

УДК 550.34:681.3

© А.В. Михеева, П.Г. Дядьков, А.Г. Марчук

*А.В. Михеева, П.Г. Дядьков, А.Г. Марчук*

# ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА GIS-EEDB И МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

## Введение

Разработка и создание геоинформационной системы GIS-EEDB обусловлены необходимостью решения ряда практических и фундаментальных задач, связанных с изучением современного сейсмогеодинамического процесса на разных масштабных уровнях – от локального до глобального.

Хотя в настоящее время известен достаточно широкий диапазон программных продуктов и алгоритмов комплексного анализа сейсмического процесса [1, 2], большинство из них отличается направленностью на решение специализированных задач, например, прогнозных [3, 4, 5], выявление тектонических структур [6, 7]. Часто их применение в рамках конкретного продукта ограничено территориально и не позволяет быстро переходить на более высокий масштабный уровень [1, 8]. При этом не всегда реализуются современные возможности информационного обеспечения, такие как оперативный доступ ко многим каталогам землетрясений, высокая степень детальности географических данных, которые при исследованиях в планетарном масштабе составляют наиболее весомую часть информационного обеспечения и требуют решения проблемы их хранения, представления и анализа. Не в полной мере используются возможности ГИС-технологий, которые формируют основу картографо-геоинформационного подхода к исследованию сейсмологической информации. Недостаточно полно используются инструментальные объектно-ориентированные программные среды, являющиеся удобным и эффективным средством разработки дружественного системного интерфейса. Не всегда используется единый интерфейс, объединяющий алгоритмы предобработки данных и функции их анализа в единой программной системе.

Отсутствие на данный момент достаточно универсального программного обеспечения для изучения сейсмогеодинамического режима и процессов подготовки землетрясений на разных масштабных уровнях и необходимость всестороннего детального исследования сейсмического режима южных

районов Сибири и центральной Азии заставили нас начать работу по созданию собственной, более актуальной геоинформационной системы исследования сейсмогеодинамического процесса. К настоящему времени данная система создана и функционирует в лаборатории естественных геофизических полей ИНГГ СО РАН, позволяя проводить коллективные многоплановые и разномасштабные исследования в этой области.

Логическая структура GIS-EEDB представляет совокупность взаимодействующих между собой программных блоков: сейсмологической базы данных, географической подсистемы и подсистемы анализа данных (рис. 1), объединенных интерфейсной частью. Подобную структуру имели и предшествующие системе GIS-EEDB прототипы, разработанные ранее при участии одного из авторов в применении к другим задачам, в частности по проблеме цунами в Тихом океане [9, 10].

Интерфейсная часть системы претерпела значительные изменения в процессе разработки системы: от функционирующей в среде MS-DOS и созданной средствами Turbo-Pascal графической оболочки, ограниченной разрешающими способностями графических адаптеров EGA и VGA, до отвечающей современным стандартам Windows системы меню и диалоговых окон (рис. 2), создаваемой средствами библиотеки MFC. Среда, образуемая классами этой библиотеки, определяет скелет разрабатываемого приложения и обеспечивает разработчика стандартными средствами создания многооконного интерфейса. Высокой оценки заслуживает программистский вклад студентов Высшего колледжа информатики НГУ – Александра Лысковского, Екатерины Черных и Дениса Ивайкина – при создании первого прототипа пользовательского интерфейса в Windows-95 и переводе географической части программного пакета EEDB в коды C++ [10].

В настоящее время А.В. Михеевой осуществляется адаптация всех подсистем GIS-EEDB к 64-разрядной платформе и разработка новой версии пакета для Windows 7 и 8.

