полей сейсмической активности выполняется в два шага: (1) Оценивание 3D поля плотности эпицентров для заданной представительной магнитуды, (2) Вычисление 3D поля сейсмической активности для фиксированного значения наклона графика повторяемости b -value=1.

Оценивание 3D поля плотности эпицентров выполнялось с помощью метода локально-ядерной регрессии:

$$\lambda = \frac{1}{\pi R^2 T \text{th}(\varepsilon^2) \text{th}(\varepsilon)} \sum_{m_n \geq m_0} \frac{1}{\text{ch}^2\left(\frac{r_n}{R}\right)^2 \text{ch}^2\left(\frac{t_n}{T}\right)}$$

где λ – значение плотности эпицентров в точке поля, m_n – магнитуда землетрясения, превышающая представительную магнитуду m_0 , $r_n < R\varepsilon$ и $t_n < T\varepsilon$ are расстояние и временной интервал между n -м эпицентром землетрясения и узлом 3D сетки поля соответственно, $\varepsilon=2$, $R=50$ км, $T=100$ дней. Поле сейсмической активности вычисляется для магнитуды $m_A=4$ и магнитудного интервала $\delta m=1$ по стандартной формуле.

Для оценивания поля аномалий сейсмической активности используется t -статистика

$$t = (A_2 - A_1) \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{(n_1 + n_2)(s_1^2 + s_2^2)}}$$

где: n_1 и n_2 – количество временных срезов полей сейсмической активности, относящихся к интервалам $T_1=730$ дней и $T_2=60$ дней соответственно, A_1 и A_2 – средние значения сейсмической активности на интервалах T_1 и T_2 , s_1 и s_2 are суммы квадратов отклонений сейсмической активности от

средних значений. Если статистика близка к 0, то средние значения сейсмической активности на интервалах T_1 и T_2 не изменялись по сравнению с ее среднеквадратическими отклонениями. Чем больше величина статистики $|t|$, тем с большей уверенностью можно предполагать, что сейсмичность на интервале T_2 значительно изменилась по отношению к интервалу T_1 .

В ГИС SeismoMap временные срезы перечисленных 3D полей представлены в виде соответствующих карт. Примеры этих карт показаны на рис. 1. Кроме того, в верхних частях рис. 1А и 1В можно видеть окна выбора типа и даты карт. На рис. 1С показаны эпицентры землетрясений за последние 2 месяца до даты карты и окно с атрибутивными значениями одного из эпицентров.

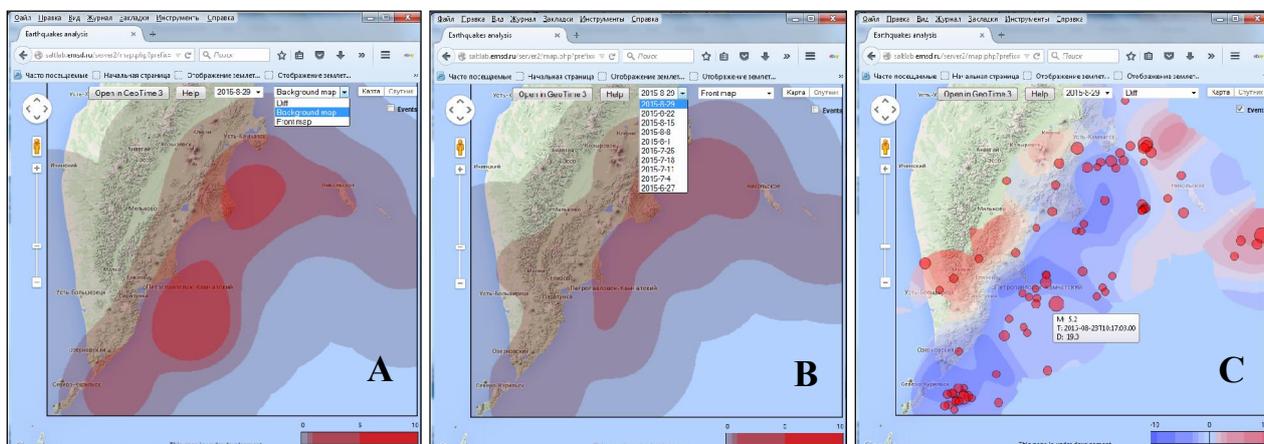


Рис. 1. Представление в ГИС SeismoMap временных срезов сейсмических полей на 29.08.2015: А – карта фоновой сейсмической активности, В – карта текущей сейсмической активности, С – карта изменения сейсмической активности.

