

Харлампенков Иван Евгеньевич

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА**

05.25.05 – информационные системы и процессы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Потапов Вадим Петрович

Официальные оппоненты: Пимонов Александр Григорьевич, доктор
технических наук, профессор, Кузбасский
государственный технический универси-
тет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Якубайлик Олег Эдуардович, кандидат
физико-математических наук, Институт
вычислительного моделирования СО РАН,
г. Красноярск, старший научный сотруд-
ник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Вычислительный центр
Дальневосточного отделения Российской
академии наук, г. Хабаровск

Защита состоится «30» сентября 2016 года в 11:30 на заседании диссертационного совета ДМ 003.046.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, конференц-зал ИВТ СО РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук
<http://www.ict.nsc.ru/ru/structure/discouncil/kharlampenkov-0>

Автореферат разослан 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета к.ф.-м.н., доцент

Лебедев А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Характерной особенностью горнопромышленных регионов является высокая плотность горнодобывающих предприятий, расположенных вблизи или в пределах крупных населенных пунктов. Большая интенсивность горных работ, обусловленная ежедневными массовыми взрывами, перемещением и изменением физико-механических свойств миллионов кубометров горных пород на глубинах до 600 метров от земной поверхности, приводит к значительному увеличению числа сейсмических событий как техногенного, так и природного характера.

Контроль за деятельностью предприятий угледобывающей промышленности осуществляется администрацией регионов, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС). Но при этом, например, в Кузбассе слабо развита сеть сейсмических станций, отсутствуют общедоступные источники, публикующие сведения о произошедших сейсмических событиях, а также соответствующие информационные системы для их анализа. Такое состояние дел затрудняет проведение оценки быстро меняющейся геодинамической обстановки в регионе. Поэтому возникает потребность в поиске источников данных, создании средств для их агрегации, хранения и анализа на уровне региона, с учетом различий в форматах представления и протоколов обмена. В настоящее время существует ряд информационных систем мониторинга и обработки геодинамических данных. Среди них можно выделить: ISS (ЮАР), Quanterra (Kinemetrics SA, Швейцария), PASSCAL Software (IRIS, США), Система горного сейсмологического мониторинга GITS (ВНИМИ) и т.д. В этот список можно включить также специализированные сети обработки данных геофизических служб РАН, СО РАН, ДВО РАН. Основным недостатком указанных систем является их ориентация на ограниченный круг потребителей, непосредственно участвующих в процессе сбора и обработки данных, закрытость для стороннего пользователя, в том числе и регулирующих деятельность угольной промышленности органов власти (Администрация области, Ростехнадзор, МЧС). Накопленная информация публикуется на сайтах различных ассоциаций, однако, они в большинстве случаев ограничены возможностями поиска данных по различным критериям. Инструменты для их выгрузки с целью последующего использования средствами анализа и обработки информации практически отсутствуют, либо недоступны.

Следует отметить перспективность, актуальность создания сложных распределенных программных комплексов обработки данных, которые позволят группировать события по выбранным атрибутам, проводить их сравнение и оценку динамики изменений. Среди таких средств можно выделить алгоритм построения траекторий миграции центров сейсмозергвыделения, разработанный сотрудниками Института горного дела СО РАН под руководством член-корреспондента РАН В.Н. Опарина, теорию фракталов, получившую развитие в трудах Б. Мандельброта, Е. Федерера и ряда других ученых. Рассматриваемые методы обработки данных могут быть реализованы в виде вычислительных модулей, различающихся требованиями к входным данным и формой представления результатов. Для их совместного применения требуется построение различных цепочек обработки исходных данных, реализуемых в рамках соответствующей информационной системы.

На сегодняшний день наиболее подходящим инструментом интеграции пространственных данных в виде информационной системы является геопортал. Данная технология рассматривалась в трудах А.В. Кошкарёва, Тикунова В.С., Капралова Е.Г., Gouglas D. Nebert, Бычкова И.В., Ружникова Г.М. и др. Стоит отметить, что в большинстве случаев геопортал выступает в качестве единой точки доступа к метаописаниям пространственных данных, содержит средства для их поиска и просмотра электронных карт. Но в тоже время рассматриваемая технология может использоваться для предоставления единообразного доступа к вычислительным сервисам обработки геоданных, примером которых является геодинамическая информация. Поэтому становится актуальной задача разработки информационной системы обработки геодинамических данных, связанных с сейсмическими явлениями, происходящими в горнопромышленных регионах и инициируемые высокими техногенными нагрузками, либо природной сейсмичностью.

Целью диссертационной работы является разработка информационной системы комплексной оценки параметров геодинамических событий горнопромышленных регионов.

В диссертации поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Сформулированы функциональные требования для информационной системы обработки геодинамических событий горнопромышленного региона.
2. Разработана информационная модель регламентированного сбора из распределенных источников геодинамических данных различных форматов, включающая их последующий анализ на основе оригинальных методов обработки пространственной информации.
3. Построена схема интеграции вычислительных модулей в рамках единого приложения, позволяющего реализовывать различные алгоритмы на единой информационной основе.
4. Разработана комплексная модель обработки данных, обеспечивающая проведение оценки геодинамической обстановки в различных регионах Сибири.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Сформирован перечень требований к информационной системе оценки параметров сейсмических событий, позволяющей комплексно оценивать геодинамику горнопромышленных регионов.
2. Создана новая информационная модель сбора и хранения геодинамических данных из распределенных источников, обеспечивающая как объединение совокупности форматов и протоколов передачи данных, так и гибкую настройку системы в целом, включая их последующий анализ на основе оригинальных методов обработки пространственной информации.
3. Создана схема интеграции вычислительных модулей (в том числе ранее созданных) в информационную систему, позволяющая реализовывать различные комбинации алгоритмов обработки данных.
4. В рамках информационной системы разработана оригинальная комплексная модель обработки геодинамических событий на основе интеграции алгоритмов построения траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения и методов расчета фрактальной размерности, позволяющая выполнять сравнение сейсмической обстановки для различных регионов Сибири.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается использованием адекватных методов и моделей информационного моделирования, проектирования баз данных (БД), методов сбора, хранения и обработки пространственных данных, статистических методов обработки информации, элементов теории фракталов, спектрального анализа, а также представительным множеством расчетов (около 1000) для различных горнопромышленных регионов страны.

Практическая значимость и ценность:

Создана информационная система, позволяющая осуществлять сбор, хранение, обработку и анализ геодинамических данных, выполняя сравнение сейсмической обстановки для различных горнопромышленных регионов. Система опробована для регулярной оценки геодинамической ситуации в ряде регионов (на примере Сибирского федерального округа). Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, акты и справки о внедрении системы.

На защиту выносятся:

1. Перечень функциональных требований к информационной системе оценки геодинамических событий горнопромышленного региона.
2. Информационная модель системы, учитывающая различия в форматах и протоколах передачи данных, обеспечивающая интерактивный сбор информации включая ее последующий анализ.
3. Схема интеграции вычислительных модулей (в том числе ранее созданных) и средств визуализации в информационную систему, позволяющая строить различные эффективные процессы обработки массивов событий.
4. Новые методы обработки массивов сейсмособытий, позволяющие осуществлять сравнение геодинамической обстановки для различных регионов Сибири.