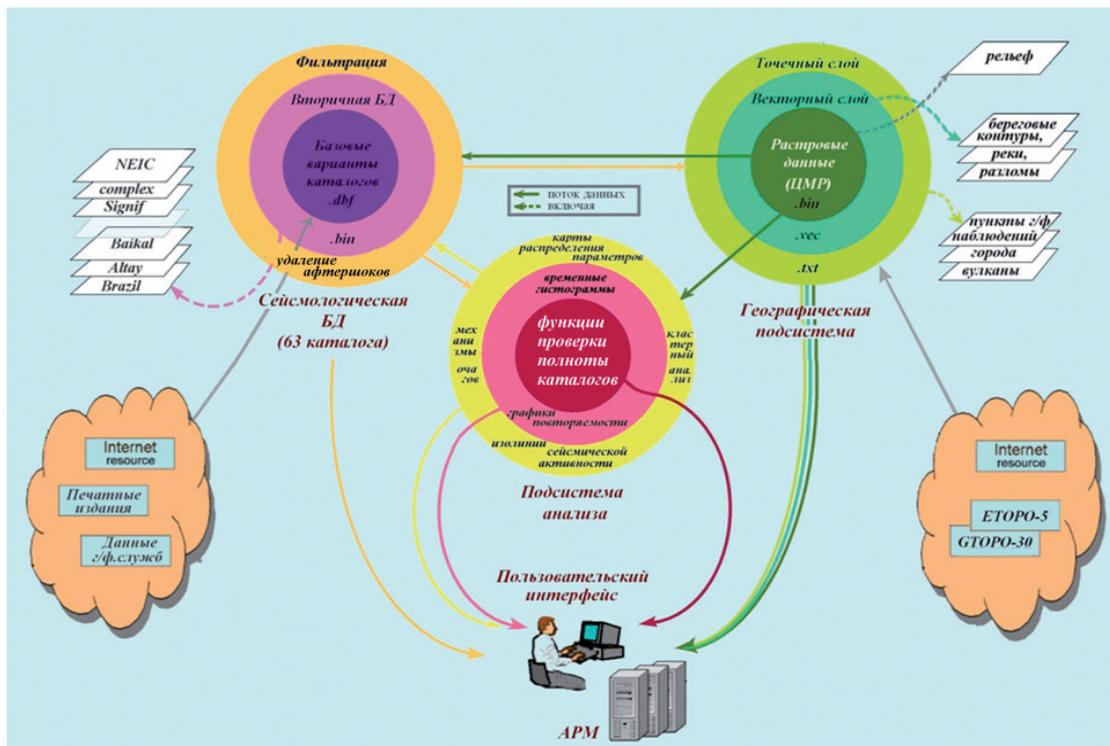


Рис. 1. Логическая структура программного обеспечения GIS-EEDB

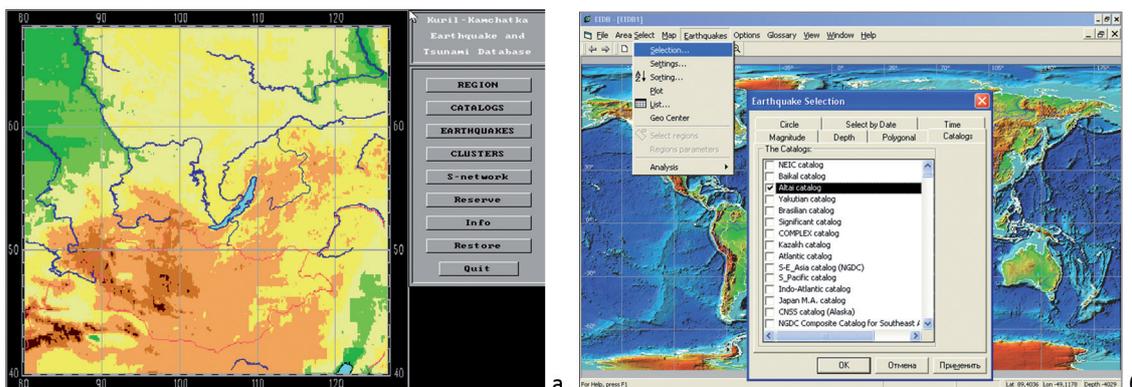


Рис. 2. Главное окно системы EEDB, выполненное на платформах DOS (а) и Win32 (б)

**Подсистема**

**«Сейсмологическая база данных»**

Подсистема «Сейсмологическая база данных» – это информационная база описываемой системы, включающая в качестве своих элементов постоянно пополняемые инструментальные каталоги землетрясений и набор сопутствующих данных об их механизмах. Архивный вариант сейсмологической базы данных поддерживается стандартной СУБД в виде реляционной модели данных. Их архивного варианта данные преобразовываются в бинарные файлы и используются подсистемой GIS-EEDB для заполнения соответствующей структуры в динамически распределяемой памяти. В среде GIS-EEDB

возможен доступ к нескольким десяткам каталогов исторических и современных землетрясений, приведенных к единому формату [11], среди которых не только традиционные, но и авторские каталоги, являющиеся объединенными и очищенными от дублей наборами данных из различных источников. Это каталоги мирового масштаба: NEIC (с 1973 г. по сей день,  $\sim 688 \cdot 10^3$  записей), SIGN (с 2000 по 1993 гг.,  $\sim 6,7 \cdot 10^3$  записей с  $M > 4$ ) американской геологической службы USGS и другие, а также каталоги регионального масштаба: объединенный Байкальский (по материалам Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН и другим источникам,  $\sim 215 \cdot 10^3$  записей), каталог Алтая (Алтае-Саянского филиала ГС

СО РАН,  $\sim 32 \cdot 10^3$  записей), авторские комплексные каталоги для исследуемых регионов (например, COMPLEX, объединяющий каталоги ряда азиатских областей,  $\sim 1$  млн записей).

В программный блок системы управления сейсмологической базой данных включена первичная обработка исходных каталогов, заключающаяся в выборе текущего каталога и последующей выборке подмножества землетрясений по параметрам запроса: диапазону времени, магнитуд, пространственному диапазону и т.д. Дальнейшая подготовка данных к исследованию предполагает очищение выбранной части каталога от афтершоков и роев, чему служит отдельная функция, реализующая три метода выделения афтершоков по выбору пользователя. При этом критерием эффективности метода является наименьшее количество пропусков афтершоков. Поясним, что необходимость в удалении афтершоков возникает в связи с зависимостью их от главного толчка и, следовательно, влиянием на статистические свойства последовательности сейсмических событий, как правило, подчиняющейся простейшему пуассоновскому распределению. Исключение роев и афтершоков значительно улучшает параметры рассматриваемого сейсмического процесса, придавая результатам дальнейшего пространственно-временного исследования вполне определенный долговременный смысл.

