

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*На правах рукописи*

Харлампенков Иван Евгеньевич

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

05.25.05 – информационные системы и процессы

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор техн. наук, профессор  
Потапов Вадим Петрович

Новосибирск – 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ИХ ОБРАБОТКИ	10
1.1 Геодинамические данные оценки сейсмических событий	10
1.2 Современные методы и системы обработки сейсмических геодинамических данных	19
1.3 Требования к системе обработки сейсмических геодинамических данных	32
1.4 Выводы по главе 1	35
Глава 2. ПОДХОДЫ К ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДАННЫХ	37
2.1 Сейсмобюллетени как источник данных	37
2.2 Схемы и механизмы сбора данных	45
2.3 Новые подходы и алгоритмы обработки сейсмических геодинамических данных	49
2.4 Информационные потоки и схемы обработки данных	57
2.5 Выводы по главе 2	62
Глава 3. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ	64
3.1 Описание подсистемы сбора сейсмических геодинамических данных	64
3.2 Технология интеграции вычислительных модулей	68
3.3 Архитектура геопортала	73
3.4 Выводы по главе 3	83
Глава 4. РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ	84
4.1 Оценка геодинамических событий районов Кузбасса	84
4.2 Оценка геодинамической картины регионов Сибири	87
4.3 Выводы по главе 4	91

Заключение	93
Список литературы	95
Приложение А	104
Приложение Б	105
Приложение В	109

## ВВЕДЕНИЕ

**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 (Kinematics 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 сейсмозернового выделения, разработанный сотрудниками Института горного дела СО РАН под руководством член-корреспондента РАН В.Н. Опарина, теорию фракталов, получившую развитие в трудах Б. Мандельброта, Е. Федера 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. Кошкарева, 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 инициируемыми 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 сейсмозерговыведения 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 распределенная 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 (см. Приложения А и Б).

**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 в различных регионах 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 информационная система, позволяющая осуществлять сбор, хранение и обработку геодинамических данных, выполнять сравнение сейсмической обстановки в различных горнопромышленных регионах [24, 26].

- Предложена и реализована технология интеграции вычислительных модулей для оценки влияния сейсмособытий [28, 29, 40].

- Выполнена программная реализация информационной системы [19, 22, 30, 32, 36, 71, 72].

- Разработаны новые расчетные сервисы для интегрированной оценки геодинамического состояния горнопромышленных регионов с учетом сейсмических событий в нем происходящих [19, 22, 71, 72].

- Проверена работоспособность системы на примере решения задач оценки геодинамической ситуации в ряде регионов Сибири [22, 26, 27, 72].

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

## Глава 1. ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ИХ ОБРАБОТКИ

### 1.1 Геодинамические данные оценки сейсмических событий

Важным вопросом при создании информационной системы для анализа геодинамической ситуации региона на основе сейсмических событий является определение исходных данных, которые будут обрабатываться в системе. Выделяют два типа подобной информации: сейсмограммы и сейсмобюллетени (массивы событий).

Сейсмограмма (от сейсмо... и ...грамма) - результат записи сейсмических колебаний посредством сейсмографа. Для описания сейсмограмм приняты международные обозначения, основанные на латинских названиях. При этом параллельно с записью колебаний, наносятся маркеры точного времени; длина отрезка минутной линии может изменяться от 10 мм до нескольких миллиметров в зависимости от записи короткопериодных (сейсморазведка) или длиннопериодных (удалённое землетрясение) колебаний [25]. Пример представлен на рисунке 1.

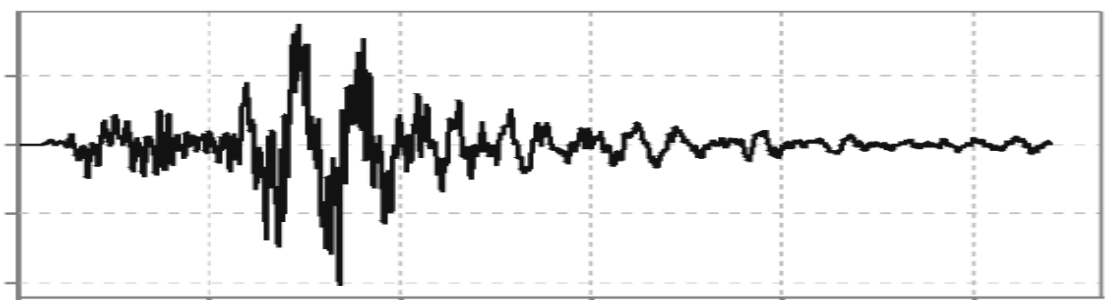


Рисунок 1 – Пример сейсмограммы землетрясения в Кузбассе, 2013 год

Получаемые в процессе полевых работ сейсмограммы содержат значительную долю нежелательных волн-помех и случайного шума, а полезные волны неудобны для интерпретации. Первичные сейсмограммы

обрабатываются с использованием различных программных комплексов. При обработке сейсмограммы преобразуются по временным или глубинным срезам, которые представляют исходный материал для геологической интерпретации, либо выводятся пользователю на экран монитора (пример на рисунке 2) в виде спектра, по которому можно выполнять спектральный анализ.

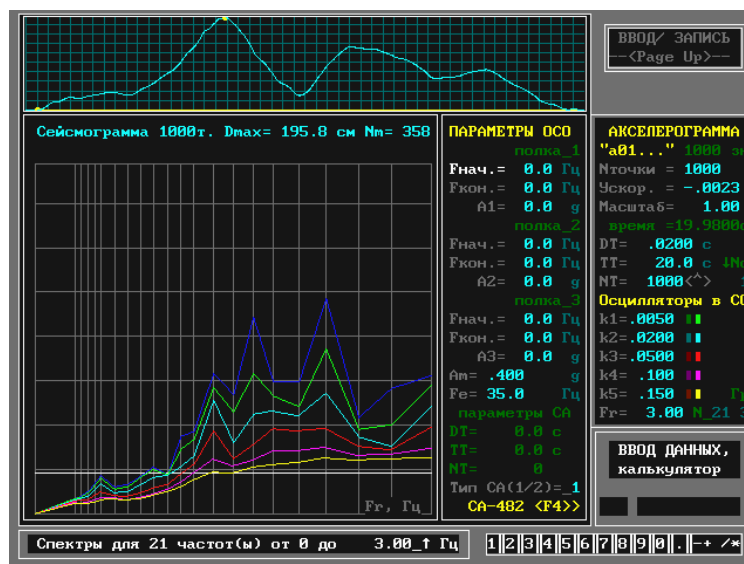


Рисунок 2 – Пример спектров ответа в АРМ сейсмолога

Одним из массовых видов геодинамических данных являются сейсмологические бюллетени и каталоги. Сейсмобиюллетень представляет собой периодическое печатное или электронное издание, содержащее данные о регистрации сейсмических волн. Как правило, запись о сейсмическом событии включает в себя сведения о параметрах очага и следующие данные: название станции и ее код, расстояние от центра события и азимут, тип фазы, время прихода волны на станцию, периоды и амплитуды волн. Иногда приводится макросейсмическая информация, связанная с технологическими особенностями месторождения. Каталог землетрясений обычно включает: дату и время события, географические координаты и глубину, энергетические характеристики (одна или несколько магнитуд, энергетический класс, интенсивность) и дополнительную информацию.

Как показал проведенный поиск геодинамических данных на территорию Сибири и, в частности, Кемеровской области в виде сейсмобюллетеней, в настоящее время можно выделить следующие источники подобной информации:

1. Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан;
2. Международный сейсмологический центр;
3. Объединение научно-исследовательских институтов по сейсмологии;
4. Геофизическая служба Российской академии наук;
5. Территориальный центр мониторинга, лабораторного контроля прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Приведем их краткую характеристику ниже.

**Сайт Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан** (Центр данных ИГИ НЯЦ РК, Республика Казахстан). Электронный адрес - [www.kndc.kz](http://www.kndc.kz). Центр создан в 1999 году и входит в структуру Международной системы мониторинга (МСМ) Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Основу сети наблюдений составляют геофизические обсерватории Боровое, Курчатов, Актюбинск, Маканчи. Передача данных осуществляется в непрерывном режиме через радиотелеметрические и спутниковые каналы связи. Карта станций представлена на рисунке 3, список в таблице 1.

Результаты обработки сейсмических данных представлены в виде автоматических и интерактивных сейсмологических бюллетеней в формате txt. Загрузка файлов может быть осуществлена по протоколу НТТР.

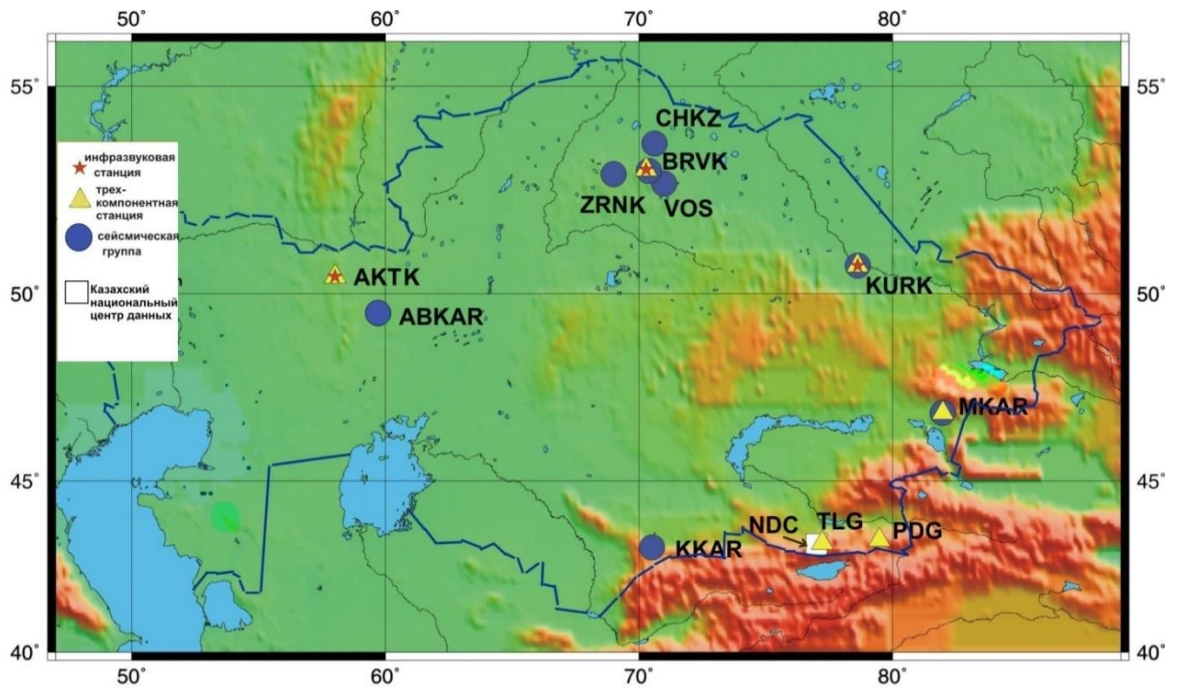


Рисунок 3 – Карта расположения сейсмических станций

Таблица 1. Координаты станций сети НЯЦ РК

Название Станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота
Боровое (IRIS)	BRVK	315	53.0578	70.2828
Восточное (группа)	VOS	300	52.7232	70.9797
Зеренда (группа)	ZRNK	384	52.9508	69.0043
Чкалово (группа)	CHKZ	123	53.6762	70.6152
Курчатов (IRIS)	KURK	240	50.7149	78.6208
Маканчи (IRIS)	MAKZ	600	46.8075	81.9774
Талгар	TLG	1210	43.2487	77.2237
Подгорное	PDG	1277	43.3274	79.4849
Каратау (группа)	KKAR	475	43.1034	70.5115
Маканчи (группа)	PS23	554	46.7937	82.2904
Боровое (группа)	AS057	361	53.0240	70.3880
Актюбинск	AKTK	360	50.4348	58.0167
Акбулак(группа)	ABKAR	362	49.2558	59.9431

Сайт **Международного сейсмологического центра** (International Seismological Centre, ISC, Великобритания). Электронный адрес - [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk). Основан в 1964 году. Основной задачей центра является сбор, хранение и обработка бюллетеней из различных сетей сейсмических станций (около 130 сетей и центров обработки данных), подготовка и распространение окончательной сводки о мировой сейсмической активности. Организация принимает активное участие в формировании международных форматов обмена сейсмическими данными. Результаты обработки доступны в виде бюллетеней в форматах IASPEI Seismic Format (ISF) [59] и QuakeML [83] по протоколу HTTP. Также в рамках сайта функционирует веб-сервис, позволяющий получать данные в автоматическом режиме.

Сайт **Объединения научно-исследовательских институтов по сейсмологии** (Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS, США). Электронный адрес - [www.iris.edu](http://www.iris.edu). Основан в 1984 году. Представляет собой консорциум из более чем 100 университетов, расположенных на территории США, направленный на приобретение, управление и распространение сейсмологических данных. Деятельность программ IRIS направлена на поддержку научных исследований, образования, уменьшение опасности от землетрясений и проверки соблюдения договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. В консорциум также входит ряд организаций не расположенных на территории США.

IRIS предоставляет широкий спектр сейсмических данных от сейсмологических бюллетеней до сейсмограмм. В рамках сайта создана удобная система поиска и просмотра информации о событиях. Для загрузки данных в автоматическом режиме может быть использован ряд веб-сервисов, работающих по протоколу HTTP.

Сайт **Геофизической службы Российской академии наук** (ГС РАН, Россия). Электронный адрес - [gsras.ru](http://gsras.ru). Основана в 1994 году. Основными задачами является:

- выполнение фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в области проблем сейсмологии и геофизики;
- проведение непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира;
- совместно с Росгидрометом РФ обеспечивает функционирование системы предупреждения о цунами на Дальнем Востоке;
- совместно с Минобороны РФ обеспечивает функционирование российских объектов Международной системы мониторинга, которая создается для непрерывного контроля над выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ);
- мониторинг вулканической активности;
- мониторинг медленных геодинамических процессов в земной коре и деформаций земной поверхности.

Для организации доступа к данным используется протокол FTP. Информация о сейсмических событиях представлена как в виде каталогов, в том числе и региональных, так и в виде бюллетеней. В рамках сайта публикуются сведения о последних землетрясениях, размещены ссылки на различные виды каталогов.

**Территориальный центр мониторинга, лабораторного контроля прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (ТЦМП, Россия).** Основными задачами являются:

- наблюдение за состоянием природных и техногенных источников чрезвычайных ситуаций, своевременное выявление тенденций их изменения для предотвращения, предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций;
- прогнозирование возможности и оценка вероятности возникновения и развития чрезвычайных ситуации и ликвидации их последствий.

Является локальным источником данных по сейсмическим событиям в регионе. Полученная информация о сейсмических проявлениях загружена в

хранилище Кемеровского филиала Института вычислительных технологий СО РАН до начала разработки рассматриваемой геоинформационной системы.

Ключевая информация по каждому источнику данных представлена в таблице 2. Стоит отметить, что все представленные источники данных различаются как по числу зарегистрированных событий, так и по покрытию. Карты, показывающие распределение сейсмических проявлений, представлены на рисунках 4 – 7.

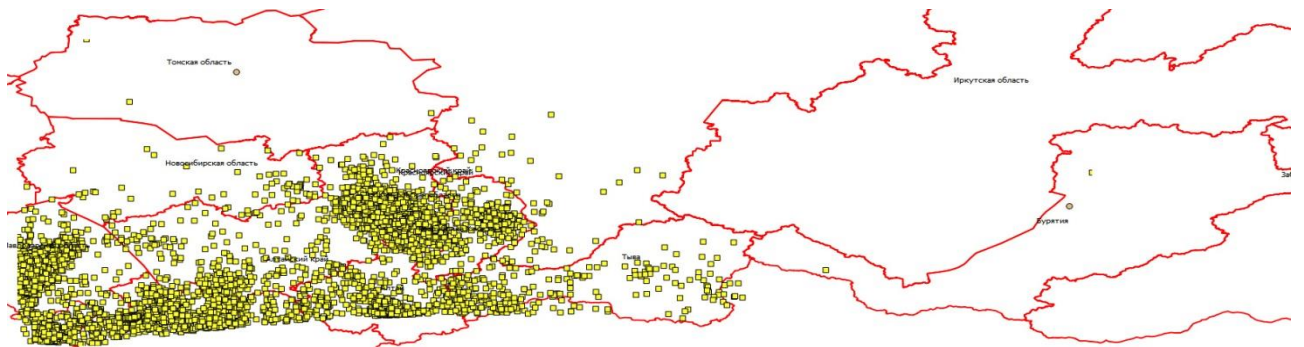


Рисунок 4 – Распределение событий по данным KNDC

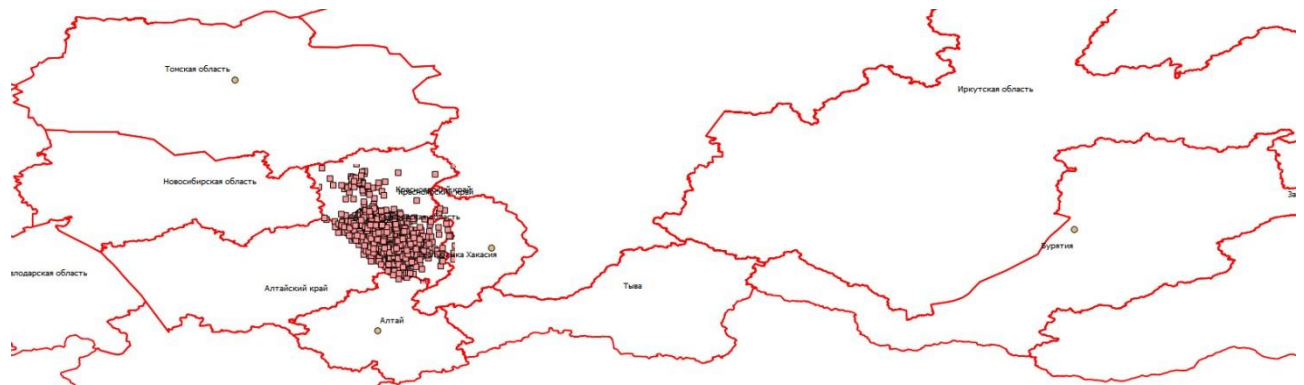


Рисунок 5 – Распределение событий по данным ISC

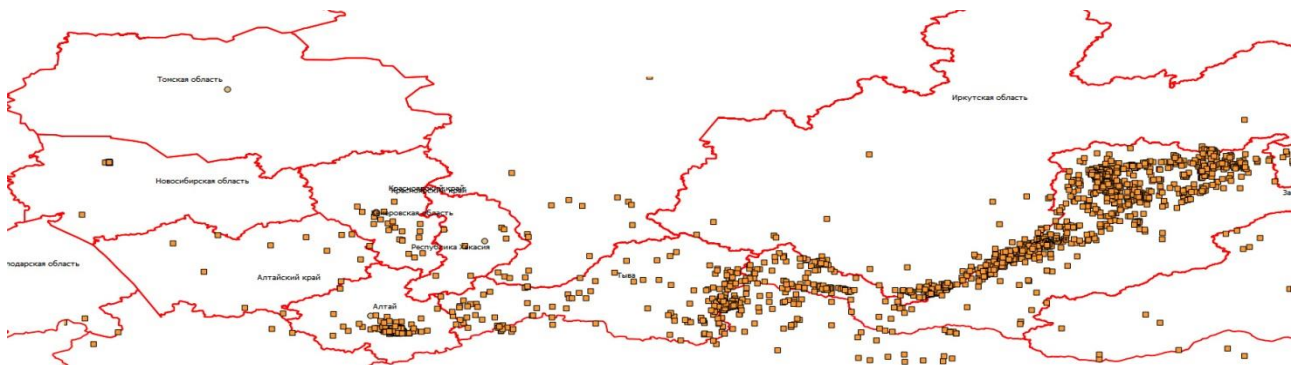


Рисунок 6 – Распределение событий по данным ГС РАН



Таблица 2. Сведения об источниках данных

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

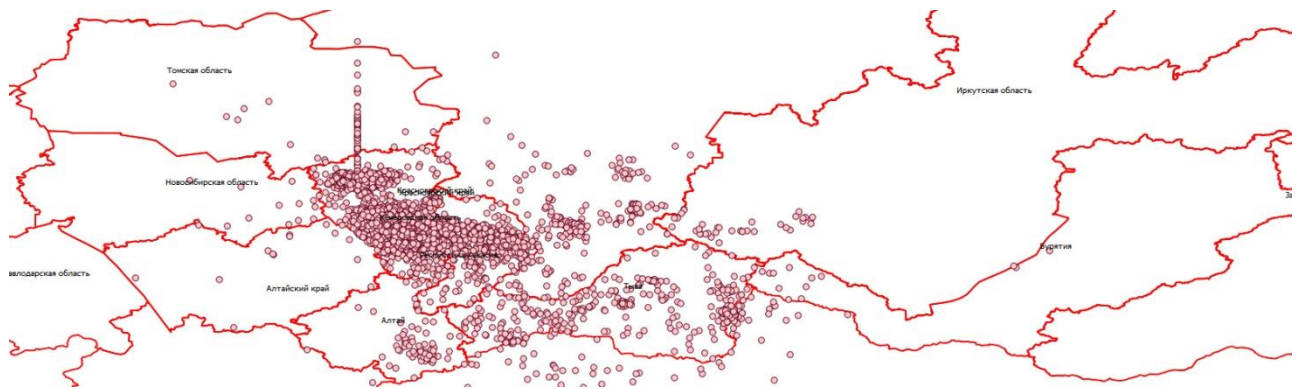


Рисунок 7 – Распределение событий по данным ТЦМП

Указанные организации, несмотря на то, что решают схожую задачу фиксации произошедших сейсмических событий, применяют различные подходы к публикации данных в сети Интернет. Так IRIS в составе своего сайта предоставляет доступ к «IRIS Data Management Center's (IRIS DMC)», который является набором основных веб-служб для прямого доступа к данным о форме волны и метаданных. Сервис использует протокол HTTP и обладает широкими возможностями по поиску и фильтрации сейсмоданных. Упрощённый вариант данного инструмента опубликован на сайте ISC. В тоже время ГС РАН предоставляет доступ к своим каталогам только через протокол FTP с ограниченным набором данных, полностью отсутствуют средства поиска. Доступ к бюллетеням на сайте KNDC возможен по протоколу HTTP, но накопленные данные доступны только в виде txt файлов в особом формате. Многие организации, например, ГС СО РАН публикует данные на сайте только в виде новостных блоков, что не позволяет осуществлять их автоматическую загрузку.

Различаются и 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 выгрузки и анализа сейсмобюллетеней.

Создание специализированных средств сбора сейсмических геодинамических данных из распределенных источников, учитывающих особенности публикации информации, является актуальной задачей, обеспечивающей формирование и наполнение баз данных для проведения оценки геодинамической обстановки в горнопромышленных регионах.

## **1.2 Современные методы и системы обработки сейсмических геодинамических данных**

Современные методы и системы обработки сейсмических геодинамических данных можно разделить на несколько групп:

1. Средства регистрации сейсмических событий, обработки сейсмограмм, автоматизированные рабочие места сейсмологов и сети обработки данных.

2. Инструменты интерпретации данных сейсморазведки, применяющиеся с целью качественного и количественного описания строения месторождений полезных ископаемых.

3. Инструменты, реализующие новые алгоритмы обработки сейсмической информации с целью оценки геодинамического состояния регионов.

Рассмотрим методы и информационные системы, связанные с регистрацией землетрясений. Обработка весьма сложной кривой, записанной сейсмографом при регистрации землетрясения, состоит в исключении различных помех и в определении по сейсмограмме следующих величин: точного времени прихода различных сейсмических волн (продольных, поперечных и поверхностных) моментов максимальных амплитуд; периодов и амплитуды волн.

Механика землетрясения может быть представлена в виде схемы на рисунке 8. На рисунке 8 показан процесс регистрации землетрясения различными сеймостанциями с учетом их удаленности от эпицентра.

Вследствие разной скорости сейсмических волн они приходят на различные станции в разное время и с различными интервалами по отношению друг к другу. Выделяют три основные группы волн (фазы), вступающие в закономерной последовательности: продольные волны Р, приходящие первыми, поперечные волны S и длинные поверхностные волны L. Продольные и поперечные волны идут по путям, указанным на рисунке 8 лучами Р и S, длинные L — по поверхности Земли.

Координаты эпицентра землетрясения определяются на основании сейсмограмм не менее трех сейсмических станций (метод засечек) или на основании показаний трех высокочувствительных сейсмографов одной станции, регистрирующих все три составляющие движения почвы (метод Б.Б. Голицына) [6].

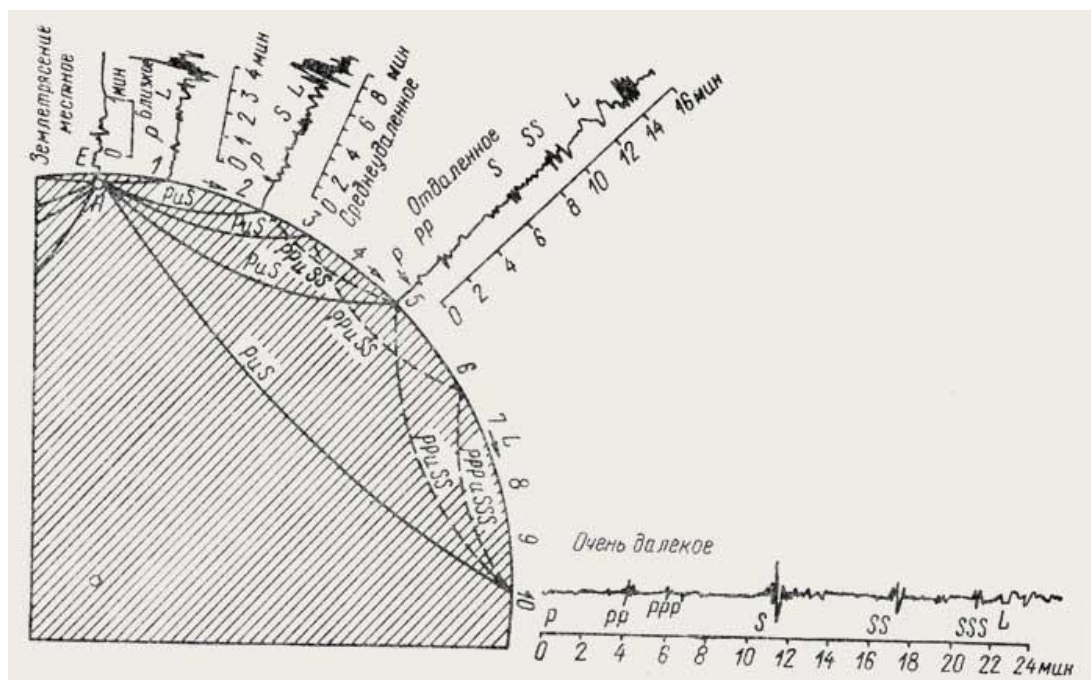


Рисунок 8 – Возможные пути сейсмических волн и сейсмограммы землетрясений различной удаленности. Н — гипоцентр землетрясения; Е — эпицентр; Р — продольные волны; S — поперечные волны; L — поверхностные волны; PP — отраженные продольные волны; SS — отраженные поперечные волны; PPP — дважды отраженные продольные волны; SSS — дважды отраженные поперечные волны

Метод засечек, подробно описанный в трудах Н.Н. Пузырева [31] заключается использовании данных одновременно с трех станций для вычисления точки пересечения эпицентральных расстояний. Если имеются данные более чем трех станций, то они используются для уточнения результата (рисунок 9). Неудобство этого простого и надежного способа заключается в том, что для нахождения координат эпицентра необходимо иметь показания не менее трех станций.

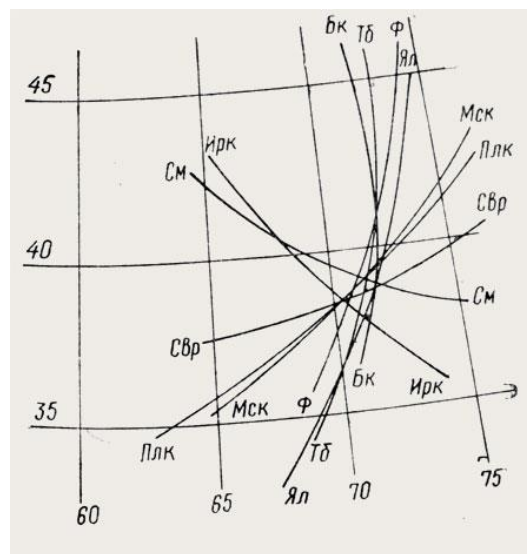


Рисунок 9 – Определение координат эпицентра землетрясения 20 апреля 1941 г. методом засечек на глобусе по данным ряда сейсмических станций. Эпицентр в хр. Петра Первого на Памире. Бк — Баку; Ирк — Иркутск; Плк — Пулково; Свр — Свердловск; См — Семипалатинск; Мск — Москва; Гб — Тбилиси; Ф — Феодосия; Ял — Ялта

Для определения координат эпицентра по методу Б. Б. Голицына [6] на сейсмической станции должны быть установлены два высокочувствительных горизонтальных и один вертикальный сейсмографы. Горизонтальные сейсмографы устанавливаются так, чтобы один регистрировал горизонтальные смещения почвы в плоскости меридиана, а другой — в перпендикулярной плоскости. Первые показания этих сейсмографов позволяют установить

направление движения волны в горизонтальной плоскости. Неопределенность в направлении движения волны исключается при помощи вертикального сейсмографа. Определение эпицентрального расстояния (для установления координат эпицентра) производится, как и в первом способе, по годографу или по формулам. По методу Б. Б. Голицына можно определить также угол выхода сейсмического луча (угол выхода удара), т. е. угол между направлением сейсмического луча и плоскостью горизонта.

