

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОИСКАХ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



УДК 681.518

© Коллектив авторов, 2012

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО СЕКТОРА МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА

Н.С.Бортников, В.А.Петров, А.В.Веселовский, Д.А.Кузьмина, А.Б.Лексин (ИГЕМ РАН)

*Изложены результаты теоретических исследований в области прогноза развития сейсмогеодинамических процессов для объектов повышенной техногенной и экологической опасности забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса. Анализ сейсмогеодинамических процессов с использованием ГИС-технологии и трехмерной изометрической модели позволяет разработать схему размещения пунктов мониторинга сейсмических процессов в районах производственной активности горнорудных предприятий.*

*Ключевые слова:* геоинформационная система, зоны геодинамической опасности, Забайкальский край.

Бортников Николай Стефанович, [director@igem.ru](mailto:director@igem.ru), Петров Владислав Александрович, [vlad243@igem.ru](mailto:vlad243@igem.ru), Веселовский Александр Владимирович, [valv@igem.ru](mailto:valv@igem.ru), Кузьмина Дарья Александровна, [kuzmida@igem.ru](mailto:kuzmida@igem.ru), Лексин Алексей Борисович, [lexin@igem.ru](mailto:lexin@igem.ru)

## THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) OF THE TRANSBAIKALIAN TERRITORY OF THE MONGOL-OKHOTSK MOBILE BELT

N.S.Bortnikov, V.A.Petrov, A.V.Veselovsky, D.A.Kuzmina, A.B.Leksin

*The article contains the results of theoretical researches in 2011 in the field of forecasting of development of geodynamic processes for objects of high technological and environmental dangers on the example of south-eastern Baikal sector of the Mongol-Okhotsk mobile belt (allocation of geodynamic hazardous areas, where there strong seismic deformation events that cause natural disasters). The combination of models 3D representations of data with graphics (2D maps, charts, graphs) facilitates the understanding of the investigating processes.*

*Key words:* geographic information system, geodynamic hazardous areas, Transbaikalian territory.

Ускоренное развитие экономического потенциала страны, в том числе в горнодобывающей промышленности, атомной энергетике, строительстве, происходит на фоне расширения масштабов аномальных природных явлений [16]. Они могут быть практически мгновенными, как при землетрясении [15], или инициироваться весьма продолжительными изменениями региональной геодинамической обстановки. Антропогенное вмешательство в природную среду, например при отработке месторождений полезных ископаемых [11], вызывало, вызывает и в будущем может вызвать техногенные аварии с весьма вероятным перерастанием некоторых из них в экологические катастрофы.

Особенно актуален вопрос предотвращения или минимизации последствий природных и техногенных катастроф на объектах повышенной техногенной и экологической опасности, таких как шахтные поля, радиохимические предприятия, пункты изоляции отработанных ядерных материалов, плотины, газо- и нефтепроводы и др. Для этих объектов на единой геоинформационной платформе с

применением новейших методов комплексных геолого-геофизических изысканий необходимы оценка современной геодинамической активности территории, выделение сейсмоактивных разломных зон, установление закономерностей влияния природных факторов напряженного состояния недр на характер протекания локальных техногенных процессов.

С учетом специфики геолого-тектонического строения территорий должны разрабатываться структуры сетей мониторинга сейсмогеодинамических процессов на многофункциональных геодинамических полигонах [14]. Проведенные наблюдения послужат основой для оценки и прогнозирования состояния литосферы, принятия решений по рациональному недропользованию и обеспечению экологической безопасности территории. Так, большинство крупных и уникальных месторождений стратегических видов минерального сырья (уран, золото, редкие металлы и др.) формировались в активизированных подвижных поясах на границах стабильных литосферных блоков [5, 10]. В настоящее время эти шовные зоны характери-

зуются интенсивной тектонической нарушенностью и сейсмической активностью. Расположенные в их пределах горнодобывающие предприятия представляют собой объекты повышенной техногенной и экологической опасности. Техногенная опасность определяется тем, что в условиях увеличения выработанного пространства и перемещения фронта добычных работ на глубокие горизонты разреза активизируются проявления горного давления. На фоне изменения напряженного состояния массива пород это нередко приводит к горно-тектоническим ударам (техногенным землетрясениям) большой разрушительной силы. В результате горнорудные предприятия вынуждены сворачивать или полностью останавливать работы. В случаях когда предприятие является градообразующим, это приводит к негативным социально-экономическим последствиям. Экологическая опасность обуславливается тем, что при переработке рудной массы образуется огромное количество химически активных отходов, размещаемых в открытых горных отвалах и хвостохранилищах. Нарушение целостности этих объектов в результате природных и техногенных деформаций сопровождается выносом загрязнителей (радионуклиды, тяжелые металлы) и заражением ими горизонтов подземных вод, использующихся для водоснабжения населения, а также деградацией всей экосистемы.