Первый метод распознавания афтершоков, условно названный эмпирическим, основан на параметрах разности времени и расстояния афтершокового события от главного толчка ( $dT$  и  $dS$ ), зависимость которых от величины главного толчка получена авторами эмпирическим путем. Второй (эллиптический) метод основан на алгоритме А.Г. Прозорова [12], модифицированном следующим образом: все выделяемые афтершоковые последовательности ведутся параллельно за один проход каталога, минимальный размер прямоугольной метрики задается интерактивно, кроме того, в отличие от классического варианта (рис. 3в) расчета эллиптических метрик, предложено построение эллипса равной вероятности (рис. 3а). Третий метод назван интерактивным – значения  $dT$  и  $dS$  задаются пользователем. Рассмотрим подробнее результаты работы второго (наиболее используемого) метода (рис. 3, вариант III).

Эллиптический метод предполагает задание следующих параметров: порог сигнал/шум  $R_{s/n}$ , минимальная магнитуда главного толчка, минимальная магнитуда афтершоков, минимальный размер прямоугольной метрики и т.д. – и включает в себя этапы, описанные нами ранее [11]. Классический вариант нахождения параметров эллипса [12] возможен без учета и с учетом веса, который определяется по

числу событий, попавших в ячейку. Учет веса имеет смысл в случаях большого рассеяния афтершокового облака по площади.

Практика показала, что в ряде случаев преимущество в выявлении афтершоков имеет предложенный нами метод, фиксирующий пространственную структуру распределения афтершоков с помощью эллипса равной вероятности [13]:

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{1 - \rho_{12}^2} \left( \frac{x^2}{\sigma_1^2} - 2\rho_{12}^2 \frac{xy}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{y^2}{\sigma_2^2} \right) = const = \lambda^2,$$

где  $\lambda^2 \approx 2 \cdot (1 - 1/9 + 3,29 \cdot 1/3)^3$  – аппроксимация квантилей для распределения с двумя степенями свободы при  $P = 0,9995$ ;  $\sigma_1^2 = DX$ ,  $\sigma_2^2 = DY$  – дисперсии  $x$  и  $y$ , а  $\rho_{12}$  – коэффициент корреляции между  $x$  и  $y$ .

Результат применения данной оценки параметров эллипса при выявлении афтершоков землетрясения 25.02.1999 в северной части Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) превзошел *классический* вариант как по числу выделенных событий (711 и 861 соответственно), так и по длительности афтершоковой последовательности (1,1 и 5,1 года, соответственно – рис. 3в). Преимуществом *модифицированного* нами метода является также практическая независимость его результатов от порогового соотношения сигнал/шум  $R_{s/n}$ .

Сравнение эффективности описываемых алгоритмов в задаче обнаружения афтершоков можно провести с помощью оценки статистических свойств оставшихся после очищения множеств. Результаты сравнения работы *классического* и *модифицированного* алгоритмов (рис. 4) показывают, что наблюдаемые значения числа событий расположены значительно выше теоретической кривой экспоненциального распределения для случайных величин в первый 5-дневный интервал как до удаления афтершоков (рис. 4, кривая 1), так и после их удаления классическим методом (рис. 4, кривая 2). Это свидетельствует о наличии эффекта взаимовлияния сейсмических событий на этих временных дистанциях ( $dT$ ), и о недостаточной эффективности *классического* метода, не удалившего все связанные события. Лишь после применения *модифицированного* метода (рис. 4, кривая 3) в распределении остаточных событий не остается статистически значимых отклонений от эталонной кривой. Экспоненциальное (случайное) распределение потока событий (рис. 4) описывается формулой Пуассона [17]:  $fT(\tau) = \lambda \cdot \exp(-\lambda\tau)$ , где  $\tau = dT$ ,  $\lambda$  – скорость событий,  $\lambda = N/\tau_{cp}$ ,  $\tau_{cp}$  – среднее время между событиями изучаемого процесса.

После процедуры очищения от афтершоков, в выборке остается значительное количество связанных по времени и пространству событий,

