

ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Салтыков В.А, Воропаев П.В.

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

Введение

В Камчатский филиал экспертного совета по прогнозу землетрясений (КФ РЭС) регулярно поступают сейсмические прогнозы для региона Камчатского края и сопредельных территорий. Поданные прогнозы основываются на различных физических методах, имеют многообразную пространственно-временную реализацию, включают в себя оценки для широкого диапазона энергетических классов и магнитуд. При рассмотрении прогнозов часто возникает ситуация наложения прогнозных зон друг на друга в пространстве и времени, что вызывает необходимость комплексного анализа сейсмической обстановки.

Осложняющим моментом при комплексном анализе является неоднородность прогнозов, под которой понимается различие выделяемых пространственных объемов и временных интервалов, диапазонов магнитуд, вероятностей реализации прогноза (или эффективностей предвестника). В данной работе предложен подход к проблеме комплексирования при прогнозе землетрясений, заключающийся в разбиении пересекающихся пространственно-временных прогнозных областей на производные зоны с последующим вычислением вероятности землетрясения для каждой из них.

Параметры сейсмических прогнозов

Сейсмические прогнозы характеризуются следующими категориями: время (даты начала и конца прогноза), пространство (пространственная область, интервал глубин), энергия (интервал энергетических классов и магнитуд), вероятность реализации, эффективность предвестника.

Вероятность землетрясения в прогнозном зоне

Рассматривая сейсмический процесс как пуассоновский поток, для каждой пространственно-временной зоны вероятность землетрясения P определяется следующим образом:

$$P = 1 - e^{-\lambda t}$$

где λ – интенсивность пуассоновского потока (среднее число событий, которые проявляются в единицу времени), вычисляется на основании выборки землетрясений из сейсмического каталога КФ ФИЦ ЕГС РАН, соответствующей параметрам прогноза; t – рассматриваемый временной интервал; J – величина эффективности прогнозных методик, предложенная А.А. Гусевым [1], она показывает во сколько раз количество спрогнозированных землетрясений превышает число попавших в тревожное время случайным образом, и вычисляется по следующей формуле:

$$J = \frac{N_+}{N \cdot \frac{T_{alarm}}{T}}$$

где N_+ – количество землетрясений соответствующих успешному прогнозу, N – общее количество землетрясений с параметрами, соответствующими прогнозу, T_{alarm} – время тревоги, T – время мониторинга сейсмичности по данному методу. В случае пространственного наложения прогнозных зон, соответствующих разным методикам, величина J определяется как произведение эффективностей прогнозных методик пересекающихся зон.

Пересечение прогнозных зон в пространстве и времени

На рисунке 1 представлен пример пересечения двух прогнозных зон, с обозначением соответствующих прогнозных параметров.

Прогнозная зона 1

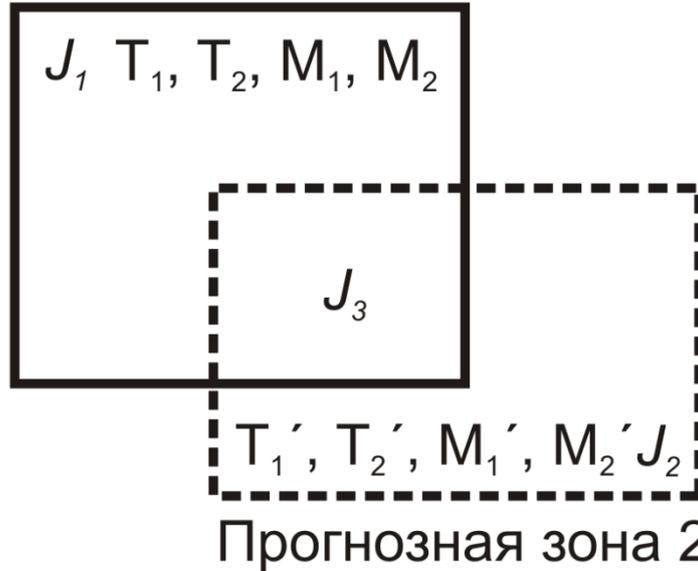


Рис. 1. Пример пересечения в пространстве двух прогнозных зон с образованием в месте пересечения третьей зоны. Прогнозные параметры: T_1 – дата начала прогноза; T_2 – дата конца прогноза; M_1 – минимальное значение магнитуды; M_2 – максимальное значение магнитуды; J_1, J_2, J_3 – эффективности прогнозных методик. При совпадении временных и магнитудных диапазонов первой и второй зоны эффективность в пространственной зоне пересечения $J_3 = J_1 \cdot J_2$.