Базовые условия для улучшения технологий наблюдения, оценки и прогнозирования опасных сейсмических явлений в России имеются. За предыдущие десятилетия организация сетей мониторинга тектонических проявлений и деформаций блоков литосферы стала одним из важнейших инструментов в решении фундаментальных и прикладных задач, имеющих особое значение для народного хозяйства и обеспечения безопасности страны. Эти данные нашли отражение в Комплексе карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 [8]. Примером служит созданная в конце XX в. система постоянных и временных станций наблюдения за сеймотектоническими процессами Байкальского геодинамического полигона, который охватывает Южное Прибайкалье, Восточные Саяны, Туву, Центральную и Западную Монголию [4, 12]. Результаты исследований на этой территории во многом способствовали принятию решения об изменении маршрута нефтепровода «Восточная Сибирь–Тихий океан» в сторону от Байкальской рифтовой системы, в пределах которой интенсивно проявлена современная сейсмическая активность.

Забайкальский сектор Монголо-Охотского подвижного пояса исторически является основным

поставщиком стратегических видов минерального сырья, включая золото, уран, редкие металлы. Однако дальнейшие перспективы добычи полезных ископаемых связаны здесь с ведением работ на глубоких горизонтах обрабатываемых месторождений в усложняющихся горно-геологических условиях и вводом в строй новых крупных месторождений, для которых горно-геологические условия обработки руд не ясны. К тому же, отдельные районы Восточного Забайкалья, например территория ОАО «ППГХО» в г. Краснокаменск, рассматриваются [17] в качестве потенциально благоприятных для строительства международного объекта по изоляции отработанных ядерных материалов в глубоко-залегавших геологических формациях. Такой объект технологически может дополнить Международный центр по обогащению урана, который организован на базе Ангарского электролизно-химического комбината в Иркутской области [6, 18].

Наряду с этим на прилегающих к Байкальскому рифту обширных территориях забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса система наблюдений за развитием современных сейсмогеодинамических процессов отсутствует. Расположенные здесь многочисленные горнодобывающие, горноперерабатывающие, радиохимические и другие предприятия, газо- и нефтепроводы, будучи объектами повышенного экологического риска, не обеспечены прогнозной составляющей в определении динамики развития сейсмических процессов. Это тормозит разработку и реализацию мероприятий по предотвращению или уменьшению последствий природных и техногенных катастроф.

В ИГЕМ РАН выполняется комплекс работ по созданию информационного ядра для проблемно-ориентированных прикладных исследований в области технологий мониторинга и прогнозирования опасных сейсмогеодинамических явлений в районах добычи стратегических видов минерального сырья в Юго-Восточном Забайкалье. Разрабатываемый с этой целью программно-технический комплекс в качестве основного звена содержит геоинформационную систему (ГИС). Результаты функционирования ГИС интегрируются в фундаментальные и прикладные исследования [2]. Определяется востребованность получаемой пространственной информации для различных потребителей. Сейсмическая опасность концептуально рассматривается в качестве основного фактора техногенного риска для инфраструктуры промышленных объектов. Использование ГИС в сети пунктов постоянных и временных наблюдений за динамикой развития сейсмогеодинамических процессов предполагает построение системы информацион-

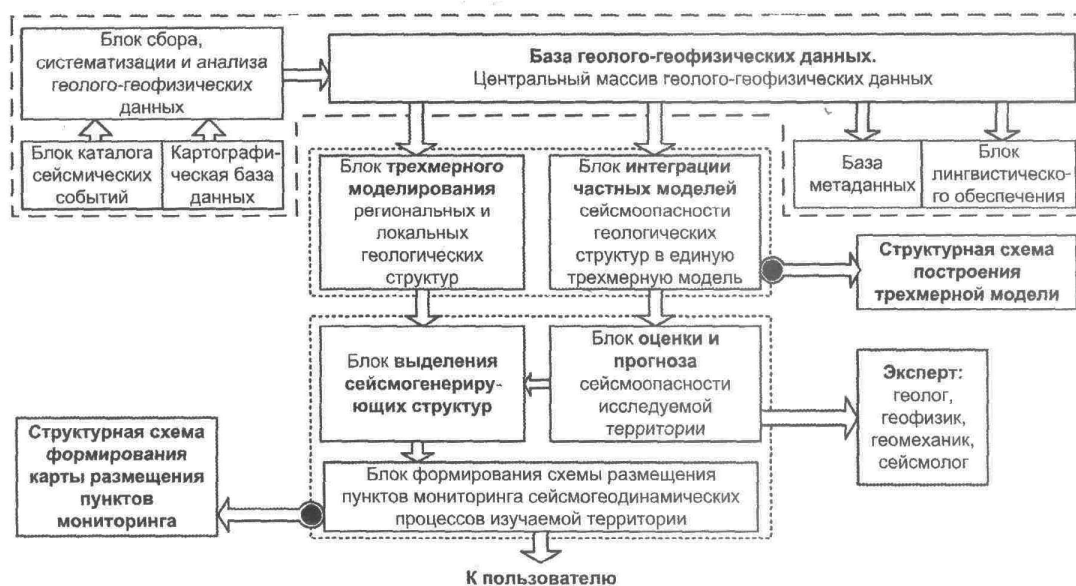


Рис. 1. Структура геолого-геофизической базы данных ГИС оценки степени сейсмогеодинамической активности территории забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса

ного взаимодействия не только для территорий (горных отводов) промышленных объектов, но и для региональных, федеральных и международных сетей.