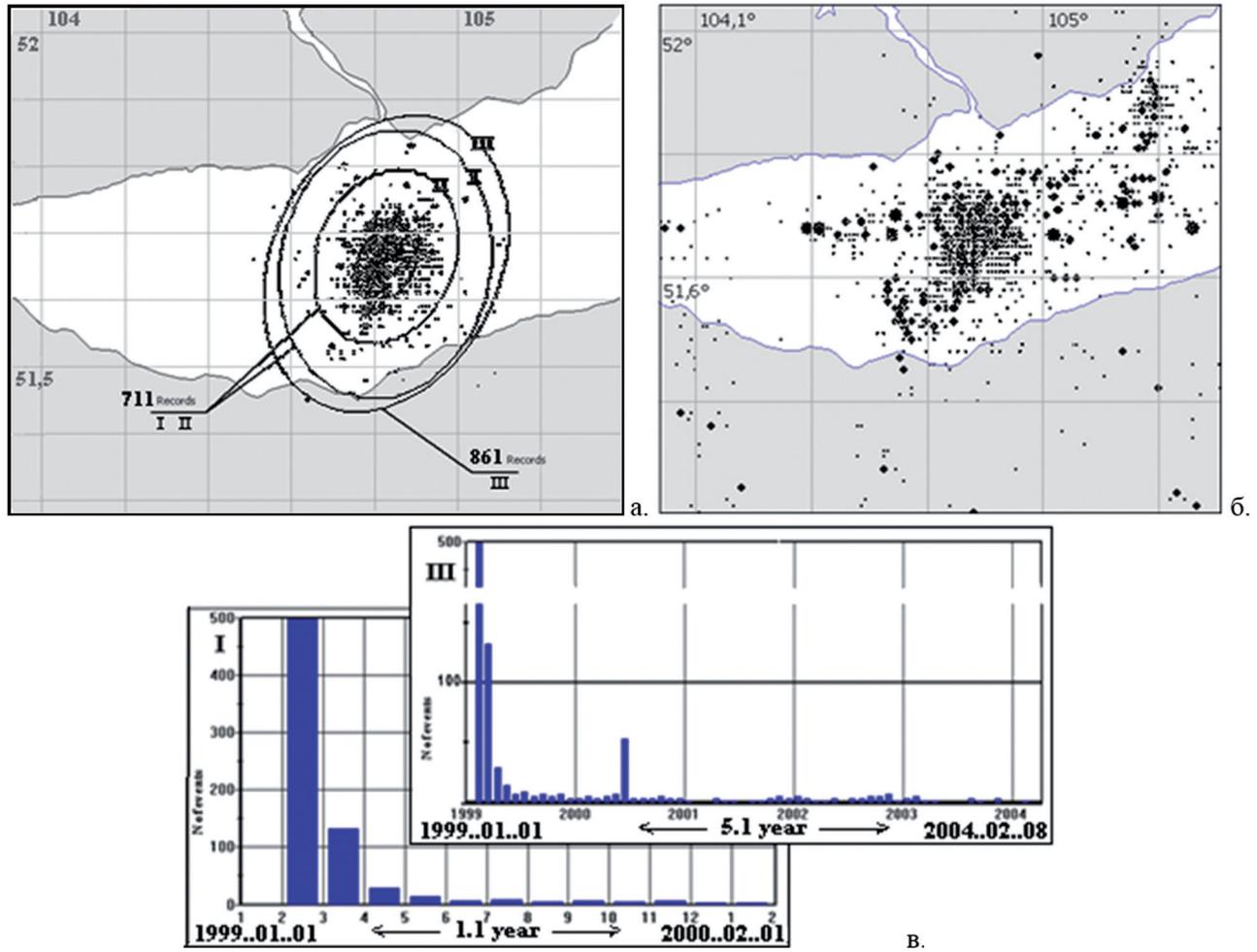


Рис. 3. а) Наиболее полное афтершоковое облако, выявленное модифицированным методом, и варианты расчёта эллиптических метрик для выделения афтершоков землетрясения в БРЗ 25.02.1999 г. ( $M = 6,2$ ): III – по доверительному эллипсу (равной вероятности), II – по среднеквадратичному отклонению [12] с весом, I – то же без веса, б) распределение событий до удаления афтершоков; в) распределение по времени афтершоков, выявленных эллипсами I и III ( $R_{s/n} = 15$ ). Под графиками указана дата завершения соответствующего афтершокового процесса

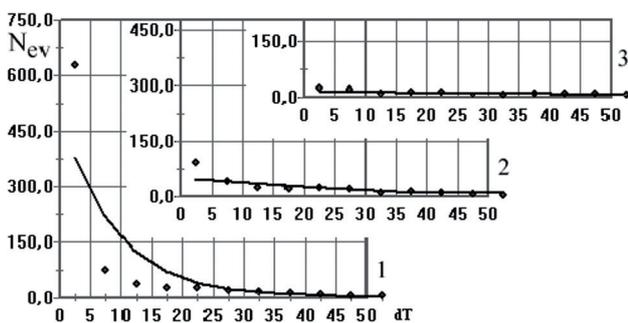


Рис. 4. Отклонение наблюдаемого числа землетрясений каталога ВАИК ( $M \geq 1.5$  с 1987г. в области  $49,7-51,1^\circ$  с.ш.;  $104-106,9^\circ$  в.д.) от теоретической кривой распределения Пуассона: 1 – до удаления афтершоков Северо-Монгольского землетрясения 13.05.1989,  $M = 5,8$  (852 события); 2 – после удаления афтершоков классическим алгоритмом (257 событий,  $R_{s/n} = 20$ ); 3 – после удаления афтершоков модифицированным алгоритмом (120 событий)

относящихся к роевым последовательностям. В отличие от афтершоковых множеств рои не инициированы главным толчком и при их выявлении возникают дополнительные трудности с определением начала процесса (первого события последовательности). Выбранная нами технология очищения каталогов от роев аналогична удалению афтершоков за исключением порогового значения на допустимую величину первого события и условия о соотношении магнитуд первого и последующих событий последовательности – в случае выделения роев последующие события могут иметь как меньшую, так и большую магнитуду по сравнению с начальным событием процесса. Кроме того, при выявлении роевых последовательностей время процесса не зависит, как в [12], от количества уже выделенных связанных событий, а задается пользователем интерактивно, поскольку временное распределение событий роя не обладает

свойствами, характерными для афтершоковых последовательностей.