На рис. 2 дан пример применения ГИС SeismoMap для экспресс-анализа предвестника землетрясения с магнитудой $M=6.1$, которое произошло 24.09.2014 в Калифорнии. На рисунке представлена последовательность из карт шести временных срезов 3D поля аномалий, которые следуют с интервалом в одну неделю. Можно видеть, что за полтора месяца до землетрясения начинает формироваться аномалия. Синие тона аномальной области указывают, что сейсмическая активность по сравнению с фоновым значением уменьшается. Далее на срезах видно, что площадь аномалии уменьшается, и она стягивается к месту, где впоследствии появился эпицентр землетрясения, показанный на рисунке с датой 26.08.2014. наибольшим кружком.

ГИС GeoТайм 3

ГИС GeoТайм 3 запускается из SeismoMap с теми же исходными данными, для которых был выполнен экспресс-анализ. ГИС GeoТайм 3 реализована в клиент-серверной архитектуре Java Web Start с толстым клиентом. Она предназначена для специалистов в области наук о Земле.

Исследования в области геоинформационного анализа пространственно-временных процессов были начаты в ИППИ РАН в начале 90-х годов [1]. Предполагалось, что предвестники природных катастроф образуют области аномальных сигналов, которые синхронизированы в пространстве и во времени. Поэтому основная идея анализа состояла в том, чтобы представлять динамику процессов не только отдельными временными рядами, но и временными полями, представляющими собой 3D (или 4D) сеточные функции с двумя (или тремя) пространственными и одной временной координатами. Эта новая в то время идея была реализована в настольной версии ГИС GeoТайм (1991 г.) и далее развита в сетевых версиях ГИС GeoТайм (версии 2 и 3, <http://www.geo.iitp.ru/geotime/index.htm> и <http://www.geo.iitp.ru/GT3>) и GeoЕСИМО (<http://www.geo.iitp.ru/esimo/>).

Описание архитектуры и функционала этих систем дается в [1,2,3,4]. Здесь мы рассмотрим только результаты применения ГИС GeoТайм 3 для ретроспективного анализа предвестника землетрясения в Японии $M=6.8$, 11.07.2014. Для анализа использовались данные, которые перед землетрясением поступали на вход ГИС SeismoMap. Каталог землетрясений состоял из событий 2975 с магнитудами от 4 до 7.4 произошедших от 05.01.2012 до 11.07.2014. На рисунке показаны карты шести синхронных временных срезов двух полей: поля эпицентров землетрясений и 3D поля аномалий. Аномалия появилась за 5 месяцев до землетрясения. Показанные эпицентры землетрясений относятся к скользящему интервалу в 30 дней. Конец этого интервала совпадает с

моментом временного среза поля аномалий. На последнем временном срезе желтый кружок – эпицентр прогнозируемого землетрясения.