*ГИС забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса* состоит из трех элементов (рис. 1):

территориально централизованной и тематически распределенной базы геолого-геофизических данных;

трехмерной (изометрической) модели литосферных блоков с распределением основных сейсмогенерирующих структур;

схемы (ГИС-макета) размещения пунктов мониторинга сейсмогеодинамических процессов.

ГИС забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса позволяет строить комплексные геолого-геофизические разрезы земной коры и верхней мантии до глубины 40–60 км, структурно-вещественные модели литосферных блоков и геодинамические, отражающие особенности их эволюции.

В качестве источника информации на входе ГИС используются материалы, содержащие данные геолого-геофизического профилирования отдельных сегментов Монголо-Охотского подвижного пояса большой протяженности (например [13]). Имеющиеся данные изучения «исторической» ([1] и др.) и современной «инструментальной» ([9] и др.) сейсмичности позволяют достаточно обоснованно судить о пространственных соотношениях сейсмоактивных разломных зон, характере взаимо-

действия литосферных блоков и особенностях глубинной структуры региона. Обобщение этих данных и их интерпретация с помощью ГИС способствует более полному пониманию истории геологического развития и металлогении Восточного Забайкалья.

*База геолого-геофизических данных* по литосферным блокам забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса реализована с помощью пакета программ ArcGIS v.10. Она состоит из атрибутивных таблиц, растровых и векторных изображений картографических материалов (топографические, геологические, геофизические, тектонические карты и др.) в м-бах от 1:1 000 000 до 1:200 000 в единой системе координат (рис. 2).

*Растровые данные:*

топографическая основа (лист М-50) РФ м-ба 1:200 000, оцифрованные и спитые листы; рельеф территории; в качестве основы использованы данные ASTER GDEM (JPL) GeoTIFF; цифровые космоснимки местности и геобъектов (данные с космических аппаратов Landsat, Modis, AVHRR, Aster), данные из открытых источников.

*Векторные данные:*

линейный и полигональный слои — водные объекты с топосновы м-ба 1:200 000 (водотоки, водоемы); атрибутивная информация должна включать название объекта, тип (река, озеро, ручей и т.д.), геоморфологические характеристики речной сети;

полигональные слои — выходы коренных стратифицированных (осадочных) и интрузивных по-

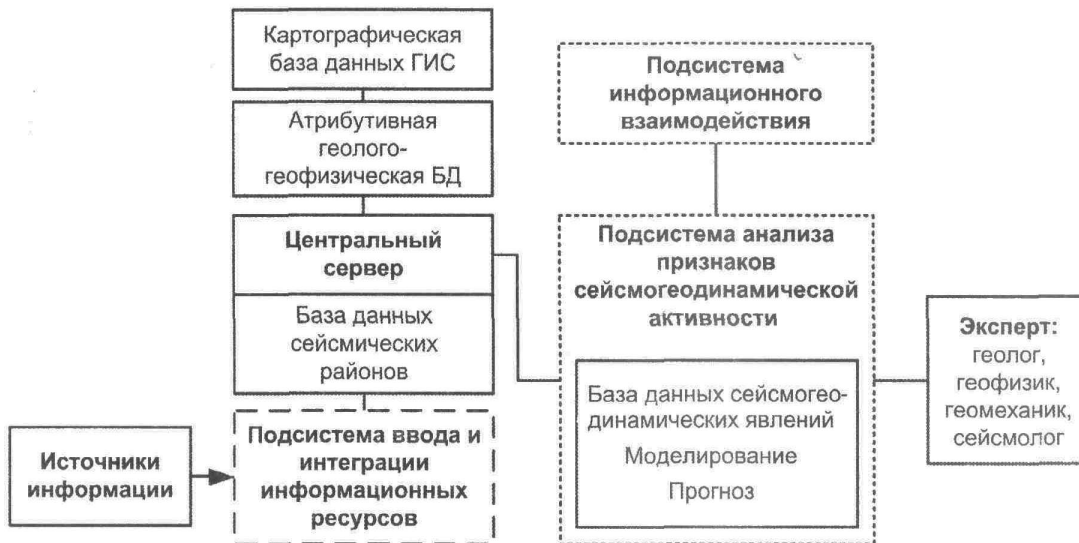


Рис. 2. Функциональная структура ГИС оценки степени сейсмогеодинамической активности территории забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса

род; атрибутивная информация должна включать типы, возраст, литологический состав пород и т.д. Слой создается по данным геологических карт РФ (СССР) м-ба 1:200 000. По листам VI, XIV, XX геологических карт м-ба 1:200 000 в каталогах ВСЕГЕИ информация отсутствует, поэтому для них использована геологическая карта м-ба 1:1 000 000;

точечный слой — внесмасштабные интрузивные тела с геологических карт м-ба 1:200 000;

полигональный слой — карты аномального магнитного и гравитационного полей, геоморфологическая и тектоническая схемы. Данные этого слоя создаются по авторским картам м-ба 1:500 000;

линейный слой — разломы (тектонические контакты или разрывные нарушения), достоверные, предполагаемые; ориентировка, относительный возраст смещений, протяженность, морфогенетический (кинематический) тип (сбросы, взбросы, надвиги, сдвиги). Информация снимается с геологических карт м-ба 1:200 000, уточняется по современным данным;

точечный слой — объекты экологической и техногенной опасности;

точечный слой — данные по землетрясениям (географические координаты, глубина, магнитуда).

Используются метод выборки информации по конкретному объекту из соответствующей базы в виде характеристик введенного объекта, отображение его графического образа в виде векторной графической информации и прикрепленной к объекту атрибутивной информации. Растровые листы карты

«сшиты» между собой и представляют единое географическое пространство. Все входные данные, по которым создаются слои, — открытые материалы, находящиеся в свободном доступе.

Оцифровка (векторизация) геологической карты м-ба 1:200 000 в целях генерализации геологической информации для выделения основных типов пород — кристаллических (фундамент), вулканических, вулканогенно-осадочных (чехол), осадочных (аллювиальных, пролювиальных фаций и т.д.) — проводится как по материалам изданных геологических карт, так и по результатам дешифрирования сцен космоснимков за период 1999–2011 гг. с космического аппарата Landsat.

**Концепция трехмерной (изометрической) модели литосферных блоков с распределением сейсмогенерирующих структур.** Концептуальные задачи, определяющие основу технологической архитектуры ГИС, связаны с обеспечением оперативного доступа к информации и реализацией возможностей специалистов эффективно работать с наиболее актуальными геологическими данными. Задача формулируется в предоставлении пользователям возможностей применения аналитических методов исследований, опирающихся на перспективные информационные технологии.

Высокий уровень теоретических задач обуславливает высокие требования к программно-математическому и лингвистическому обеспечению системы на основе теории функционирования объекта исследу-



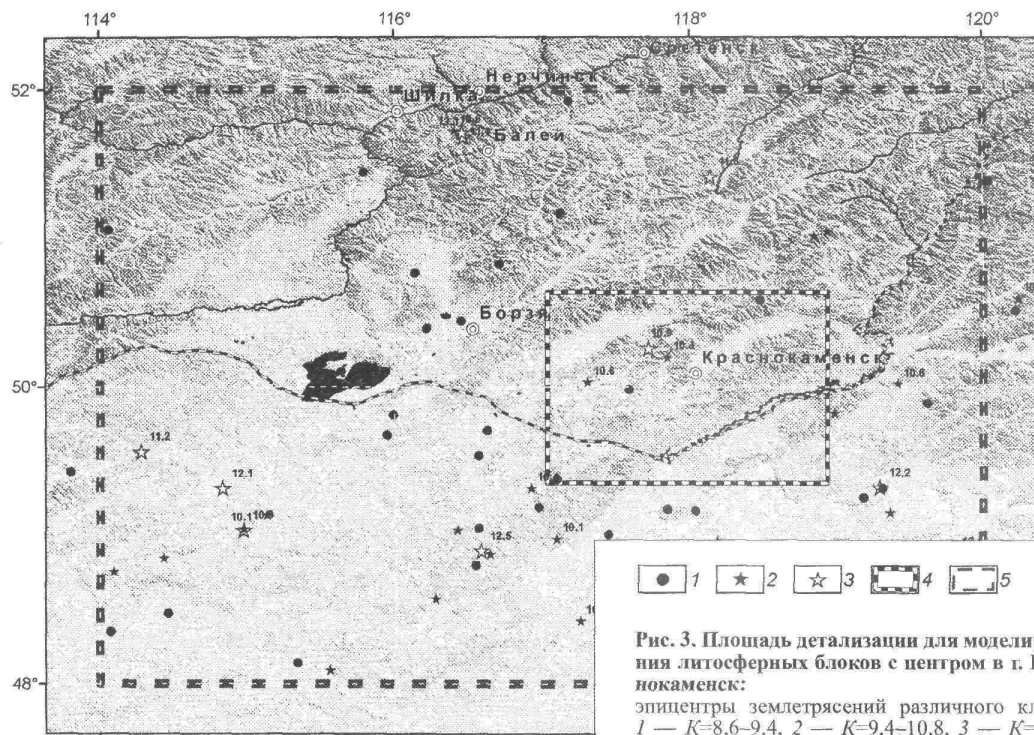


Рис. 3. Площадь детализации для моделирования литосферных блоков с центром в г. Краснокаменск:

эпицентры землетрясений различного класса: 1 —  $K=8,6-9,4$ , 2 —  $K=9,4-10,8$ , 3 —  $K=10,8-15,9$ ; 4 — площадь детализации; 5 — лист М-50

дований (информационная система, включающая ГИС). В частности, операции функционирования объекта исследований поддерживаются его пространственно-трехмерным моделированием. Основные принципы построения системы — принцип интеграции при объединении информационных ресурсов и принцип информационного взаимодействия с использованием единой многопользовательской программно-аппаратной среды.

Назначение системы визуализации состоит в представлении информации об объектах исследования оператору таким образом, чтобы на основе отображаемой информационной модели он мог в дальнейшем создать концептуальную модель (модель взаимодействия процессов). Трехкоординатная информационная модель обеспечивает наибольшую полноту концептуальной модели и ее адекватность отображаемым объектам, которые в большинстве случаев объемные. В ряде случаев, например когда один отображаемый объект заслоняется другим, возникает необходимость рассмотрения объекта с разных сторон, т.е. требуется формирование многоракурсной трехмерной модели. Примененный в настоящем исследовании метод позволяет синтезировать информационные модели по цифровым данным в изометрическом пространстве. К его достоинствам относятся большая мно-

горакурсность изображения, отображение данных и синтезированных объектов в реальном масштабе времени, простота реализации.

В двумерной модели выделены преобладающие основные направления простирания разломных нарушений (линеаментов), устойчивые (консолидированные) блоковые участки литосферы и области концентрации сейсмогеодинамических событий. Определена площадь детальной моделирования (рис. 3), в центре которой располагается «базовый» объект исследований — территория ОАО «Приаргунское производственное горнохимическое объединение» (ОАО «ППГХО»), осуществляющее добычу и переработку урановых руд месторождений Стрельцовского рудного поля [7].

Трехмерная модель (рис. 4) формируется на основе материалов, входящих в базу геолого-геофизических данных по литосферным блокам забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса. В трехмерной модели с учетом компоненты  $z$  (глубины) реализована возможность визуализировать вариации мощности сейсмически активной зоны в разрезе земной коры. Проведена генерализация элементов тектонического строения территории с выделением геодинамически устойчивых (асейсмичных) блоков и геомеханически (сейсмически) активных межблоковых границ.

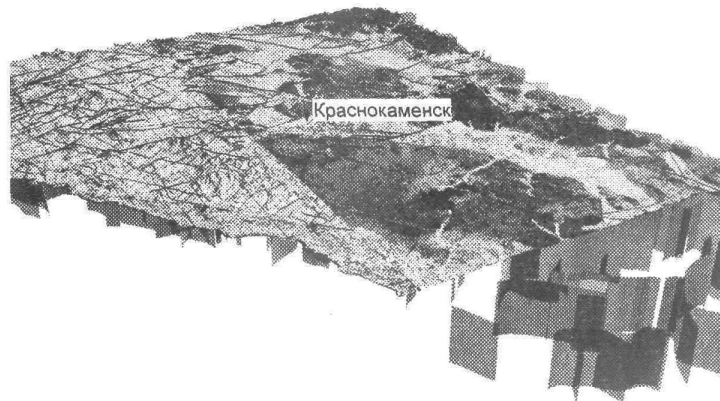
Трехмерные графические модели позволяют представить визуально последовательность наблюдений, выполнять глубокий исследовательский анализ пространственных данных, в том числе при выборе угла зрения с помощью интерактивного вращения, причем линии графиков не перекрываются. Сочетание моделей 3D представления данных с графикой 2D (карты, диаграммы, графики) облегчает понимание изучаемых сейсмогеодинамических процессов на поверхности и в разрезе земной коры.

Информационная среда ГИС содержит различные гетерогенные цифровые информационные ресурсы: метаданные, документальные и фактографические базы данных, цифровые карты. Требования к системе предусматривают использование интерфейса, обеспечивающего интеграцию необходимых для пользователя данных в трехкоординатной форме.

При коллективных исследованиях в определенной тематической области (куст организаций, группа специалистов) интегрируются также сервисы и ресурсы всех участников исследований. Единство ресурсов и сервисов достигается за счет согласованных стандартов, операций подсистемы управления, контролирующей режимы работы и функции ГИС. Важными требованиями к системе являются поиск и получение данных в распределенных структурах, идентификация единиц информации, источников и потребителей (регистрация, персонафикация), создание единой точки входа для пользователей.