Представление работы. Основные результаты диссертации докладывались на следующих научных мероприятиях: II Международная конференция «Геоинформатика: технологии, научные проекты» (Барнаул, 2010г.); Международная молодежная школа и конференция CITES-2011 (Томск, 2011г.); X Международная научно-практическая конференция «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 2012г.); Российско-монгольская конференция молодых ученых по математическому моделированию, вычислительно-информационным технологиям и управлению (Иркутск (Россия) – Ханх (Монголия), 2011г.); II Российско-монгольская конференция молодых ученых по математическому моделированию, вычислительно-информационным технологиям и управлению (Иркутск (Россия) – Ханх (Монголия), 2013г.); III Российско-монгольская конференция молодых ученых по математическому моделированию, вычислительно-информационным технологиям и управлению (Иркутск (Россия) – Ханх (Монголия), 2015г.); XIII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Новосибирск, 2012г.); XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Тюмень, 2014г.); XII Прибайкальская школа-семинар молодых ученых «Моделирование, оптимизация и информационные технологии» (Иркутск – Байкал, 2012г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ. В том числе (в скобках в числителе указан общий объем этого типа публикаций, в знаменателе – объем, принадлежащий автору): 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК (2,44/1,22 печ. л.), 2 – в трудах международных и российских конференций (0,25/0,125 печ. л.), 6 – в тезисах

международных и российских конференций (0,44/0,22 печ. л.). Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора состоит в следующем [в скобках указаны ссылки на статьи, где опубликован результат]:

- создана распределенная информационная система, позволяющая осуществлять сбор, хранение, обработку и анализ геодинамических данных, выполняя сравнение сейсмической обстановки для различных горнопромышленных регионов [1,6];
- предложена и реализована технология интеграции вычислительных модулей для оценки влияния сейсмособытий [11,12,13];
- выполнена программная реализация информационной системы [2,3,4,5,7,9,14];
- разработаны новые расчетные сервисы для интегрированной оценки геодинамического состояния горнопромышленных регионов с учетом сейсмических событий в нем происходящих [2,3,4,5];
- проверена работоспособность системы на примере решения задач оценки геодинамической ситуации в ряде регионов Сибири [3,5,8,10].

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 85 наименований и приложения. Общий объем работы 120 страниц, в том числе 58 рисунков и 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, представляются цели, задачи и методы исследования, определяется научная новизна и практическая значимость работы, формулируются научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены существующие типы сейсмических геодинамических данных, к которым относятся сейсмограммы и сейсмобюллетени. Сейсмограмма (от сейсмо... и ...грамма) – результат записи сейсмических колебаний посредством сейсмографа, с указанием марок точного времени. Другой разновидностью геодинамических данных являются сейсмологические бюллетени и каталоги. Сейсмобюллетень представляет собой периодическое печатное или электронное издание, содержащее данные о регистрации сейсмических волн на станциях. Как правило, запись о сейсмическом событии включает в себя следующие сведения: название станции, ее код, эпицентральное расстояние, азимут и др. В рамках данной работы под понятием «геодинамические данные» понимается не запись регистрации процесса геодинамического проявления в виде сейсмодолны (сейсмограмма), а результат обработки набора сейсмограмм, представленный в виде сейсмологического бюллетеня.

Как показал анализ геодинамических данных на территорию Сибири и, в частности, Кемеровской области, в настоящее время существуют следующие источники информации, представленные в таблице 1. Указанные организации, несмотря на то, что решают схожую задачу фиксации произошедших сейсмических событий, применяют различные подходы к публикации данных в сети Интернет: в виде набора основных веб-служб для прямого доступа к данным о форме волны и метаданных по протоколу HTTP с широкими возможностями поиска и фильтрации сейсмоданных (IRIS DMC, ISC); через протокол FTP с ограничением набора данных и без средств поиска (ГС РАН); доступ к бюллетеням в виде txt

файлов по протоколу HTTP (KNDC); публикация на сайте в виде новостных блоков. Различаются форматы представления данных как с точки зрения средств представления информации (XML и текстовые файлы с фиксированной длиной полей), так и внутренней структуры, перечня атрибутов, характеризующих каждое событие. Указанная особенность затрудняет использование стандартных инструментов для загрузки данных и анализа сейсмобюллетеней.

Таблица 1. Сведения об источниках геодинамических данных

Название	Адрес сайта	Форматы данных	Протокол доступа
Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан, KNDC	www.kndc.kz	ISF	HTTP
Международный сейсмологический центр (International Seismological Centre), ISC	www.isc.ac.uk	ISF, QuakeML	HTTP
Объединение научно-исследовательских институтов по сейсмологии (Incorporated Research Institutions for Seismology), IRIS	www.iris.edu	QuakeML	HTTP
Геофизическая служба Российской академии наук, ГС РАН	www.gsras.ru	Собственный	FTP
Территориальный центр мониторинга, лабораторного контроля прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, ТЦМП	-	Собственный	-

Ниже приводится краткое описание существующих основных методов и информационных систем обработки геодинамических данных (таблица 2).

Таблица 2. Методы и информационные системы обработки геодинамических данных

Название	Назначение	Информационные системы
Регистрация и обработка сейсмограмм	Получение основных характеристик геодинамического события	Автоматизированные рабочие места (АРМ) сейсмолога, например, WSG (ГС РАН, ООО «НПП Геотех»), NYPO71-91 (США), SEISAN (Норвегия, Дания) и т. д. Сети обработки данных «Землетрясения Камчатки», сеть наблюдений ИГИ НЯЦ РК и др.
Сейсморазведка	Качественное и количественное описание строения месторождений полезных ископаемых	Программная среда Epos3TE (Paradigm), комплекс программ Omega Seismic Data Processing Software (WesternGeco), система GeoGraphix 2014 (Landmark Graphics Corporation), программный комплекс Prime (ООО «Сейсмотек», Яндекс) и др.
Новые алгоритмы	Оценка геодинамического состояния регионов	ГИС-приложение «ЮФО СЕЙСМИК» и др.

Среди основных недостатков представленных систем стоит отметить их ориентацию на ограниченный круг потребителей, непосредственно участвующих в процессе сбора и обработки данных; закрытость для стороннего пользователя, в том числе и из регулирующих деятельность угольной промышленности органов власти (Ростехнадзор, МЧС).

Учитывая специфику получения и обработки геодинамической информации сформулирован ряд требований к создаваемой системе разделенных на три категории.

а) Общие требования.

1. Применение принципов построения открытых систем (расширяемость, масштабируемость, переносимость, интероперабельность и т.д.).
2. Использование разработанных Открытым геопространственным консорциумом (Open Geospatial Consortium, OGC) протоколов для публикации и обработки пространственных данных в сети Интернет.
3. Функционирование как сервис в сети Интернет.
- б) Требования к подсистеме регламентированного сбора данных.
4. Загрузка как по расписанию, так и по запросу пользователя сейсмологических бюллетеней и каталогов из удаленных источников по стандартным протоколам HTTP, FTP с последующим преобразованием данных из форматов ISF, QuakeML в единую структуру для хранения в базе данных.
5. Фильтрация геодинамических данных на основе выбранных пользователем территорий, задаваемых в виде полигонов.
6. Хранение собираемых данные с привязкой к источнику их получения и предоставление к ним доступа через единый программный интерфейс.
7. Добавление в информационную систему новых источников геодинамических данных без участия разработчика.
- в) Требования к вычислительным модулям
8. Использование алгоритмов обработки геодинамических данных с точки зрения их пространственных характеристик (принадлежность к территории, группировка, взаиморасположение и т.д.) и, в частности, метода расчета траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения.
9. Реализация каждого алгоритма обработки данных как независимой процедуры для построения конвейера обработки геодинамической информации из отдельных вычислительных модулей.
10. Предоставление доступа пользователю к расчетным модулям через единый протокол, предусматривающий средства работы с пространственными данными.
11. Отображение полученных результатов расчетов на электронной карте, если они являются пространственными данными.