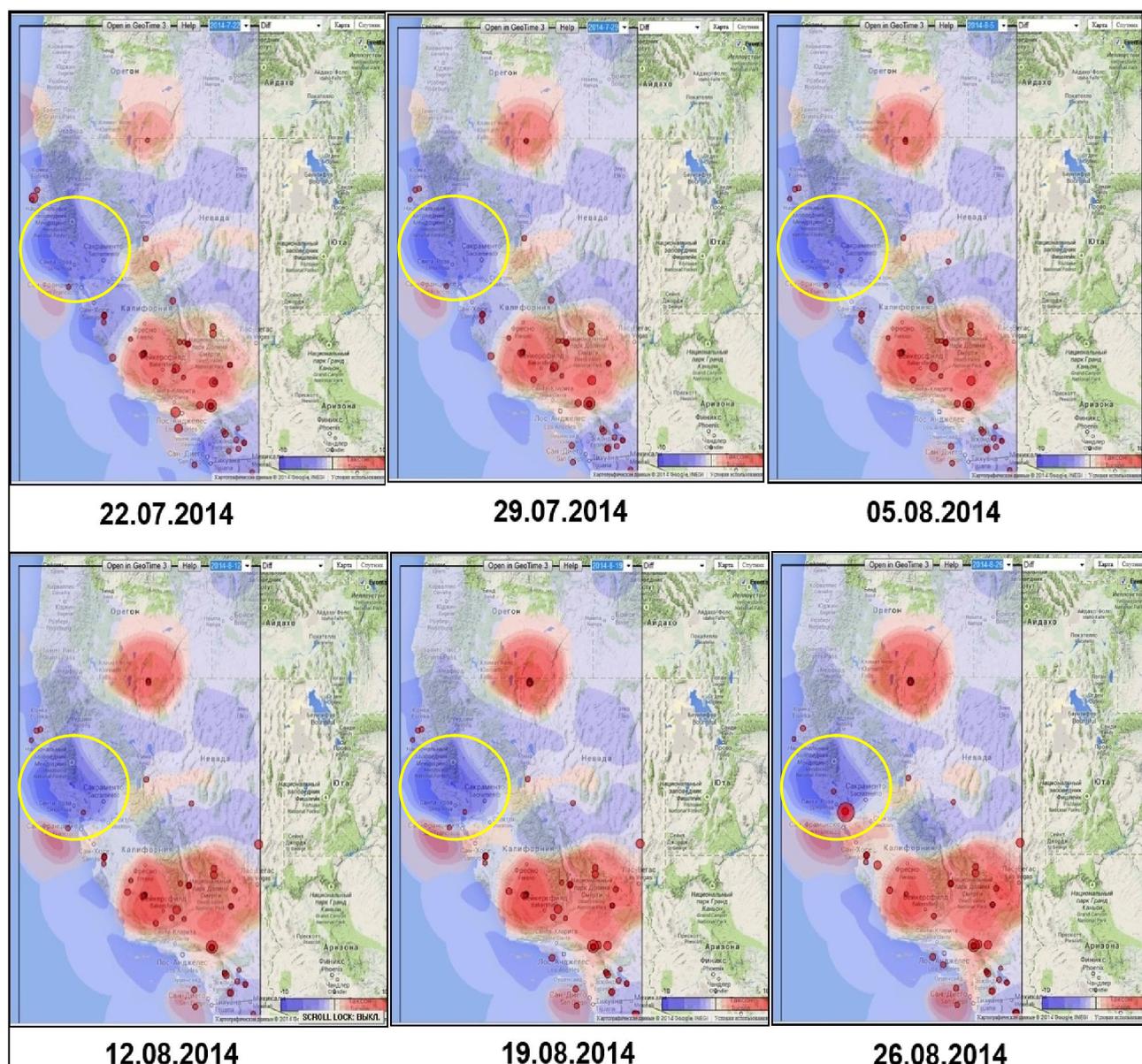


Рис. 2. Карты временных срезов 3D поля аномалий и эпицентры землетрясений, произошедших за 2 месяца до даты карты. На карте от 26.08.2014 в аномальной области (большой круг) находится эпицентр Калифорнийского землетрясения с магнитудой $M=6.1$, которое произошло 24.09.2014.

Заключение

ГИС-платформа представляет новую технологию, предназначенную для мониторинга, анализа и прогноза состояния природной среды. Данная реализация платформы обеспечивает информационные ресурсы и инструментальные средства для анализа сейсмического процесса. Технология платформы основана на идее двухуровневого анализа данных. Технология обладает двумя достоинствами: (1) простотой настройки на новую предметную область анализируемых процессов, на новые серверы информационных и вычислительных ресурсов и на новый регион и (2) сочетанием интерактивного экспресс анализа, поддерживаемого интуитивно понятными операциями и упрощенным интерфейсом пользователя, с детальным комплексным анализом пространственно-временных процессов, предназначенным для специалистов.

Следующие версии данной технологии позволят получать информацию мониторинга не только в результате автоматического опроса удаленных серверов, но и предоставят возможность авторизованным пользователям обновлять динамические данные по их запросу, а также формировать задания для вычислений на удаленных Расчетно-Модельных Комплексах.