Точность определения координат эпицентра зависит от точности наблюдений и густоты сети сейсмических станций. Наибольшая точность (около  $\pm 10$  км) может быть достигнута при наличии точных и многочисленных сейсмограмм ближайших станций. Точность  $\pm 50$  км может быть получена при наличии многочисленных надежных записей дальних станций, находящихся в различных направлениях от эпицентра. По данным одной станции редко удается определить координаты эпицентра с точностью, превышающей  $\pm (200 - 250)$  км.

Далее определяется глубина и сила землетрясения в магнитуде.

В настоящий момент для автоматизации приведённых алгоритмов используются автоматизированные рабочие места (АРМ) сейсмолога, например, WSG (рисунок 10) [1].

Программа WSG предназначена для обработки сейсмических сигналов и получения оценок параметров гипоцентров сейсмических событий как по записям одной станции, так и по группе станций. Этот программный комплекс может быть использован в качестве рабочего места сейсмолога как на отдельных сейсмических станциях, так и в информационно-обрабатывающих центрах (ИОЦ).

Программа WSG версии 4.x-5.x является совместной разработкой Геофизической службы РАН (ГС РАН) и ООО “НПП Геотех”. Программа представляет собой модуль, работающий под управлением операционной среды Windows 95/98/NT.

Программа WSG используется в качестве интерактивного места сейсмолога в ИОЦ ГС РАН для решения следующих задач:

- для получения параметров сильных землетрясений, регистрируемых цифровыми сейсмическими станциями России и зарубежья на региональных и телесеismicких расстояниях, и поступающих в Службу Срочных донесений в режиме, близком к реальному времени;
- для проведения регионального сейсмического мониторинга по данным сети цифровых и аналоговых сейсмических станций на Северном Кавказе;
- для решения задач локального сейсмического мониторинга по данным цифровых записей пунктов наблюдений радиотелеметрической системы сбора в региональном ИОЦ Кавказских Минеральных Вод.

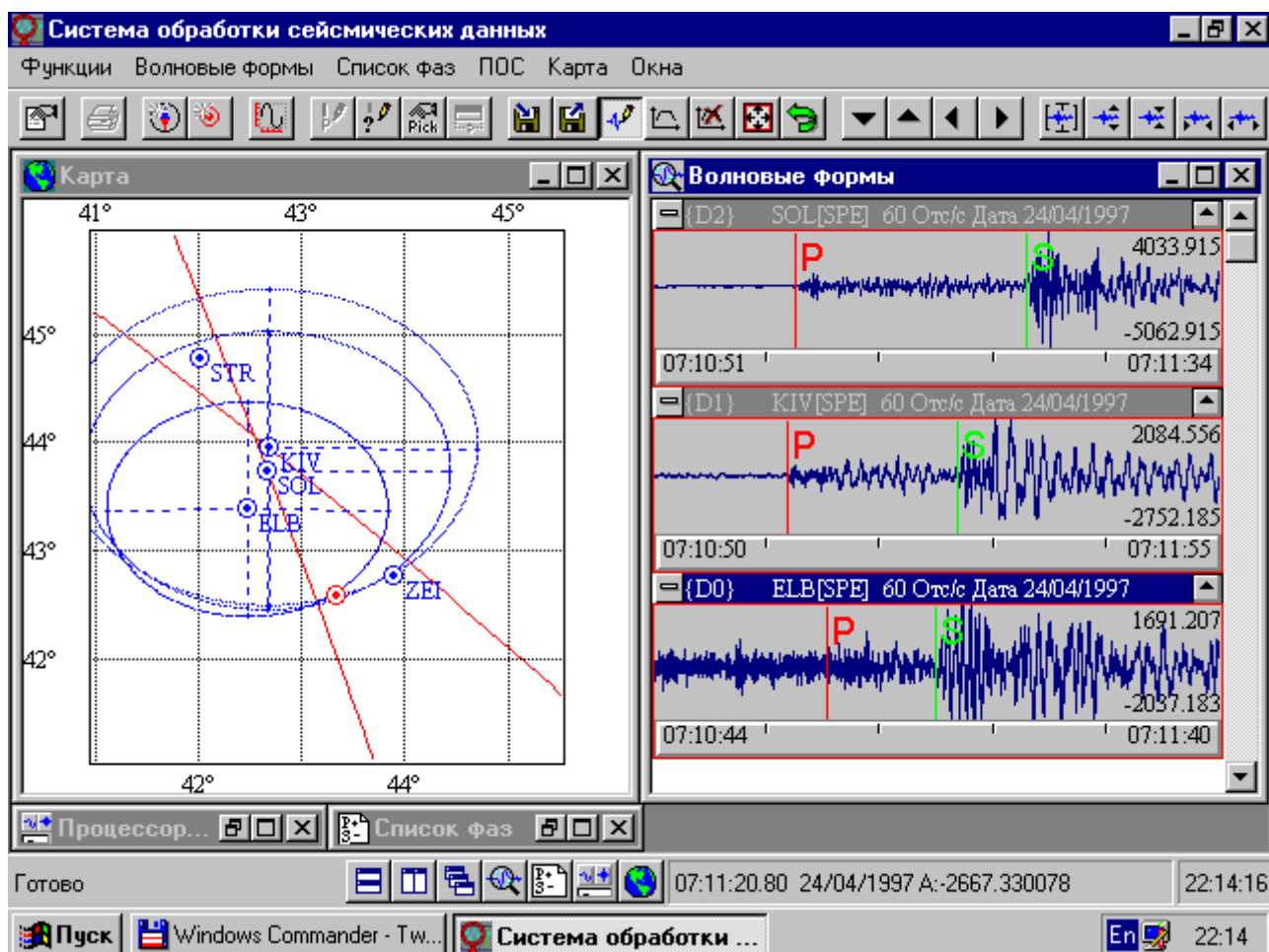


Рисунок 10 – Интерфейс WSG

Программа работает с данными, предварительно занесенными в базу сейсмических записей и преобразованными во внутренний формат WSG. В настоящее время разработаны конверторы (программы-преобразователи) для следующих широкораспространённых форматов представления сейсмических данных. WSG осуществляет импорт данных по TCP/IP- протоколу из систем NRTS и LISS (формат миниSEED – Stein 2).

На основе совокупности рабочих станций создаются сети обработки геодинимических данных, примером которых может служить информационно-вычислительная система «Землетрясения Камчатки» [43]. Данная информационно-вычислительная система (ИВС) состоит из трех компонент:

- структурированного файлового архива волновых форм землетрясений, полученных за 1996-2006 годы в ходе сейсмического мониторинга Камчатки в режиме реального времени с помощью сети сейсмических станций, проводимого КФ ГС РАН;
- базы данных, хранящей каталоги землетрясений, вспомогательную справочную информацию о сети сейсмических станций и параметрах сейсмометрических каналов;
- веб-приложения, выполняющего следующие функции: поиск файлов по различным критериям; отображение трасс в веб-браузере клиента; загрузка выбранных файлов на компьютер пользователя; предоставление единого доступа к информации зарегистрированным пользователям. Предусмотрена интеграция в создаваемую систему ГИС-функций (построение карт распределения параметров, характеризующих сейсмическую и вулканическую активность Камчатки).

ИВС «Землетрясения Камчатки» реализована в рамках архитектуры клиент-сервер с доступом через Интернет. Роль клиента выполняет веб-браузер на компьютере пользователя. На веб-сервере КФ ГС РАН будет размещена база данных землетрясений, файловый архив волновых форм и веб-приложение, обеспечивающее работу информационной системы. База данных управляется



СУБД MySQL, в ее таблицы заносится информация из каталогов землетрясений Камчатки, а в архив волновых форм помещаются соответствующие файлы в международном формате SEED. Вычислительные модули VM1 - VMn предназначены для выполнения различных процедур анализа данных.

В качестве ГИС-сервера в системе используется картографический сервис Google, доступный через интерфейс Google Maps API. Сервис позволяет на карты и спутниковые снимки, загружаемые с сервера Google, наносить собственные маркеры, контуры, интерактивные подсказки и передавать полученное изображение в веб-браузер пользователя.

С точки зрения архитектуры аналогом может служить сейсмологическая информационно-вычислительная система IRIS <http://www.iris.edu/SeismiQuery/>.

Отличительной особенностью рассматриваемой ИВС является ее проблемная ориентация на поиск, выявление и исследование предвестников сильных землетрясений и извержений вулканов по данным сейсмологического Банка Камчатки. Данная специфика определяет включение в ИВС вычислительных модулей, разработанных на основе оригинальных алгоритмов. Планируется систематизировать, обобщить в рамках единой информационной системы и предоставить в открытый доступ по сети Интернет для проведения фундаментальных научных исследований информацию о региональных и вулканических землетрясениях Камчатки. В результате выполнения запроса пользователю выдается список событий, удовлетворяющих заданным параметрам поиска. Пример показан на рисунках 11 и 12.

Одновременно возможен просмотр интерактивной карты и/или спутникового снимка с обозначенными на них эпицентрами. С помощью веб-формы, находящейся на странице с результатами поиска, пользователь может выбрать события, сеймостанции и каналы для просмотра соответствующих волновых форм. Кроме того, планируется также предусмотреть возможность интерактивного анализа данных с отображением результатов в цифровой и графической формах.

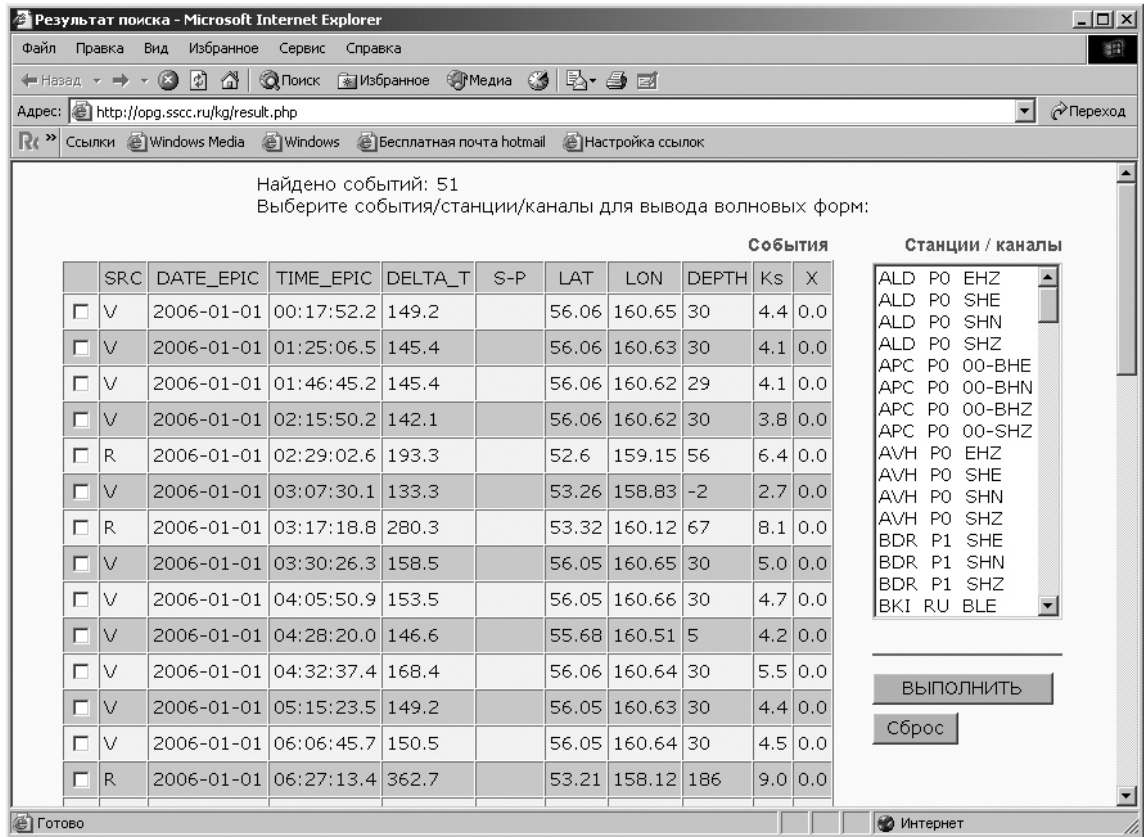
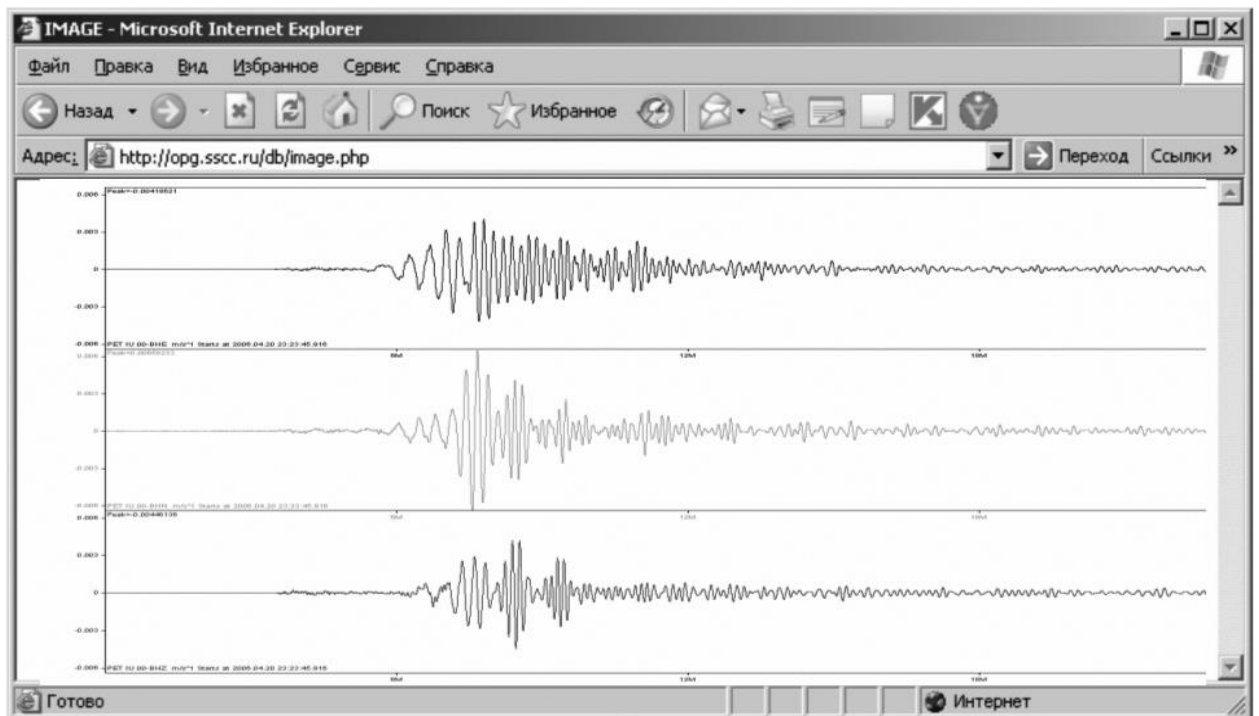


Рисунок 11 – Результат поиска по базе данных, удовлетворяющий запросу

Рисунок 12 – Волновая форма землетрясения от 20 апреля 2006 г. с  $M_w=7.6$ .

Запись IRIS на станции Петропавловск

Другим направлением является сейсморазведка, в рамках которой развиваются методы и программные комплексы обработки сейсмической информации. Под цифровой обработкой сейсмической информации методом отраженных волн (МОВ) понимают преобразование исходных полевых сейсмограмм во временные разрезы, пригодные для структурных построений и изучения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) среды. В сейсморазведке считается, что регистрируемые колебания являются суммой сигналов и помех [2]. В методе общей глубинной точки (МОГТ) сигналом являются однократно отражённые волны, используемые для построения геологических границ, а вся другая информация относится к шуму. Обработка полевых сейсмограмм производится в рамках графа цифровой обработки, среди которых выделяют следующие:

1. граф предварительной обработки (препроцессинг);
2. граф стандартной обработки;
3. граф детальной (полной) обработки;
4. граф нестандартной обработки.

Граф предварительной обработки, в настоящее время, выполняется в мобильном вычислительном комплексе на базе сейсмической партии. Основная задача этого графа – оперативная оценка методики полевых работ и качества полученного сейсмического материала.

Граф стандартной обработки и все последующие графы выполняются в стационарных условиях. Основная задача графа стандартной обработки – получение оптимального временного разреза. Это временной разрез, для которого достигнуто высокое соотношение сигнал/помеха, увеличена разрешающая способность за счет восстановления средне- и высокочастотной составляющих спектра полевой сейсмозаписи, решены проблемы компенсации влияния верхней части разреза (ВЧР).

Граф детальной обработки является, по сути, расширенным вариантом графа стандартной обработки. Его задача – получение временного разреза с учетом сейсмического сноса, т. е. получение такого временного разреза, на

котором основные отражающие элементы отображаются в правильных (истинных) позициях. Для этого в данный граф включены специальные процедуры детального изучения скоростной модели среды и компенсации сейсмического сноса (процедура миграции).

Графы нестандартной обработки могут иметь различную направленность. Наиболее распространенным вариантом такого графа является граф динамической обработки. Динамическая обработка направлена, как правило, на извлечение из сейсмотрасс количественных и качественных сейсмических атрибутов, что позволяет проводить углубленную интерпретацию сейсмических данных и построение не только структурных карт, но и картирование тонких изменений геологической среды, включая изменение псевдопористости и псевдопроницаемости.

На рисунке 13 представлена блок-схема обобщенного графа цифровой обработки сейсмической информации.



Рисунок 13 – Блок-схема обобщённого графа цифровой обработки

На сегодняшний день в мире разработано множество программных комплексов, реализующих различные методы сейсморазведки, позволяющие проводить обработку и интерпретацию сейсмограмм. Среди них отметим программную среду Epos3TE [25] компании Paradigm, которая позволяет создавать единую пространственную цифровую модель исследуемого объекта.

Для этого выполняется обработка и интерпретация полевых сейсморазведочных работ МОГТ 3Д в сочетании с данными ГИС и керна. Результаты интегрированной интерпретации обобщаются при построении объемной геологической модели в пакетах Gocad и SKUA. Использование полностью совместимых форматов во всех программных системах Paradigm повышает эффективность обработки данных.

Также отметим комплекс программ Omega Seismic Data Processing Software компании WesternGeco, обладающий достаточно эффективными алгоритмами фильтрации, деконволюции сейсмоданных, интерпретационную систему GeoGraphix 2014 компании Landmark Graphics Corporation. Последняя из указанных систем является полнофункциональной системой интерпретации для оценивания и управления топографическими, сейсмическими и скважинными данными на платформе Windows.

Примером более узкоспециализированного решения является комплекс программ двумерного сейсмического моделирования, разработанный ООО «НПК «Геопроект» [25]. Реализует расчет волновых полей однократно-отраженных и дифрагированных волн в профильном варианте с использованием асимптотических лучевого и псевдволнового (на основе принципа Гюйгенса-Френеля) алгоритмов, получаемых в виде временных разрезов и сейсмограмм ОПВ для произвольных систем наблюдений.

В его состав входит две основные программы: Model (лучевой алгоритм) и Difrak (псевдволновой). Программа Model реализует расчет временных разрезов и сейсмограмм отраженных волн (закритически-отраженные волны не рассчитываются) для заданной конфигурации приемной расстановки как на поверхности, так и в скважине. Программа Difrak является многофункциональной, объединяющей подсистемы моделирования и миграционных преобразований. Программы работают на персональных компьютерах под управлением ОС Windows. Пример пользовательского интерфейса при задании параметров в программе Difrak представлен на рисунке 14.

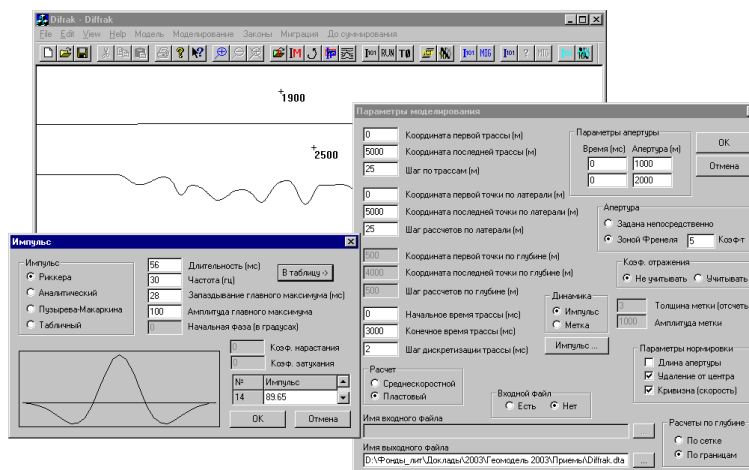


Рисунок 14 – Пример пользовательского интерфейса программы Difrak

Рассмотренные пакеты программ обработки и интерпретации данных сейсморазведки являются решениями, ориентированными на использование высокопроизводительных рабочих станций. В тоже время с 2012 года компания «Яндекс» совместно с ООО «Сейсмотек» предоставляет доступ к программному комплексу Prime на основе технологии SaaS (Программное обеспечение как услуга) [25]. Такой подход позволяет задействовать вычислительные мощности центров обработки данных, ускорить процессы обработки данных.

В последнее время наибольший интерес представляет третья группа методов, которая заключается в разработке интеллектуальных методов обработки геоданных. Для решения задач оценки влияния землетрясений на основе методологии вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) разрабатываются карты Общего сейсмического районирования России. В настоящее время для решения задач сейсмического микрорайонирования широко используются информационные системы, позволяющие автоматизировать рутинные операций с данными. Примером такого программного обеспечения является ГИС-приложение «ЮФО СЕЙСМИК» для Южного федерального округа [23].

В состав информационной системы (ИС) входят пространственная база данных (ПБД), геоинформационная система (локальная и сетевая версии) и клиентское приложение, предназначенное для формирования запросов пользователя к данным ПБД и ГИС. Пространственная база данных и геоинформационная система представляют собой самостоятельные информационные ресурсы, но объединение их в общую систему обеспечивает реализацию более гибких механизмов работы с данными и эффективное решение сейсмологических задач. В ПБД, разработанной средствами PostgreSQL, содержатся данные о землетрясениях, произошедших на территории Северной Евразии (дата и время землетрясения, глубина, магнитуда, значение интенсивности, координаты эпицентра). Здесь хранятся также сейсмологические и геолого-геофизические данные о территории Южного федерального округа и характеристики инженерно-геологических условий в местах расположения сейсмических станций, попадающих на территорию ЮФО.

Система позволяет выполнить построение изосейст, рассчитываемых на основе уравнения макросейсмического поля. Результаты построения отображаются на карте, а полученные значения записываются в таблицу ПБД (рисунок 15).

На сегодняшний день в сфере обработки сейсмических геодинамических данных существуют различные классы методов и программных продуктов для сбора и обработки информации. В области регистрации землетрясений созданы как отдельные АРМ сейсмологов, так и целые сети регистрации и обмена данными как регионального, так и международного масштаба. Отдельно стоят программные комплексы интерпретации данных сейсморазведки, использующие множество математических и геофизических методов. Однако основным недостатком указанных систем является их ориентация на ограниченный круг потребителей (геологи, геофизики, сейсмологи), непосредственно участвующих в процессе сбора и обработки данных,

закрытость для стороннего пользователя и их определенная закрытость для пользователей

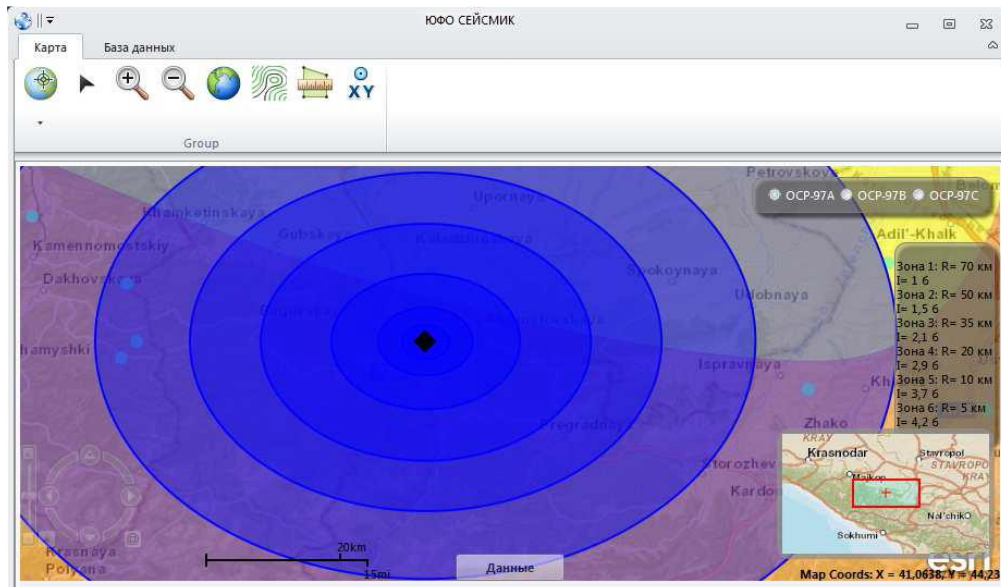


Рисунок 15 – Изосейсты в форме окружностей

Таким образом, возникает потребность в создании публичных систем обработки сейсмических геодинамических данных, а также в поиске новых алгоритмов для оценки геодинамической ситуации в регионе с высоким уровнем сейсмической опасности.

### 1.3 Требования к системе обработки сейсмических геодинамических данных

Существуют различные трактовки определения требований к информационным системам. Так в русской редакции нотации Rational Unified Process (RUP) приводит следующее определение: «Требование – это условие или возможность, которой должна соответствовать система». В IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology (1990) данное понятие трактуется шире [15]. Требование – это:



1. условия или возможности, необходимые пользователю для решения проблем или достижения целей;
2. условия или возможности, которыми должна обладать система или системные компоненты, чтобы выполнить контракт или удовлетворять стандартам, спецификациям или другим формальным документам;
3. документированное представление условий или возможностей для пунктов 1 и 2.

Также можно дать ещё одно определение. Требования – это исходные данные, на основании которых проектируются и создаются автоматизированные информационные системы.

Обычно требования, предъявляемые к информационной системе, разделяются по уровням.

На верхнем уровне представлены так называемые бизнес-требования (business requirements). Следующий уровень – уровень требований пользователей (user requirements). Требования пользователей часто бывают плохо структурированными, дублирующимися, противоречивыми. Поэтому для создания системы важен третий уровень, в котором осуществляется формализация требований.

Третий уровень – функциональный (functional requirements). Функциональные требования регламентируют функционирование или поведение системы (behavioral requirements). Функциональные требования отвечают на вопрос «что должна делать система» в тех или иных ситуациях, определяют основной «фронт работ» Разработчика, и устанавливают цели, задачи и сервисы, предоставляемые системой Заказчику.

Обобщая сказанное выше и учитывая современный уровень развития информационных технологий и концепций построения информационных систем, требования конечных пользователей (как специалистов, так и обычных), специфику получения и обработки сейсмической геодинамической информации, сформулирован ряд требований к создаваемой системе:

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. К ним относятся WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WCS (Web Coverage Service), WPS (Web Processing Service) [70, 76].
3. Функционирование как сервис в сети Интернет.
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.
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 сейсмозерговыведения.
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 [4, 8].

В рамках данной работы существующие системы обработки геодинимических данных рассматривались с точки зрения предложенных выше требований. Результаты анализа систем представлены в таблице 3.

Представленная в таблице 3 информация показывает, что в настоящее время не существует систем, полностью удовлетворяющих предложенным критериям с точки зрения обработки сейсмической геодинимической информации. Следовательно, разработка такой новой системы является актуальной задачей.

#### **1.4 Выводы по главе 1**

1. На основе анализа существующих видов сейсмической геодинимической информации и ее поставщиков предложено создать учитывающие особенности публикации информации специализированные средства сбора данных из распределенных источников.

2. Для обработки сейсмических геодинимических данных используются различные классы методов и программных продуктов. Представленные системы ориентированы на ограниченный круг потребителей (геологи, геофизики, сейсмологи), непосредственно участвующих в процессе сбора и обработки данных и закрыты для стороннего пользователя. Предлагается разработать общедоступную систему обработки данных на основе новых алгоритмов оценки геодинимической ситуации в регионе.

3. Разрабатываемая информационная система должна удовлетворять следующим требованиям: масштабируемость и отказоустойчивость, функционировать в сети Интернет как сервис, обеспечивать автоматическую загрузку данных из внешних источников, быть расширяемой за счет внедрения новых алгоритмов обработки данных.



## Глава 2. ПОДХОДЫ К ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ПОТОКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

### 2.1 Сейсмобюллетени как источник данных

Проведенный в параграфе 1.1 анализ источников показал существенные различия в способах публикации геодинимических данных. Для решения задачи создания информационной системы сбора и обработки сейсмической геодинимической информации требуется провести сравнение форматов ее представления.

Так Центр данных ИГИ НЯЦ РК и ISC используют для обмена данными IASPEI Seismic Format (ISF). Веб-сервисы IRIS в качестве ответа на запрос отправляют пользователю данные в формате QuakeML. Геофизическая служба РАН предоставляет данные в собственном формате, при этом форма представления данных для региональных каталогов сильно различается по регионам. Рассмотрим каждый формат более подробно.

IASPEI Seismic Format (ISF). ISF является утвержденным IASPEI форматом для обмена параметрическими сейсмологическими данными (гипоцентры, магнитуды, фаза прибытия и т.д.). Он принят в качестве стандарта в августе 2001 года. Является расширением стандарта "Международная система мониторинга 1.0" (IMS1.0), который был разработан для обмена данными, использующимися для мониторинга Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [59]. Пример ISF представлен на рисунке 16.