Определим производные зоны, возникающие в результате пересечения вышеприведенных зон при условии, когда дата начала прогнозной зоны 2 находится во временном интервале существования прогнозной зоны 1, а дата конца прогнозной зоны 2 больше даты конца прогнозной зоны 1. При этом минимальное значение магнитуды зоны 2 лежит в интервале магнитуд зоны 1: $T_1 < T_1' < T_2 < T_2'$, $M_1 < M_1' < M_2 < M_2'$. В результате образуется семь производных зон (рис. 2). Контуры зон 1, 2, 6, 7 имеют уникальную пространственную конфигурацию, и наследуют значения J от изначальных прогнозных зон. Зоны 3, 4 и 5 совпадают в пространстве и времени, но обладают различными интервалами магнитуд. Пересечение исходных прогнозных зон по всем параметрам справедливо только для зоны 4, поэтому ее прогнозная эффективность определяется как произведение эффективностей исходных зон.

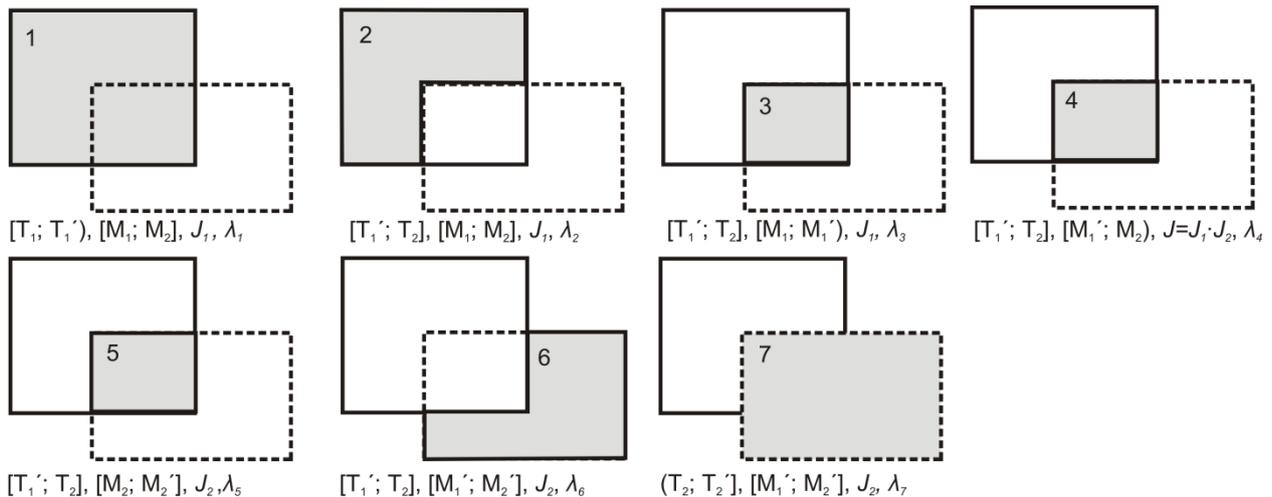


Рис. 2. Производные прогнозные зоны, образующиеся в результате пересечения двух пространственно-временных зон.

Случай пересечения в пространстве и времени трех и более прогнозных зон принципиально не отличается от рассмотренного выше. Однако количество производных зон значительно возрастает, что влечет за собой необходимость машинных вычислений.

Программа вычисления вероятности землетрясения на основании данных сейсмических прогнозов

В лаборатории сейсмического мониторинга Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН идет разработка системы вычисления вероятности землетрясения на основании сейсмических прогнозов для Камчатского края, поступающих в КФ РЭС. Данная система реализована в виде компьютерной программы для персонального компьютера с операционной системой семейства Windows.

Программа написана на языке С#. Одним из компонентов системы является база данных формализованных сейсмических прогнозов на основе СУБД MS Access, которая содержит в себе следующие основные параметры: период прогноза, названия мест реализации прогноза и координаты контуров, диапазон энергетических классов и магнитуд, описание методик прогноза и величину их эффективности J .

Функциональные средства программы позволяют пользователю работать с базой данных сейсмических прогнозов.