В рамках данной работы представленные системы обработки геодинамических данных рассматривались с точки зрения предложенных требований. Проведенный анализ показал, что в настоящее время не существует систем, полностью удовлетворяющих данным критериям. Следовательно, разработка новой системы является актуальной задачей.

Во **второй главе** на основе представленных ранее требований разработана модель системы (рис. 1). Предложенная информационная система (ИС) взаимодействует с удаленными источниками данных с целью получения от них геодинамической информации. Главным потребителем результатов работы ИС выступает пользователь, на основе запросов которого осуществляется поиск, обработка и отображение ее результатов. Исходя из этого, ИС предоставляет ряд сервисов: «Сервис данных», «Сервис обработки» и «Средства визуализации».

Выполнено сравнение структуры существующих форматов представления сейсмологических бюллетеней: IASPEI Seismic Format (ISF), QuakeML, собственный формат Геофизической службы РАН. ISF является утвержденным IASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior) форматом для обмена параметрическими сейсмологическими данными. Представленная в бюллетене информация сгруппирована по

нескольким секциям: название бюллетеня, название сейсмического события, характеристики сейсмического события, блок магнитуд (список значений с указанием типа магнитуды) и блок, содержащий сведения о фазах сейсмической волны. Может присутствовать дополнительная информация о сейсмических станциях и время прихода волны на станцию. QuakeML - модель представления сейсмологических данных, ранее преобразованных в формат XML. Предназначен для стандартизации обмена сейсмологическими данными и применяется для решения широкого диапазона научных и технических проблем в сейсмологии. В QuakeML описание сейсмического события включает приборы, время прихода волны, амплитуды, происхождение, механизмы очагов и момент тензоров. Геофизической службы РАН использует собственный формат со специфической структурой и содержащий данные об основных параметрах очагов землетрясений. Проведенный анализ структуры и форматов представления геодинамических данных позволил выявить ряд общих характеристик: дата и время возникновения, координаты эпицентра, глубина очага, магнитуды.

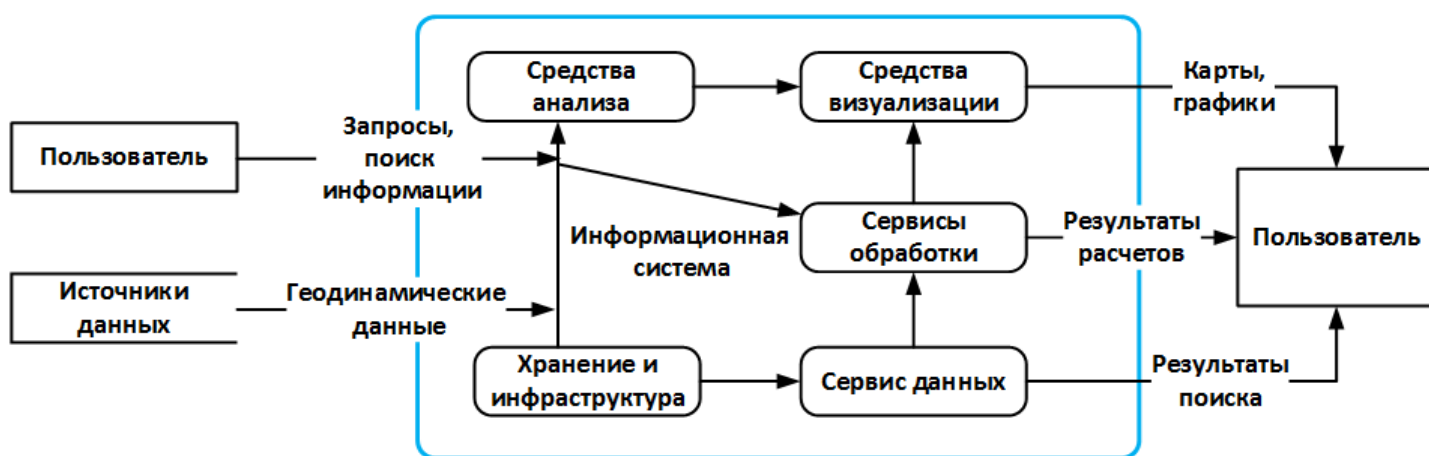


Рисунок 1 – Взаимодействие информационной системы с внешними ресурсами

На основе анализа источников и форматов представления геодинамической информации предложен механизм сбора данных, использующий следующие принципы: разделение средств управления источниками информации и конверторов, что обеспечивает повторное использование последних; применение единого интерфейса для обработчиков каждого формата и структуры данных; проведение пространственной фильтрации до загрузки записей в базу данных. В рамках данной методики источник данных представляется в виде множества $S \{t, u, P, F_n\}$, где t – название источника, u – URL доступа к данным, P – протокол передачи данных и F_n – подмножество форматов данных. В свою очередь протокол $P \{p, sch\}$ содержит обозначение p и схему sch вида «scheme://» (file://, http:// и т.д.). Формат данных $F \{f\}$ может быть основан на типе f , в котором выделяется либо текст с фиксированной длиной полей (ISF, CSV и т.д.), либо XML, являющийся основой для QuakeML. Входными данными является сейсмологический бюллетень S_b , который состоит из множества описаний событий $Q \{i, dt, lon, lat, h, M_n, E, O_k\}$, где i – порядковый номер, dt – дата и время возникновения, lon и lat – долгота и широта эпицентра, h – глубина очага, M_n – подмножество магнитуд, E – энергетический класс и O_k – подмножество других атрибутов, специфичное для каждого формата. Выходными данными является множество описаний $Q \{i', dt', lon, lat, h, M_n', E, S\}$, где i' – порядковый номер записи в системе, dt' – дата и время возникновения по Гринвичу (UTC), M_n' – подмножество преобразованных

магнитуд и S – описание источника информации. В процессе обработки данных выполняется преобразование Q в Q' , при котором время dt' приводится к одному часовому поясу, заполняются пробелы в значениях магнитуд M_n' , добавляется ссылка на источник S , и нумерация событий i' по единому стандарту.

В рамках исследования рассмотрен и выбран ряд методов обработки геодинамических данных для анализа сейсмической обстановки в регионах Сибири. Основу составляет алгоритм построения траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения, разработанный в Институте горного дела СО РАН под руководством член-корреспондента РАН В.Н. Опарина. Понятие центр сейсмоэнерговыведения представляет собой обобщение известного в механике понятия центра масс применительно к сейсмособытиям заданной энергии в пределах некоторого объема породного массива¹. Результатом работы алгоритма является набор дискретных записей, который может быть отображен на электронной карте в виде ломаной линии.

Таблица 3. Вход и выход для каждого модуля

Название модуля	Вход	Выход
Построение траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения	множество описаний Q' , упорядоченное по дате	ломаная линия
Вычисление фрактальных размерностей	множество описаний Q' , упорядоченное по дате или множество точек, ломаная линия, полигон	три фрактальные размерности
Вычисление показателя Херста	множество описаний Q'	число (показателя Херста)
Расчет быстрого преобразования Фурье (БПФ)	множество описаний Q' , упорядоченное по дате	спектр
Построение диаграммы Вороного	множество описаний Q' , множество точек	диаграмма в виде набора ребер

Для дальнейшего анализа траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения предложено использовать элементы теории фракталов. Данное понятие ввел Бенуа Мандельброт в следующей формулировке: «Фракталом называется множество, размерность Хаусдорфа-Безиковича для которого строго больше его топологической размерности»². Фрактальные объекты обладают следующими свойствами: каждое множество, обладающее дробной размерностью, является фракталом; большинство фракталов инвариантно относительно масштабных преобразований, т.е. самоподобны; фрактальные кривые не дифференцируемы. Обычно фракталы разделяют на детерминированные (регулярные) и недетерминированные (стохастические, мультифракталы).