Вся 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 времени прихода волны на станцию. Описание блока характеристик сейсмического события представлено в таблице 4.

```

Event 9339007 CENTRAL KAZAKHSTAN

Date      Time      Err    RMS Latitude Longitude  Smaj  Smin  Az Depth  Err Ndef Nsta Gap  mdist  Mdist Qual  Author  OrigID
2009/12/05 04:37:02.47  3.86  2.22  51.2122  72.7761  60.9  12.3  30  0.0  -1.0  9  0  175  1.87  7.64 a i uk spsp  9339007

Magnitudes
mb        2.52
mpv      2.14
class    6.13

Sta  Dist  EvAz Phase      Time      TRes  Azim AzRes  Slow  SRes Def  SNR      Amp  Per Qual  mb  mpva  class  ArrID
VOSZ 1.87 324.4 Pn 04:37:32.275 -3.6
BVA0 2.33 321.9 Pn 04:37:42.688 0.5 266.9 126.9 37.7 24.0 T_ 2.5 0.5 0.45 mc_ 2.15 1.79 93390155
VOSZ 1.87 324.4 Sn 04:38:01.488 0.3
KURK 3.71 95.4 Pn 04:38:02.089 0.9
KURBB 3.67 97.0 Pn 04:38:05.509 4.8 265.8 -15.6 12.9 -0.9 T_ 0.9 0.55 md_ 2.96 2.59 93390158
BVA0 2.33 321.9 Sn 04:38:13.411 0.9 140.0 -0.0 23.5 -1.2 TA_ 10.0 2.9 0.65 md_ 5.99 93390160
KURK 3.71 95.4 Sn 04:38:45.307 -1.6
KURBB 3.67 97.0 Sn 04:38:45.521 -0.4 185.9 -95.5 26.6 1.9 T_ 5.7 0.80 md_ 6.27 93390161
MK31 7.64 121.6 Lg 04:41:03.866 -2.0 316.1 7.4 21.2 -10.6 TA_ 4.1 1.2 0.85 mc_ 7.11 93390162 93390163

Event 9339008 NORTHERN XINJIANG, CHINA

Date      Time      Err    RMS Latitude Longitude  Smaj  Smin  Az Depth  Err Ndef Nsta Gap  mdist  Mdist Qual  Author  OrigID
2009/12/05 04:59:08.36  3.59  0.00  44.7786  81.8402  29.0  19.5  8  0.0  -1.0  2  0  175  2.04  2.04 a i uk spsp  9339008

```

Рисунок 16 – Бюллетень в формате ISF

Наибольший объем данных по сейсмическим событиям, зарегистрированных Геофизической службой РАН, собран в виде сейсмологического каталога, пример которого представлен на рисунке 17. Данное издание составляется на основе следующих потоков входящей информации:

- ежедневных оперативных сводок с данными опорных сейсмических станций России и СНГ, поступающих по электронной почте и по телетайпным каналам связи;
- оперативных каталогов и сводок с региональных сейсмических станций, поступающих по электронной почте из филиалов ГС РАН (Дагестанского, Камчатского, Сахалинского, Магаданского и Северо-Осетинского), из филиалов ГС СО РАН (Алтае-Саянского, Байкальского и Якутского), а также из лабораторий ГС РАН (Кавминводской и Воронежской);
- ежедневных оперативных сводок из 10 стран мира: Финляндии, Англии, Дании, Польши, США, Германии, Румынии, Болгарии, Чехии, Словакии, Венгрии, поступающих по электронной почте;

- станционных сводок, создаваемых в ГС РАН (г. Обнинск) при обработке волновых форм, поступающих с цифровых сейсмических станций России и зарубежных стран в режиме, близком к реальному времени, и по каналам Интернет;
- станционных бюллетеней сейсмических станций России и СНГ, поступающих по e-mail и почте;
- бюллетеней Национального центра данных о землетрясениях США (PDEEDR, NEIC, США) и Международного центра данных (REB, СТВТО, Австрия).

Таблица 4. Характеристики сейсмического события

№ п.п.	Обозначение	Расшифровка
1	Date	Дата события в формате уууу/мм/дд
2	Time	Время события в формате hh:mm:ss.ss
3	Err	Ошибка в определении времени возникновения события, в секундах (пустое, если внесено исправление)
4	RMS	Среднеквадратичная невязка времени в очаге, в секундах
5	Latitude	Широта, градусы
6	Longitude	Долгота, градусы
7	Smaj	Большая полуось 95% доверительного эллипса ошибок определения эпицентра, км
8	Smin	Малая полуось 95% доверительного эллипса ошибок определения эпицентра, км
9	Az	Азимут большой полуоси, градусы
10	Depth	Глубина очага, км
11	Err	Ошибка в определении глубины очага, в км
12	Ndef	Число определений фаз
13	Nst	Число станцию участвующих в определении характеристик события
14	Gap	Разрыв в охвате азимута, градусы
15	mdist	Расстояние до ближайшей станции, градусы
16	Mdist	Расстояние до самой удаленной станции, градусы
17	Qual	Тип события
18	Author	Автор
19	OrigID	Номер события, его идентификатор

Оперативный сейсмологический каталог содержит данные об основных параметрах очагов землетрясений, для которых минимальные из магнитудных оценок  $M$  по объемным и поверхностным волнам составляют:

- для территории России  $M > 4.0$ ;
- для территории Северной Евразии  $M > 4.5$ ;
- для остальной территории мира  $M > 5.5 (+/-0.3)$ .

Эти параметры рассчитываются по оперативным сводкам более чем четырех станций используемой сети наблюдений. Каждая запись о землетрясении состоит из двух строк. Первая содержит перечень характеристик события и ее расшифровка представлена в таблице 5, а вторая – название региона, в котором оно произошло.

```

R U S S I A N   A C A D E M Y   O F   S C I E N C E
Geophysical Survey
(Obninsk)

Seismological Catalogue
July      21-31 , 2011

-----
NN Day Origin_time Latitude Longitude h MPSP MPLP MS
  dd hh:mm:ss.s (degrees) (degrees) km
-----
3803 21  1: 3:30.6 39.82 N 143.43 E 33 5.0      4.4
      Off east coast of Honshu, Japan
3804 21  1:13:51.9 29.36 S 176.45 W 33 5.1
      Kermadec Islands region
3805 21  1:55:34.7 29.21 S 176.23 W 24 5.1
      Kermadec Islands region
3806 21  3: 9:25.1 26.51 N  59.61 E 28 4.6
      Southern Iran
3807 21  6:48: 4.0  0.20 N  96.90 E 33 5.3
      Off w coast of Northern Sumatera
3808 21  6:57:26.2 53.85 N 160.46 E 129 4.1
      Near east coast of Kamchatka
3809 21  7:36:53.3 48.50 N 156.76 E  1 4.2
      East of Kuril Islands
3810 21 13:55:52.4 15.87 S  26.00 E 10 5.2      4.2
      Zambia

```

Рисунок 17 – Пример сейсмологический каталога ГС РАН

Сейсмологические данные покрывают широкий диапазон информации, хранение и обмен которой происходит во многих различных форматах. В большинстве случаев, эти форматы специализированы для использования в узкой области назначения.



Таблица 5. Расшифровка полей сейсмологического каталога ГС РАН

№ п.п.	Обозначение	Расшифровка
1	NN	Номер сейсмического события
2	Day	День в формате dd
3	Origin_time	Время события в формате hh:mm:ss.ss
4	Latitude	Широта, градусы
5	Longitude	Долгота, градусы
6	h	Глубина очага, км
7	MPSP	Средние значения магнитуд по продольным волнам зарегистрированным короткопериодной аппаратурой
8	MPLP	Средние значения магнитуд по продольным волнам, зарегистрированным длиннопериодной аппаратурой
9	MS	Средние значения магнитуд по поверхностным волнам

QuakeML - это модель представления сейсмологических данных, ранее преобразованных в формат XML [83]. QuakeML предназначен для того, чтобы стандартизировать сейсмологический обмен данными, и применяется для решения широкого диапазона научных и технических проблем в сейсмологии. «QuakeML» основан на стандарте обмена данными в сейсмологии, который активно развивается. Первая версия (0.51) выпущена в январе 2007 года, текущая версия (1.2) выпущена 14 февраля 2013 года. Она основана на общественном мнении о стандарте обмена данными в сейсмологии, выраженным следующими организациями: ETH, GFZ, USC, СУЭК, USGS, IRIS DMC, EMSC, ORFEUS, GNS, ZAMG, BRGM, Nanometrics и ISTI. В версии (1.2) рассматривается описание сейсмических событий, включая: приборы, приходы, амплитуды, величины, происхождения, механизмы очагов и момент тензоров.

«QuakeML» - файл имеет следующее строение, рисунок 18:

- текст, заключенный между тегами <Module> и </Module> означает название службы и её версия, использованная для получения данных. Здесь же указан веб адрес, по которому можно обратиться к этой службе;

- текст, заключенный между тегами `<ModuleURI>` и `</ModuleURI>` содержит URI-адрес, по которому на прямую были получены данные. Этот адрес содержит в себе веб адрес службы, а также параметры запроса;
- текст, заключенный между тегами `<SentDate>` и `</SentDate>` - это дата, когда был проведен запрос к веб сервису;
- теги `<Network>` и `</Network>` заключают данные о произошедших сейсмических событиях, зафиксированные определенной сетью сейсмографов;
- текст, заключенный между тегами `<StartDate>` и `</StartDate>`, означает начало периода, за который был произведен поиск сейсмических событий в заданной области;
- текст, заключенный между тегами `<EndDate>` и `</EndDate>`, означает конец периода, за который был произведен поиск сейсмических событий в заданной области;
- текст, заключенный между тегами `<Description>` и `</Description>`, означает название сети сейсмографов;
- текст, заключенный между тегами `<TotalNumberStations>` и `</TotalNumberStations>`, означает общее количество сейсмографов в данной сети;
- текст, заключенный между тегами `<SelectedNumberStations>` и `</SelectedNumberStations>`, означает номер станции, зафиксировавшей сейсмическое событие;
- между тегами `<Station>` и `</Station>` содержится информация о названии города и страны, в котором произошло сейсмическое событие, а также координаты широты и долготы этого события;
- теги `<StationEpoch>` и `</StationEpoch>` означают начало и конец данных, прилагающихся к конкретному событию, зафиксированному определенной станцией;
- текст, заключенный между тегами `<StartDate>` и `</StartDate>`, означает начало периода, в который попало зафиксированное событие;

- текст, заключенный между тегами <EndDate> и </EndDate>, означает конец периода, в который попало зафиксированное событие;
- числовое значение, заключенный между тегами <Lat> и </Lat>, означает координаты широты, зафиксированного события;
- числовое значение, заключенный между тегами <Lon> и </Lon>, означает координаты долготы, зафиксированного события;
- числовое значение, заключенный между тегами <Elevation> и </Elevation>, означает высоту, над уровнем моря, на которой было зафиксировано сейсмическое событие;
- теги <Site>и </Site>, соответствуют сейсмическому событию и содержат в себе теги <Name> и </Name>;
- текст, заключенный между тегами <Name> и </Name>, означает название города и страны, в которых было зафиксировано сейсмическое событие;
- текст, заключенный между тегами <Agency> и </Agency> означает название службы, зафиксировавшей сейсмическое событие.

Один из плюсов «QuakeML» - это использование его международными службами, которые собирают данные с многих источников с потенциально противоречивыми мнениями по поводу того, как разделить наблюдаемое землетрясение на одиночные события.

В настоящее время «QuakeML» услуги установлены в нескольких учреждениях по всему миру, в том числе: EMSC, ORFEUS, ETH, Geoazur (Европа), NEIC, ANSS, СУЭК / SCSN (США), и GNS науки (Новая Зеландия). Некоторые из этих учреждений уже предоставляют услуги «QuakeML» веб-каталога землетрясений [83].

Существует также модель данных «QuakePy», с открытым исходным кодом на Python, основанная на анализе сейсмичности с использованием инструментария «QuakeML» модели данных. «QuakePy» является частью программного стека, используемого в лабораториях по изучению

предсказуемости землетрясений, испытательного центра, разработанного СУЭК [83].

```

<Module>IRIS WEB SERVICE: http://www.iris.edu/ws/statio
<ModuleURI>http://www.iris.edu/ws/station/query?lat=40.
<SentDate>2013-03-20T11:05:30</SentDate>
<Network net_code="SY">
  <StartDate>1900-01-01T00:00:00</StartDate>
  <EndDate>2500-12-12T23:59:59</EndDate>
  <Description>Synthetic Seismograms</Description>
  <TotalNumberStations>3379</TotalNumberStations>
  <SelectedNumberStations>36</SelectedNumberStations>
  <Station net_code="SY" sta_code="BGNE">
    <StationEpoch>
      <StartDate>1900-01-01T00:00:00</StartDate>
      <EndDate>2599-12-31T23:59:59</EndDate>
      <Lat>41.408298</Lat>
      <Lon>-98.1502</Lon>
      <Elevation>573.0</Elevation>
      <Site>
        <Name>BGNE synthetic</Name>
      </Site>
      <Operator>
        <Agency>ShakeMovie synthetics</Agency>
        <Contact>
          <Name>UNKNOWN</Name>
        </Contact>
      </Operator>
      <CreationDate>1900-01-01T00:00:00</CreationDate>
      <TotalNumberChannels>6</TotalNumberChannels>
      <SelectedNumberChannels>0</SelectedNumberChannels>
    </StationEpoch>
  </Station>

```

Рисунок 18 – Структура файла QuakeML

Проведенный анализ структуры сейсмических бюллетеней позволил выявить ряд характеристик общих для всех случаев. К ним относятся дата и

время возникновения, координаты эпицентра, глубина очага, магнитуды сейсмического события.

## 2.2 Схемы и механизмы сбора данных

Анализ источников и форматов представления сейсмических геодинамических данных позволяет выявить общий подход к организации их структуры, обеспечивающий формирование единой процедуры преобразования информации. Для этого необходимо решить две задачи:

1. подготовить механизм получения данных из распределенных источников;
2. разработать способ преобразования исходной информации в соответствии с потребностями информационной системы.

В рамках решения первой задачи представим источник данных в виде  $S \{t, u, P, F_n\}$ , 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:

- текст с фиксированной длиной полей (ISF, CSV и т.д.);
- XML, являющийся основой для QuakeML.

Таким образом, для каждого источника данных  $S$  задаются параметры протокола  $P$  и перечень форматов  $F_n$ . На основании этой информации конфигурируются URL доступы к данным и выполняется их загрузка. Отметим, что в большинстве случаев формат не влияет на процесс получения сейсмобюллетеней. Исключение составляет сервис IRIS, для которого можно выбрать тип предоставления результатов поиска. Следовательно, реализуется возможность манипулирования источниками данных независимо от средств

разбора для каждого формата. Общий принцип работы механизма загрузки геодинамических данных представлен на рисунке 19.

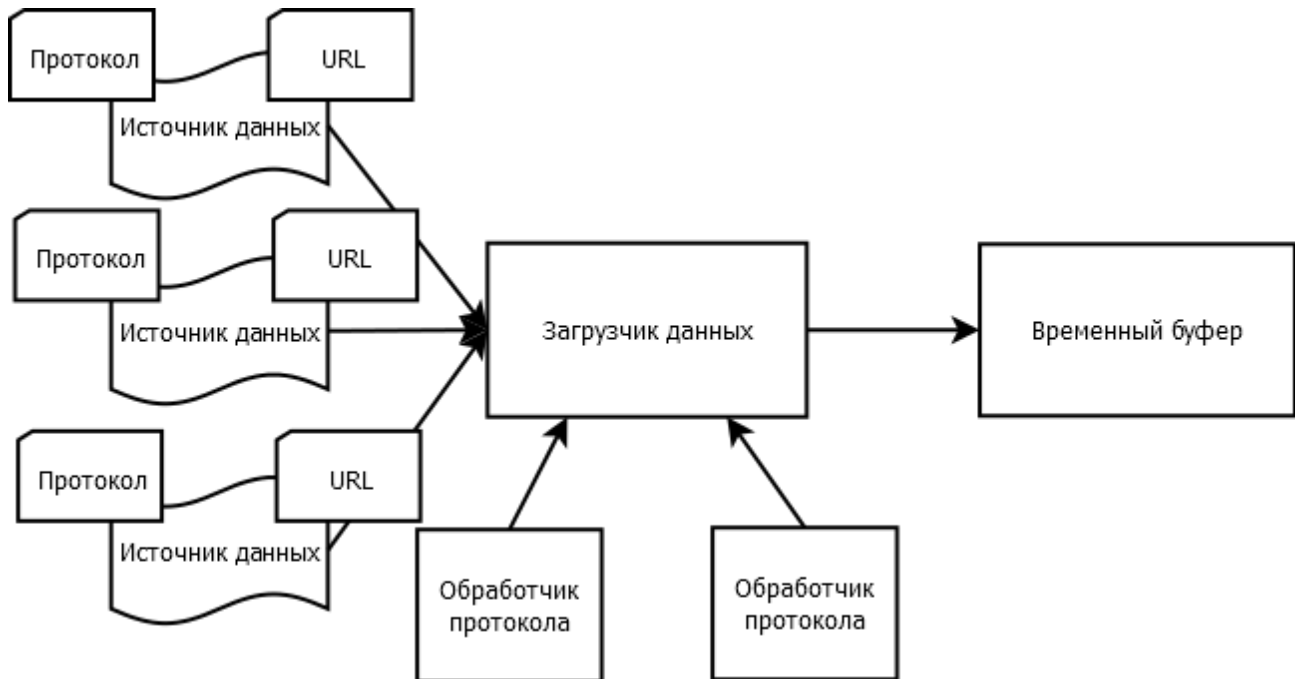


Рисунок 19 – Принцип работы модуля загрузки данных

Загруженные данные преобразуются в вид удобный для дальнейшей обработки и анализа. Для этой операции в качестве входных данных рассматривается 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. Таким образом, необходимо создать подсистему, позволяющую выполнять преобразование  $Q$  в  $Q'$ , которая позволит привести время  $dt'$  к одному часовому поясу, заполнить пробелы в значениях магнитуд  $M_n'$ , добавить ссылку на источник  $S$  и привести нумерацию

событий и к единому стандарту. Принципиальная схема работы модуля представлена на рисунке 20.

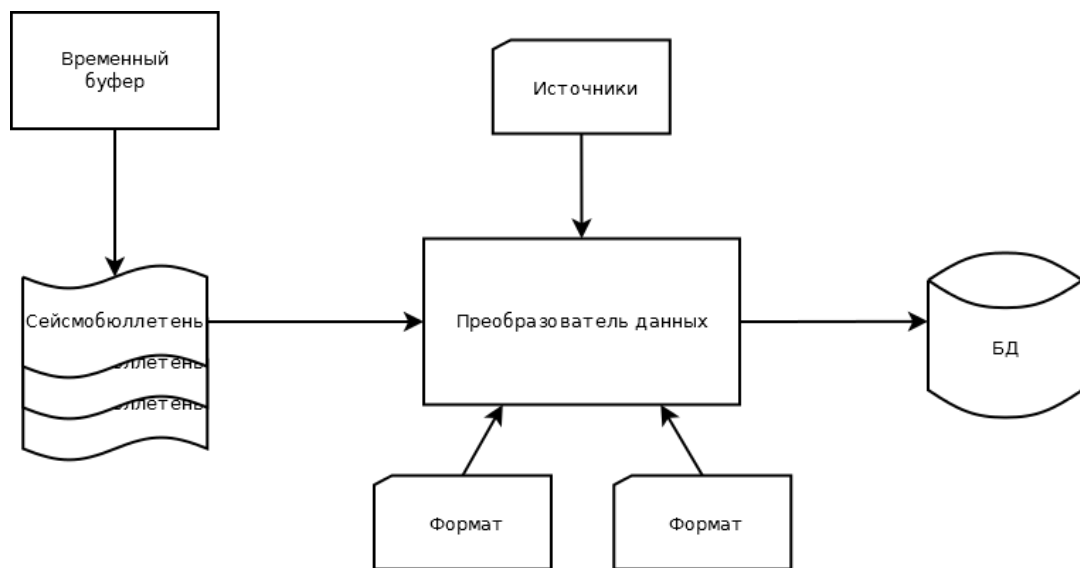


Рисунок 20 – Принципиальная схема модуля преобразования данных

Процесс преобразования сейсмобюллетеней сильно зависит от особенностей конкретного формата данных. Исходя из этого, строится иерархическая структура процедур. На верхнем уровне расположены функции общие для всех случаев, к которым можно отнести операции по пересчету магнитуд, времени события и порядкового номера. Ниже располагаются методы для типов форматов, обеспечивающие разбиение данных, выделение отдельных записей Q и их атрибутов. Замыкают дерево операции специфические для реализаций форматов и отвечающие также за сопоставления атрибутов описания события Q со структурой данных бюллетеня. Так наиболее простым вариантом является QuakeML основанный на XML, так как наличие XSD-схемы [68] позволяет на ее основе выполнять проверку загруженных данных и выборку отдельных записей и атрибутов, применять для этого стандартные XML-парсеры. Также осуществляется сопоставление XML-тегов и атрибутов описания Q.

Для группы форматов, основанной на типе «Текст с фиксированной длиной полей», характерно отсутствие утвержденных схем данных и

стандартов. Исключение составляет ISF [59]. Для других случаев существуют либо локальные описания (бюллетень ГС РАН), либо самодокументирование через указание названий полей в самом документе. В этом случае преобразование данных начинается с операций по извлечению отдельных записей и их атрибутов из общего текста в соответствии с внутренней структурой формата, а затем их сопоставление с описанием  $Q$  и  $Q'$ .

Так как источники информации имеют обширное покрытие для различных территорий и стран, механизм сбора данных должен поддерживать средства пространственной фильтрации поступающих данных. Критерии выбора описаний событий  $Q'$  задаются как набор полигонов в системе координат WGS84. Процедура фильтрации выполняется после основных операций, связанных с получением множества записей вида  $Q'$  из  $Q$ .

Обобщая все вышесказанное, приведем общий перечень операций необходимых для перевода данных из вида  $Q$  в  $Q'$ :

1. выбор источника данных  $S$ ;
2. формирование URL для получения сейсмобюллетеней на основе протокола  $P$  и формата  $F$ ;
3. загрузка данных во временный буфер;
4. извлечение фрагмента данных из буфера, и передача его конвертору;
5. выделение отдельных записей;
6. выявление набора атрибутов для каждой записи;
7. создание коллекции описаний  $Q$ ;
8. генерация нового порядкового номера  $i'$ ;
9. приведение даты и времени к единому виду  $dt'$ ;
10. пересчет множества магнитуд  $M_n$  и заполнение пробелов, получение множества  $M_n'$ ;
11. добавление ссылки на источник к каждой записи;
12. формирование массива описаний  $Q'$ ;
13. фильтрация данных по пространственному критерию;
14. загрузка в базу геодинамических данных.



Подводя итог, отметим, что представленная последовательность действий позволяет получить геодинамические данные из распределенных источников и преобразовать их к виду удобному для хранения и дальнейшей обработке. В целом предложенный механизм использует следующие принципы:

1. разделение средств манипулирования источниками информации и конверторами, что обеспечивает повторное использование последних;
2. использование иерархии обработчиков для каждого формата и структуры данных;
3. применение средств пространственной фильтрации до загрузки записей в базу данных.

### **2.3 Новые подходы и алгоритмы обработки сейсмических геодинамических данных**

**Алгоритм построения траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения.** Данный алгоритм разработан в Институте горного дела СО РАН под руководством член-корреспондента РАН В.Н. Опарина [18-21]. Понятие центр сейсмоэнерговыведения представляет собой обобщение известного в механике понятия центра масс применительно к сейсмособытиям заданной энергии в пределах некоторого объема породного массива. Его расчет осуществляется в несколько этапов по следующим формулам:

$$R_E(t, \tau) = \frac{\sum_{i=1}^{N(t, \tau)} r_i E_i}{\Omega(\sum_{i=1}^{N(t, \tau)} E_i)}, \Omega(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ x, & x \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$(x_0, y_0) = \frac{\sum_{i=1}^{N(t, \tau)} (x_i, y_i) E_i}{\sum_{i=1}^{N(t, \tau)} E_i}, \quad (2)$$

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, \quad (3)$$

где  $t$  – момент времени;  $\tau$  – временной интервал осреднения индуцированных сейсмособытий с энергией  $E_i$  на удалении  $r_i$  от эпицентра;  $N(t,$

$\tau$ ) – количество зарегистрированных сейсмособытий в интервале  $(t-\tau, t)$ . Приведенные выражения справедливы для декартовой системы координат.

На практике для построения траектории миграции в рамках создаваемой информационной системы разработан и реализован следующий алгоритм.

Для начала формируем упорядоченный по времени список сейсмических событий, попадающих в заданную область. При этом каждое сейсмособытие описывается набором параметров: широта ( $x_i$ ), долгота ( $y_i$ ), магнитуда (энергетический класс,  $E_i$ ) и дата. Далее разбиваем полученный набор записей на отдельные массивы с учетом выбранного интервала осреднения  $\tau$ . Т.е. если  $\tau = 1$  месяц, то в результате мы получим несколько массивов, содержащих события, произошедшие только в указанном месяце. В рамках каждого из них по формуле 2 вычисляется осредненное сейсмособытие с координатами  $(x_0, y_0)$ , которое и является центром сейсмоэнерговыведения. Полученная точка заносится в специальный список. На втором проходе по формулам 1 и 3 рассчитывается расстояния от осредненного сейсмического события до текущего с учетом его энергии. Результат работы приведенного алгоритма представляет собой набор дискретных записей и может быть отображен на электронной карте в виде ломаной линии.

Стоит отметить, что рассмотренный метод может быть использован для осреднения любых пространственных данных, которые отвечают ряду требований. Т.е. обрабатываемые геоданные должны представлять собой набор точек и содержать атрибуты, позволяющие определить их последовательность во времени, задать весовой коэффициент.

**Теория фракталов.** Впервые понятие фрактал ввел Бенуа Мандельброт в следующей формулировке: «Фракталом называется множество, размерность Хаусдорфа-Безиковича для которого строго больше его топологической размерности» [16]. Тем не менее, в настоящее время нет однозначного определения данного термина. Поэтому имеет смысл перечислить основные свойства фрактального объекта [5, 16, 17, 39, 46, 53, 56, 57]:

- 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). Последние также известны как мультифракталы. Ключевой их особенностью является неоднородное распределение в пространстве точек, образующих фрактальный объект. Данный факт позволяет говорить о наличии у фрактала некоторых статистических свойств.

Для описания и сравнения фракталов активно используется такая их характеристика как размерность. Алгоритм ее вычисления, как правило, основан на подсчете числа примитивов необходимых для покрытия фрактала в зависимости от их размера. При этом для регулярных фракталов достаточно вычислить только размерность Хаусдорфа-Безиковича ( $D$ ). Мультифракталы описывают с помощью спектра обобщенных размерностей  $D_q$ :

$$D_q = \frac{1}{1-q} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q}{\ln \varepsilon}, \quad (4)$$

где  $q$  может принимать любые значения в интервале  $-\infty < q < +\infty$ ,  $N(\varepsilon)$  – число заполненных ячеек, а  $p_i$  – вероятность попадания точки фрактала в ячейку размера  $\varepsilon$ .

На практике особое внимание уделяют величине  $D_0$ , которая соответствует хаусдорфовой, информационной ( $D_1$ ) и корреляционной ( $D_2$ ) размерностям.

Для вычисления хаусдорфовой размерности ( $D_0$ ) был использован метод на основе подсчета клеток. В этом случае фрактал покрывается квадратами со стороной  $\varepsilon$  и подсчитывается число заполненных ячеек  $N(\varepsilon)$ . Затем сторона ячейки уменьшается в 2 раза и фрактал покрывается заново. Данная операция

производится до тех пор, пока размер ячейки  $\varepsilon$  не станет числом близким к нулю.

Так как при малых  $\varepsilon$  справедливо соотношение

$$N(\varepsilon) \sim \frac{1}{\varepsilon^{D_0}}, \quad (5)$$

то фрактальную размерность  $D_0$  можно вычислить как угловой коэффициент графика  $\ln(N(\varepsilon))$  как функции от  $\ln(\varepsilon)$ . Пример графика показан на рисунке 21.

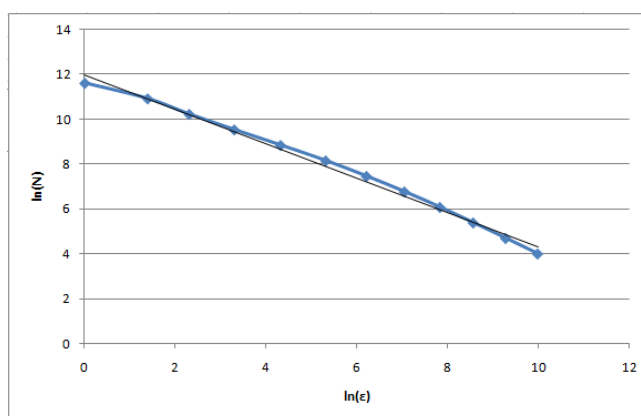


Рисунок 21 – График зависимости величины  $\ln(N(\varepsilon))$  от  $\ln(\varepsilon)$

Для вычисления углового коэффициента используется метод наименьших квадратов, который в данном случае можно представить так:

$$D_0 = \frac{Ng_1 - c_2g_2}{Nc_1 - c_2^2}, \quad (6)$$

где  $N$  – число итераций,  $c_1 = \sum_{i=1}^N \ln(\varepsilon)^2$ ,  $c_2 = \sum_{i=1}^N \ln(\varepsilon)$ ,  $g_1 = \sum_{i=1}^N \ln(\varepsilon) \ln(N(\varepsilon))$  и  $g_2 = \sum_{i=1}^N \ln(N(\varepsilon))$ .