**Применение в ГИС математического метода стратифицированного моделирования объектов и сред.** Математический метод стратифицированного моделирования объектов и сред позволяет после построения частных моделей в геореляционном режиме ГИС сформировать единую модель на (суб)региональном уровне (рис. 5).

Целесообразность использования метода стратифицированного моделирования может быть обоснована исходя из общих представлений. Имеется замкнутая односвязная область  $D$  пространства решений некоторой задачи, в соответствии с постановкой которой в данной области требуется найти оптимальное решение [3]. Достаточно часто решение такого рода задач невозможно найти



**Рис. 4. Пилотная трехмерная модель рельефа поверхности, совмещенная с геологической картой и каркасом разломных зон:** показаны проекции разломов на глубину, район ОАО «ППГХО», г. Краснокаменск, Забайкальский край

для всей области в целом. Однако для данной методологии можно представить и более строгое математическое обоснование, в основе которого лежат декомпозиционные методы, широко применяемые при численном решении прямых задач. Тогда данная область разбивается на несколько взаимно пересекающихся областей  $D_1, D_2, \dots, D_n$  таких, что на каждой из них ищется независимое решение:

$$D \equiv \bigcup_i D_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Действительно, в связи с чрезвычайной сложностью проектирования современных информационных систем и трудоемкостью этого процесса вытекает необходимость разбиения общей задачи на более простые и поиска независимых решений для каждой из них.

Таким образом, появляется разбиение исходной сложной задачи на ряд более простых подзадач, согласование решений которых, необходимое для декомпозиции общего решения, строится посредством итерационного процесса. Следует отметить, что данная методология, лежащая в основе многих разностных схем [19], используемых при численном решении задач математической геологии, является полностью обоснованным математически аппаратом. В связи с этим она может использоваться в других областях научной деятельности, в частности при конструировании сложных информационных систем путем построения стратифицированных математических моделей.

Рациональное размещение пунктов мониторинга сейсмогеодинамических процессов связано с распределением происшедших ранее сейсмических событий на территории забайкальского сектора

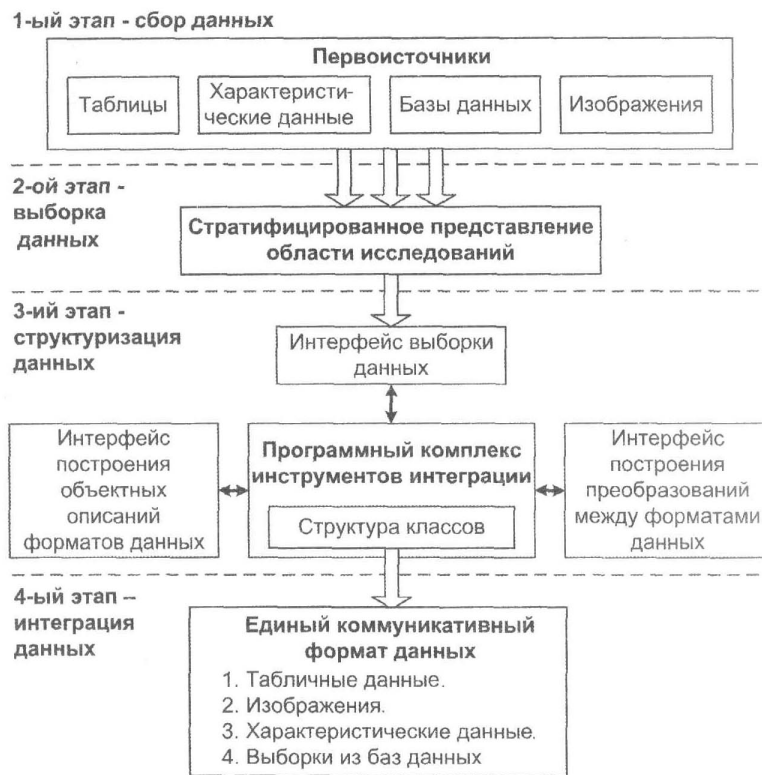


Рис. 5. Этапы обработки данных по методу стратифицированного моделирования

Монголо-Охотского подвижного пояса. Учитывается свойство повторяемости сейсмических событий. Определяющими параметрами в этом случае служат интенсивность землетрясения и положение его эпицентра. Для выделения опасных сейсмических зон разработана приводимая ниже математическая модель.

При моделировании возникает необходимость декомпозиции множества эпицентров землетрясений на областях, в центре которых находятся наиболее мощные сейсмические события. С технологической точки зрения удовлетворение информационных потребностей осуществляется конечным множеством тематически специализированных центров

$$F = \{f_i\}$$

где  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  — общее число центров (серверов).

Структура схемы содержит:

$$J = \overline{1, m}$$

уровней с центрами

$$q = \overline{1, r}$$

статусов, причем  $m < r$ .