Для описания и сравнения фракталов активно используется понятие размерности. Для регулярных фракталов достаточно вычислить только размерность Хаусдорфа-Безиковича (D). Мультифракталы описывают с помощью спектра обобщенных размерностей D_q , где q может принимать любые значения в интервале $(-\infty; +\infty)$. На практике особое внимание уделяют величине D_0 (D), информационной (D_1) и корреляционной (D_2) размерностям.

1 Опарин В.Н. и др. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - 449 с.

2 Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. - М: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

В системе каждый метод рассматривается как независимый вычислительный модуль со своим входом и выходом (таблица 3). Разработана последовательность операций обработки данных (рис. 2), включающая представленные в таблице 3 алгоритмы. Следует отметить, что операции расчета фрактальных размерностей выполняются как над исходной информацией Q' , так и после получения траекторий миграции центров сейсмозонирования. Для сопряжения модулей между собой применяются конверторы данных (на рис. 2 не показаны).

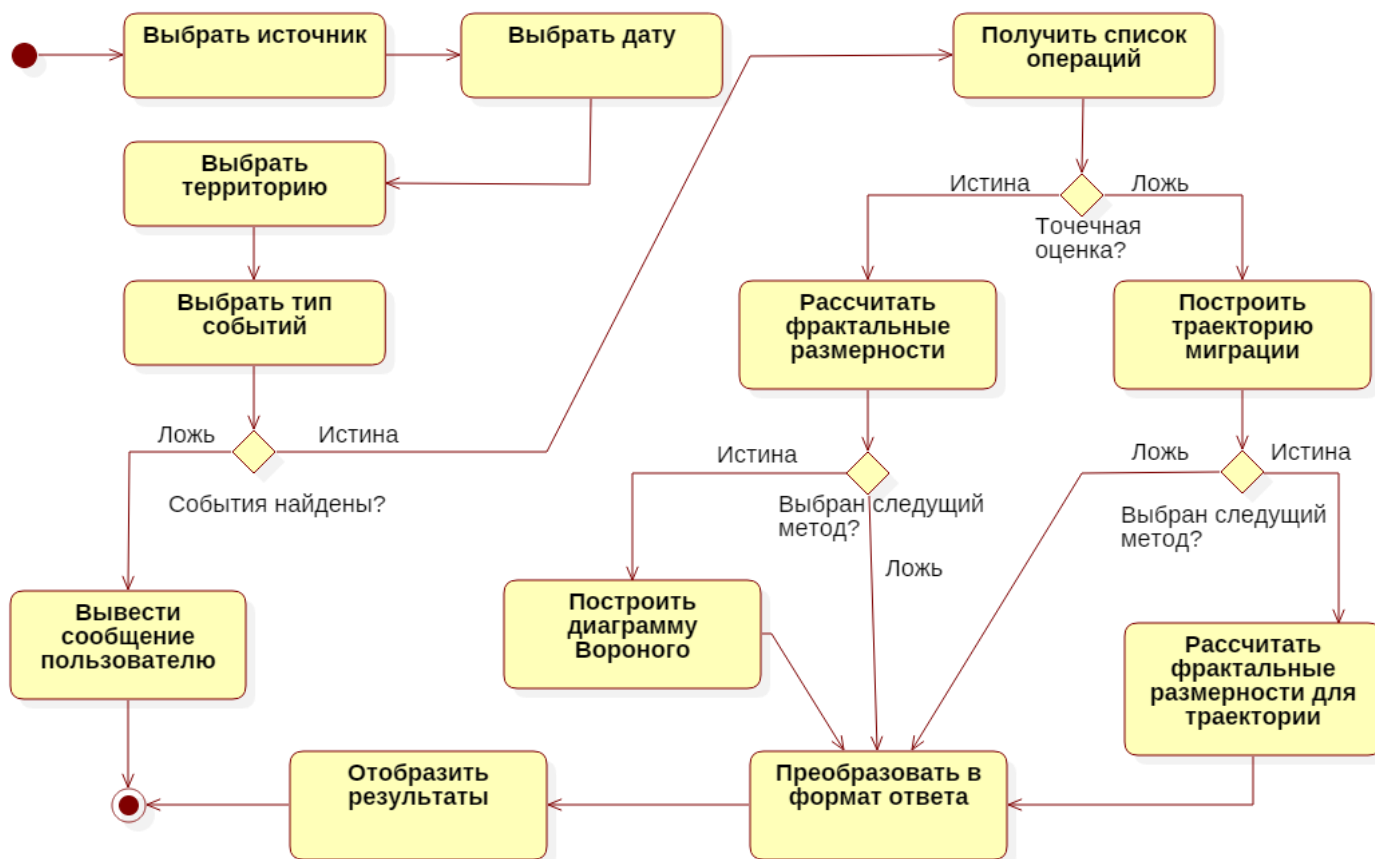


Рисунок 2 – Последовательность операций обработки сейсмических данных в информационной системе

Для описания перемещения информации между подсистемами разработана диаграмма потоков данных (рис. 3). Созданная модель описывает процесс преобразования информации, начиная от выбора параметров расчета, запуска вычислительных модулей и до формирования отчета с набором электронных слоев.

Для уточнения процедуры «Первичная обработка данных» разработана модель потоков (рис. 4). Как показано на рисунке 4 по запросу других подсистем запускается процедура «Выбрать источник», которая предоставляет параметры блоку «Загрузить данные». Полученные данные сохраняются в буфер и запускается «Преобразовать записи», которая в свою очередь формирует список геодинамических событий во внутреннем формате и передает его методу «Отфильтровать данные» и «Сохранить данные». Результаты загружаются в «Локальная БД». Таким образом разработаны модель обработки геодинамических данных и диаграммы потоков, отражающие процесс преобразования информации и функционирования создаваемой информационной системы.