**Географическая подсистема**

Географическая подсистема является важной частью системы GIS-EEDB. Использование методов цифровой картографии и соответствующих ГИС-технологий позволило создать удобный картографический планшет для визуализации сейсмологических данных. При построении географических поверхностей (рис. 2б, рис. 5) используется подход, заключающийся в тонировании (закрашивании оттенком оговоренного цвета) точек поверхности, в зависимости от их яркости при боковом освещении поверхности. В первую очередь проводится триангуляция всей отображаемой области, при этом каждая прямоугольная ячейка сетки разбивается, как минимум, на два треугольника (максимально на 16 треугольников). Число треугольников в разбиении зависит от того, насколько заказанный пользователем размер рисунка превышает

размеры исходного массива. Освещенность каждого элемента поверхности (прямоугольника с вершинами в узлах сетки) определяется в соответствии с ориентацией плоскости каждого треугольника по отношению к вектору направленности освещения. В частности, в случае равенства размеров исходного массива и создаваемого графического образа вычисляется величина освещенности плоскости, проходящей через левую верхнюю, правую верхнюю и левую нижнюю вершины каждой из ячеек сетки. При изменении направления вектора освещенности разбиение ячеек будет другим.

Перечислим основные шаги алгоритма тонирования:

1. Поверхность разбивается на некоторое, вычисляемое из соотношения желаемого размера картинки и размерности массива, количество треугольников, где по каждому треугольнику известны высоты всех вершин относительно некоторого уровня отсчета.