Исходное множество центров  $F$  разбивается на  $M$  непересекающихся подмножеств  $F_d$ :

$$F = \bigcup_{d=1}^M F_d; F_d \cap F_n = \emptyset.$$

Требуется из каждого подмножества (объединения) элементов  $B_d$  выбрать базовый элемент  $B_i \in B$ , на основе которого формируется зона сейсмической опасности:

$$B \cap B_1 = b_1; \dots B \cap B_M = b_m;$$

$$\bigcup_{d=1}^M B_d = B,$$

где  $B$  — множество базовых элементов (центров зон).

Множество разбивается на группы элементов по принципу наибольшей пространственной взаимосвязанности объединяемых центров (элементов). Для оценки такой близости (расстояний) элементов вводятся коэффициенты

$$C'_{ij},$$

посредством которых оценивается мера связности элементов  $i$  и  $j$  с точки зрения целей декомпозиции системы. Коэффициенты в общем случае представляют собой величины, обратные интенсивности землетрясений, и должны удовлетворять условию:

$$0 \leq C'_{ij} \leq 1; C'_{ij} = \frac{1}{1 + S_{ij}},$$

где  $S_{ij}$  — степень сейсмической опасности для определенных координат эпицентра.

Зоны сейсмической опасности рассматриваются как проекции трехмерных областей гипоцентров на верхний слой земной коры. Интенсивность землетрясения на поверхности земной коры  $E$  обратно пропорциональна глубине  $r$  расположения гипоцентра:

$$E = \frac{P}{R - r},$$

где  $R$  — задаваемый критический (максимальный) уровень рассмотрения центров сейсмических явлений,  $P$  — интенсивность землетрясения в районе эпицентра:  $R > r$ .

Формирование структуры (схемы расположения центров зон) с учетом приведенных соображений осуществляется в два этапа: первый — определение коэффициентов связности центров

$$C'_{ij},$$

второй — моделирование топологических структур при заданных значениях коэффициентов

$$C_{ij}.$$

Частная модель страты, организованной по критерию интенсивности землетрясения в эпицентрах, и частная модель, учитывающая расстояния между эпицентрами, объединяются по технологии ГИС с глубинной частной моделью гипоцентров в глобальную модель зон повышенной сейсмической опасности. В соответствии с глобальной моделью строится схема размещения пунктов мониторинга сейсмогеодинамических процессов.

Рассмотренный подход к декомпозиции данных реализуется в виде конкретных алгоритмов, построенных применительно к разного рода моделям классификации сейсмических событий. Визуализация режимов моделирования служит методом оценки разрабатываемых прототипов технических решений по реализации результатов теоретических исследований. При этом пользователь оперирует 4D данными в пространственном, временном и тематическом контекстах.

Происшедшая в марте 2011 г. катастрофа на АЭС «Фукусима-1» заставила исследователей более пристально взглянуть на устойчивость технологически сложных систем к природному воздействию. Последствия разрушений на АЭС, если и не приведут к пересмотру существующих стандартов сейсмической защиты, то, несомненно, инициируют рассмотрение и принятие более жестких требований, предъявляемых к системам сейсмогеодинамического мониторинга, особенно к набору его инструментальных средств, и качеству первичных геолого-геофизических данных, используемых для моделирования.

На территории забайкальского сектора Монголо-Охотского подвижного пояса организуется геодинамический полигон в целях создания системы прогноза развития сейсмогеодинамических процессов для объектов повышенной техногенной и экологической опасности. Применяются новейшие методы получения комплексных геолого-геофизических данных и их обработки с помощью геоинформационных технологий. Основные элементы геоинформационной системы — территориально централизованная и тематически распределенная база геолого-геофизических данных, трехмерная модель литосферных блоков с про-

странственным распределением сейсмогенерирующих структур, схема (ГИС-макет) размещения пунктов мониторинга сейсмогеодинамических процессов.

С помощью ГИС по методу стратифицированного моделирования получены материалы, отражающие энергетический потенциал очаговых зон землетрясений региона Юго-Восточного Забайкалья в виде схемы расположения сейсмически активных очаговых зон с учетом максимально возможной магнитуды землетрясений на основе проведения комплексной интерпретации данных глубинной геофизики. Разработанная концепция трехмерной модели литосферных блоков позволяет сделать вывод о том, что для определения количественных параметров (глубина расположения, геометрия и проводимость) сейсмически активных структур необходимо интерпретировать их в рамках 3D моделей с визуализацией морфологии поверхности сейсмически активной зоны в разрезе земной коры.

Перспективная оценка опасности развития геодинамических процессов с помощью ГИС основывается на системе комплементарных прогнозов различного масштаба и продолжительности срока. Для определения зон сейсмической опасности используется вариант применения в ГИС математического метода стратифицированного моделирования. Положение центра зоны может рассматриваться как аргумент выбора координат пункта системы сейсмогеодинамического наблюдения. Разработан подход к подготовке схемы возможной организации пунктов постоянных и временных наблюдений с учетом инфраструктурных элементов территории (дороги, водотоки, населенные пункты, промышленные предприятия, линии электропередач и т.д.).