Перейдем к расчету информационной размерности  $D_1$ . Пусть  $N$  – число точек, из которых состоит фрактал,  $N(\varepsilon)$  – число занятых ячеек,  $n_i(\varepsilon)$  – число точек в  $i$ -й ячейке. Тогда вероятность  $p_i(\varepsilon)$  того, что некоторая точка содержится в  $i$ -м квадрате, определяется как

$$p_i(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n_i(\varepsilon)}{N} \quad (7)$$

При этом должно выполняться условие

$$\sum_i^{N(\varepsilon)} p_i(\varepsilon) = 1 \quad (8)$$

Данная вероятность характеризует относительную заселенность ячейки. Тогда размерность  $D_1$  определяется по формуле:

$$D_1 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i}{\ln \varepsilon} \quad (9)$$

Величина  $D_1$  показывает, как информация, необходимая для определения местоположения точки, возрастает при стремлении размера ячейки  $\varepsilon$  к нулю.

Корреляционная размерность  $D_2$  рассчитывается также на основе указанной ранее вероятности  $p_i(\varepsilon)$ . При этом величина  $p_i^2$  представляет собой вероятность одновременного попадания в одну ячейку двух точек. Расчет выполняем по следующей формуле:

$$D_2 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^2}{\ln \varepsilon} \quad (10)$$

Описанный набор размерностей позволяет охарактеризовать форму, степень неоднородности исследуемого фрактала и, следовательно, оценить его геометрическую сложность.

**Показатель Херста.** Для анализа временных рядов, обнаруживающих беспорядочное поведение как на коротких, так и на длинных промежутках времени, может быть использован метод нормированного размаха или метод Херста. В этом случае последовательность можно охарактеризовать с помощью показателя  $H$ , показателя Херста [39]. Данный метод был предложен Херстом на основе изучения им Нила и решения задач, связанных с накоплением водных ресурсов. В частности, задача заключалась в том, чтобы найти оптимальный резервуар по заданному набору измерений стока воды из озера. Оптимален тот резервуар, который никогда не переполняется и не пустеет. В течение каждого года такой резервуар принимает приток из озера, в то время как регулируемый объем воды (сток) спускается из водохранилища. Таким образом, надо определить, сколько воды должно храниться в водохранилище, чтобы каждый год из него можно было спускать объем воды, равный среднему притоку за период.

Суть данного метода заключается в вычислении безразмерного отношения величины размаха к стандартному отклонению некоторой величины  $S(t)$ , изменяющейся в течение определенного промежутка времени  $\tau$ . Для начала вычислим среднее значение  $\bar{S}_\tau$  по формуле

$$\bar{S}_\tau = \frac{\sum_{t=1}^{\tau} S(t)}{\tau} \quad (11)$$

Тогда  $X(t, \tau)$  – накопившееся отклонение величины  $S(t)$  от среднего

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t S(u) - \bar{S}_\tau \quad (12)$$

Тогда размах  $R$  равен разности между максимальным и минимальным значением накопившегося отклонения  $X$ :

$$R = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad (13)$$

Стандартное отклонение  $S$  тривиально определяется как:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{\tau} (S(t) - \bar{S}_\tau)^2}{\tau}} \quad (14)$$

Тогда показатель Херста  $H$  определяется из соотношения

$$R/S = (\tau/2)^H \quad (15)$$

Стоит отметить, что для многих природных процессов показатель  $H$  более или менее симметрично распределен вокруг среднего значения 0,73 со стандартным отклонением равным примерно 0,09. Исходя из этого факта, а также ряда проведенных исследований, можно сформулировать следующую интерпретацию, представленную в таблице 6.

Стоит отметить, что метод Херста рассчитан на анализ изменений во времени только одно показателя. В тоже время при оценке перемещений центров сейсмоэнерговыведения необходимо одновременно учитывать изменения по широте и долготе. Чтобы обойти указанное ограничение можно выполнить пересчет массива координат широта/долгота в массив расстояний  $L$  от центров сейсмоэнерговыведения до точки начала координат (0,0) и в дальнейшем все операции выполнять над полученными величинами  $L$ .

Альтернативный подход основан на переходе от сферической системы координат к полярной. В этом случае расчет показателя Херста может быть выполнен как для полярного угла  $\varphi$ , так и для полярного радиуса  $r$ .

Таблица 6. Интерпретация показателя Херста  $H$

Значения показателя Херста $H$	Интерпретация
$H=0$	Отсутствует движение или изменения временного ряда цикличны с очень большой частотой колебаний
$0 \leq H < 0,5$	Ряд антиперсистентный, то есть часто меняет направление изменения показателя
$H=0,5$	Ряд абсолютно случайный, события не зависят друг от друга
$0,326 \leq H < 0,674$	Ряд с высокой вероятностью случайный. События, скорее всего, не зависят друг от друга
$H \approx 0,72$	Эмпирическое значение показателя Херста для природных явлений
$0,5 < H \leq 1$	Ряд персистентный. Чем ближе $H$ к 1, тем сильнее тренд. Ряд обладает эффектом долговременной памяти - будущее зависит от прошлого

**Элементы спектрального анализа.** Спектральный анализ используется для анализа временных рядов (сигналов) [10, 33]. Под временным рядом понимают случайную функцию  $x$  независимой переменной  $t$ . В большинстве случаев функция  $x(t)$  будет функцией времени, хотя в некоторых случаях она может быть функцией другого физического параметра  $t$ , например, координаты. Поскольку различные участки временного ряда обнаруживают сходство только в их осредненных свойствах, необходимо описывать их с помощью вероятностных законов. Таким образом, возможные значения временного ряда в данный момент времени  $t$  описывается с помощью случайной величины  $X(t)$  и связанного с ней распределения вероятностей.

Одной из основных компонент спектрального анализа является преобразование Фурье, позволяющее перейти от временного представления

функции сигнала  $s(t)$  к частотному спектру  $S(\omega)$ . Преобразование Фурье может быть записано в следующем виде:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j\omega t} dt, \quad (16)$$

где  $\omega$  – круговая частота.

Обратное преобразование Фурье выглядит следующим образом

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (17)$$

Чтобы указанное преобразование было применимо, сигнал должен удовлетворять некоторым требованиям:

- должно выполняться условие Дирихле;
- сигнал должен быть абсолютно интегрируемым, т.е. интеграл его модуля должен быть конечной величиной  $\int_{-\infty}^{\infty} |s(t)| dt < \infty$ .

Однако траектория миграции представляет собой случайный процесс и, следовательно, необходимо выполнять усреднение по всем его реализациям. В этом случае вычисляется спектральная плотность мощности. Для этого можно воспользоваться несколькими методами, такими как метод периодограмм или метод Уэлча. Периодограмма представляет собой оценку спектральной плотности мощности  $\hat{W}(\omega)$ , полученную по  $N$  отсчетам одной реализации случайного процесса, и рассчитывается по следующей формуле:

$$\hat{W}(\omega) = \frac{1}{Nf_d} \left| \sum_{k=0}^{N-1} x(k)e^{-j\omega kT} \right|^2, \quad (18)$$

где  $f_d$  – частота дискретизации,  $T$  – период.

Метод Уэлча (метод усреднения модифицированных периодограмм) является развитием описанного выше метода и за счет использования весовой функции и разбиение сигнала на перекрывающиеся фрагменты позволяет ослабить растекание спектра и уменьшить дисперсию оценки. При его использовании вычисления организуются следующим образом:



1. Вектор отсчетов сигнала делится на перекрывающиеся сегменты. Как правило, используется перекрытие на 50%. Оптимальная степень перекрытия зависит от используемой весовой функции.

2. Каждый сегмент умножается на используемую весовую функцию.

3. Для взвешенных сегментов вычисляются модифицированные периодограммы.

4. Периодограммы всех сегментов усредняются.

Метод Уэлча является наиболее популярным периодограммным методом спектрального анализа.

#### **2.4 Информационные потоки и схемы обработки данных**

Информационные потоки, циркулирующие в созданной системе, можно разделить на две группы:

1. потоки, возникающие в процессе сбора геодинимических данных и загрузки их в хранилище;

2. потоки, связанные с процессом обработки накопленной информации с помощью различных методов.

Краткое описание потоков из первой группы было представлено ранее. На вторую группу оказывают большое влияние средства анализа и способы их комбинирования. Представленные в параграфе 2.3 методы обработки данных реализуются как отдельные вычислительные модули, которые группируются различными способами. В связи с этим рассмотрим каждый алгоритм с точки зрения определения входной и выходной информации (таблица 7).

Анализ входа-выхода различных алгоритмов позволяет выделить методы, результаты которых могут быть подвергнуты дальнейшей обработке, а также методы с конечным результатом. Так выход модуля «Алгоритм построения траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения» может быть передан на вход модулей «Фрактальный анализ», «Показатель Херста», «Элементы

спектрального анализа» и «Диаграмма Вороного». Для данного перечня модулей входными данными также являются список (упорядоченный по дате) описаний геодинамических событий. Результаты работы алгоритма «Диаграмма Вороного» может быть подан на вход «Фрактального анализа». Включение новых модулей осуществляется за счет сопоставления их входа-выхода с уже реализованными методами.

Таблица 7. Вход и выход для каждого модуля

Название модуля	Вход	Выход
Построение траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения	список (упорядоченный по дате) описаний геодинамических событий, включающих дату, координаты, магнитуду или энергетический класс	упорядоченный по дате массив центров сейсмоэнерговыведения с указанием месяца, года, координат и средней энергетической характеристики
Вычисление фрактальных размерностей	множество точек, ломаная линия, полигон	список из трех фрактальных размерностей
Вычисление показателя Херста	список описаний геодинамических событий, включающих дату, координаты, магнитуду или энергетический класс	числовое значение показателя Херста
Расчет быстрого преобразования Фурье (БПФ)	список (упорядоченный по дате) описаний геодинамических событий, включающих дату, координаты, магнитуду или энергетический класс	спектр
Построение диаграммы Вороного	множество точек	диаграмма в виде набора ребер

Для запуска процесса расчета пользователь выбирает территорию, временной отрезок и, в некоторых случаях, тип событий, на основе чего формируется список доступных операций. После выполнения выбранного метода пользователю предоставляются результаты расчета и предлагается новый перечень модулей, если он доступен для дальнейшего анализа. Возможен одновременный запуск нескольких алгоритмов.

На основе анализа рассмотренных алгоритмов предложена схема обработки геодинимических данных. Включает следующие этапы:

1. выбор пользователем источника данных из имеющихся в хранилище, подготовка списка доступных для него дат;
2. выбор диапазона годов для проведения расчетов из имеющегося списка;
3. выбор территории через указание размеров и координат центра или на карте;
4. оценка числа событий, отвечающих заданным критериям;
5. если для выбранных параметров не найдено данных, то выводим сообщение пользователю;
6. формируем список доступных операций;
7. выбор одного из доступных методов обработки и запуск его на выполнение;
8. завершение расчетов, сохранение параметров запуска и результатов, информирование пользователя;
9. если пользователь выбрал просмотр результатов, то отображение их, в противном случае формируется список доступных операций с учетом результатов вычислений. Переходим к пункту 7;
10. если список методов пуст, то преобразуем накопленные результаты в формат удобный для отображения;
11. завершение работы, предоставление пользователю сводного отчета о выполненных процедурах.

На рисунке 22 представлен вариант схемы обработки данных, включающий все имеющиеся алгоритмы обработки данных. При этом операции выполняются как над исходной информацией, так и после получения траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения. Для устранения разногласий между модулями применяются конверторы данных.

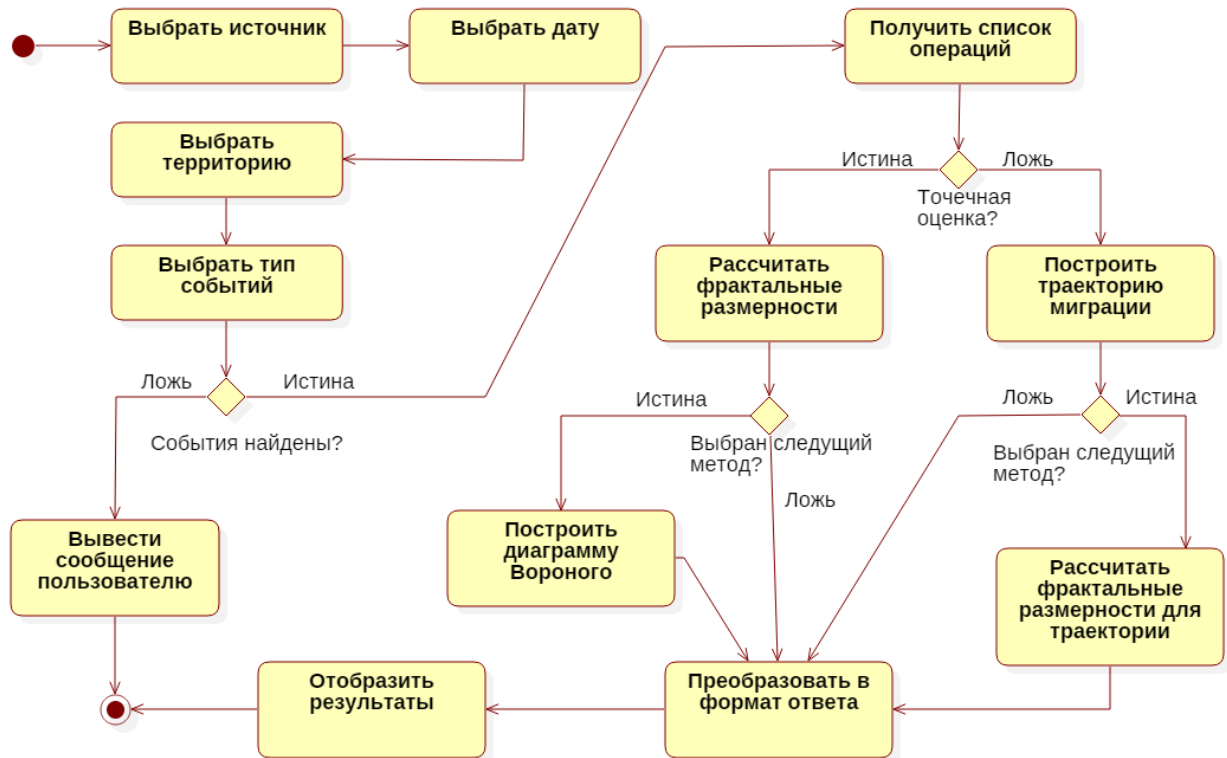


Рисунок 22 – Последовательность операций обработки геодинимических данных в информационной системе

Для описания перемещения информации между подсистемами применяется диаграмма потоков данных (Data Flow Diagram, DFD), описывающая асинхронный процесс преобразования информации от ее ввода в систему до выдачи пользователю. Диаграммы верхних уровней иерархии (контекстные диаграммы) определяют основные процессы или подсистемы ИС с внешними входами и выходами. Они детализируются при помощи диаграмм нижнего уровня [37]. Пример разработанной модели представлен на рисунке 23.

Созданная схема потоков включает внешнюю сущность «Пользователь», которая, взаимодействуя с накопителями данных «Карта», «Источники данных» и «Вычислительные модули», запускает процесс «Загрузить данные». В зависимости от параметров расчета процесс «Загрузка данных» обращается к хранилищу данных «Локальная БД» и «Распределенные источники данных». Для обработки потока данных из последнего запускается процесс «Первичная обработка данных», который на выходе формирует новый поток и направляет

его в «Локальная БД». Далее информация передается в «Расчитать по алгоритму». Результаты работы процесса передаются в «Сформировать отчет» и «Отобразить пространственные данные». Полученная информация передается пользователю в виде отчета и набора электронных слоев.

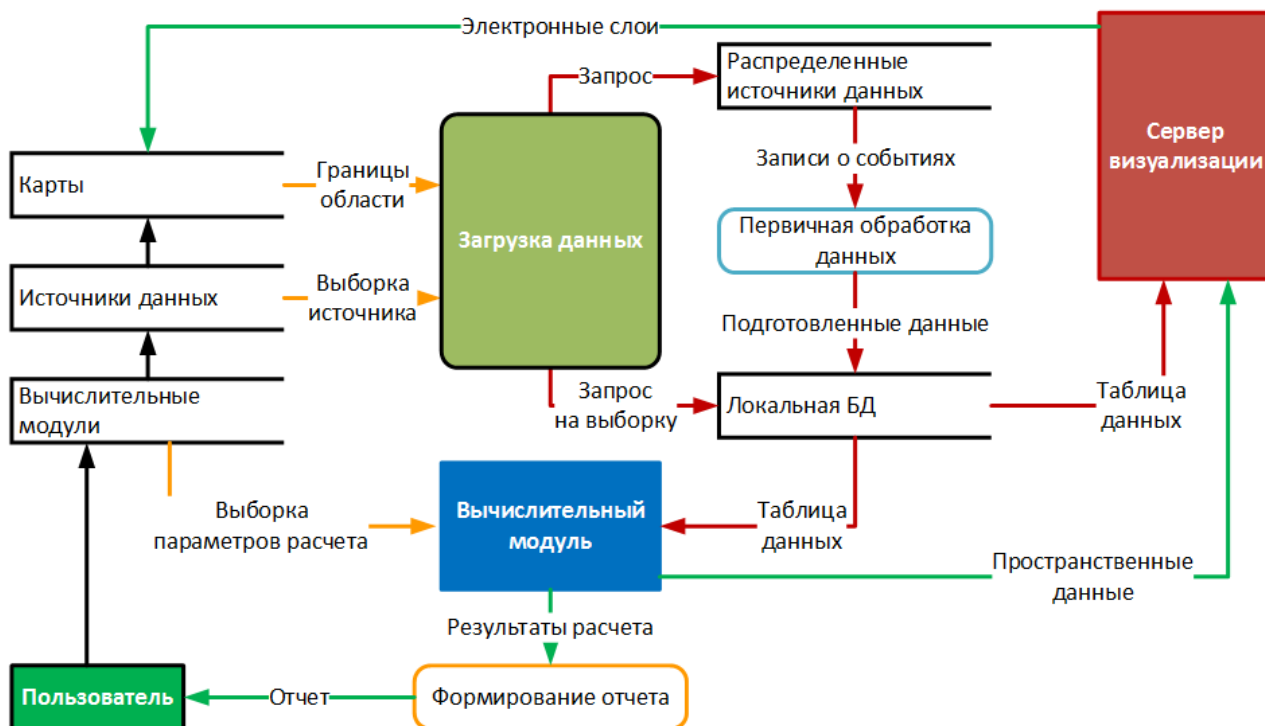


Рисунок 23 – Модель потоков данных в информационной системе

Для уточнения процедуры «Первичная обработка данных» предложена диаграмма потоков, представленная на рисунке 24. Представленная схема предполагает, что по запросу со стороны других подсистем запускается процедура «Выбрать источник». Выбранный источник данных передается блоку «Загрузить данные». Полученные данные сохраняются в буфер и запускается «Преобразовать записи», которая в свою очередь формирует список геодинимических событий во внутреннем формате и передает его методу «Отфильтровать данные». Результаты передаются в «Сохранить данные». Подготовленные к сохранению описания загружаются в накопитель данных «Локальная БД».

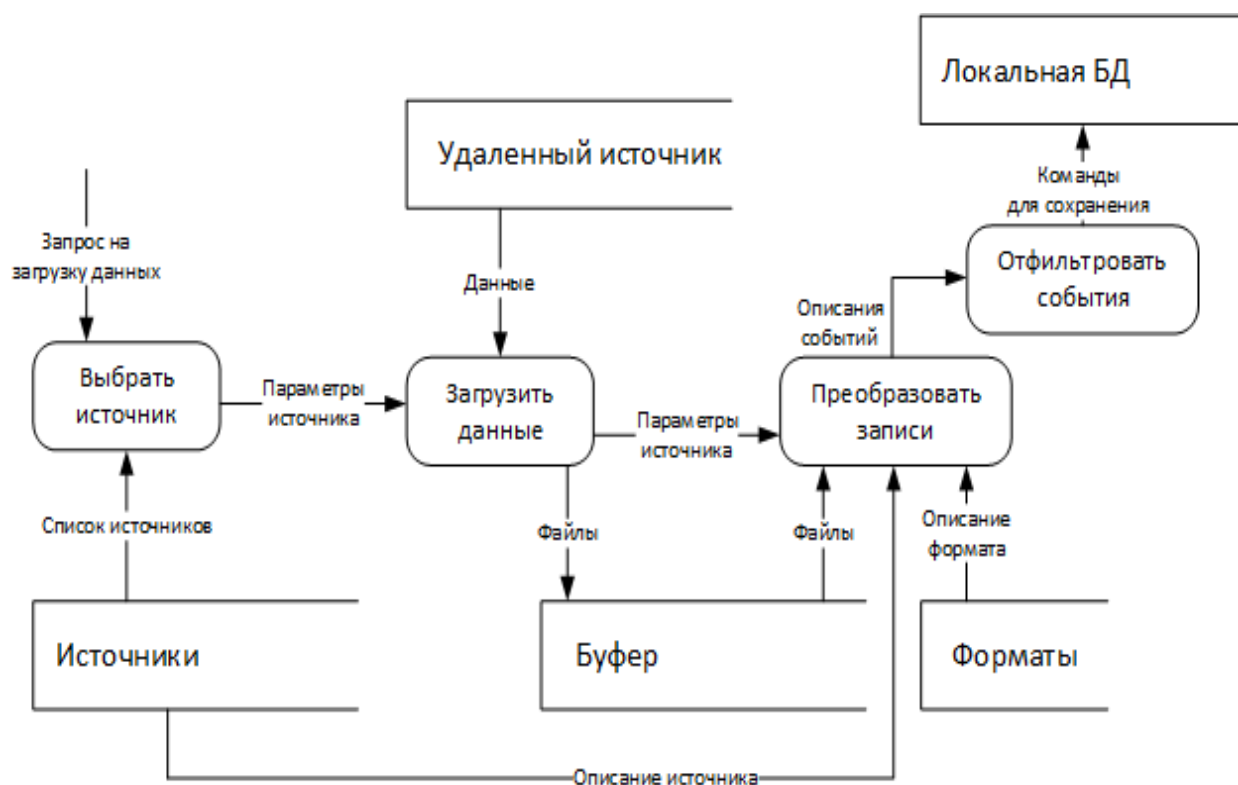


Рисунок 24 – Схема потоков для подсистемы загрузки данных

Таким образом, разработаны схема обработки геодинимических данных и диаграммы потоков, отражающие процесс преобразования информации и функционирования создаваемой информационной системы.

## 2.5 Выводы по главе 2

1. На основе анализа форматов представления геодинимических данных выявлены общие атрибуты, описывающие геодинимическое событие: дата и время, географические координаты, глубина, магнитуда и энергетический класс.

2. Предложен механизм обеспечивающий загрузку геодинимических данных из удаленных источников и их преобразование в соответствии с требованиями системы.

3. Рассмотрены различные методы обработки данных и выделены те из них, определенная последовательность которых позволяет проводить комплексную оценку геодинамической обстановки в регионе.

4. Предложены диаграммы потоков данных, описывающие потоки информации между подсистемами информационной системы.

## Глава 3. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

### 3.1 Описание подсистемы сбора сейсмических геодинамических данных

На основе рассмотренного ранее механизма сбора сейсмической геодинамической информации и диаграмм потоков выполнена реализация подсистемы сбора, преобразования и хранения данных, характеризующих геодинамическую обстановку.

Для их хранения разработана модель базы данных, представленная на рисунке 25.

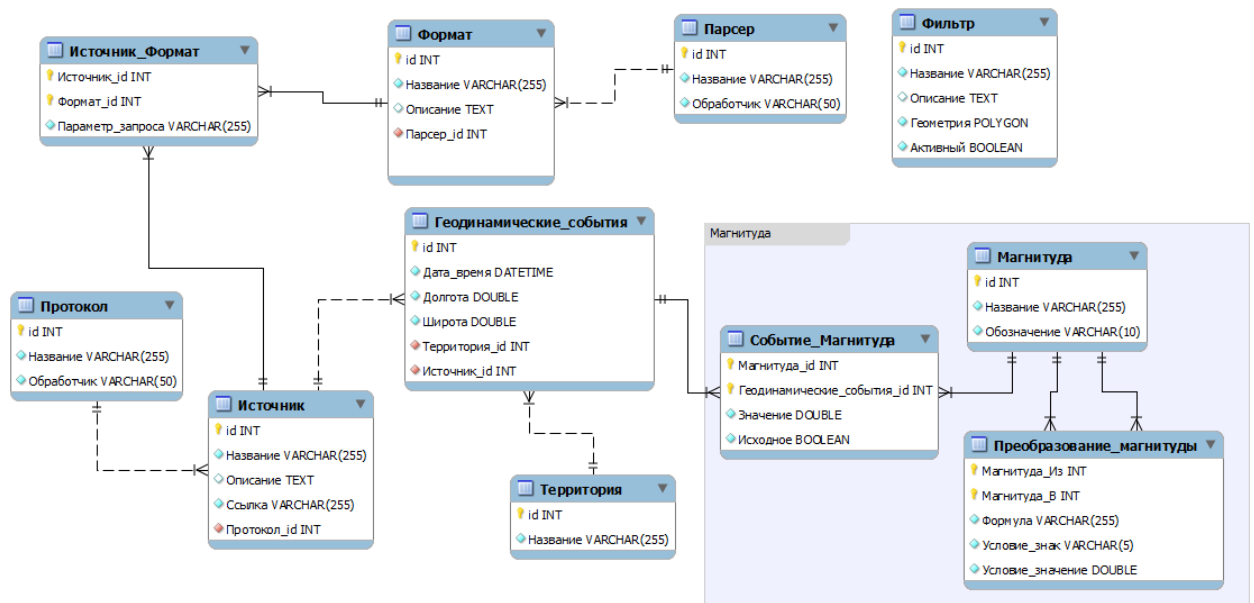


Рисунок 25 – Упрощенная ER-модель базы данных

Данная модель содержит информацию как о геодинамических сейсмических событиях, так и об источниках, форматах и протоколах передачи данных. Каждое геодинамическое 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 соответствующий класс в коде программного обеспечения. Предлагаемая схема также учитывает наличие различных типов магнитуды и содержит средства пересчета для приведения их к единому виду. Описание таблиц представлено в таблице 8.

Таблица 8. Описание таблиц базы данных

Название	Описание
Протокол	Список протоколов передачи данных имеющихся в системе и ссылки на классы для их обработки
Источник	Используется для хранения описания источников с ссылками
Территория	Справочник территорий
Формат	Содержит описания всех форматов (структур) геодинамических данных и ссылку на парсер.
Парсер	Список парсеров для разбора данных с указанием ссылок на реализующие их классы
Источник Формат	Таблица для связи источников данных и форматов их представления
Фильтр	Пространственный фильтры для выбора геодинамических событий из общего списка на этапе загрузки
Геодинамические события	Основная таблица с описаниями геодинамических событий
Магнитуда	Справочник существующих вариантов магнитуды
Преобразование магнитуды	Справочник формул для преобразование различных вариантов магнитуды между собой
Событие магнитуда	Предназначена для хранения всех возможных значений магнитуды для каждого события; содержит флаг, указывающий на способ получения значения (исходное или вычисленное)

Для оценки основных элементов подсистемы и связей между ними в нотации UML [15, 38] разработана компонентная модель, представленная на рисунке 26. Главной ее особенностью является разделение каждого источника данных по протоколу и формату предоставления данных. Такой подход

позволяет добавлять новый источник в систему, используя уже готовые программные компоненты.

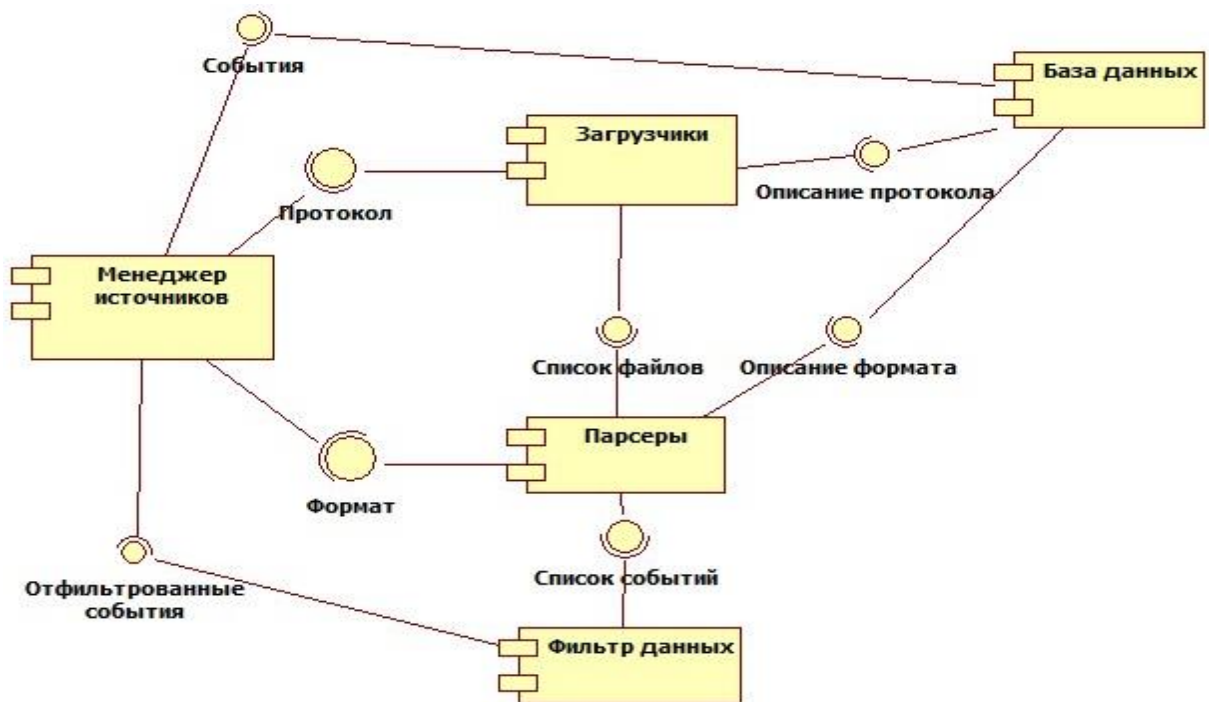


Рисунок 26 – Организация подсистемы сбора, загрузки и хранения данных

На основе компонентной модели выполнено проектирование диаграммы классов, отражающей объектную модель подсистемы. В данной диаграмме имеются две большие группы классов. Первая – объединена в пакете «Загрузчики» и содержит реализации взаимодействия с различными протоколами передачи данных. Вторая группа представлена пакетом «Парсеры» и содержит иерархию классов, обеспечивающую разбор входной информации в соответствии с ее структурой. Для управления процессом создан класс «Менеджер источников». Имеются отдельные классы для пространственных фильтров и взаимодействия с СУБД. Диаграмма представлена на рисунке 27.