Вычисление вероятности землетрясения для заданной пространственно-временной области производится на основании содержащейся в базе данных информации по следующему алгоритму: для заданного пользователем периода времени производится выборка сейсмических прогнозов; определяются пространственные области соответствующие выборке прогнозов; в случае пересечения ранее определенных пространственных областей вычисляются их производные области; на основании сейсмического каталога ФИЦ ЕГС РАН и заданных параметров прогноза для каждой пространственной области, вычисляется интенсивность λ ; с использованием ранее полученных значений J и λ , и заданного интервала времени вычисляется вероятность землетрясения для каждой пространственно-временной области; результаты вычисления выводятся на экран и записываются в текстовый файл.

В программе имеются средства графического представления результатов вычисления в виде карт прогнозных областей, с возможностью сохранения в графические файлы. В качестве источника картографических данных выбран сервис Google Maps.

Программа снабжена интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, в основе которого лежит графический интерфейс пользователя (GUI) операционной системы MS Windows. Основными функциональными объектами интерфейса пользователя являются следующие элементы: многодокументный интерфейс (MDI), выпадающие и контекстные меню, диалоговые окна и строка состояния. Выпадающее меню расположено в верхней части главного окна. Диалоговые окна вызываются при нажатии на соответствующие пункты главного меню, и могут свободно размещаться по всему пространству родительской формы. Строка состояния расположена в нижней части главного окна.

По функциональному назначению дочерние окна подразделяются на две категории: взаимодействие с базой данных, вычисления и представления результатов.

Основная информация о сейсмических прогнозах выводится в форме "Список прогнозов" (рис. 3-5). В этой форме данные представлены в виде таблиц. Первая таблица включает в себя следующие колонки: код прогноза, название методики прогнозирования, даты начала и конца прогноза, интервалы глубин, энергетических классов и магнитуд прогнозируемого землетрясения. Вторая таблица выводит список зон реализации сейсмического прогноза. Ввод нового прогноза в базу данных производится путем заполнения полей формы "Добавить прогноз" (рис. 3-1). Список прогнозных зон, содержащихся в базе данных, можно просмотреть в форме "Прогнозные зоны" (рис. 3-2). Данная форма выводит в виде таблиц названия зон прогноза и список координат узловых точек контура зоны (в текущей версии программы все прогнозные зоны задаются в виде полигональных областей). Добавление новых прогнозных зон производится в соответствующей форме (рис. 3-3). Форма "Список методик прогноза" (рис. 3-4) выводит таблицу, содержащую название, краткое описание и значение эффективности методики J .

Для проведения необходимых вычислений пользователь должен ввести исходные данные сейсмических прогнозов с помощью форм представленных на рисунке 3. Искомый период времени, для которого необходимо определить существующие прогнозные зоны и соответствующие им вероятности, задается пользователем в соответствующей форме (рис. 3-8). Результаты вычисления выводятся в текстовом виде (рис. 3-7) и изображаются графически в виде карты в соответствующем окне (рис. 3-6).

Пользователь имеет возможность составить отчет в виде файла формата MS Word, включающий в себя следующую информацию: порядковый номер, название, изображение на карте, интервал энергетических классов, время существования, координаты узловых точек контура прогнозной зоны, значения P и λ (рис. 4).

№	Карта	Характеристика зоны	Координаты узловых точек контура зоны	
1		Название зоны: Южная Камчатка Интервал классов: $11 \leq K < 20$ Дата начала прогноза: 23.02.2017 0:00:00 Дата конца прогноза: 11.03.2017 0:00:00 Вероятность землетрясения $P=0.0923771606022479$	Широта 50.88 52.81 52.54 52 51.54	Долгота 156.72 156.11 158.52 158.32 157.82
2		Название зоны: (Тестовая зона 1) and (Тестовая зона 2) Интервал классов: $12 \leq K < 13$ Дата начала прогноза: 28.02.2017 0:00:00 Дата конца прогноза: 10.03.2017 0:00:00 Вероятность землетрясения $P=0.0389452682928799$	Широта 54 54 55 55	Долгота 162 160 160 162

Рис. 4. Внешний вид отчета результатов вычислений, формируемого программой.

Заключение

Предложен подход к проблеме комплексирования при прогнозе землетрясений, заключающийся в выделении производных прогнозных зон в случае пространственно-временного пересечения исходных, с последующим вычисление искомых параметров.

В Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН разрабатывается и тестируется компьютерная программа вычисления вероятности землетрясения для региона Камчатки на основании данных сейсмических прогнозов. В настоящее время программа проходит апробацию, идет процесс выявления ошибок, расширения функциональных возможностей и улучшения пользовательского интерфейса.

Список литературы

1. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109–119.