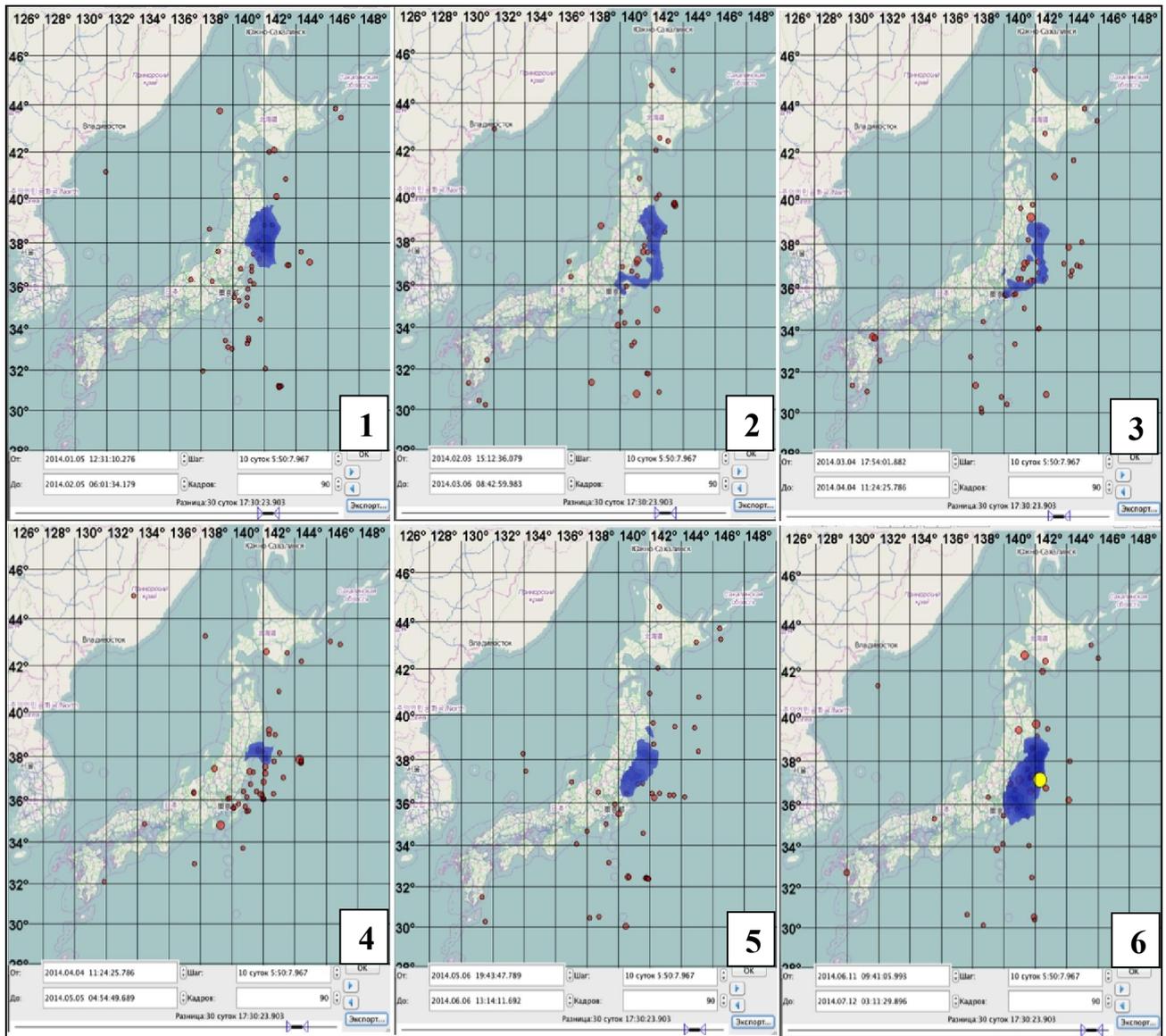


Рис. 3. Карты временных срезов поля эпицентров землетрясений и поля аномалии. Внизу слайдер синхронной анимации полей. (1) аномалия 05.02.2014, эпицентры 05.01.2014-05.02.2014; (2) аномалия 06.03.2014, эпицентры 03.02.2014-06.03.2014; (3) аномалия 04.04.2014, эпицентры 04.03.2014-04.04.2014; (4) аномалия 05.05.2014, эпицентры 04.04.2014-05.05.2014; (5) аномалия 06.06.2014, эпицентры 06.05.2014-06.06.2014; (6) аномалия 12.07.2014, эпицентры 11.06.2014-12.07.2014. Большой кружок на последнем слайде – эпицентр прогнозируемого землетрясения.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 14-07-00035 «Разработка сетевой технологии и системы мониторинга и анализа сейсмических полей».

Список литературы

1. Гитис В. Г., Ермаков Б. В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. М.: Физматлит, 2004.
2. Гитис В.Г. Геоинформационные технологии для научных исследований // Вестник РФФИ, №2-3 (70-71), апрель-сентябрь 2011, С. 13-32.
3. Gitis V., Derendyaev A., Metrikov P., Shogin A. Network geoinformation technology for seismic hazard research. // Natural Hazards: Volume 62, Issue 3. 2012. Pp. 1021-1036.
4. Gitis V.G., Derendyaev A.B., Weinstock A.P. Web-Based Geographic Information Technologies for Environmental Monitoring and Analysis // Computational Science and Its Applications–ICCSA 2015. Springer International Publishing. 2015. Pp. 698-712.