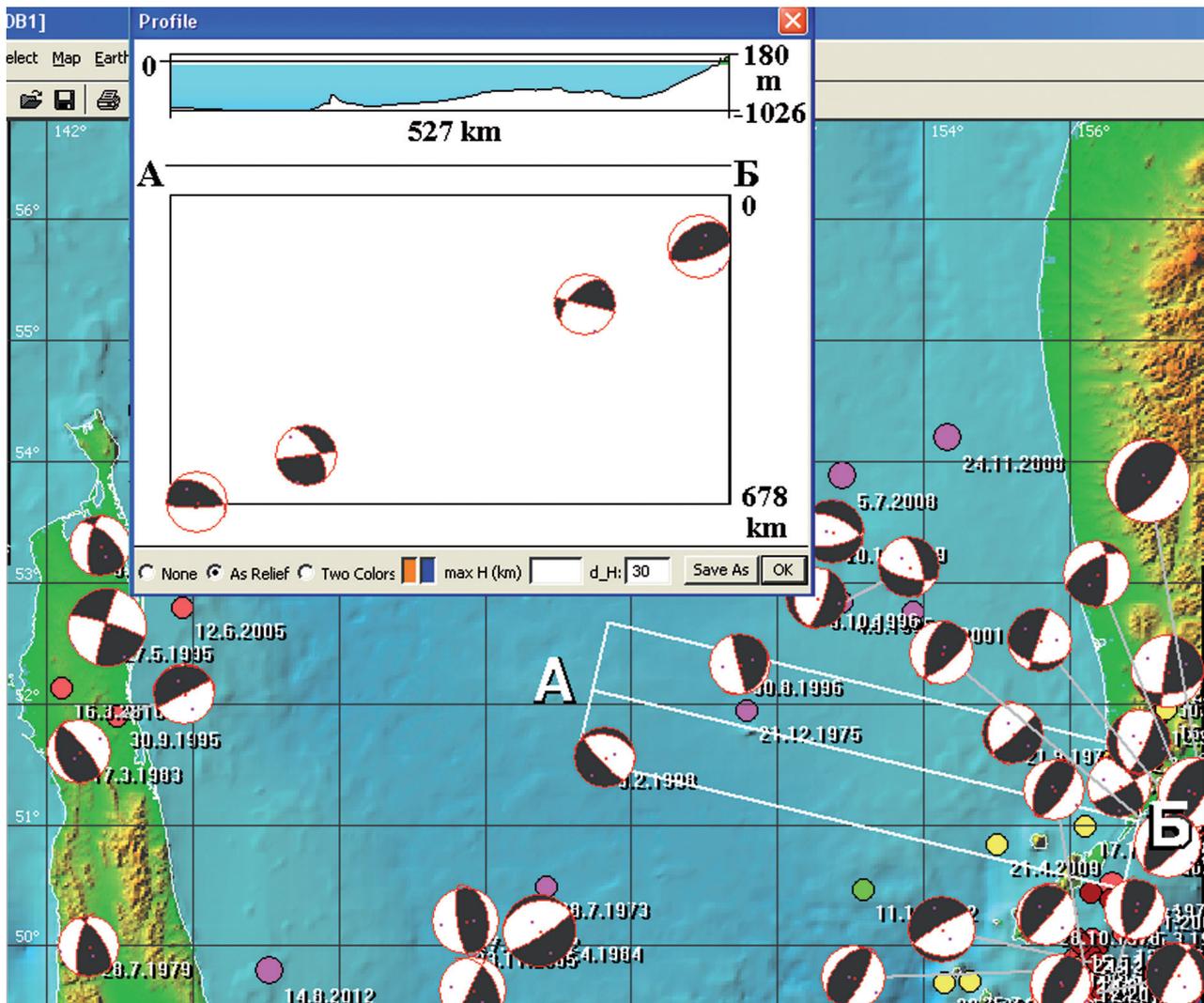


Рис. 5. Распределение на площади и в разрезе (по профилю АБ) механизмов очагов землетрясений с  $M \geq 5,5$  в виде круговых стереограмм для района Дальневосточной зоны субдукции

2. Для каждого из треугольников находится произведение векторов, являющихся сторонами этого треугольника.
3. Полученный вектор нормируется.
4. В зависимости от угла между полученным вектором нормали и вектором освещенности 3-мерной сцены (обычно берется источник освещения с параллельными лучами) подсчитывается величина яркости освещения данного треугольника.
5. Из полученной яркости получаем градацию яркости соответствующего цвета, где цвет определяется высотой данной точки над уровнем моря и заданной пользователем цветовой схемой.
6. В соответствии с параметрами картинной плоскости рисуем 2-мерную проекцию.

В литературе по 3-мерной графике для алгоритма, похожего на реализованный, используется название *Gufo Rendering* (Гуро тонирование). Параметры освещения и базовые цвета, из которых затем получаются различные оттенки яркости, задаются пользователем. Для обеспечения возможности построения карт различных масштабов – от обзорной карты всего мира до карт отдельных регионов – автоматически выбирается массив с оптимальным разрешением [14, 11]. В настоящее время существует несколько глобальных банков данных, представляющих рельеф земной поверхности с различной детальностью (например, [15]). В GIS-EEDB внедрены наиболее известные среди них массивы измерений NASA: GTOPO-30 (Global Topographic Data) и SRTM-90 (Shuttle Radar Topography Mission), а также ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) с, соответственно, 30-секундной, 3-секундной и 1-секундной сетками данных. Затем на растровое изображение накладываются векторные и точечные слои, а также текстовые пояснения.

Вывод землетрясений на карту также является одной из задач картографии. В GIS-EEDB реализовано несколько процедур пространственного вывода информации из каталогов в виде карт распределения эпицентров землетрясений и их механизмов, а также построение вертикальных разрезов этих карт (рис. 5).

### Подсистема анализа данных

Этот программный блок включает в себя алгоритмы решения задач геоинформационного анализа, опирающиеся на основные авторские разработки и работы ведущих современных исследователей сейсмогеодинамического процесса с использованием каталогов землетрясений.

Первый слой подсистемы (рис. 1) составляют процедуры проверки полноты и качества каталогов

землетрясений [11, 16]. Следующий слой связан с визуальным анализом комплекса сейсмических характеристик и состоит из двух подуровней: графического и картографического [11, 18]. На основе методов статистического анализа – суммирования (кумулятивный и распределительный метод), нормирования, скользящего осреднения и дисперсии – созданы процедуры расчета как традиционных в сейсмологии, так и вновь предложенных характеристик сейсмопроцесса. В качестве традиционных можно перечислить такие характеристики, как величина наклона графика повторяемости (параметр  $b$ ), стабильность выделения энергии (по приращению плотности сейсмогенных разрывов  $K_{cp}$ ), различные варианты расчета сейсмической активности, характеристики механизмов очагов землетрясений. Новые подходы, также реализованные в GIS-EEDB, – это анализ сейсмических затиший и активности [18, 21] по таким характеристикам, как нормированная к фону суммарная сейсмическая энергия  $lgE_{cp}/E\phi$ , стабильность выделения энергии  $\sigma$  (по среднеквадратичному отклонению выделенной энергии от нормы), отклонение значений параметра повреждаемости среды  $K_{cp}$  относительно нормы, соответствующей стабильному развитию сейсмического процесса [11, 18]. Кроме того, предложены алгоритмы, позволяющие осуществлять группирование гипоцентров землетрясений в пространственном и пространственно-временном диапазоне как для построения детальных моделей земной коры – выделения сейсмоактивных границ блоков или отдельных разломов, так и для изучения сейсмического режима территорий (кластерные методы) [11, 21].

Система широко используется для изучения сейсмогеодинамического процесса на региональном уровне. Например, для изучения механизмов взаимодействия жестких тектонических структур со складчатыми зонами (эрогенами) предложен метод анализа аномалий сейсмической активности (затиший и активизаций), учитывающий пространственное распределение асейсмичных или слабосейсмичных зон (рис. 6).