Применение ГИС обеспечивает повышение эффективности:

оценки состояния сейсмогенерирующих структур, что позволит разработать мероприятия по предотвращению или существенному уменьшению экологических последствий природных и техногенных катастроф для объектов народного хозяйства, включая месторождения стратегических видов минерального сырья;

прогнозирования сейсмогеодинамических процессов в части пространственной связи областей генерации напряжений с конкретными геологическими структурами, что даст возможность районировать территории по современной сейсмогеодинамической активности, включая оценку размеров сейсмоопасных зон и повышение точности прогноза магнитуд землетрясений;

использования систем мониторинга сейсмогеодинамических процессов, что позволит на единой геоинформационной платформе повысить дей-



ственность процедур принятия решений в областях рационального недропользования, осуществления природоохранных мероприятий и социально-экономического планирования.

*Работы проводятся при финансовой поддержке государственного контракта № 16.515.11.5056 с Министерством образования и науки Российской Федерации.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бюллетень* Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии Российской АН, 1902–1908, 1911–1912. – СПб.: 1902–1913.
2. *Веселовский А.В.* Информационная поддержка исследований в области наук о Земле с помощью распределенного интегрального банка данных // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. М., 2007. Вып.7. С. 13–20.
3. *Викторов А.С., Капралова В.Н.* Применение методов математической морфологии ландшафта для оценки риска поражения линейных инженерных сооружений опасными экзогенными геологическими процессами // *Геозкология*. 2011. № 2. С. 165–173.
4. *Вращения и деформации земной поверхности в Байкало-Монгольском регионе по данным GPS-измерений / А.В.Лухнев, В.А.Саньков, А.И.Мирошниченко и др.* // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 7. С. 1006–1017.
5. *Духовский А.А., Артамонова Н.А.* Зоны сочленения мегаблоков и гранитоидные ареал-плутоны — важнейшие глубинные рудоконтролирующие структуры Забайкальского горнорудного региона // *Региональная геология и металлогения*. 2008. № 35. С. 113–121.
6. *Интернационализация ядерного топливного цикла: цели, стратегии и проблемы / Под ред. Д.Ф.Ахерна, Н.П.Лаверова.* – Washington, DC: The National Academies Press, USA, 2008.
7. *Ищукова Л.П.* Урановые месторождения Стрельцовского рудного поля в Забайкалье. – Иркутск: Типография «Глазовская», 2007.
8. *Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97).* – М.: ИФЗ РАН, 1999.
9. *Кондорская Н.В., Шебалин Н.В.* Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977.
10. *Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых.* В 3-х томах / Под ред. Н.П.Лаверова, Д.В.Рундквиста. – М.: ИГЕМ РАН, 2006.
11. *Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А.* Техногенные геомеханические поля напряжений. – Новосибирск: Наука, 2005.
12. *Саньков В.А., Леви К.Г., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И.* Современные движения литосферных блоков Центральной Азии по данным GPS-геодезии // *Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии*. Новосибирск, 2005. С. 165–179.
13. *Сейсмические и гравитационные образы ведущих рудных районов и полей Юго-Восточного Приаргунья (Восточное Забайкалье, Россия) / А.А.Духовский, В.А.Амантов, Н.А.Артамонова и др.* // *Геология рудных месторождений*. 1998. Т. 40. № 2. С. 99–113.
14. *Системы мониторинга сейсмогеодинамических процессов для объектов повышенной экологической и техногенной опасности: проблемы и перспективы развития / Н.С.Бортников, В.А.Петров, А.В.Веселовский и др.* // *Рациональное природопользование*. Итоговая конференция Минобрнауки. СПб., 2011. С. 30–32.
15. *Соболев Г.А.* Концепция предсказуемости землетрясений на основе динамики сейсмичности при триггерном воздействии // *Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений*. М., 2010. С. 15–43.
16. *Экстремальные природные явления и катастрофы.* В 2-х томах / Отв. ред. А.О.Глико. – М.: ИФЗ РАН, С. 2010–2011.
17. *International repository project in Russia / N.P.Laverov, V.I.Velichkin, V.A.Petrov et al.* // *WM'04 Conference*. Tucson, AZ, USA, 2004. CD.
18. *Ruchkin S.V., Loginov V.Y.* Securing the Nuclear Fuel Cycle: What next? // *Vienna. IAEA Bulletin*. 2006. Vol. 48. №. 1. P. 24–26.
19. *Viktorov A.S.* Risk Assessment Based on the Mathematical Model of Diffuse Exogenous Geological Processes // *Mathematical Geology*. 2007. Vol. 39. №. 8.