Для реализации сбора и хранения сейсмических геодинимических данных используется язык Java [44], СУБД PostgreSQL + PostGIS, планировщик Cron. Взаимодействие с базой данных осуществляется через библиотеку Hibernate.

Для анализа XML применяется парсер Apache Xerces. Выполнена программная реализация 16 основных классов. На сервере в базе данных «spatialdb» создана схема seismic, в которой выполнено физическое проектирование таблиц в соответствии с диаграммой на рисунке 25.

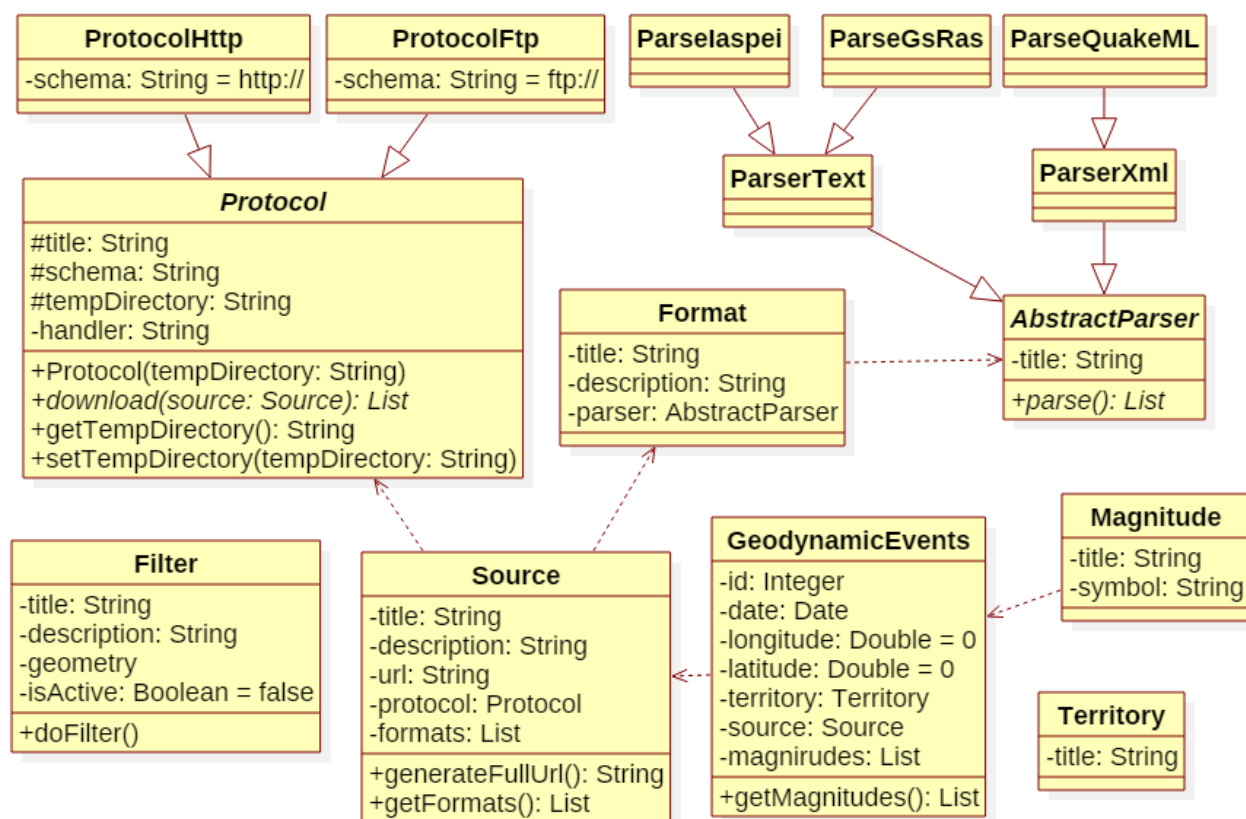


Рисунок 27 – Классы подсистемы сбора, загрузки и хранения данных

Таким образом, создана подсистемы сбора и хранения сейсмических геодинамических данных, обладающая следующими возможностями:

1. поддержка основных протоколов передачи данных в сети Интернет;
2. обработка как текстовых, так и основанных на XML форматов геодинамических данных;
3. восполнение пробелов в значениях магнитуд события;
4. извлечение необходимого минимума атрибутов события;
5. фильтрация загружаемых данных по пространственному критерию.

### 3.2 Технология интеграции вычислительных модулей

Важным вопросом при создании информационной системы для работы с сейсмическими геодинамическими данными является выбор технологии интеграции вычислительных модулей. Представленные алгоритмы рассматривают эти данные с точки зрения их пространственных характеристик, в связи с чем выбранное решение должно поддерживать операции над геоданными, а также позволять строить цепочки из отдельных процедур на основе их описания. Каждый метод обработки данных реализуется в виде независимого вычислительного модуля с целью минимизации связей между ними. Сервер должен предоставлять описание операций достаточное для формирования пользовательского интерфейса для ввода параметров. Всем этим требованиям удовлетворяют так называемые геопорталы [10], позволяющие интегрировать в себе различные технологии.

На текущий момент существует несколько технологий интеграции приложений и прикладных систем между собой [3, 54, 84]:

- интеграционное программное обеспечение, основанное на ПО гарантированной пересылки сообщений между приложениями (Messaging Middleware) и Брокером Сообщений как стандарт интеграции корпоративных информационных систем во всем мире с конца 90-х годов;
- XML как универсальный формат информации/документов и обмена данными;
- реализация подлежащих интеграции систем в виде Web-служб (Web-сервисов).

В работе выбран подход построения геопортала на основе Web-сервисов, так как он позволяет применять простые для реализации на уровне отдельного приложения протоколы вызова процедур и обмена данными. Ключевыми стандартами Web-служб являются:

- XML (eXtensible Markup Language);
- SOAP (Simple Object Access Protocol);

- WSDL (Web Services Description Language);
- UDDI (Universal Description, Discovery and Integration).

Кратко процесс взаимодействия приложений в децентрализованной распределенной среде выглядит следующим образом. Приложение, которому требуется доступ к Web-службе, использует регистр (каталог) UDDI для обнаружения нужной ему Web-службы (информация в регистре UDDI предварительно должна быть опубликована организацией, желающей сделать её Web-службу публично доступной). В этом же регистре UDDI приложение определяет необходимые для взаимодействия интерфейсы. Интерфейсы публикуются с использованием стандарта WSDL. После этого приложение вызывает Web-службу, используя интерфейс WSDL, используя SOAP и XML как конверты и форматы для передачи информации, а протоколы HTTP и SMTP в качестве транспорта для её доставки.

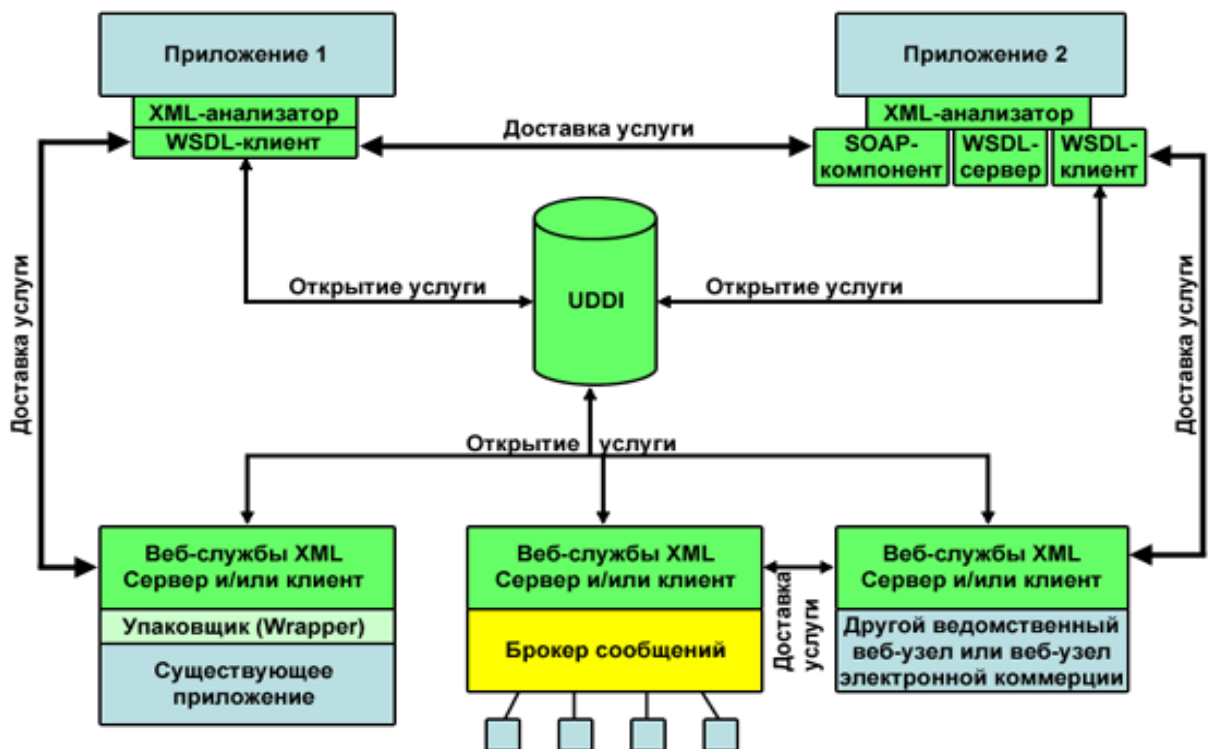


Рисунок 28 – Техническая модель Web-служб XML как технологии интеграции

Таким образом, технология Web-служб в рамках геопортала определяет общий формат данных (XML), способ доставки и транспортировки информации через Интернет и Интранет (SOAP), а также способ обнаружения (UDDI) и описания (WSDL) сервисов. На рисунке 28 приведена модель интеграции информационных систем на основе Web –служб, реализованных как сервисы геопортала.

Протокол SOAP выбран как основа для взаимодействия между компонентами информационной системы. Для запуска вычислительных модулей на основе указанных требований используется протокол Web Processing Service (WPS) [73]. WPS — это стандарт для веб-сервисов, реализующих пространственную обработку растровых и векторных данных, а также доступ к пакетам геомоделирования, инструментам статистики и обработки через Интернет. Достоинствами данного стандарта являются простота, возможность предоставления метаданных, поддержка длительного выполнения сервисов и т.д. Это позволяет интегрировать программные системы, созданные разными разработчиками, и унифицировать их использование в области обработки пространственных данных [49, 69, 78, 79, 82]. Отметим несколько успешно развивающихся проектов, созданных на базе стандарта WPS:

- deegree WPS [52] позволяет максимально облегчить пользователю публикацию своего алгоритма. Для этого делаются упрощения – процессы пишутся строго на Java по определенным стандартам с использованием deegree классов и модулей, созданных разработчиками.
- ZOO Project WPS [85]. При разработке этого проекта ставились две цели. Во-первых, позволить пользователям веб-сервиса публиковать процессы, написанных на разных языках (Java, C/C++, Python и Perl). Во-вторых, изучить возможность связывания алгоритмов в цепочки анализа данных с использованием серверного API на JavaScript.
- GeoServer WPS [55]. В данной реализации стандарта WPS не предусмотрена возможность публикации собственного процесса в виде

исходного кода, но проект GeoServer объединяет в себе реализацию нескольких стандартов OGC, включая WMS, WFS и WCS, и ориентирован на публикацию данных.

- pyWPS [80]. Проект веб-сервиса на языке Python. Поддерживается публикация процессов, но они должны быть написаны на Python.
- 52° North WPS [47]. В проекте поддерживаются алгоритмы из следующих геоинформационных систем: GRASS GIS, Sextante, ArcGIS.

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 (рисунок 29). Отвечает за обработку пользовательских запросов, формирование необходимых файлов заданий и запуск конкретных модулей с учетом форматов и архитектуры ранее созданного программного обеспечения. Данное решение позволяет вносить минимум изменений в имеющиеся расчетные приложения, а также обеспечивает определенную гибкость при дальнейшем развитии системы.

Каждый УС представляет собой отдельную программу, включающую набор классов, необходимых для запуска приложения из командной строки, а также реализующие интерфейсы для ряда WPS-серверов. Управление процессом вычислений происходит в классе «CalculationController», который содержит методы для получения параметров расчёта, взаимодействия с

подсистемой хранения данных, запуска и сохранения результатов. После выполнения всех операций информация заносится в историю операций.

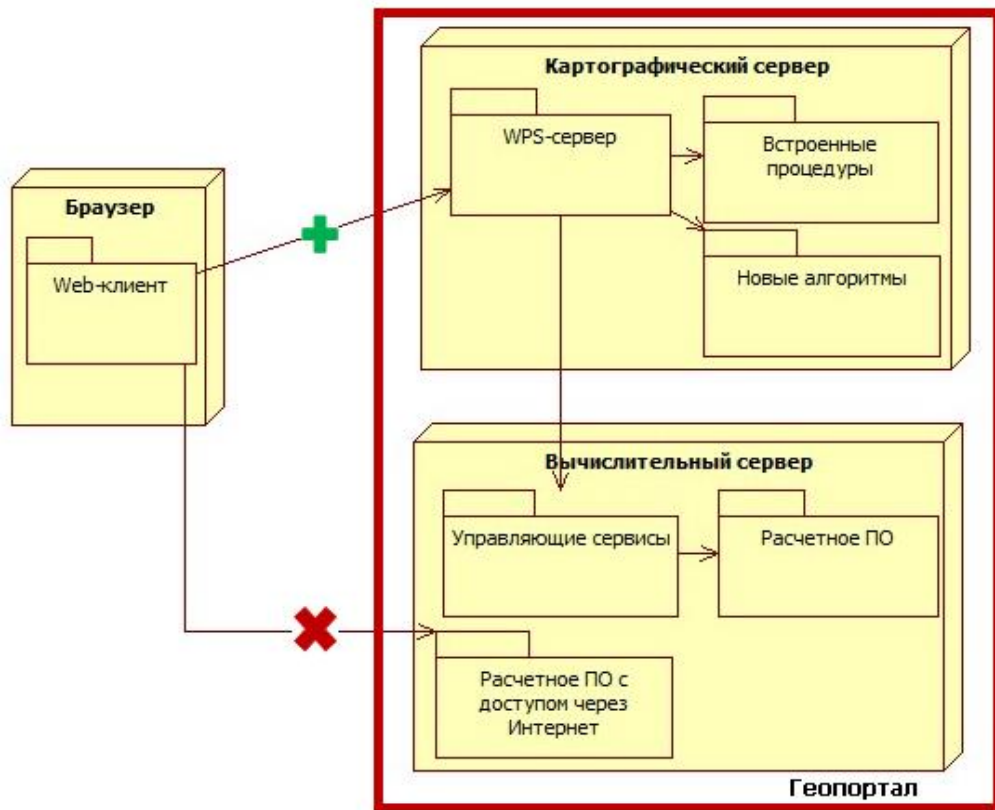


Рисунок 29 – Взаимодействие клиента с вычислительными сервисами

Для обеспечения процесса вычислений в рамках имеющейся базы данных разработана схема для хранения описаний каждого модуля и его параметров, истории расчетов и вспомогательной информации. ER-модель представлена на рисунке 30.

Комбинация WPS-сервисов и подсистем геопортала позволяет упростить обработку пространственных данных в Интернет. Для передачи данных WPS-сервисам достаточно разместить их в геопортале с помощью подсистем ввода/редактирования данных, файлового менеджера и FTPS-сервера. Результаты работы WPS-сервисов размещаются также в геопортале. Вызов WPS-сервисов из браузера производится через подсистему управления



сервисами, что позволяет использовать WPS-сервисы с разных серверов и производить обработку параметров, отслеживать процесс выполнения и т.д.

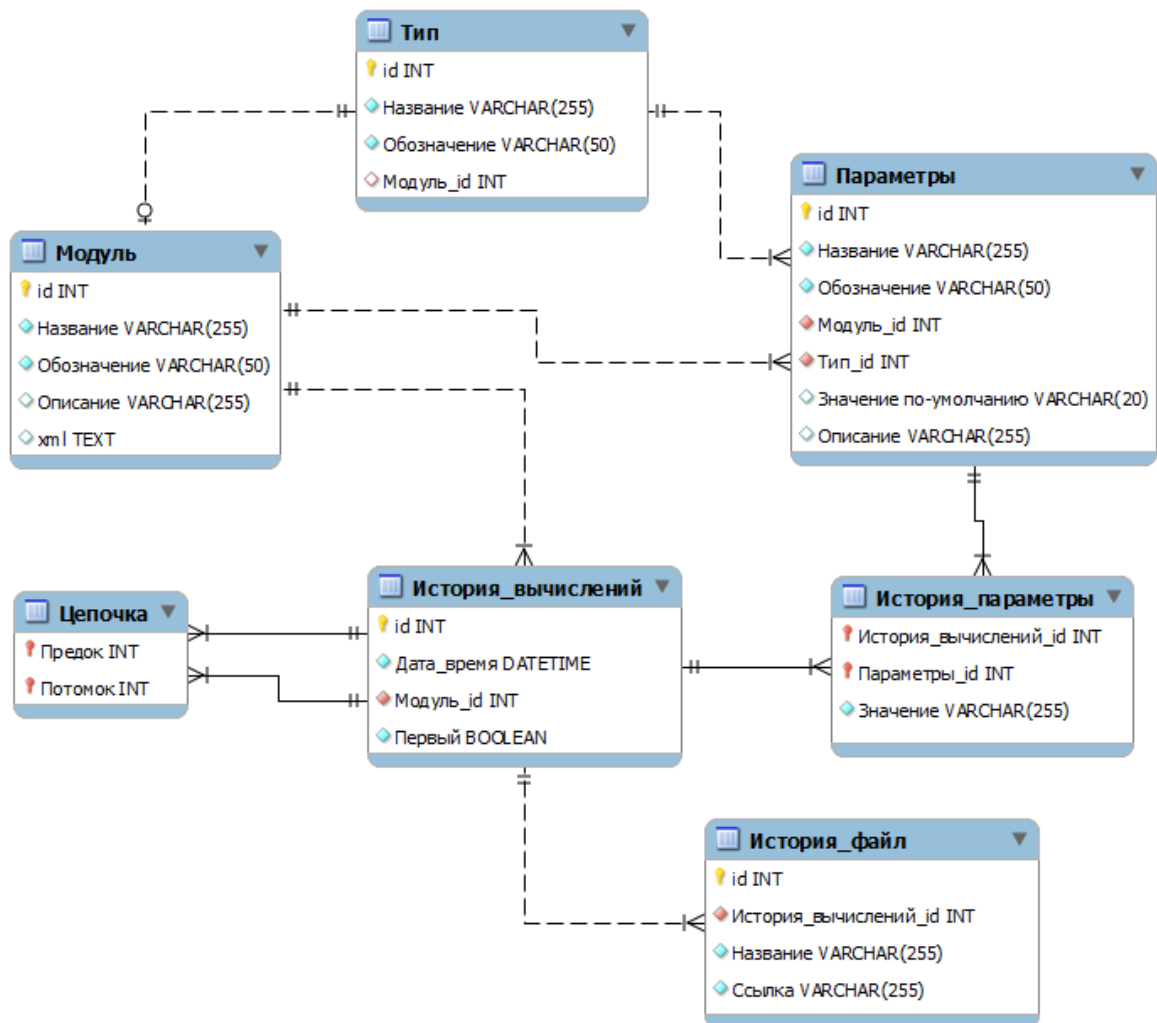


Рисунок 30 – ER-модель схемы для вычислительной подсистемы

### 3.3 Архитектура геопортала

На сегодняшний день наиболее подходящим инструментом интеграции пространственных данных (геодинамической информации) и средств их обработки в виде информационной системы является геопортал. Понятие геопортала можно трактовать как «точку входа в Интернет или Интранет с инструментами просмотра метаданных, поиска географической информации, ее

визуализации, загрузки, распространения и, возможно, поиска геосервисов» [13]. Директива INSPIRE определяет геопортал через набор его функций как сайт или его эквивалент, перечень функций которого, реализованных в виде Web-сервисов (геосервисов), включает поиск наборов данных, их визуализацию (геовизуализацию), загрузку и трансформирование, а также вызов других сервисов [51]. Сообразно уровням инфраструктуры пространственных данных (ИПД) геопорталы принято делить на национальные, региональные и локальные. Основными функциями являются средства поиска метаописаний пространственных данных и просмотра электронных карт [11, 13, 32, 50, 60-67].

Одним из ключевых компонентов геопортала является инструмент визуализации геоданных. В рамках данной подсистемы можно выделить серверную и клиентскую часть. Серверная отвечает за консолидацию данных из различных источников и их преобразование в пригодные для дальнейшего отображения форматы, а клиентская - непосредственно за визуализацию и формирование основ для построения пользовательского интерфейса [12]. Отметим ряд программных проектов в данном направлении.

### **Серверные компоненты**

**MapServer** [68]. Относится к решениям с открытым исходным кодом. Поддерживает получение растровых и векторных данных из различных источников с помощью библиотеки GDAL/OGR. Взаимодействует с такими базами данных, как PostGIS, ESRI ArcSDE, Oracle Spatial, MySQL. Возможна работа с файлами в формате ESRI shapefiles, GeoTIFF и т.д. Настройка осуществляется на основе map-файла, использующего свой специфический язык. Совместим с рядом разработанных в OGC стандартов: WMS, WFS, WCS.

**GeoServer** [55]. GeoServer является картографическим сервером с открытым исходным кодом, реализующим следующие спецификации OGS: WMS, WFS, WCS. Поддерживает спецификацию WFS-T (WFS-Transaction), что позволяет редактировать полученные данные с последующим автоматическим обновлением исходной информации на сервере. Среди поддерживаемых форматов значатся: JPEG, PNG, SVG, KML/KMZ, GML, PDF, ESRI Shapefile и

другие. Обеспечивает взаимодействие с PostGIS, Oracle Spatial, MySQL и рядом других баз данных. Ключевой особенностью является поставляемая с GeoServer визуальная система управления файлами настроек и описания данных для проектов GeoServer. Она реализована в виде веб-интерфейса и предоставляет пользователю возможность интерактивного создания и изменения разрабатываемого картографического ресурса.

**Degree** [52]. Еще один проект с открытым исходным кодом. Соответствует ряду спецификаций OGC: WMS, WFS, WCS. Обеспечивает взаимодействие как с различными базами данных (PostGIS, Oracle Spatial), так и с файлами в формате ESRI shapfiles, GeoTIFF. Настройка может осуществляться напрямую через XML-файлы, либо через веб-интерфейс с минимальным набором возможностей.

**Oracle MapViewer** [75]. Является коммерческим программным обеспечением, используемым для визуализации хранящихся в базе данных Oracle Spatial пространственных данных. Поддерживает стандарт WMS OGC, но в основном ориентирован на предоставление данных в своем формате. Для изменения настроек используются XML-запросы через HTTP-протокол. Обладает веб-интерфейсом для управления источниками данных, создания кэша миниатюр. Список и стилевое оформление слоев геоданных храниться непосредственно в таблицах базы данных.

Результаты сравнения программных продуктов для публикации пространственных данных представлены в таблице 9.

Стоит отметить, что наиболее подходящим инструментом является GeoServer, который сочетает в себе как поддержку значительного числа форматов пространственных данных и способов их публикации в сети Интернет с очень удобной графической системой управления.

#### **Клиентская компонента**

**Google Maps** [48]. Карты Google (Google Maps) представляют собой набор приложений, построенных на основе бесплатного картографического сервиса и технологии, предоставляемых компанией «Google». В рамках данного решения

разработчикам предоставляется API для отображения своих данных в формате kml, построения произвольных геометрических фигур на электронной карте. К недостаткам можно отнести отсутствие поддержки спецификаций OGC, в частности WMS и WFS.

Таблица 9. Сравнение картографических серверов

Показатель	MapServer	GeoServer	deegree	Oracle MapViewer
Способ распространения	OpenSource	OpenSource	OpenSource	Коммерческое программное обеспечение
Поддерживаемые СУБД	PostgreSQL (PostGIS), Oracle Spatial, MySQL, ESRI ArcSDE	PostgreSQL (PostGIS), Oracle Spatial, MySQL, MS SQL	PostgreSQL (PostGIS), Oracle Spatial, MySQL	Oracle Spatial
Поддерживаемые файловые источники	ESRI shapfiles, GeoTIFF, GML, KML, GIF, PNG, JPEG и другие форматы через библиотеку GDAL/OGR	ESRI shapfiles, GeoTIFF, GML, KML, GIF, PNG, JPEG и другие форматы через библиотеку GDAL/OGR	ESRI shapfiles, GeoTIFF, GML, KML, GIF, PNG, JPEG	ESRI shapfiles
Поддержка стандартов WMS/ WFS/ WCS	+/+/+	+/+ (WFS-T)/+	+/+ (WFS-T)/-	+/-/-
Прочие поддерживаемые форматы	GML, KML, SVG, PDF, ESRI shapfiles	GML, KML, SVG, PDF, ESRI shapfiles, GeoRSS	GML	-
Средства управления конфигурацией	Map-файл	Веб-консоль, RESTful интерфейс	Конфигурационные файлы, Веб-консоль	XML-запросы, Веб-консоль, таблицы БД

**Oracle Maps** [75]. Данное программное решение является органичным дополнением к Oracle MapViewer и позволяет отобразить в браузере генерируемые им карты. Стоит отметить, что пользователю также предоставляется доступ к функциям, позволяющим управлять отображаемой информацией, наносить на электронные слои свои пометки, рисовать различные фигуры. Данная библиотека не соответствует стандартам WMS и WFS, что сильно сужает круг ее применения.

**OpenLayers** [58, 74]. Библиотека OpenLayers позволяет создать web-интерфейс для отображения картографических материалов, представленных в различных форматах и расположенных на различных серверах. Поддерживается добавление слоев, предоставляемых WMS и WFS серверами. Возможно использование данными картографических сервисов Google. Данное решение является программным обеспечением с открытым исходным кодом и разрабатывается при спонсорской поддержке проекта MetaCarta, который использует OpenLayers в своих разработках.

Помимо собственно визуализации WMS и WFS слоев на единой web-карте, а также редактирования предоставляемых данных (только для WFS-T серверов) OpenLayers обладает следующими возможностями:

- добавления на карту панели навигации;
- сдвига карты при помощи мыши;
- изменения масштаба карты при прокрутке среднего колеса мыши;
- получения координат точки, над которой находится указатель мыши;
- добавления панели управления видимостью/невидимостью слоев карты;
- выбора произвольного объекта и получения атрибутивной информации о нем;
- управления прозрачностью используемых слоев карты;
- добавления к карте определяемых пользователем элементов (точек, линий, полигонов).

Стоит отметить, что выше представлен не полный перечень существующих в настоящее время веб-клиентов. Это связано с тем, что большинство таких решений либо копируют продукт от Google, либо основаны на библиотеке OpenLayers. Некоторые клиенты базируются на программном обеспечении входящем в комплект MapServer [77]. Перечень веб-клиентов и связи между ними представлены на рисунке 31.

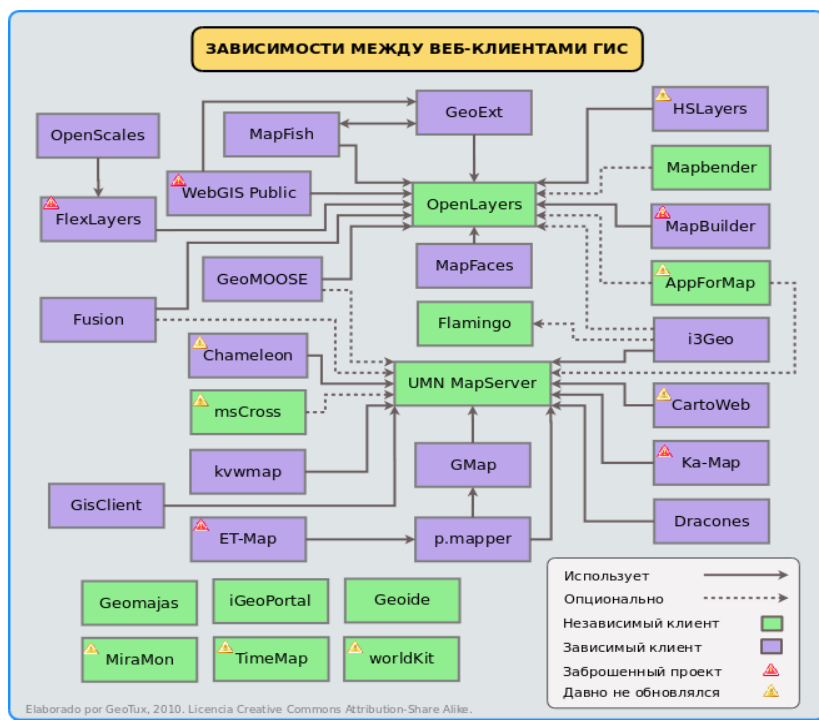


Рисунок 31 – Веб-клиенты для отображения пространственных данных

Результаты сравнения некоторых клиентов содержатся в таблице 10.

Наиболее оправданным решением является применение библиотеки OpenLayers в качестве основы для построения клиента веб-приложения.