В ряде исследований, описанных в ведущих журналах [19-23], программный комплекс GIS-EEDB использован для построения 2D и 3D геомеханических моделей литосферы и моделей подготовки сильных землетрясений, а также для выявления среднесрочных сейсмопрогностических критериев.

### Заключение

В данной статье система GIS-EEDB рассмотрена как программный продукт, представляющий категорию ГИС-систем, ведь именно необходимость привлечения географической базы при решении

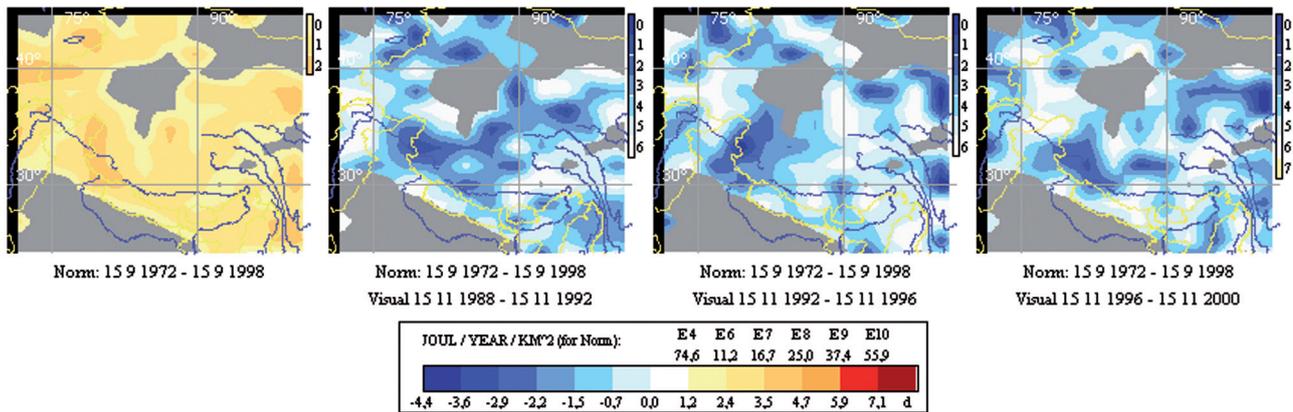


Рис. 6. Карты асейсмических областей (серые участки) и сейсмических затиший (синие участки), построенные по 4-летним интервалам для района Центральной Азии. Левый рисунок отражает распределение суммарной энергии за 1972-1998 гг., приведенное к 1 году и принимаемое за норму. Использованы данные объединенного каталога землетрясений COMPLEX ( $M \geq 4$  за 1972-2000 гг. в области  $24-46^\circ$  с.ш.;  $70-102^\circ$  в.д.)

пространственных геодинамических задач явилась основным стимулом разработки данной системы в условиях отсутствия или недоступности такого рода систем на момент начала исследования. Приведены методы пространственно-временного анализа сейсмичности, в частности, предложены алгоритмы, позволяющие выявлять группы связанных в пространстве и времени событий – афтершоков и роев. Перечислены основные параметры сейсмического режима, для которых производится расчет графиков и картограмм (последовательности зональных карт по равномерным интервалам времени).

Эффективно организованное взаимодействие обеспечивающих и функциональных подсистем GIS-EEDB позволяет проводить полный цикл исследований, включающий все этапы предварительной обработки, анализа и визуализации данных сейсмологических каталогов в одной среде. Сейсмологическая база данных и ГИС-система EEDB содержат информационное обеспечение соответствующей детальности и содержания для различного масштабного уровня и большого разнообразия требований научных исследований. Предложенные методы анализа успешно апробированы и используются для изучения закономерностей сейсмического процесса, выявления аномалий сейсмического режима перед сильными землетрясениями, определения набора характеристик сейсмогенной среды для создания геомеханических моделей литосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №10-05-01042-а, МИП СОРАН №76, 90 и 117, Программы президиума РАН №4, проект 4-1. Авторы благодарны за предоставленный сейсмологический материал Байкальскому и Алтае-Саянскому филиалам Геофизической службы СОРАН,

Сейсмологической опытно-методической экспедиции КН МОН Республики Казахстан, Китайскому сейсмологическому бюро и другим организациям.

**Ключевые слова:** сейсмологические программы и системы, базы данных землетрясений, геотехнологии, процессы подготовки землетрясений, аномалии сейсмического режима.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гитис В.Г., Деарт Д.А., Ошер Б.В., Руденко С.Л. ГЕО – экспертная система для геолого-геофизического прогноза // Экспертные системы: состояние и перспективы. – М. : Наука, 1989. – С. 119-130.
2. Маринин И.В., Елецкий С.В., Чесноков В.В. Использование Imp.Itris для предварительного и оперативного исследования цунами и оценки их последствий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : Изд-во МГГУ, 2009. – Т. 18. – № 12. – С. 181-185.
3. Аллен К.А., Кейлис-Борок В.И., Ротвайн И.М., Хаттен К. Комплекс долгосрочных сейсмологических предвестников (Калифорния и некоторые другие регионы). Математические методы в сейсмологии и геодинамике // Вычислительная сейсмология. – М. : Наука, 1986. – Вып. 19. – С. 23-36.
4. Вебер К., Гвишиани А.Д., Годфруа П., Ламбер Ж., Соловьев А.А., Трусов А.В. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. XII. Неотектоническая схема западных Альп.  $M > 5.0$ . Математические методы в сейсмологии и геодинамике // Вычислительная сейсмология. – М. : Наука, 1986. – Вып. 19. – С. 82-94.
5. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений. Основы, методика, реализация. – М. : Наука, 2006. – 254 с.