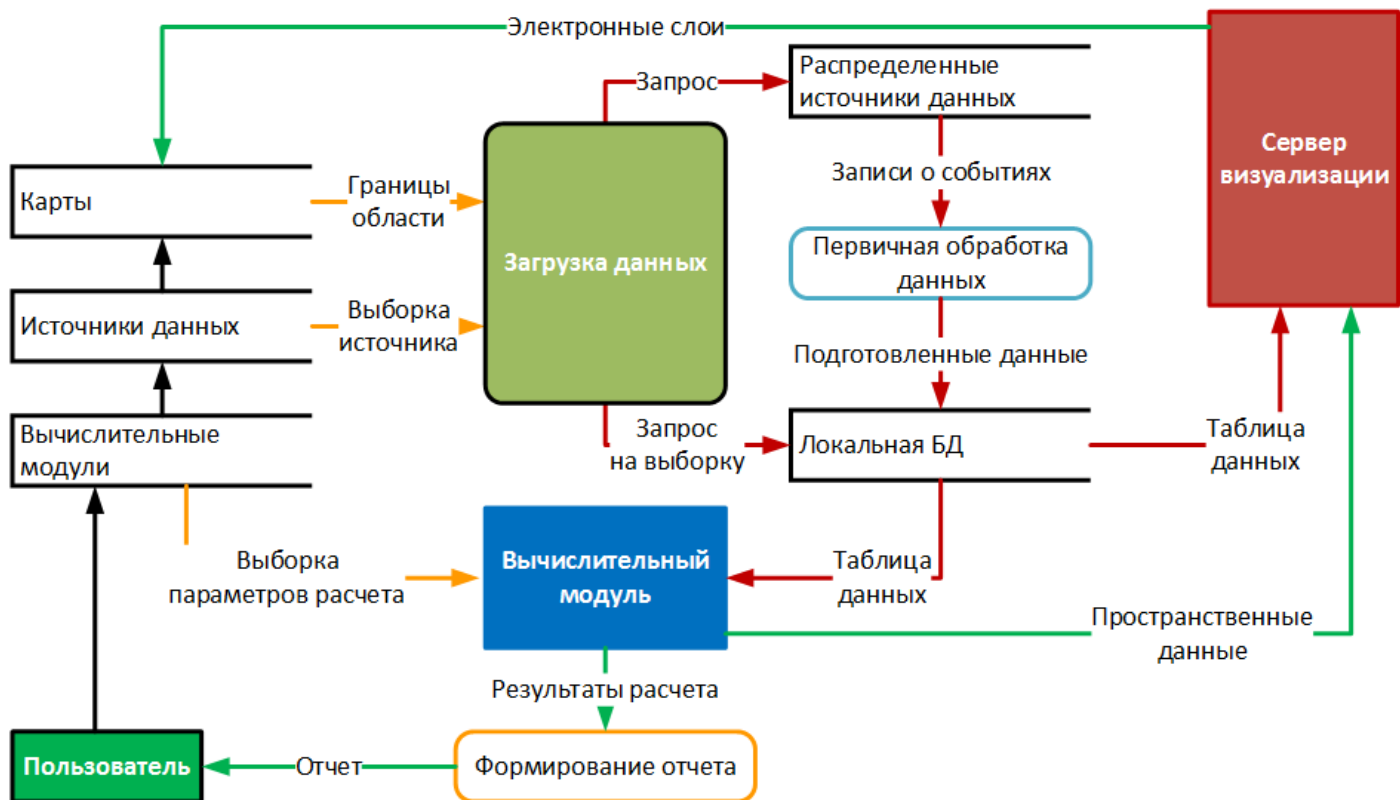


Рисунок 3 – Диаграмма потоков данных

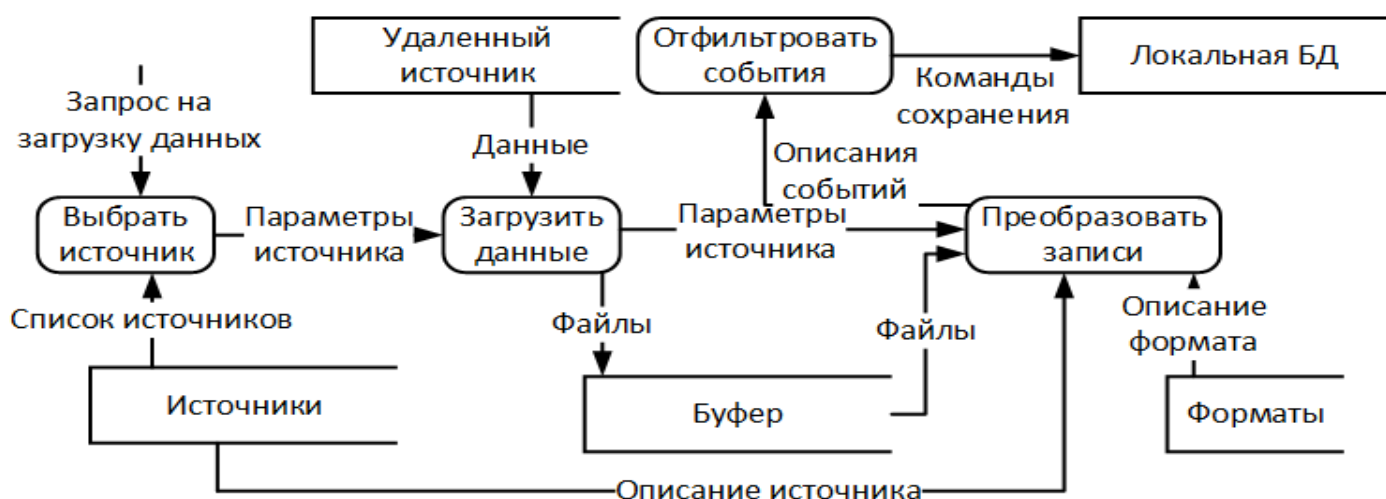


Рисунок 4 – Схема потоков для подсистемы загрузки данных

В третьей главе рассматривается реализация подсистемы сбора данных, архитектура геопортала и способ интеграции вычислительных модулей в него.

На основе предложенного ранее механизма разработана подсистема загрузки геодинимических данных. Для хранения собираемой информации предложена модель базы данных (БД), представленная на рисунке 5. Данная модель содержит информацию как о геодинимических событиях, так и об источниках, форматах и протоколах передачи данных. Каждое геодинимическое событие характеризуется географическим положением, датой и временем возникновения и содержит ссылку на источник. В свою очередь источник связан с протоколом и форматами данных. Каждому протоколу соответствует класс загрузчика данных. Для каждого формата предусмотрен свой парсер, ссылающийся на соответствующую

щий класс в коде программного обеспечения. Предлагаемая структура БД также учитывает наличие различных типов магнитуды и содержит средства пересчета для приведения их к единому виду. Реализованная организация модулей позволяет добавлять новый источник в систему, используя уже готовые программные классы.

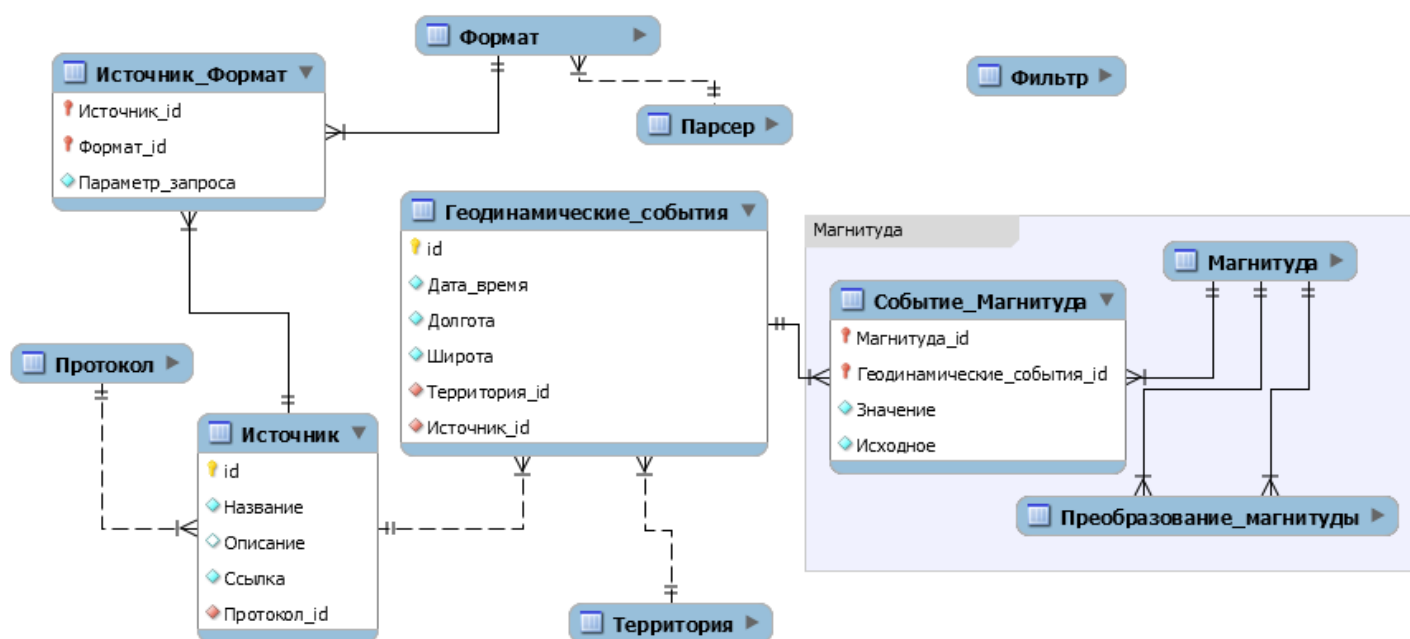


Рисунок 5 – Модель отношений сущностей базы данных

Важным вопросом являлся выбор технологии интеграции вычислительных модулей в геопортал. Представленные алгоритмы рассматривают геодинамические данные с точки зрения их пространственных характеристик, в связи с этим выбранное решение должно поддерживать операции над геоданными, а также позволять строить цепочки из отдельных процедур на основе их описания. На основе указанных требований был выбран протокол Web Processing Service (WPS)³. Данный протокол содержит ряд операций:

- **GetCapabilities** предоставляет полное описание сервиса;
- **DescribeProcess** возвращает детальное описание входных параметров и формата предоставления результата запрашиваемого метода;
- **Execute** запускает процесс вычислений.

Для упрощения процесса внедрения каталога сервисов WPS, применения единой подсистемы взаимодействия и построения запросов к базе данных и исключения зависимости вычислительных модулей от особенности реализации протокола, предложено добавить промежуточный слой управляющих сервисов (УС), который размещается между сервером приложений и вычислительными узлами, отвечает за обработку пользовательских запросов, формирование необходимых файлов заданий и запуск конкретных модулей с учетом форматов и архитектуры ранее созданного программного обеспечения (рис. 6). Данное решение позволяет вносить минимум изменений в имеющиеся расчетные приложения, а также обеспечивает определенную гибкость при дальнейшем развитии системы.

В рамках работы выполнено программных продуктов для публикации пространственных данных и средств их визуализации в клиента веб-приложения.

³ OpenGIS Web Processing Service. – Адрес доступа: <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>

Выбрана комбинация GeoServer и OpenLayers, так как она обеспечивает поддержку значительного числа разработанные OGC стандартных протоколов публикации в сети Интернет пространственных данных и обладает удобными средами администрирования. На их основе разработана библиотека, отвечающая настройку и управление электронными слоями на стороне клиента. Разработаны методы, упрощающие процесс отрисовки пользователем или программно объектов на карте.

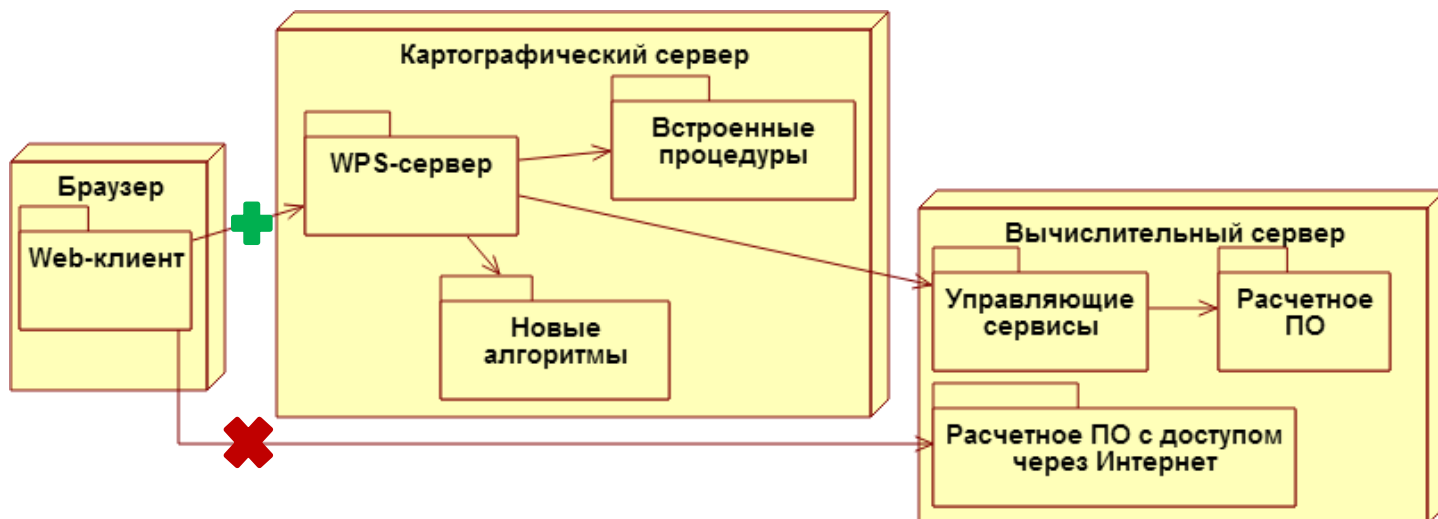


Рисунок 6 – Взаимодействие клиента с вычислительными сервисами

Для объединения возможностей создаваемой системы предложено использовать идею геопортала, которую можно трактовать как «точку входа в Интернет или Интранет с инструментами просмотра метаданных, поиска географической информации, ее визуализации, загрузки, распространения и, возможно, поиска геосервисов»⁴. Директива INSPIRE определяет геопортал через набор его функций как сайт, перечень функций которого, реализованных в виде Web-сервисов (геосервисов. Основными функциями являются средства поиска метаописаний пространственных данных и просмотра электронных карт.

Исходя из определенных в первой главе требований, предложена концептуальная модель геопортала представленная на рисунке 7. Пользователь взаимодействует с основным программным обеспечением через веб-интерфейс, содержащий интерактивную электронную карту. Основные запросы пользователя обрабатывает сервер приложений. Вызов вычислительных модулей осуществляется через сервис WPS, расположенный на картографическом сервере, который отвечает и за отображение пространственных данных и результатов расчетов.

Его масштабируемость обеспечивается за счет объединения кэширующего сервера с группой картографических серверов. Сервер данных обеспечивает доступ как к локальной базе данных, так и к удаленным источникам, содержит средства загрузки и преобразования информации. Для организации взаимодействия между элементами геопортала используются стандартные протоколы, разработанные OGC (WMS, WFS, WCS, WPS и так далее). Управление картографическим сервером осуществляется через REST API, используется протокол SOAP.

⁴ Кошкарёв А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами. – Адрес доступа <http://www.gisa.ru/45968.html>