Исходя из определенных в первой главе требований, предложена концептуальная модель геопортала представленная на рисунке 32. Предполагается, что 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 набором 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.

Таблица 10. Сравнение библиотек для отображения пространственных данных

Показатель	Google Maps	Oracle Maps	OpenLayers
Способ распространения	Условия использования Google	Коммерческое программное обеспечение	OpenSource
Язык API	JavaScript	JavaScript	JavaScript
Работа с тайлами	+	+	+
Поддержка стандартов WMS/ WFS/ WCS	-/-/	-/-/	+/+/-
Поддержка других форматов	KML	-	KML, GML
Работа с метаданными	-	-	+
Поддержка сервисов Google Maps, Bing Maps, Yahoo Maps	-/-/	+/+/+	+/+/+

### Сервер данных

В качестве хранилища данных используется СУБД PostgreSQL дополненная расширением PostGIS для управления пространственными данными. Данное решение обеспечивает приемлемый уровень надежности и быстродействия. Для организации доступа к базам данных применяется технология JDBC, библиотека Hibernate ORM [9, 45, 67, 81]. На сервере

развернута подсистема загрузки и преобразования данных, описанная в параграфе 3.2.

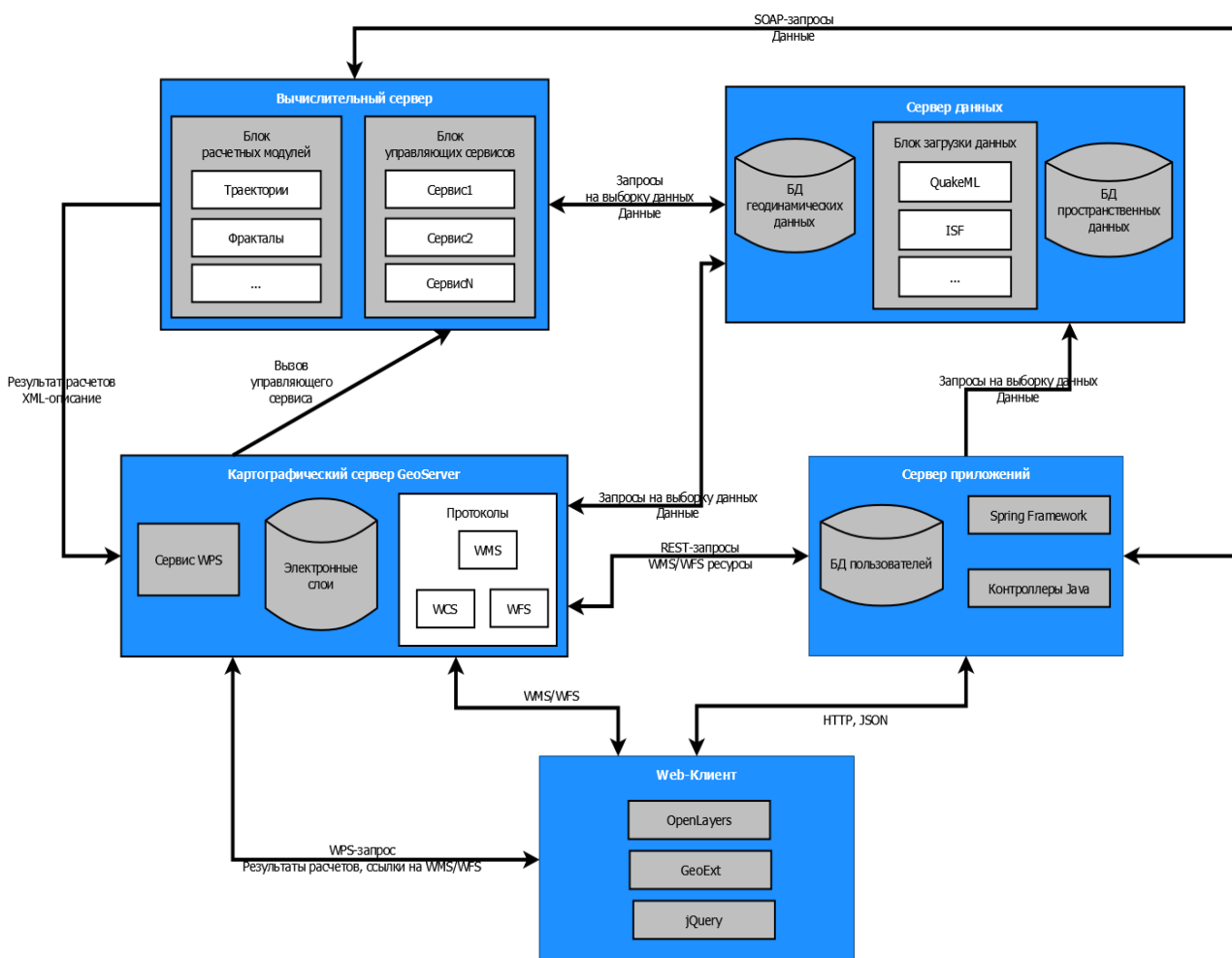


Рисунок 32 – Концептуальная модель геопортала

### Сервер приложений

В роли сервера приложений, в нашем случае, выступает Apache Tomcat в связке с технологией создания веб-приложений Java Servlet, языком Java и библиотекой Spring Framework [34, 41, 42]. В данном компоненте сосредоточен код приложения, отвечающий за обработку пользовательских запросов, формирование интерфейса, генерацию запросов к картографическому серверу.

### Вычислительный сервер

В данном компоненте сосредоточен программный код основных методов обработки геодинамических данных, используемых в информационной



системе. Доступ к расчётным модулям со стороны клиента осуществляется по протоколу WPS. Для взаимодействия с прочими подсистемами применяется протокол SOAP. Реализован промежуточный слой управляющих сервисов (УС), который отвечает за обработку пользовательских запросов, формирование необходимых файлов заданий и запуск конкретных модулей с учетом форматов и архитектуры ранее созданного программного обеспечения. Такой подход позволяет легко наращивать функционал системы, уменьшает зависимость вычислительных модулей от особенности реализации протоколов взаимодействия. Программное обеспечение разработано с использованием языка программирования Java. Для операций с пространственными данными применяется библиотека GeoTools.

### **Картографический сервер**

Его функции выполняет GeoServer. Основной задачей данного компонента является получение пространственных данных из хранилища данных и преобразование их в формат пригодный для отображения на стороне клиента в соответствии с протоколами WMS и WFS. Выступает в роли хранилища стилевого оформления для векторных слоев. Включает в себя также WPS-сервер, обрабатывающий запросы к расчетным модулям.

### **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 комбинация технологий Ajax и WMS/WFS. Взаимодействие с вычислительной подсистемой осуществляется через JavaScript библиотеку, реализующую протокол WPS. Для организации обмена данными между компонентами системы используется протокол SOAP. Взаимодействие с пользователем осуществляется через web-интерфейс, представленный на рисунке 33.

В интерфейсе пользователя можно выделить следующие части: электронная карта, панель инструментов и панель управления. Электронная

карта занимает большую часть окна приложения и предназначена для визуализации растровых и векторных геоданных. Панель инструментов представляет собой меню для изменения режимов отображения карты (масштабирование, перемещение, включения и выключения слоя космоснимков). Панель управления, в свою очередь, может содержать несколько функциональных блоков. Панель «Управление слоями» предназначена для отображения списка доступных на текущий момент слоев и манипулирования ими. Каждому слою соответствует элемент управления, позволяющий включать или отключать его визуализацию на карте.

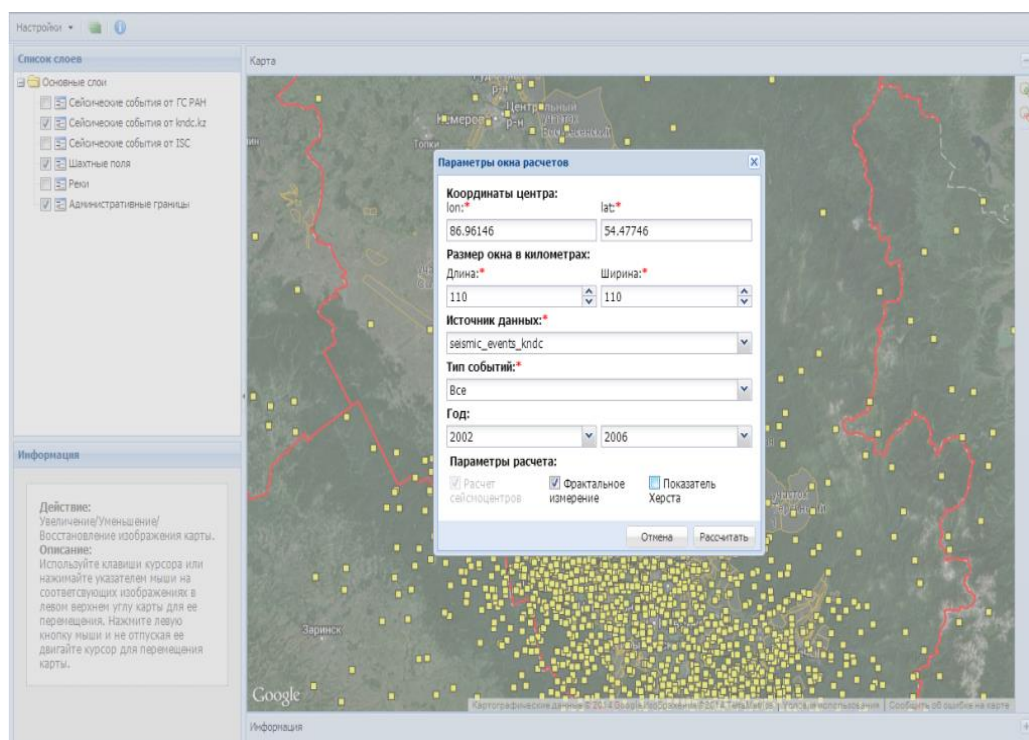


Рисунок 33 – Интерфейс информационной системы

Ниже под электронной картой расположен блок для вывода подсказок по функциям, а также демонстрации результатов расчетов.

Стоит отметить, что пространственные объекты, нанесенные на карту, являются интерактивными и предоставляют атрибутивную информацию по запросу пользователя.

Для выполнения расчетов с пространственными данными необходимо выбрать соответствующую иконку на панели инструментов. Далее пользователю будет выведено окно для ввода параметров обработки. Необходимо указать координаты центра области расчетов, ее ширину и высоту в километрах, выбрать источник и временной интервал в годах. Внешний вид диалогового окна представлен на рисунке 33.

По нажатию кнопки "Рассчитать" происходит вызов серии удаленных функций выполняющий расчет центров миграции и фрактальных размерностей. Далее результаты их работы передаются на уровень Веб-интерфейса, где происходит отрисовка траектории перемещения центров сейсмозергвыделения, формируется итоговая таблица результатов вычислений.

### **3.4 Выводы по главе 3**

1. На основе предложенного механизма сбора сейсмической геодинамической информации и диаграмм потоков выполнено проектирование и реализация подсистемы системы сбора, преобразования и хранения геоданных.

2. На основе анализа существующих инструментов обмена данными между компонентами информационной системы для запуска вычислительных модулей исходя из указанных требований выбран протокол Web Processing Service (WPS).

3. Выполнена реализация информационной системы оценки геодинамических событий горнопромышленного региона, для которой, в качестве интегрирующего элемента, предложено использовать геопортал.

## Глава 4. РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

### 4.1 Оценка геодинамических событий районов Кузбасса

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 34. Некоторые варианты рассмотрены в рамках данной главы. Примеры результатов вычислений представлены также в приложении В.



Рисунок 34 – Варианты обработки сейсмических данных

Созданная информационная система использована для анализа совокупности сейсмических событий по некоторым территориям Кемеровской области с целью выявления возможных различий в поведении траекторий миграции между природными и техногенными землетрясениями. Для этого выбраны данные, предоставленные Территориальным центром мониторинга,

лабораторного контроля прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (ТЦМП) и Международным сейсмологическим центром (ISC). Они представляют собой массив сейсмических событий с указанием таких характеристик, как дата и время, координаты, тип события, магнитуда, энергетический класс и другие. Ключевым параметром является тип события, позволяющий разделить их по причине возникновения на природные и техногенные. Для проведения исследований выбрано «окно расчетов», покрывающее всю площадь Кемеровской области и охватывающее временной период с 1 января 2006 по 31 декабря 2009 года. Объемы выбранных данных по каждому источнику представлены в таблице 11.

Таблица 11. Количество сейсмических событий по источникам данных

Источник	Тип события	Кол-во записей
ТЦМП	Природные	373
ТЦМП	Техногенные	9293
ТЦМП	Все	9666
ISC	Природные	395
ISC	Техногенные	687
ISC	Все	1082

В результате работы системы получены следующие траектории, представленные на рисунке 35. Рассчитаны такие показатели как фрактальная размерность  $D_0$  (Хаусдорфа), информационная размерность  $D_1$ , корреляционная размерность  $D_2$ , а также показатель Херста  $H$ . Результаты вычислений представлены в таблице 12.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что рассматриваемые кривые являются мультифракталами, так как все три указанные размерности различны. Для сравнения полученных фракталов логично использовать не размерность Хаусдорфа  $D_0$ , а информационную  $D_1$  и корреляционную  $D_2$  размерности, так как для них характерны более

существенные различия. В обоих случаях размерности  $D_q$  ( $q = 1,2$ ) для техногенных событий больше, чем для природных землетрясений. Следовательно, вычисление этих фрактальных размерностей для траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения позволяет разделять техногенные и природные сейсмособытия.

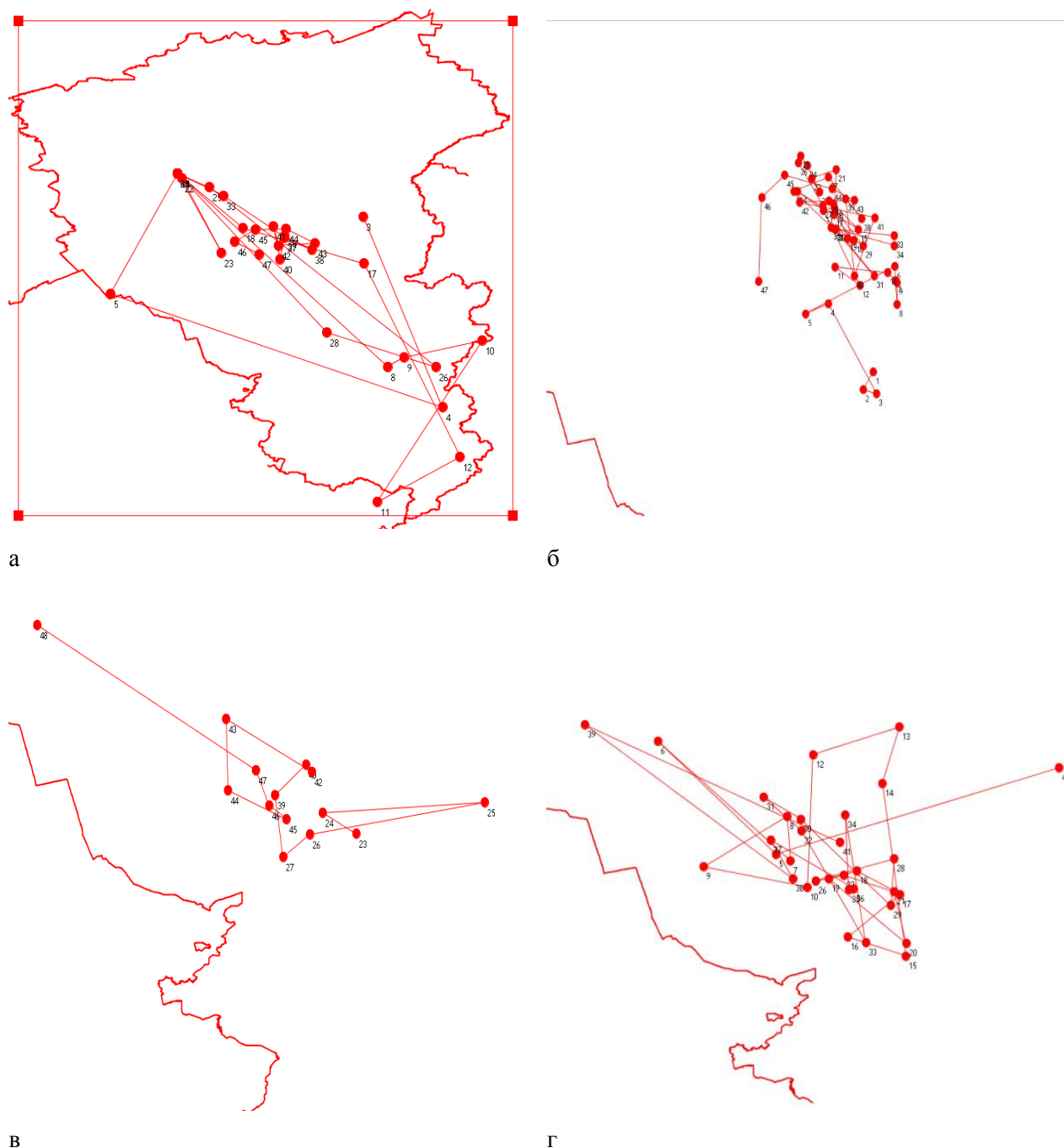


Рисунок 35 – Траектории миграции центров сейсмоэнерговыведения по Кемеровской области: а – природные события, ТЦМП, б – техногенные события, ТЦМП, в – природные события, ISC, г – техногенные события, ISC

Таблица 12. Сводная таблица фрактальных размерностей для различных типов сейсмособытий по Кемеровской области

Источник	Тип события	Размерность			Показатель Херста, Н
		D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	
ТЦМП	Природные	1.28	0.27	0.26	0.80
ТЦМП	Техногенные	1.33	0.53	0.56	0.69
ТЦМП	Все	1.34	0.53	0.55	0.72
ISC	Природные	1.15	0.23	0.28	0.63
ISC	Техногенные	1.29	0.35	0.39	0.72
ISC	Все	1.31	0.41	0.45	0.71

Показатель Херста Н в обоих случаях лежит в диапазоне от 0,5 до 1. Следовательно, данные временные ряды обладают долговременной памятью и следуют определенному тренду. В тоже время для них характерно разнонаправленное поведение величины Н, что требует специального анализа.

#### 4.2 Оценка геодинамической картины регионов Сибири

С использованием теории фракталов выполнено сравнение траекторий миграции центров сейсмозерговыведения для ряда регионов Сибири: Кемеровской области, Томской области, республики Хакасия, республики Алтай и территории вокруг озера Байкал (рисунок 36).

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](http://www.kndc.kz)), Международного сейсмологического центра (ISC, [www.isc.ac.uk](http://www.isc.ac.uk)) и Геофизической службы

Российской академии наук (ГС РАН, [www.gsras.ru](http://www.gsras.ru)). Был выбран временной интервал с 2002 по 2011 годы. Объемы выбранных данных по каждому источнику представлены в таблице 13.

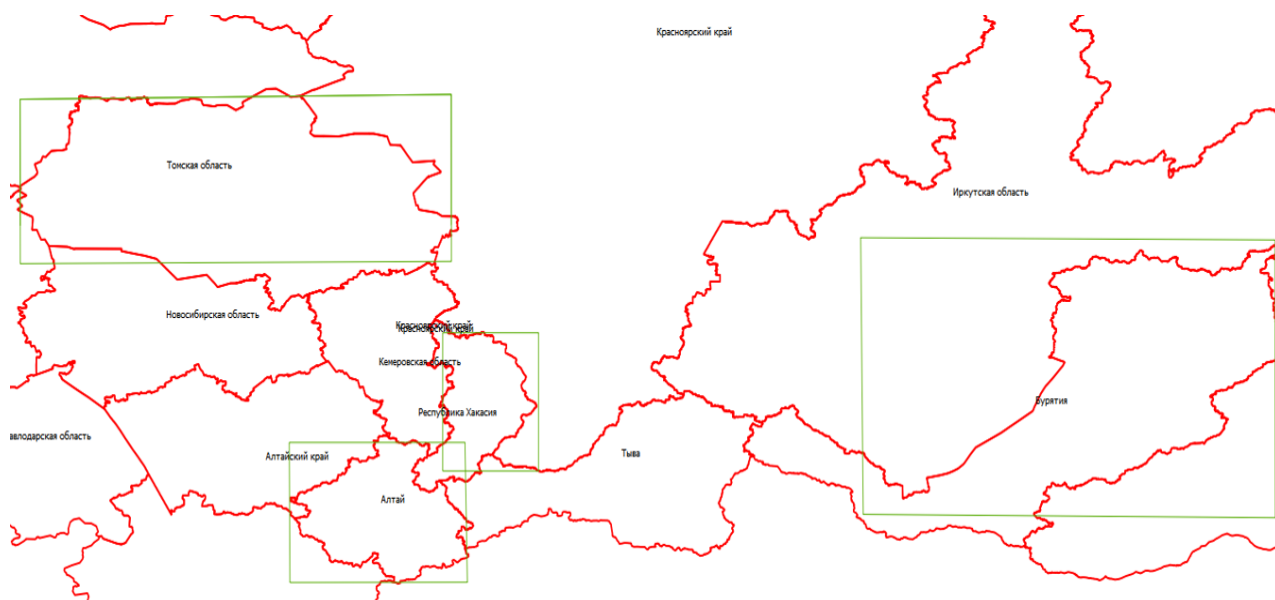


Рисунок 36 – Границы сравниваемых территорий

Таблица 13. Количество сейсмических событий по источникам данных

Регион	Источник	Тип события	Кол-во записей
Кемеровская область	KNDC	-	3358
Кемеровская область	ГС РАН	-	28
Кемеровская область	ТЦМП	Природные	373
Кемеровская область	ТЦМП	Техногенные	9299
Кемеровская область	ISC	Природные	1448
Кемеровская область	ISC	Техногенные	1817
Томская область	KNDC	-	3
Республика Хакасия	KNDC	-	349
Республика Хакасия	ГС РАН	-	12
Республика Алтай	KNDC	-	4037
Республика Алтай	ГС РАН	-	495
Республика Бурятия + Иркутская область (оз. Байкал)	ГС РАН	-	1087



Результаты представлены в таблице 14 и Приложении В на рисунках В9 – В.16.

Таблица 14. Фрактальные размерности траекторий миграции центров сейсмоэнерговыведения в регионах Сибири

Регион	Источник	Тип событий	$D_0$	$D_1$	$D_2$	$H$
Кемеровская область	KNDC	-	1.27	0.53	0.57	0.6
Кемеровская область	ГС РАН	-	1.24	0.25	0.29	0.62
Кемеровская область	ТЦМП	Природные	1.28	0.27	0.26	0.80
Кемеровская область	ТЦМП	Техногенные	1.33	0.53	0.56	0.69
Кемеровская область	ISC	Природные	1.15	0.23	0.28	0.63
Кемеровская область	ISC	Техногенные	1.29	0.35	0.39	0.72
Томская область	KNDC	-	1.09	0.04	0.05	0.28
Республика Хакасия	KNDC	-	1.39	0.51	0.55	0.73
Республика Хакасия	ГС РАН	-	1.18	0.15	0.19	0.61
Республика Алтай	KNDC	-	1.4	0.58	0.6	0.78
Республика Алтай	ГС РАН	-	1.39	0.49	0.54	0.59
Республика Бурятия + Иркутская область (оз. Байкал)	ГС РАН	-	1.39	0.48	0.51	0.75

Томская область отличается от остальных регионов тем, что полученная для нее траектория миграции сейсмоэнерговыведения не является фракталом, т.к.  $D_0 \approx 1$ , что само по себе любопытно.

На основании сравнения полученных значений фрактальных размерностей можно сделать следующие выводы [22, 72]:

1. Траектория миграции представляет собой результат, на первый взгляд, хаотического перемещения центра сейсмоэнерговыведения [20]. 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, значения  $D_0$ ,  $D_1$  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 Центр данных ИГИ НЯЦ РК стремится регистрировать все происходящие сейсмические явления, не зависимо от их природы. В то же время ГС РАН, в основном, учитывает природные сейсмособытия (тип событий в таблице 11 здесь отмечен прочерком).

3. Фрактальные размерности траекторий миграции центров сейсмозерговыведения, 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.

Для тех же территорий проведена обработка траекторий миграций метода Уэлча. Рассчитаны спектральные плотности мощности для таких характеристик как энергетический класс, долготы и широты. Некоторые полученные графики представлены на рисунке 37.

Внешний вид представленных графиков характерен для апериодических процессов, что позволяет говорить о наличии хаоса в перемещении центров миграции. В тоже время однообразность полученных результатов не позволяет выполнять сравнение процессов миграции в различных регионах. Применение различных весовых функций также не привело к существенному изменению формы графика спектральной плотности мощности. Таким образом, спектральный анализ и, в частности, метод Уэлча не совсем подходит для обработки траекторий миграции центров сейсмозерговыведения.

На основе сравнения представленных методов обработки траекторий миграции с использованием теории фракталов и элементов спектрального анализа выбрана теория фракталов, позволившая выполнить сравнение процессов миграции в различных регионах Сибири. В тоже время применение

спектрального анализа не позволило выявить как-либо новые свойства траекторий миграции сейсмоэнерговыведения.

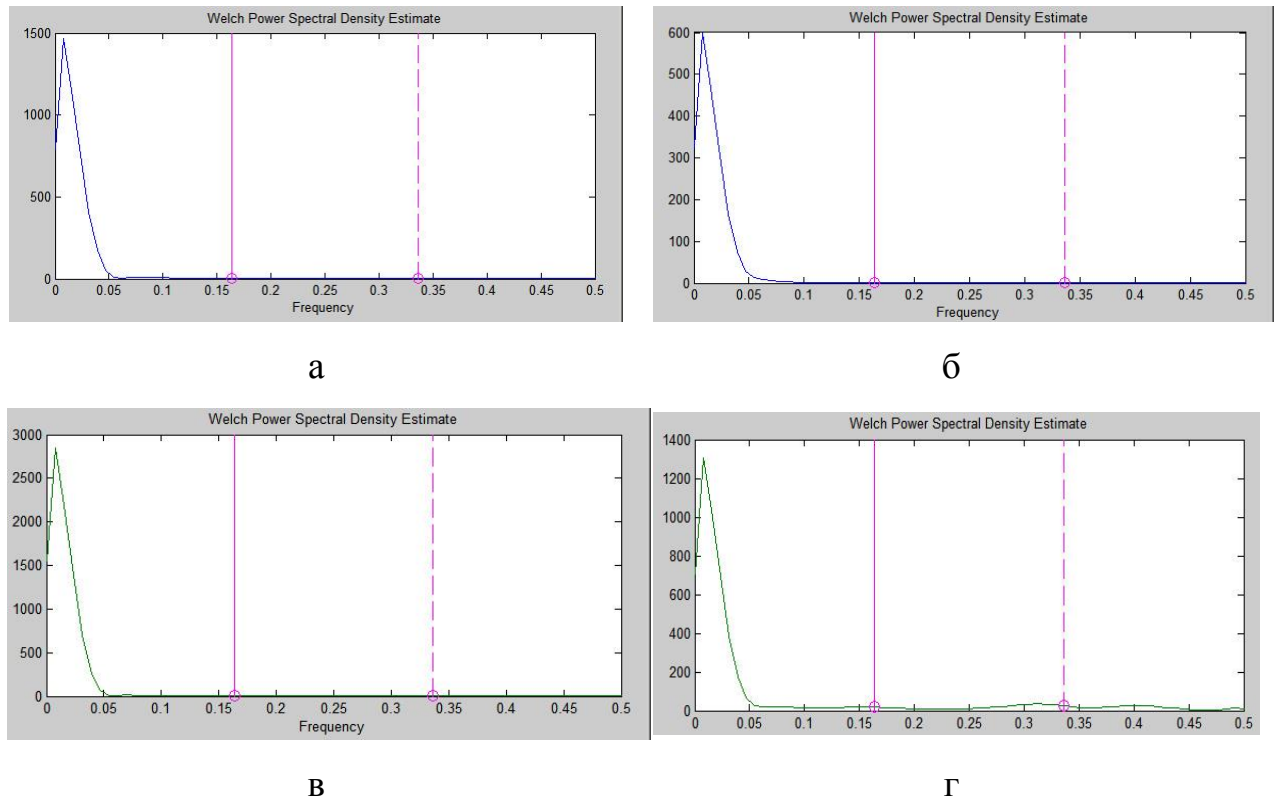


Рисунок 37 – Спектральная плотность мощности: а – республика Алтай, б – озеро Байкал, в – республика Хакасия, г – Кемеровская область

#### 4.3 Выводы по главе 4

1. Разработанная информационная система протестирована на нескольких задачах оценки геодинамической обстановки. В первом случае выполнено сравнение фрактальных размерностей траекторий миграции в различных районах Кемеровской области за период с 2006 по 2009 годы. На основании расчетов выявлено различие между информационной  $D_1$  и корреляционной  $D_2$  размерностями для природных и техногенных событий. Показатель Херста не удалось однозначно интерпретировать.

2. Система опробована на решении задачи сравнения геодинамической картины на территории Сибири. В сравнении участвовали

траектории миграции для Кемеровской области, Томской области, республики Хакасия, республики Алтай и территории вокруг озера Байкал полученные по данным из различных источников за 2002 - 2011 годы. При анализе отмечено, что Кемеровская область существенно выделяется на общем фоне: для нее 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.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи разработки информационной системы оценки геодинамических событий горнопромышленного региона.

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

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. Получены существенные различия в характеристиках различных областей, которые обусловлены преобладанием на данных территориях природной, либо антропогенной сейсмичности. Подобный результат получен впервые.