6. Макеев А.М., Кролевец А.Н. Эффективная компьютерная программа поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений Камчатской сейсмоактивной зоны // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России : тез. докл. Второй региональной научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 11-17 октября 2009. – Петропавловск-Камчатский, 2009. – 167 с.
7. Костоусов В.Б., Кронроп Т.Л., Писаренко В.Ф. Фрактальное моделирование пространственного распределения землетрясений // Вычислительная сейсмология. – 1996. – Вып. 28 : Современные проблемы сейсмичности и динамики Земли. – С. 175-192.
8. Ружич В.В., Левина Е.А., Востриков В.И. Использование опыта среднесрочного прогноза землетрясений в Прибайкалье для борьбы с горными ударами // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли : мат-лы конф., Новосибирск, 2-5 октября 2007. – Новосибирск, 2007. – С. 407-413.
9. Gussyakov V.K., Marchuk An.G., Osipova (Mikheeva) A.V. Expert tsunami database for the Pacific: motivation, design and proof-of-concept demonstration region // Perspectives on Tsunami Hazard Reduction: Observation, Theory and Planning / G. Hebenstreit (Editor). – Dordrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers, 1997. – P. 21-34.
10. Gusiakov V.K., Ivaikin D.V., Marchuk An.G. A simple windows-based geographic mapping system for visualization and analysis of seismic and tsunami data [Electronic resource] // Proceedings of the 1999 Conference on the application of remote sensing and GIS for disaster management, NASA-FEMA-GWU (Washington, USA, January 19-21, 1999). – Washington, DC, USA, George Washington University, 1999. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Track 4.
11. Djadkov P.G., Mikheeva A.V. The EEDB – Expert Earthquake Database for Seismic-Geodynamic Research // Bulletins of the Novosibirsk ICMMG. Mathematical Modeling in Geophysics. – 2010. – N. 13. – P. 15-30.
12. Прозоров А.Г. Динамический алгоритм выделения афтершоков для мирового каталога землетрясений // Вычислительная сейсмология. – 1986. – Вып. 19 : Математические методы в сейсмологии и геодинамике. – С. 58-62.
13. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. – М., 1977. – 832 с.
14. Марчук Ан.Г. Способы создания цифровой батиметрии для численного моделирования // Мат. моделирование в геофизике : тр. ИВМиМГ. Вып. 5. – Новосибирск, 1998. – С. 152-160.
15. Smith W.H.F., Sandwell D.T. Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings // Science. – 1997. – V. 26. – N. 277. – P. 111.
16. Gussyakov V.K., Marchuk An.G., Osipova (Mikheeva) A.V. Expert tsunami database for the Kuril-Kamchatka region // Bulletin of the NCC. Mathematical Modeling in Geophysics. – Novosibirsk : NCC Publisher, 1994. – N. 1. – P. 65-77.
17. Ebel J.E., Kafka A.L. A non-Poissonian element in the seismicity of the Northeastern United States // Bull. Seism. Soc. Amer. – 2002. – V. 92. – N. 5. – P. 2040-2046.
18. Дядьков П.Г., Михеева А.В. Геоинформационно-экспертные методы анализа сейсмологических данных [Электронный ресурс] // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения УКИ'10 : тр. конф. – М., 2010. – С. 430-437. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; URL: <http://cmm.ipu.ru/proc/Дядьков П.Г., Михеева А.В. .pdf> (дата обращения 20.08.2012).
19. Дядьков П.Г., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Трехмерная вязкоупругая модель литосферы Центральной Азии: методология построения и численный эксперимент // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7 – № 1. – С. 91-101.
20. Дядьков П.Г., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Михеева А.В., Кузнецова Ю.М. Возможное влияние землетрясений в Северном Тибете и близ о. Хоккайдо на процесс подготовки Алтайского землетрясения 2003 года // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – № 1. – С. 67-72.
21. Дядьков П.Г., Кузнецова Ю.М. Аномалии сейсмического режима перед сильными землетрясениями Алтая // Физическая мезомеханика. – 2008. – Т. 11. – № 1. – С. 19-25.
22. Дядьков П.Г., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Трехмерная геомеханическая модель литосферы района подготовки Алтайского землетрясения 2003 г. // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. – № 1. – С. 25-28.
23. Дядьков П.Г., Кучай О.А., Михеева А.В., Романенко Ю.М. Стадии подготовки Алтайского землетрясения 27.09.2003 г., Mw = 7.3, и связанные с ними изменения состояния сейсмогенной среды // Физическая мезомеханика. – 2010. – Т. 13. – № 6. – С. 78-82.