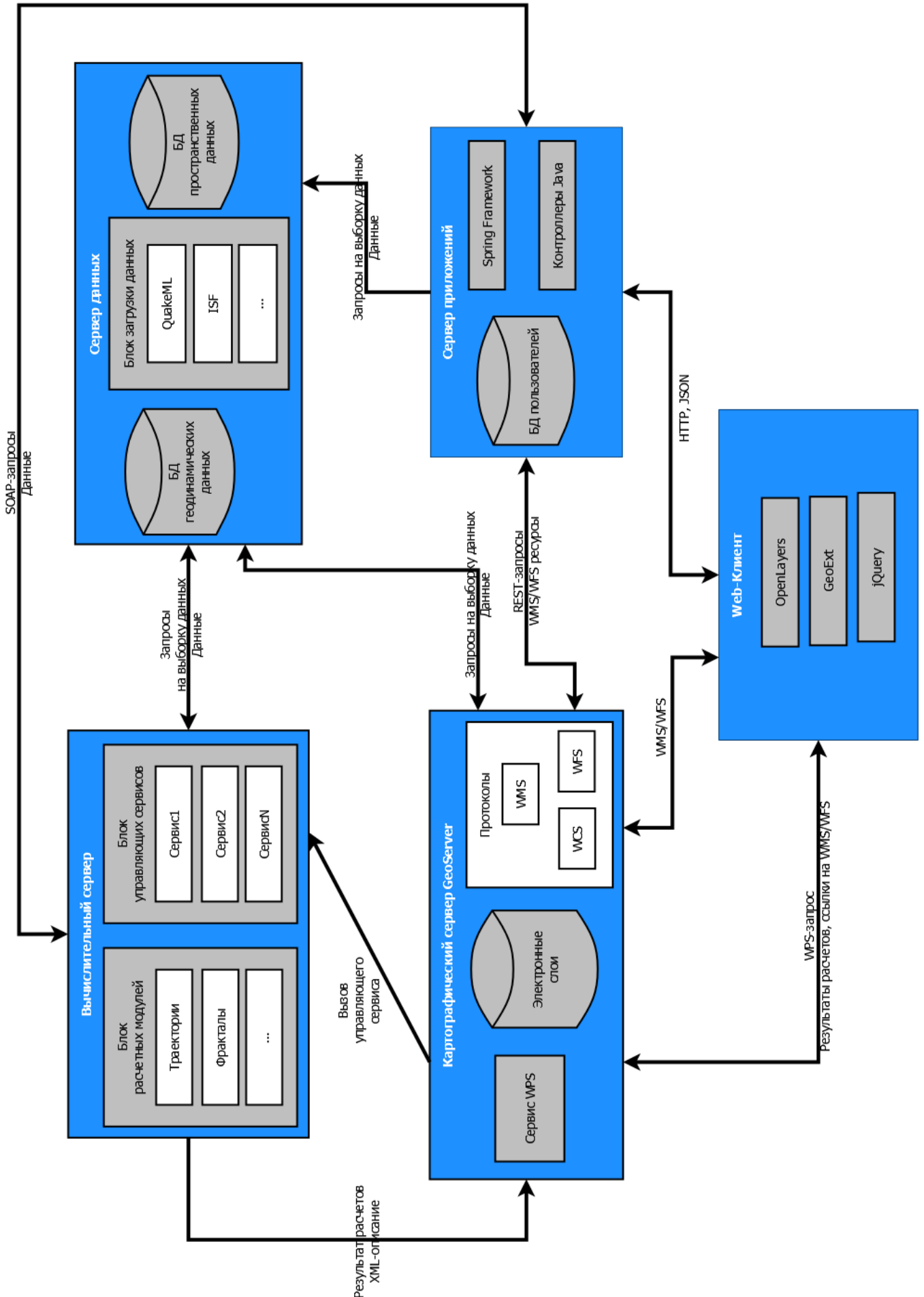


Рисунок 7 – Концептуальная модель геопортала

В процессе разработки использовалась СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS, картографический сервер GeoServer для работы с протоколами WMS и WFS и сервер приложений Apache Tomcat в связке с языком Java. Клиент построен на основе комбинации HTML и JavaScript библиотеки ExtJS. В качестве средства отображения электронных карт используется OpenLayers. Для получения информации об отдельных элементах векторных слоев используется технология Ajax в комбинации с методом GetFeatureInfo из WMS. Взаимодействие с вычислительной подсистемой осуществляется через JavaScript библиотеку, реализующую протокол WPS. Для организации обмена данными между компонентами системы используется протокол SOAP. Интерфейс пользователя представлен на рисунке 8.

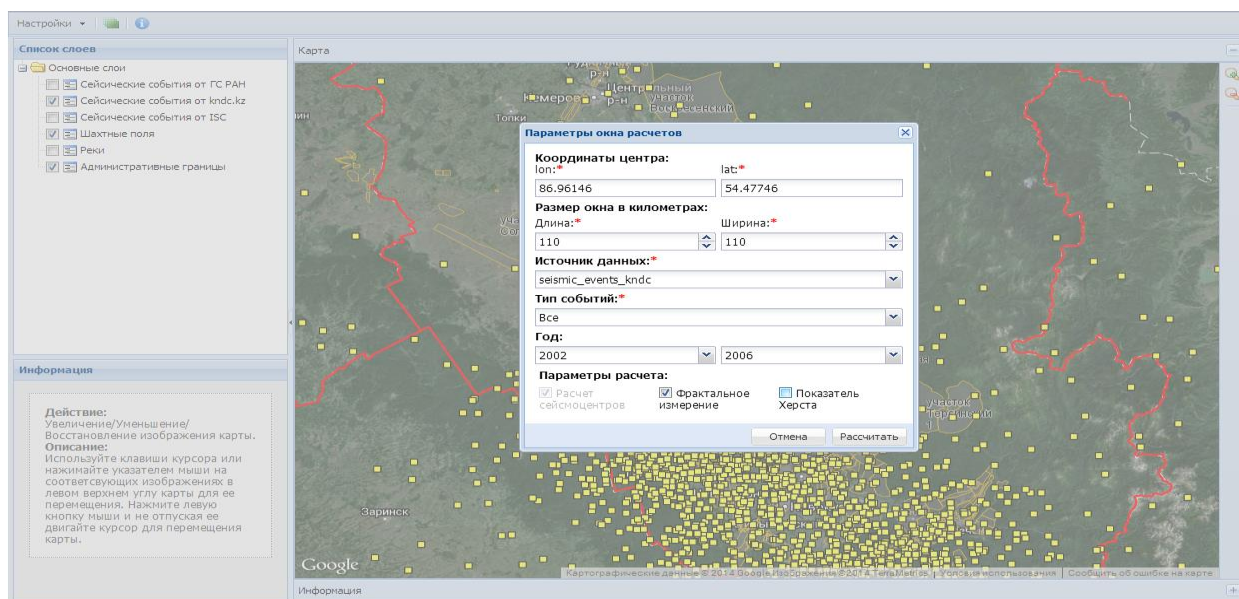


Рисунок 8 – Интерфейс геоинформационной системы

Веб-интерфейс включает в себя электронную карту, панель инструментов и панель управления. Панель инструментов представляет собой меню для изменения режимов отображения карты (масштабирование, перемещение, включения и выключения слоя космоснимков). Панель управления предназначена для отображения списка доступных на текущий момент слоев и манипулирования ими. Пространственные объекты, нанесенные на карту, являются интерактивными и предоставляют атрибутивную информацию по запросу пользователя.

В четвертой главе приводятся примеры решаемых геопорталом задач. Реализация средств обработки данных в виде независимых вычислительных модулей доступных по протоколу WPS позволила формировать в рамках информационной системы различные схемы обработки данных, примеры которых представлены на рисунке 9. С использованием теории фракталов выполнено сравнение траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения для ряда регионов Сибири с 2002 по 2011 годы: Кемеровской области, Томской области, республики Хакасия, республики Алтай и территории вокруг озера Байкал.

Рассчитаны фрактальная размерность D_0 (Хаусдорфа), информационная размерность D_1 , и корреляционная размерность D_2 . В качестве источника данных использовались сейсмологические бюллетени с сайтов Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (Центр данных ИГИ НЯЦ РК, Республика Казахстан,

www.kndc.kz), Международного сейсмологического центра (ISC, www.isc.ac.uk) и Геофизической службы Российской академии наук (ГС РАН, www.gsras.ru). Был выбран временной интервал с 2002 по 2011 годы. Согласно расчетам, Томская область отличается от остальных регионов тем, что полученная для нее траектория миграции не является фракталом, т.к. $D_0 \approx 1$.