Полученные результаты согласуются с современным состоянием развития информационных систем для аналитической обработки геодинамических сейсмических данных.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Автоматизированное рабочее место (АРМ) сейсмолога. – Режим доступа: [http://www.ceme.gsras.ru/1251/stations/wsg\\_arm.htm](http://www.ceme.gsras.ru/1251/stations/wsg_arm.htm).
2. Асминг, В.Э. Программный комплекс для автоматизированной обработки сейсмических записей "EL" / В.Э. Асминг // Приборы и методика геофизического эксперимента. - Мурманск: ОСЮ "МИП-999", 1997. - с. 125-132.
3. Данилин, А.В. Технологии интеграции информационных систем на основе стандартов XML и Web-служб / А.В. Данилин // Современные технологии в информационном обеспечении науки. Сборник научных трудов. - М.: Научный Мир, 2003. - С. 134-140.
4. Баранов, Ю.Б. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Под ред. А.М. Берлянта и А.В. Кошкарева. - М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
5. Божокин, С.В. Фракталы и мультифракталы / С.В. Божокин, Д.А. Паршин. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 128 с.
6. Голицын, Б.Б. Избранные труды: В 2 т. / Б.Б. Голицын; АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. - Т. 2: Сейсмология. – 490 с.
7. 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.
8. ГОСТ Р 52438–2005. Географические информационные системы. Термины и определения. - Введ. 2006-07-01. - М.: Стандартинформ, 2006. – 71с.
9. Грушков, А.С. Хранилище данных / А.С. Грушков. – СПб.: СЗИМИ, 2007. – 864 с.

10. Дженкинс, Г. Спектральный анализ и его приложения / Г. Дженкинс, Д. Ваттс. - М.: Изд-во Мир, 1972. – 602 с.
11. Зинченко, О.Н. Инфраструктура пространственных данных: кратко о проблеме. Испанский пример / О.Н. Зинченко. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=680>
12. Капралов, Е.Г. Основы геоинформатики. В 2 кн. Кн. 1 / Под ред. В.С. Тикунова. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 352 с.
13. Кошкарев, А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами / А.В. Кошкарев // Пространственные данные. – 2008. - №2.
14. Кошкарев, А.В. Эффективное управление пространственными метаданными и геосервисами в инфраструктурах, пространственных данных / А.В. Кошкарев // Пространственные данные, 2008. - №1.
15. Ларман, К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. Введение в объектно-ориентированный анализ и проектирование. 3-е издание: Пер. с англ. / К. Ларман. – М.: Вильямс, 2013. – 736 с.
16. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. - М: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656с.
17. Морозов, А.Д. Введение в теорию фракталов / А.Д. Морозов. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.
18. Опарин, В.Н. О возможных причинах увеличения сейсмической активности шахтных полей рудников «Октябрьский» и «Таймырский» Норильского месторождения в 2003 г. Ч. I: Сейсмический режим / В.Н. Опарин [и др.] // ФТПРПИ. – 2004. - № 4.
19. Опарин, В.Н. Разработка распределенных ГИС-средств мониторинга миграций сейсмических проявлений / В.Н. Опарин [и др.] // ФТПРПИ. - 2010. - № 6.
20. Опарин, В.Н. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты



недропользования / В.Н. Опарин [и др.]. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008 – 449 с.

21. Опарин, В.Н. Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении / В.Н. Опарин, А.С. Танайно. - Новосибирск: Наука, 2011. – 259с.

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

23. Петкова, Н.В. ГИС-приложение "ЮФО СЕЙСМИК" / Н.В. Петкова // Интернет-журнал «Науковедение». - 2012.- №4.- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/45trgsu412.pdf>.

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

25. Потапов, А. Д. Землетрясения. Причины и последствия / А.Д. Потапов, И.Л. Ревелис. - М.: Высшая школа, 2009. - 248 с.

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

27. 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.

28. 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.

29. 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.

30. 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).

31. Пузырев, Н. Н. О путях уточнения методов интерпретации данных сейсморазведки / Н. Н. Пузырев // Прикладная геофизика. – 1955. - № 12. - С. 107–126.

32. 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.

33. Радионов, Г.П. Инфраструктура пространственных данных Российской Федерации: опыт, технологии, особенности / Г.П. Радионов, В.И. Загоровский // ArcReview. – 2012. - №4.

34. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. - СПб.: Питер, 2003. - 604с.

35. Смирнова, Г.Н. Проектирование экономических информационных систем / Г.Н. Смирнова, А.А. Сорокин, Ю.Ф. Тельнов. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 491 с.
36. 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.
37. Теория "Моделирование потоков данных (процессов)". – Режим доступа: [http://www.business-process.ru/designing/methodology/dfd/dfd\\_theory\\_dfd.html](http://www.business-process.ru/designing/methodology/dfd/dfd_theory_dfd.html).
38. Фаулер, М. UML. Основы / М. Фаулер, К. Скотт. – СПб.: Символ-Плюс, 2005. – 192 с.
39. Федер, Е. Фракталы: Пер. с англ. / Е. Федер. - М.: Мир, 1991. – 254 с.: ил.
40. 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.
41. Хо, К. Spring 3 для профессионалов: Пер. с англ. / К. Хо, Р. Харроп. — М. : ООО “И.Д. Вильямс”, 2013. — 880 с.: ил.
42. Цимбал, А.А., Технологии создания распределенных систем / А.А. Цимбал, М.Л. Аншина. – СПб.: Питер, 2003. – 576 с.
43. Чебров, В.Н. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. / Чебров В. Н. [и др.] // Вулканология и сейсмология. – 2013. - № 1. - С. 18–40.
44. Шилдт, Г. Java. Полное руководство, 8-е изд.: Пер. с англ. / Г. Шилдт.- М. : ООО “И.Д. Вильямс”, 2012. — 1104 с.: ил.

45. Шекхар, Ш. Основы пространственных баз данных: Пер. с англ / Ш. Шекхар, С. Чаула. – М.: Кудиц-образ, 2004. – 336 с.
46. Шредер, М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая / М. Шредер. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 528 с.
47. 52°North. - Режим доступа: <http://52north.org>.
48. API Google Карт. - Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/>.
49. Brimicombe, A. GIS, environmental modeling and engineering - 2nd ed. / A. Brimicombe. – New-York: CRC Press, 2010. – 378 p.
50. CSW-ebRIM Registry Service - Part 1: ebRIM profile of CSW. – Режим доступа: [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=31137](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=31137).
51. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. – 2007. – L. 108.
52. Deegree: Deegree open source software for spatial data infrastructures and the geospatial web. - Режим доступа: <http://www.deegree.org>.
53. Falconer, K.J. Fractal Geometry: Mathematical Foundation and Application / K.J. Falconer. - New York: John Wiley, 1990. – 288 p.
54. Fielding, R.T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures / R.T. Fielding. – Irvine: University of California, 2000. – 162 p.
55. GeoServer: Open source software server. - Режим доступа: <http://geoserver.org>.
56. Goltz, C. Fractal and chaotic properties of earthquakes / C. Goltz. - Berlin: Springer, 1997. – 186 p.
57. Gouyet, J.-F. Physics and Fractal Structures / J.-F. Gouyet.- Paris: Springer, 1996.- 234p.
58. Gratier, T. OpenLayers 3 Beginner s Guide / T. Gratier, P. Spencer, E. Hazzard. – Birmingham: Packt Publishing, 2015. – 432 p.

59. IASPEI Seismic Format (ISF). – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk/standards/isf/>.
60. International Standard Maintenance Agency The Z39.50 Document. – Режим доступа: <http://www.loc.gov/z3950/agency/document.html>.
61. ISO 19115:2003. Geographic information – Metadata. – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=26020](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=26020).
62. ISO 19100 Series of geographic information standards. – Режим доступа: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CZPpBjCsUtYJ:www.wmo.int/pages/prog/www/ISS/Meetings/ITT-FWIS\\_Geneva2004/5\(2\)\\_ISO.doc +&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=ru](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CZPpBjCsUtYJ:www.wmo.int/pages/prog/www/ISS/Meetings/ITT-FWIS_Geneva2004/5(2)_ISO.doc+%&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=ru).
63. ISO/TS 19139:2007 Geographic information – Metadata – XML schema implementation. – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=32557](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=32557).
64. ISO 19136:2007 Geographic information - Geography Markup Language (GML). – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=32554](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=32554).
65. ISO/TC 211 Geographic information/Geomatics. – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/iso\\_technical\\_committee?commid=54904](http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=54904).
66. ISO 19107:2003 Geographic information - Spatial schema. – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=26012](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=26012).
67. ISO/IEC 13249-3:2011 Information technology - Database languages - SQL multimedia and application packages - Part 3: Spatial. – Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=53698](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53698).
68. MapServer. - Режим доступа: <http://mapserver.org/>.
69. Meng, X. Distributed Geospatial Analysis through Web Processing Service: A Case Study of Earthquake Disaster Assessment / X. Meng, Y. Xie, F. Bian // Journal of Software. – 2010. - VOL. 5. - NO. 6. - P. 671–679.
70. OGC Standards and Supporting Documents. – Режим доступа: <http://www.opengeospatial.org/standards>.

71. 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.

72. 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.

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

74. OpenLayers: Free Maps for the Web. - Режим доступа: <http://openlayers.org/>.

75. Oracle Fusion Middleware MapViewer. - Режим доступа: <http://www.oracle.com/technetwork/middleware/mapviewer/overview/index-090261.html>.

76. OSGeo-Live. WMS overview. – Режим доступа: [http://live.osgeo.org/ru/standards/wms\\_overview.html](http://live.osgeo.org/ru/standards/wms_overview.html).

77. Peterson, M. Online Maps with APIs and WebServices / M. Peterson.- Berlin: Springer, 2012.- 318p.

78. Pourabbas, E. Geographical Information Systems. Trends and Technologies / E. Pourabbas. - New-York: CRC Press, 2014. – 358p.

79. Pratt, A. Exposing the Kepler Scientific Workflow System as an OGC Web Processing Service / A. Pratt, C. Peters, S. Guru, B. Lee, A. Terhorst // Modelling for Environment's Sake Proceedings of the Fifth Biennial Conference of the International Environmental Modelling and Software Society, Ottawa, Canada, 5-8 July 2010.- Ottawa, 2010. – P. 1554-1561.

80. Python Web Processing Service. - Режим доступа: <http://pywps.wald.intevation.org>.

81. Schulz, G. Cloud and Virtual Data Storage Networking / G. Schulz. - New-York: CRC Press, 2012. – 355p.

82. Wehrmann, T. Data processing using Web Processing Service orchestration within a Spatial Data Infrastructure / T. Wehrmann, S. Gebhardt, V. Klinger, C. Künzer // 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, Australia, 10-15 April 2011, Sydney, 2011.

83. QuakeML XML Schema, version 1.2. - Режим доступа: <http://quakeml.org/xmlns/quakeml/1.2/>

84. XML-RPC. - Режим доступа: <http://xmlrpc.scripting.com/>.

85. ZOO Project Documentation. - Режим доступа: <http://zoo-project.org/docs/ZOOProject.pdf>.

**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ****РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ****СВИДЕТЕЛЬСТВО****о государственной регистрации программы для ЭВМ****№ 2013617422****Распределенный программный комплекс обработки  
сейсмособытий методами фрактальной геометрии**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт вычислительных технологий  
Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Авторы: *Потапов Вадим Петрович (RU), Харлампенков Иван  
Евгеньевич (RU), Гиниятуллина Ольга Леоновна (RU), Попов  
Семен Евгеньевич (RU)*

Заявка № **2013610252**Дата поступления **10 января 2013 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **13 августа 2013 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

**Б.П. Симонов**



**Акты и справки о внедрении результатов работы**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО  
ДЕЛА – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

**ВНИМИ****КЕМЕРОВСКОЕ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО**

№ 1-01/\_\_\_ от \_\_\_\_\_

650099 Кемерово, Советский проспект 63а,  
тел./факс 58-75-08, 58-75-17  
E – mail: ti\_lazarevich@mail.ru

На Ваш № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

**АКТ****о внедрении результатов исследований**

Настоящим Актом подтверждается, что результаты исследований Харлампенкова Ивана Евгеньевича, изложенные им в диссертации на соискании ученой степени кандидата технических наук «Технология создания информационной системы оценки геодинамических событий горнопромышленного региона», использованы Кемеровским Представительством ОАО «ВНИМИ» при проведении сравнительного анализа сейсмической обстановки по отдельным районам Кемеровской области.

Характеристики системы, заявленные И. Е. Харлампенковым при передаче результатов исследований для практического использования, предполагали наличие следующих основных возможностей:

- Загрузка данных из удаленных источников, преобразование в единую структуру и хранение геодинамических данных для выбранных пользователем территорий;
- Предоставление доступа к вычислительным алгоритмам через единый протокол в сочетании с API для добавления новых расчетных модулей в систему;
- Наличие процедур обработки геодинамических данных, позволяющих осуществлять сравнение геодинамической обстановки различных территорий.

В ходе эксплуатации разработанной И. Е. Харлампенковым информационной системы установлено, что она реально обладает всеми перечисленными заявленными возможностями. Автором системы произведено обучение персонала.

На момент подписания настоящего Акта система развернута на телекоммуникационной площадке Кемеровского филиала Института вычислительных технологий СО РАН и доступна в виде Интернет-сервиса.

Директор  
Кемеровского Представительства  
ОАО «ВНИМИ», кандидат  
технических наук, действительный  
член Академии горных наук



Т. И. Лазаревич

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кемеровский государственный  
университет» (КемГУ)

650000, Кемерово, ул. Красная, 6  
Телефон: 8(3842) 58-12-26. Факс: 8(3842) 58-38-85  
E-mail: rector@kemsu.ru. http://www.kemsu.ru

17 АПР 2015

№

185/02

На № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ**

Дана ведущему специалисту ИВТ СО РАН Харлампенкову Ивану Евгеньевичу о том, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Технология создания информационной системы оценки геодинамических событий горнопромышленного региона», направленные на создание информационных систем, решающих задачи объединения инструментов сбора и обработки геоданных в виде сервисов в сети Интернет и проведения оценки геодинамических событий горнопромышленного региона, используются в учебном процессе на кафедре вычислительной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет» в преподавании специальных курсов студентам и магистрантам дневного отделения.

Проректор по учебно-организационной работе

к.и.н., доцент



А.А. Мить

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
**КЕМЕРОВСКИЙ ФИЛИАЛ  
(КФ ИВТ СО РАН)**

ул. Рукавишниковая, 21, г. Кемерово, 650025  
Телефон/факс: (3842) 21-14-00  
E-mail: kembict@gmail.com http:// www.ict.nsc.ru

От 08.04.2015 года № 15

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора - директор филиала  
ИВТ СО РАН, д.т.н., проф.

В.П. Потапов

«08» апреля 2015 г.



### СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Выдана для предоставления в диссертационный совет ДМ 003.046.01 о том, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.25.05 «Информационные системы и процессы» Харлампенкова Ивана Евгеньевича по теме «Технология создания информационной системы оценки геодинамических событий горнопромышленного региона» используются для разработки элементов геoinформационной мониторинговой системы «Геомеханико-геодинамической безопасности Кузбасса» в рамках создания блока оценки геодинамических событий. Разработанная технология позволяет создавать системы, объединяющие в себе инструменты сбора данных из удаленных источников, средства публикации геоданных в сети Интернет и вычислительные модули, разработанные в лабораториях Кемеровского филиала. Предложенные автором решения применялись при создании Интегрированной информационно-вычислительной системы динамической оценки экологического состояния угледобывающих районов.

Зав. лаб. моделирования геоэкологических систем

ИВТ СО РАН, д.т.н.

Е.Л. Счастливец

## Примеры работы вычислительных модулей информационной системы

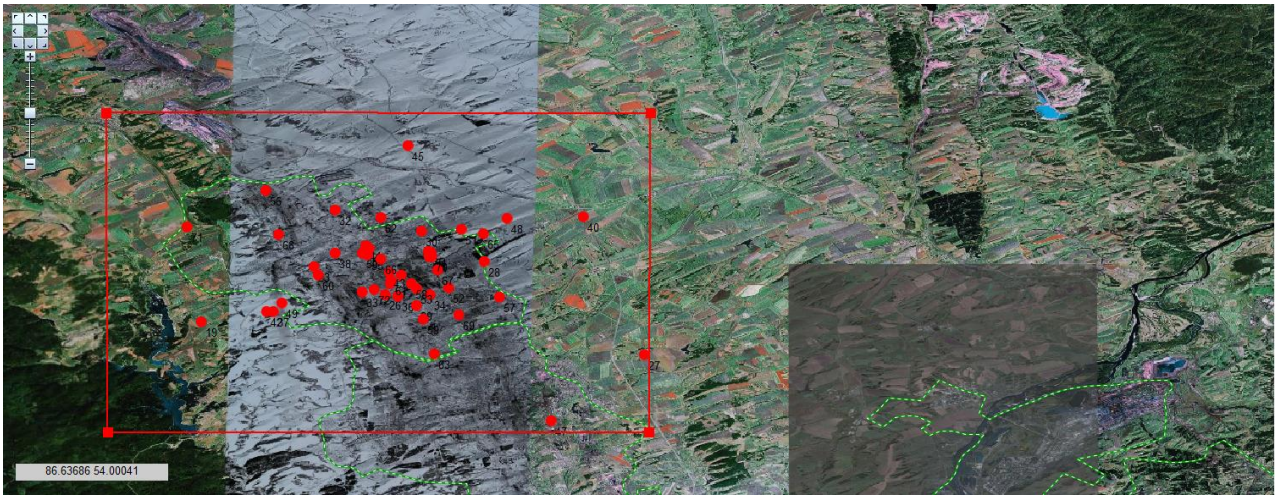


Рисунок В.1 – Траектория миграции для г. Киселевск, 2005 – 2010 гг.

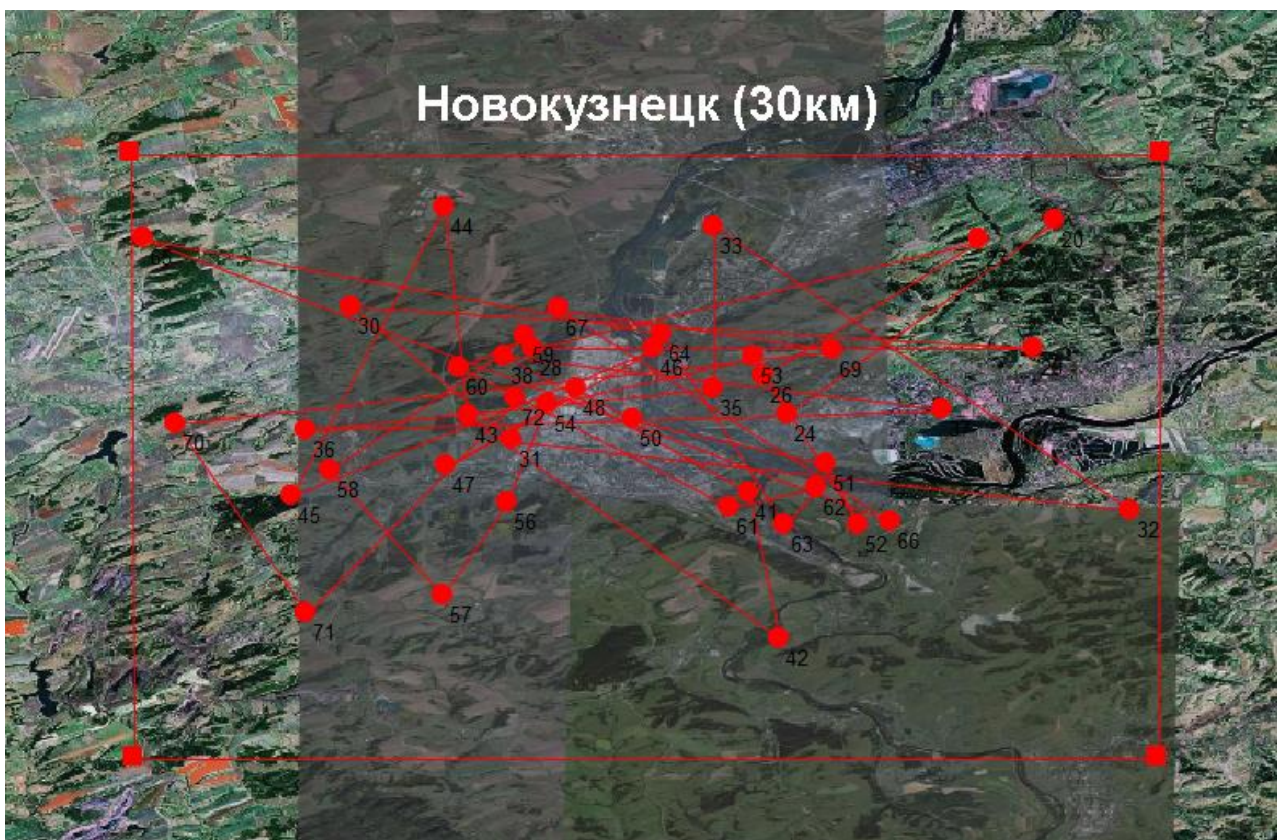


Рисунок В.2 – Траектория миграции для г. Новокузнецк 30 на 30 км., 2005 – 2010 гг.

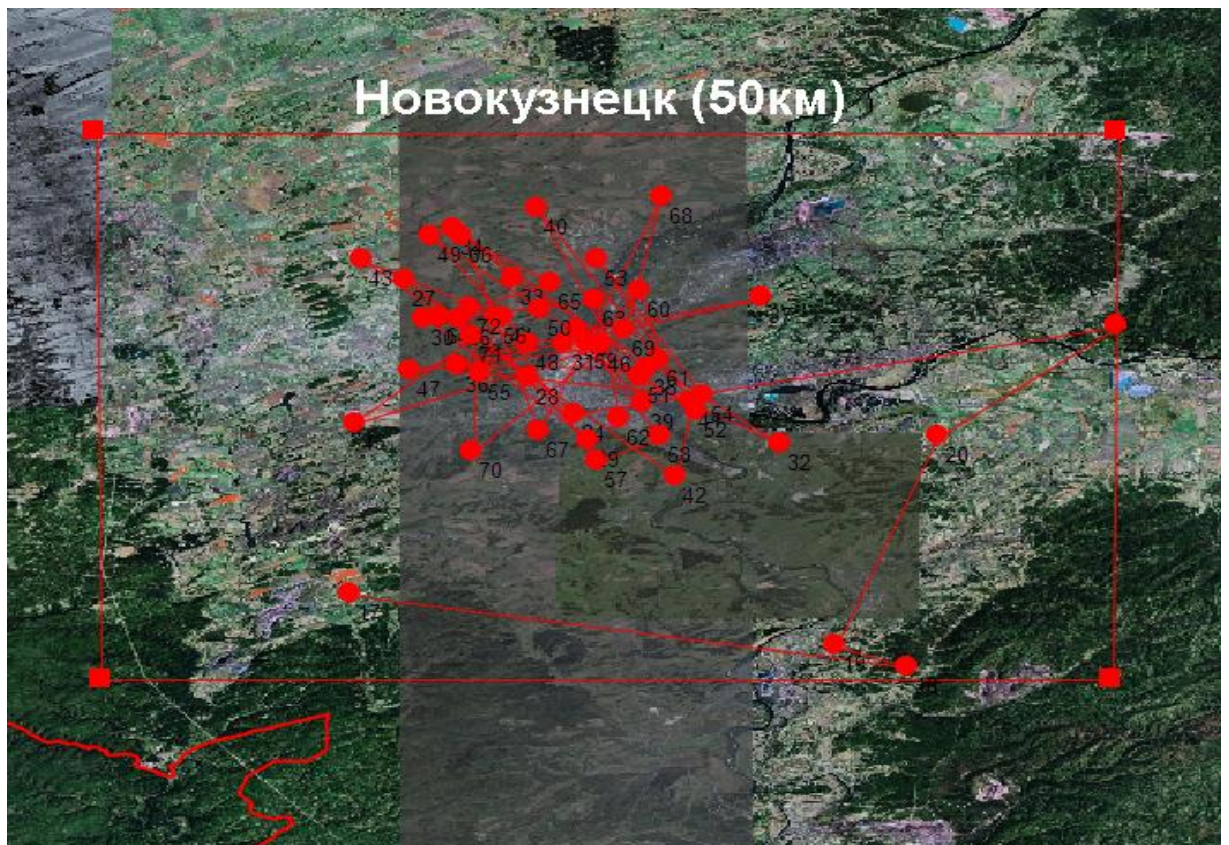


Рисунок В.3 – Траектория миграции для г. Новокузнецк 50 на 50 км., 2005 – 2010 гг.

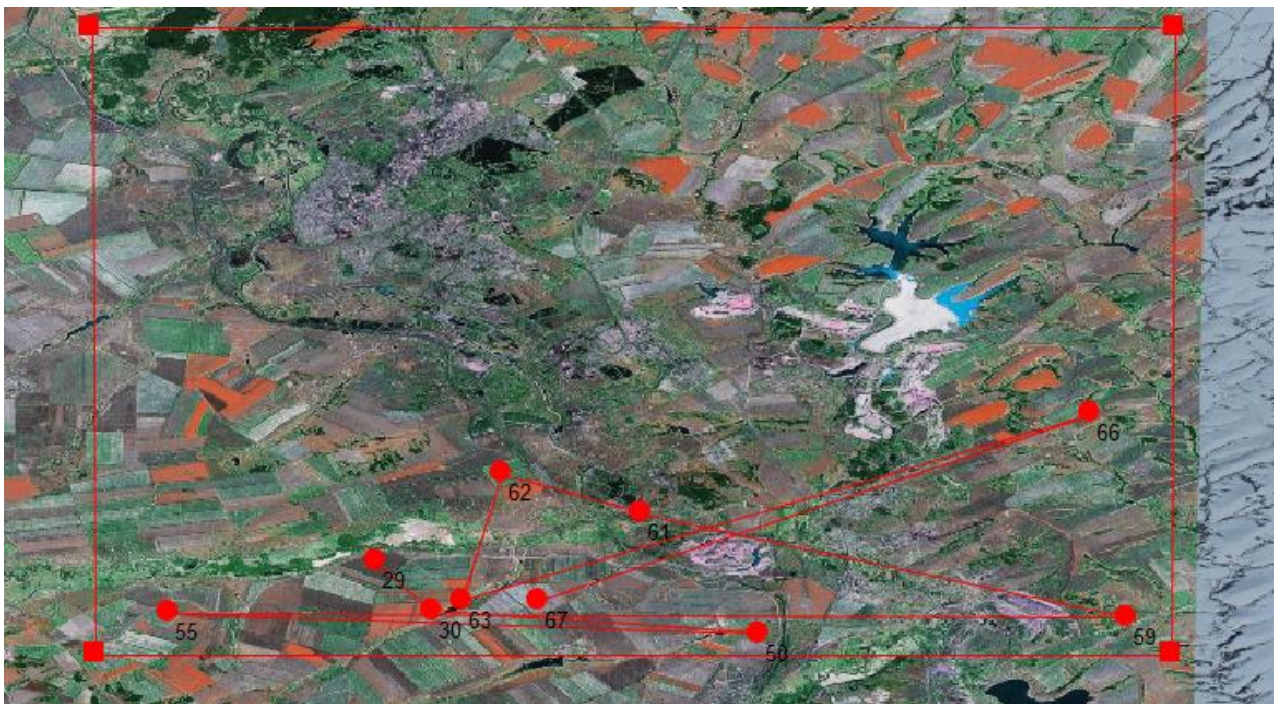


Рисунок В.4 – Траектория миграции для г. Польшаево 30 на 30 км., 2005 – 2010 гг.

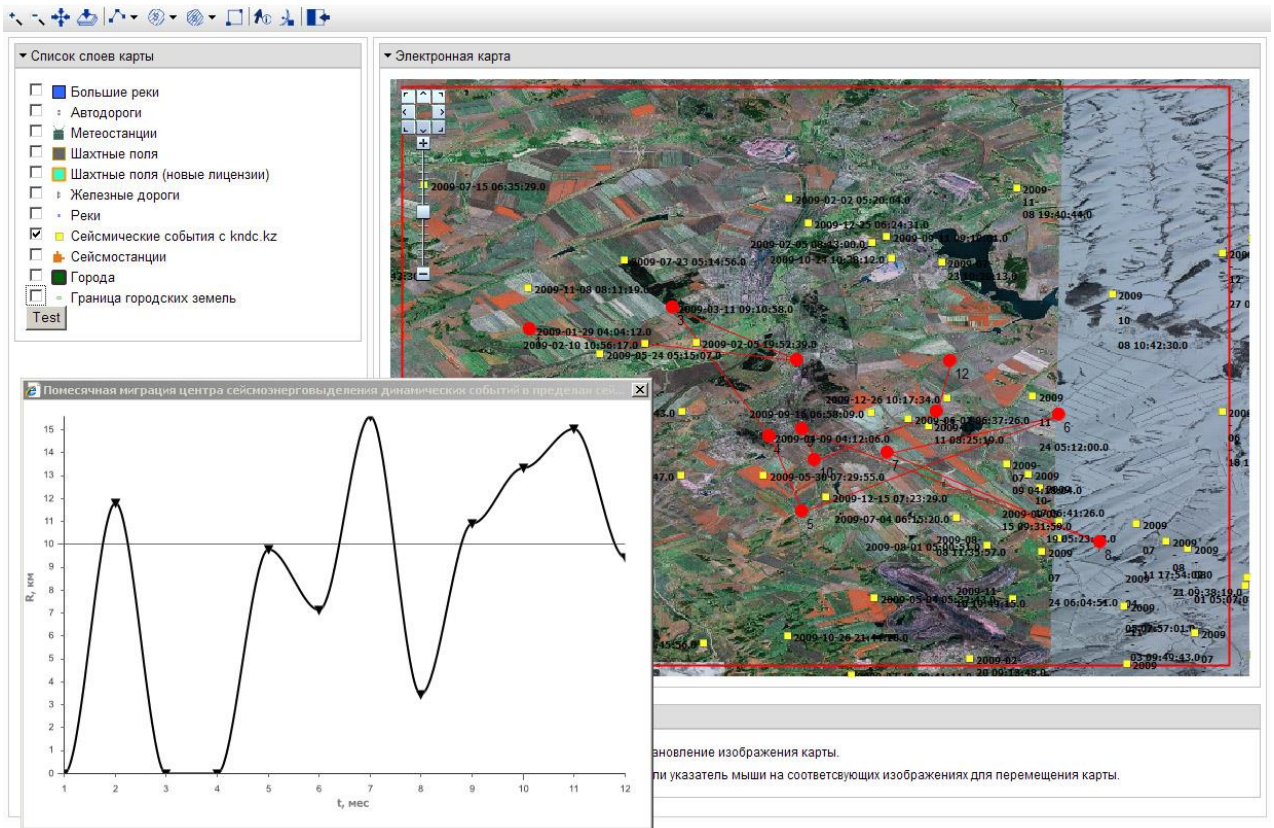


Рисунок В.5 – Траектория миграции для г. Белово, 2009 г.