Рисунок 9 – Варианты обработки сейсмических данных

На основании сравнения полученных значений фрактальных размерностей можно сделать следующие выводы:

1. Траектория миграции представляет собой результат, на первый взгляд, хаотического перемещения центра сейсмоэнерговыведения. В тоже время, наблюдается схожесть ее поведения в таких регионах, как республика Хакасия, республика Алтай и окрестности озера Байкал. Фрактальная размерность D_0 для указанных регионов равна 1,39 - 1,40. Следует отметить, однако, наличие определенных структурных различий для данных фракталов, что отражается в значимом разбросе значений размерностей D_1 и D_2 .

2. Сравнивая между собой оцененные фрактальные размерности, можно выявить и некоторые особенности в подходах к регистрации сейсмособытий. Так, значение D_0 , D_1 и D_2 для соответствующих траекторий миграции, построенных на основе данных от ТЦМП и KNDC, очень близки друг к другу: (1,33; 0,53; 0,56) и (1,27; 0,53; 0,57), соответственно. Данный факт позволяет говорить о том, что KNDC стремится регистрировать все происходящие сейсмические явления, не зависимо от их природы. В то же время ГС РАН, в основном, учитывает природные сейсмособытия.

3. Фрактальные размерности траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения, полученные для территории Кемеровской области, в сравнении с другими регионами указывают, что Кузбасс существенно выделяется на общем фоне: для него характерен большой разброс значений D_0 , D_1 и D_2 , а также отсутствие совпадения значения D_0 с результатами для других регионов. Это, как полагаем, обусловлено высоким уровнем техногенной сейсмичности.

В **заключении** приводятся основные результаты исследования, указываются направления дальнейшего развития созданной прикладной информационной системы.

Основные результаты диссертационной работы:

1. Выделен перечень функциональных требований к информационной системе обработки сейсмических событий горнопромышленного региона, позволивший проводить оценку быстро меняющейся геодинамической обстановки.

2. Создана информационная модель подсистемы сбора и хранения геодинамических данных, которая позволяет выполнять загрузку данных из распределенных источников в различных форматах, осуществлять их преобразование исходя из требований системы обработки, обеспечивая этим гибкую настройку.

3. Разработан подход к интеграции вычислительных модулей на основе геопортала, реализующего единый протокол с использованием управляющих сервисов, отвечающих за обработку пользовательских запросов, формирования необходимых файлов заданий и запуск модулей, позволивший унифицировать пользовательский интерфейс и протокол доступа к расчетным модулям.

4. Созданная информационная система позволяет осуществлять регламентированный сбор и агрегацию данных о сейсмических геодинамических событиях, проводить комплексные расчеты с использованием новых методов их обработки для различных горнопромышленных регионов. Она была апробирована на примере оценки и сравнения геодинамических ситуаций в различных регионах Сибири.

Полученные результаты согласуются с современным состоянием технологии аналитической обработки данных.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК:

1. Попов, С.Е. Разработка ГИС-инструментов анализа сейсмической активности (на примере Кузбасса) / С.Е. Попов, Р.Ю. Замараев, И.Е. Харламповцев // Изв. вузов. Горный журнал. - 2010. - № 6. - С. 144–156.

2. Опарин, В.Н. Разработка распределенных ГИС-средств мониторинга миграций сейсмических проявлений / В.Н. Опарин, В.П. Потапов, С.Е. Попов, Р.Ю. Замараев, И.Е. Харламповцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2010. - №6. - С. 88-95

3. Опарин, В.Н. Фрактальный анализ траекторий миграции геодинамических событий в Кузбассе / В.Н. Опарин, В.П. Потапов, О.Л. Гиниятуллина, И.Е. Харламповцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2012. - № 3. - С. 75-81.

4. Oparin, V. N. Development of distributed GIS capacities to monitor migration of seismic events / V. N. Oparin, V. P. Potapov, S. E. Popov, R. Yu. Zamaraev, I. E. Kharlampenkov // Journal of Mining Science. – Vol. 46. - No. 6. – 2010;

5. Oparin, V. N. Fractal analysis of geodynamic event migration paths in the Kuzbass area / V. N. Oparin, V. P. Potapov, O.L. Giniyatullina, I. E. Kharlampenkov // Journal of Mining Science. – Vol. 48. - No. 3. – 2012.

Материалы конференций:

6. Потапов, В.П. Облачные вычисления в СО РАН – возможности применения и реализации / В.П. Потапов, О.Л. Пястунович, И.Е. Харламповцев // XII Российская конференция с участием иностранных ученых «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (DICR'2010), 30 ноября – 3 декабря 2010. – Новосибирск, 2010. - С. 17.

7. Счастливец, Е.Л. Интернет-сервис для оценки изменений окружающей среды горнопромышленного региона с применением данных дистанционного зондирования / Е.Л. Счастливец, И.Е. Харлампенков // Геоинформатика: технологии, научные проекты. Тезисы II Международной конференции, 20-25 сентября 2010г., Барнаул. - Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. - С. 101.

8. Потапов, В.П. Применение Internet-технологий для анализа и мониторинга сейсмической ситуации горнодобывающего региона / В.П. Потапов, И.Е. Харлампенков // Вычислительные и информационные технологии для наук об окружающей среде: Избранные труды Международной молодежной школы и конференции CITES-2011, 3-13 июля 2011г., Томск. -Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2011. - С. 173-175.

9. Пястунович, О.Л. Интернет-сервис анализа сейсмической обстановки горнодобывающего региона / О.Л. Пястунович, И.Е. Харлампенков // Российско-монгольская конференция молодых ученых по математическому моделированию, вычислительно-информационным технологиям и управлению. Тезисы докладов, 17-21 июня 2011г., Иркутск – Ханх. – Иркутск: Изд-во: ИДСТУ СО РАН, 2011. - С. 70.

10. Гиниятуллина, О.Л. Геоинформационная оценка взаимного влияния пространственных данных на примере сейсмособытий / О.Л. Гиниятуллина, И.Е. Харлампенков // XII Прибайкальскую школу-семинар молодых ученых «Моделирование, оптимизация и информационные технологии». Тезисы докладов, 19-24 марта 2012г., Иркутск – Байкал. – Иркутск: Изд-во: ИДСТУ СО РАН, 2012. - С. 18.

11. Харлампенков, И.Е. Особенности разработки «облачных» систем геоинформационного сервиса / И.Е. Харлампенков, О.Л. Гиниятуллина // XIII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям: Программа, тезисы докладов, алфавитный указатель. - Новосибирск, 2012. - С. 52-53.

12. Потапов, В.П. Проблемы интеграции вычислительных модулей и пространственных данных в рамках единого mashup-сервиса / В.П. Потапов, Е.Л. Счастливец, О.Л. Гиниятуллина, И.Е. Харлампенков // Тезисы докладов II Российско-монгольская конференция молодых ученых по математическому моделированию, вычислительно-информационным технологиям и управлению (Иркутск (Россия) – Ханх (Монголия), 25 июня -1 июля 2013). – 2013. – С. 53.

13. Потапов, В.П. Подходы к анализу серий результатов обработки данных дистанционного зондирования Земли в сети Интернет / В.П. Потапов, О.Л. Гиниятуллина, И.Е. Харлампенков // Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов (DPRS'2013): Тезисы всероссийской конференции 30 сентября - 04 октября 2013. - Барнаул, 2013. - С.59.

Свидетельства:

14. Потапов В.П., Харлампенков И.Е., Гиниятуллина О.Л., Попов С.Е. Распределенный программный комплекс обработки сейсмособытий методами фрактальной геометрии // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013617422 от 13.08.2013 г. - Заявка № 2013610252 от 10.01.2013 г. (Федеральная служба по интеллектуальной собственности).