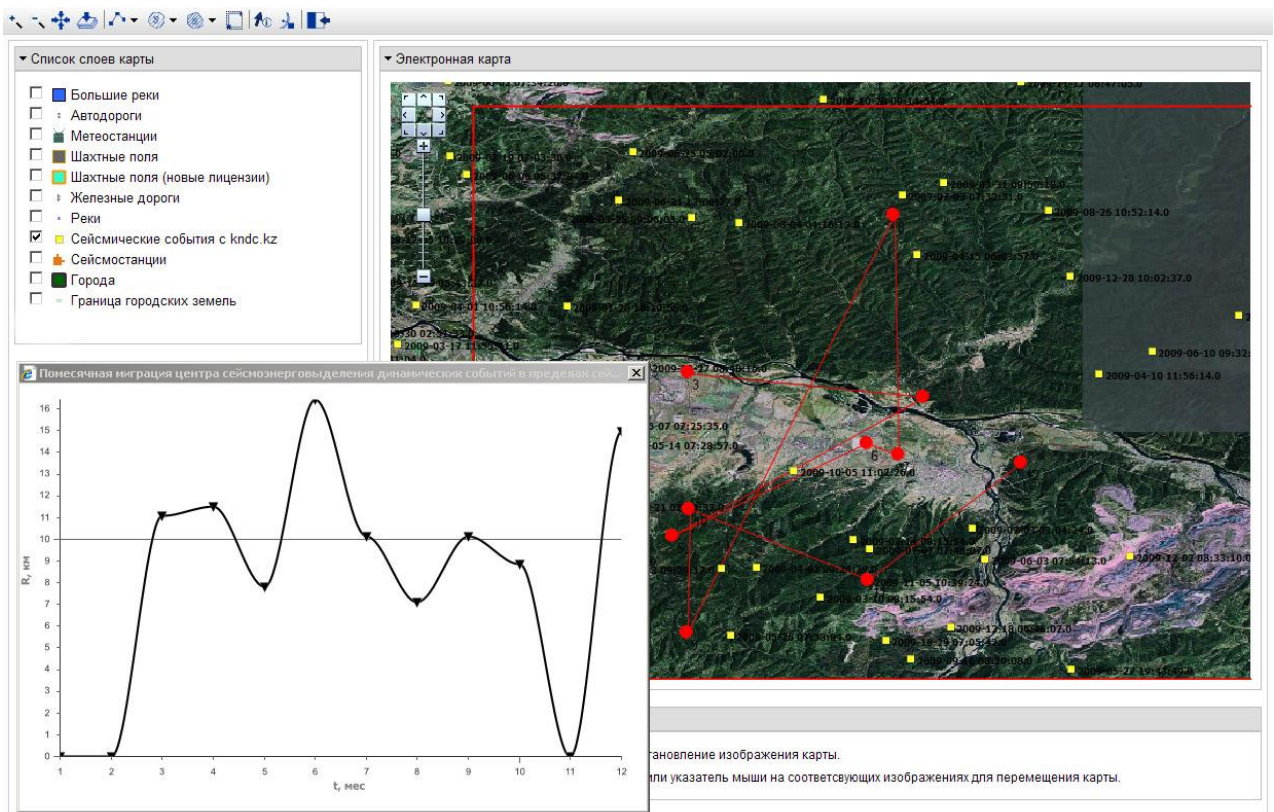


Рисунок В.6 – Траектория миграции для г. Междуреченск, 2009 г.

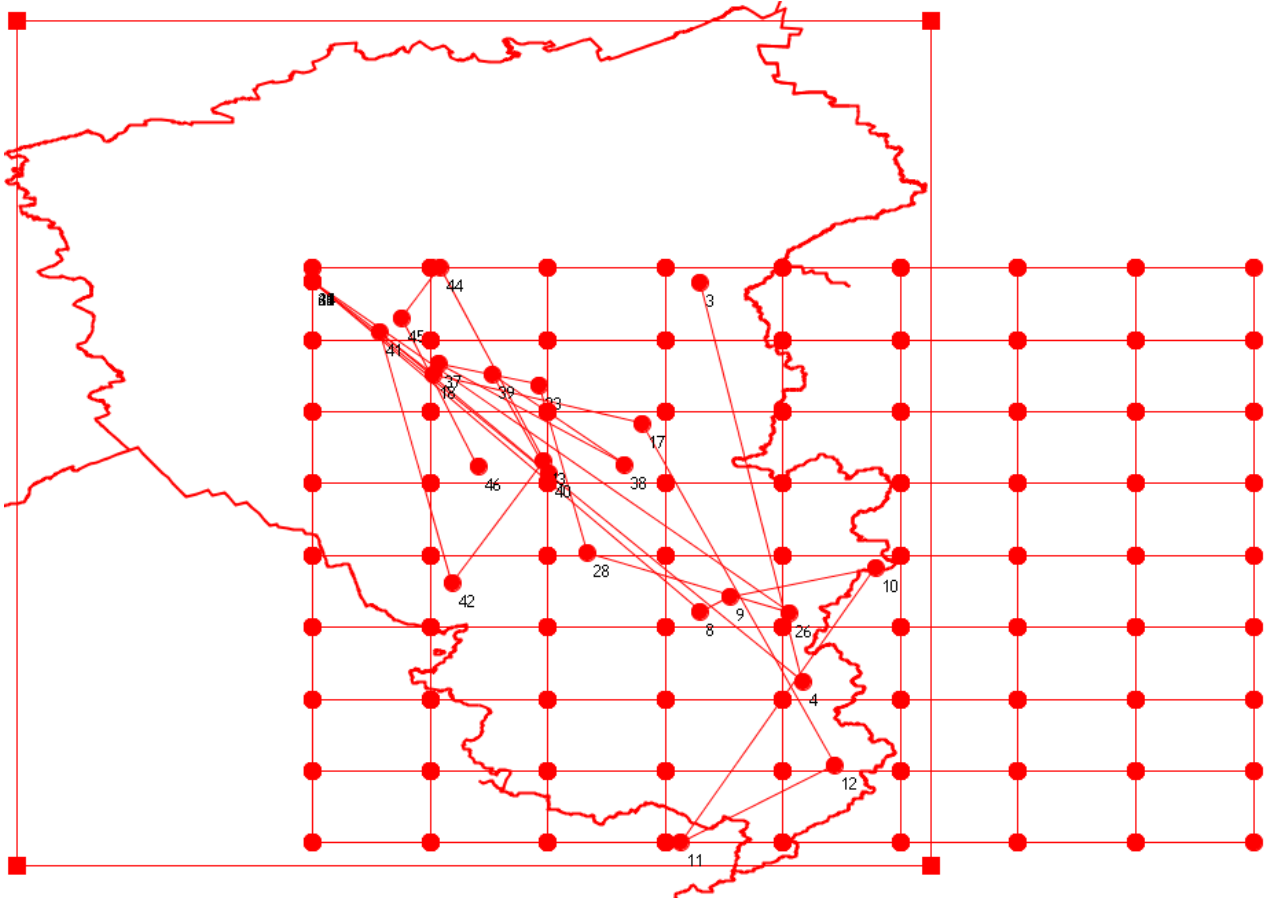


Рисунок В.7 – Траектория миграции для Кемеровской области, природные события, 2006 – 2009 гг.

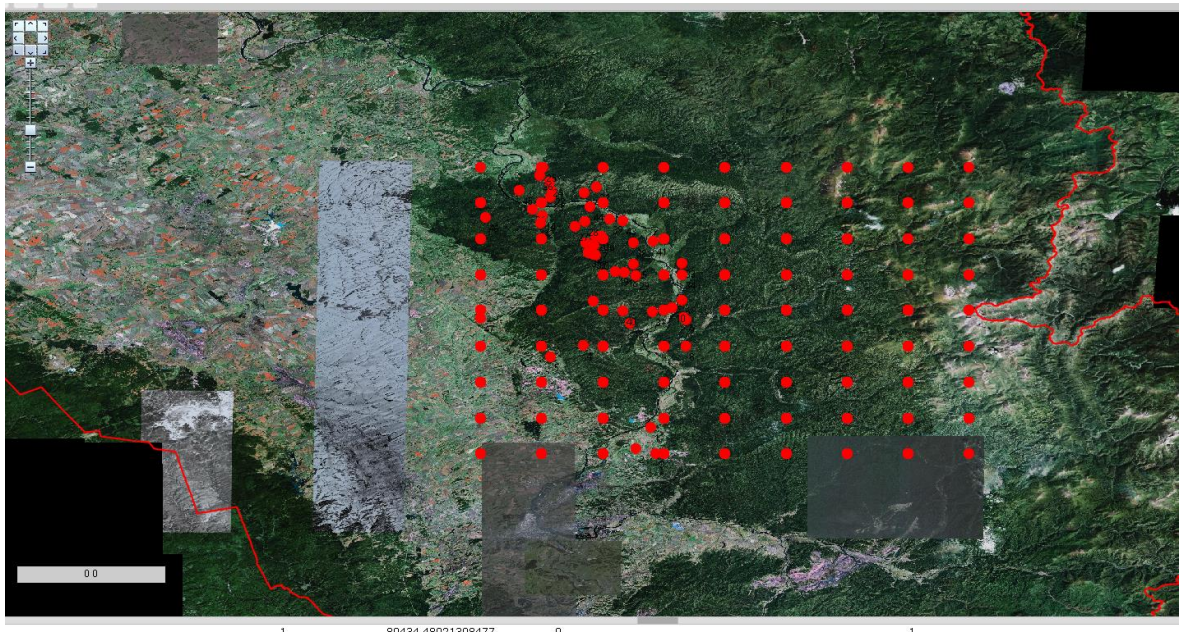


Рисунок В.8 – Траектория миграции для Кемеровской области, техногенные события, 2006 – 2009 гг.



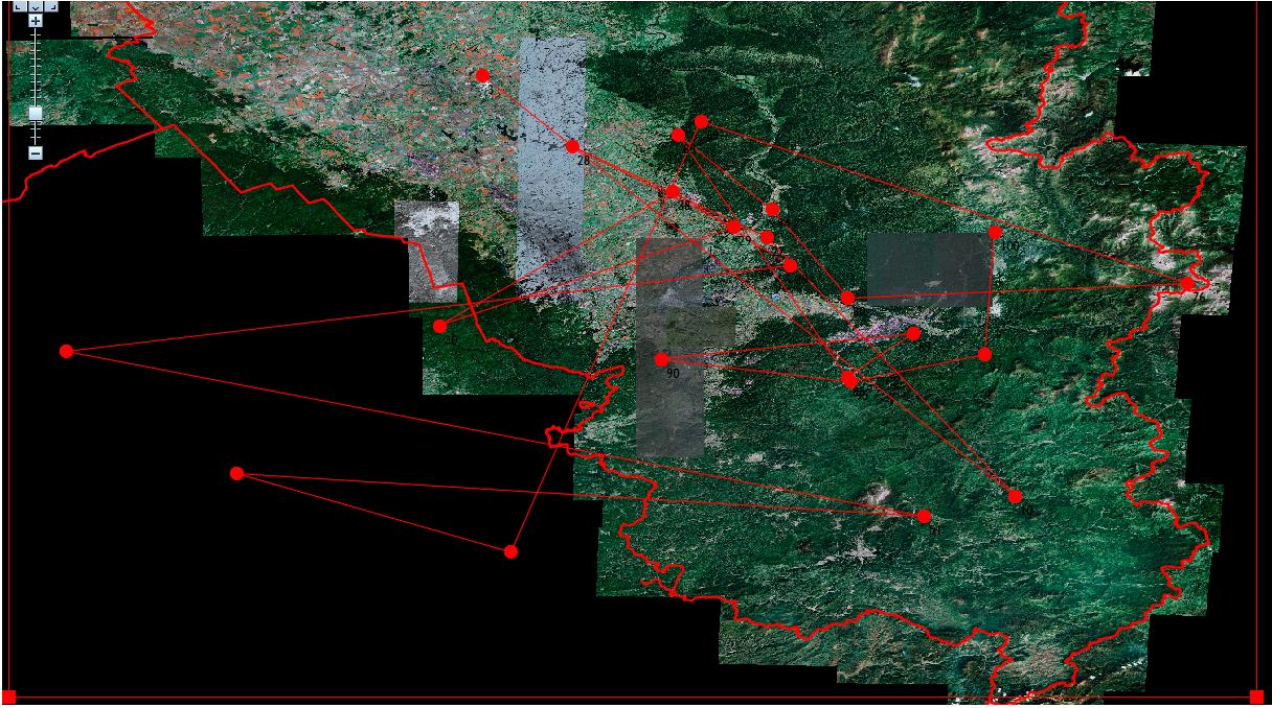


Рисунок В.9 – Траектория миграции для Кемеровской области, 2002 – 2011 гг.,  
ГС РАН

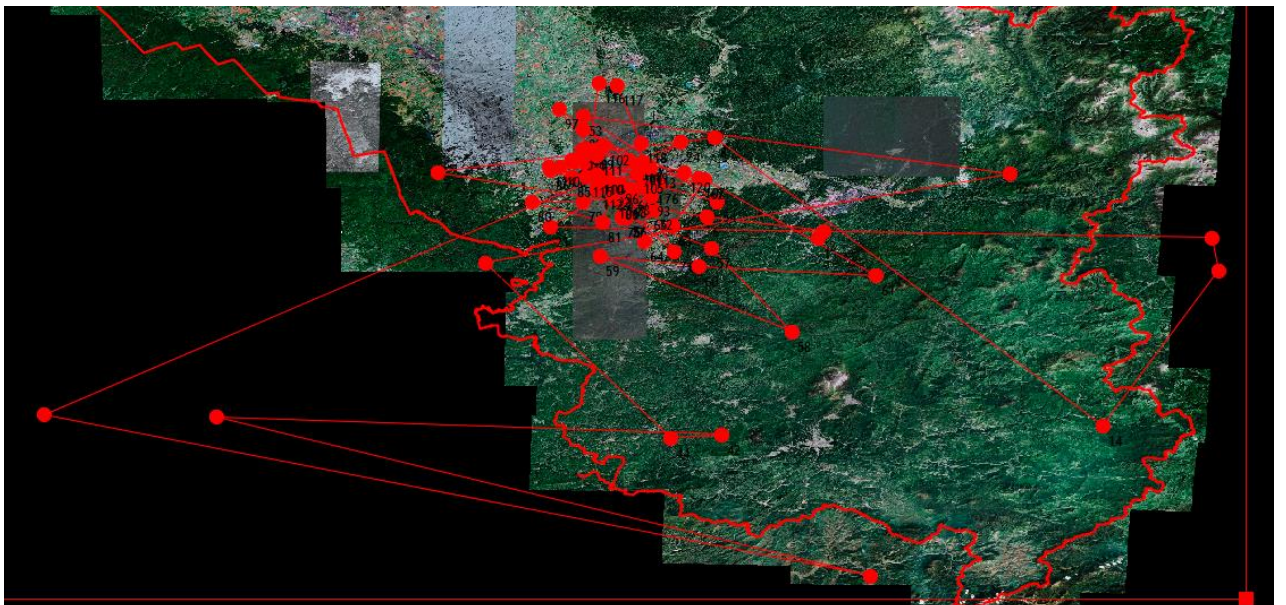


Рисунок В.10 – Траектория миграции для Кемеровской области, 2002 – 2011  
гг., KNDC

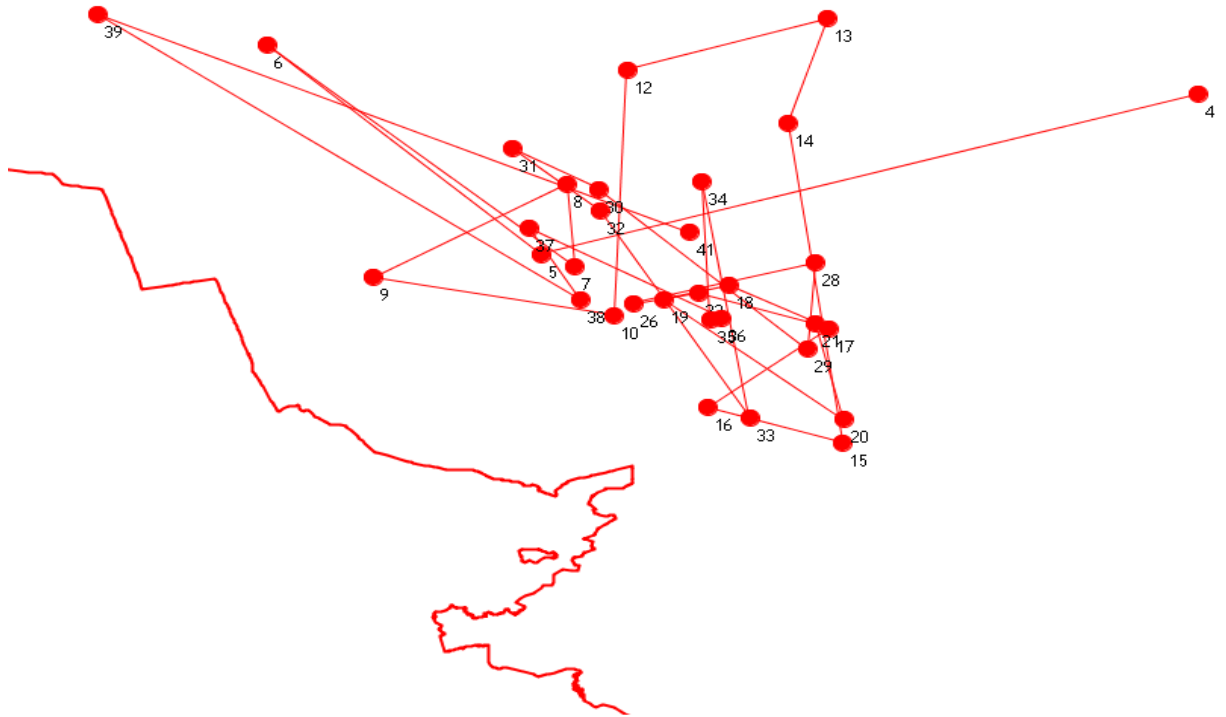


Рисунок В.11 – Траектория миграции для Кемеровской области, 2002 – 2011 гг., ISC

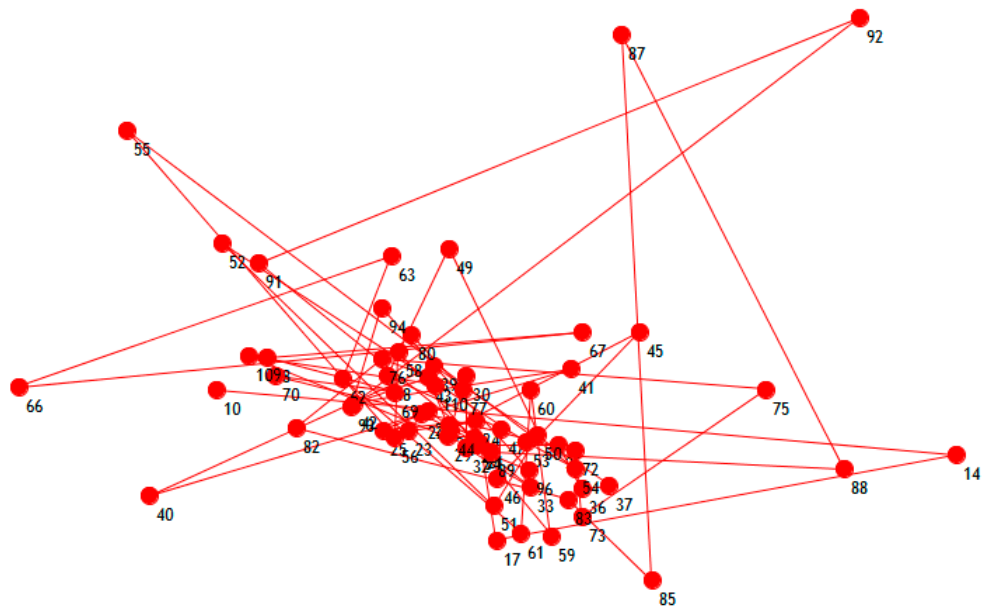


Рисунок В.12 – Траектория миграции для Алтайского края, 2002 – 2011 гг., ГС РАН

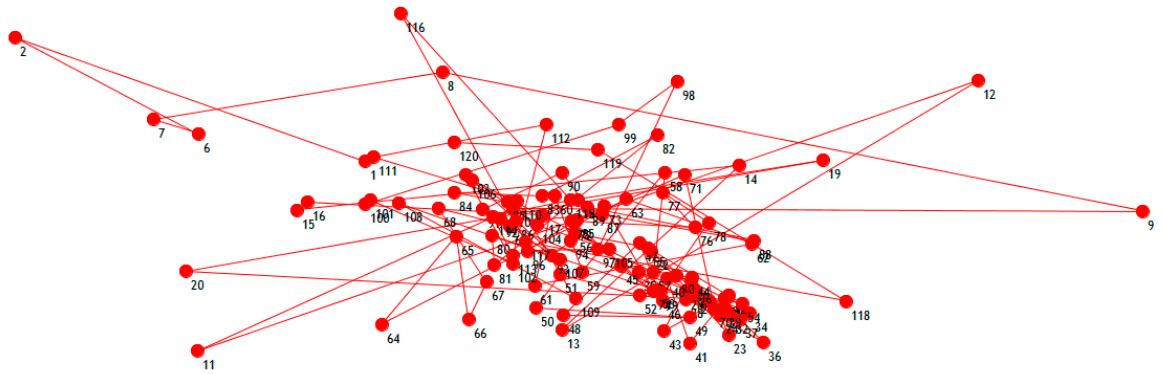


Рисунок В.13 – Траектория миграции для Алтайского края, 2002 – 2011 гг.,  
KNDC

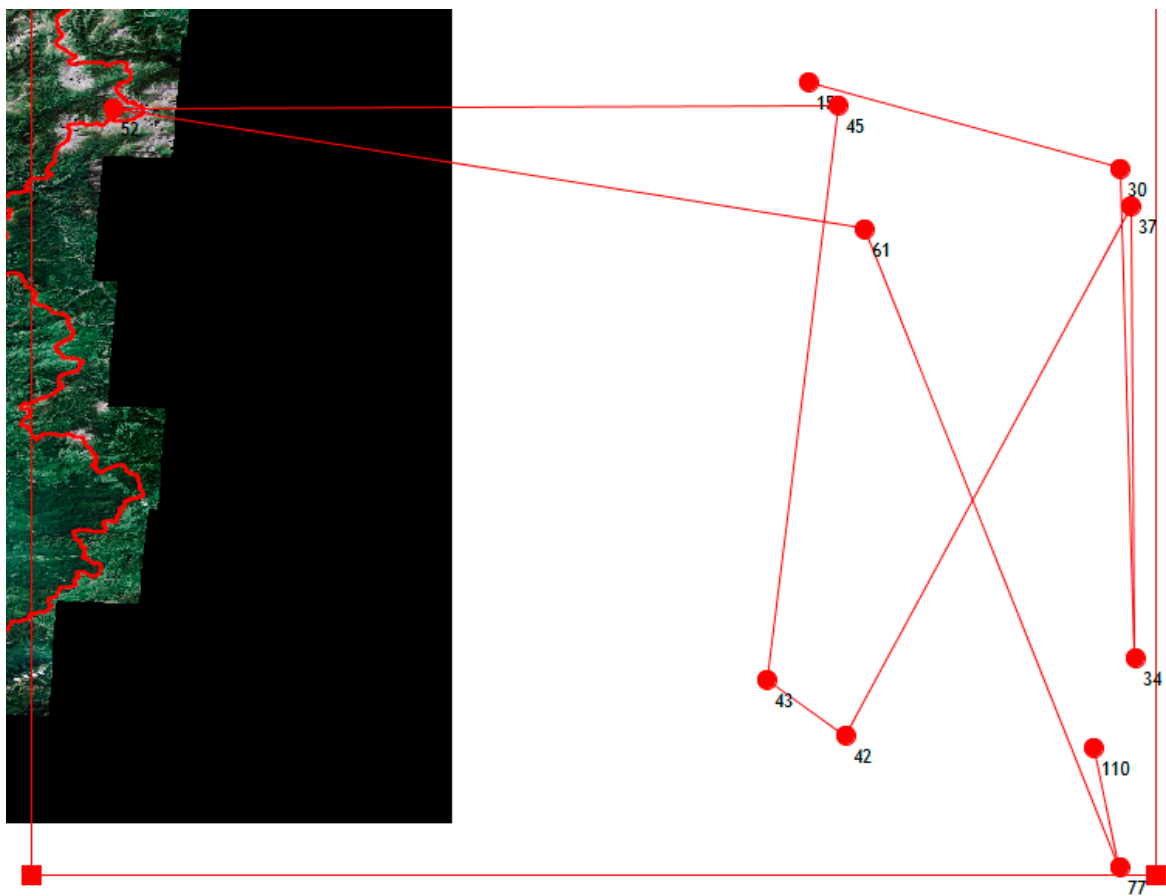


Рисунок В.14 – Траектория миграции для Алтайского края, 2002 – 2011 гг., ГС  
РАН

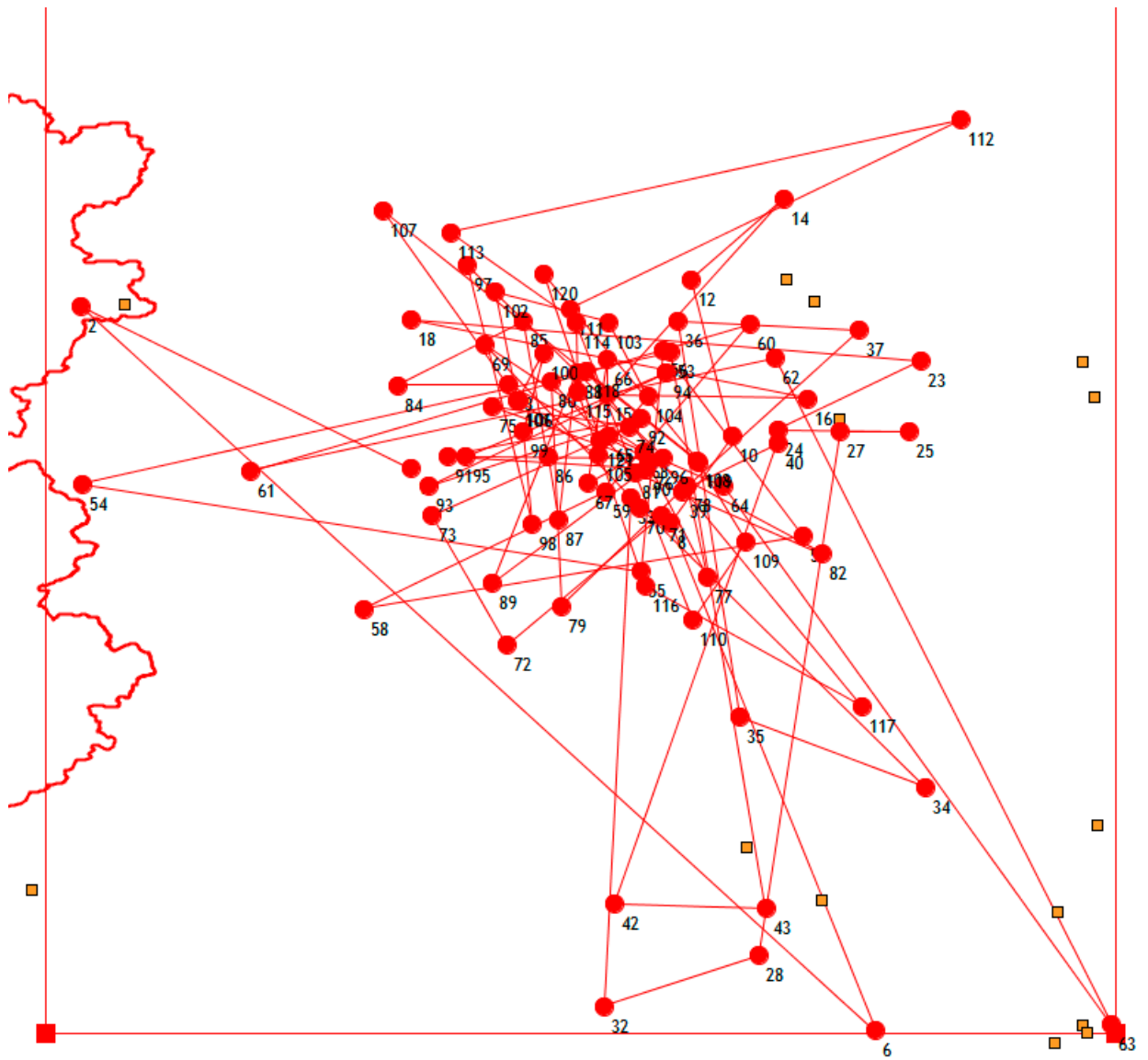


Рисунок В.15 – Траектория миграции для республики Хакасия, 2002 – 2011 гг.,  
KNDC

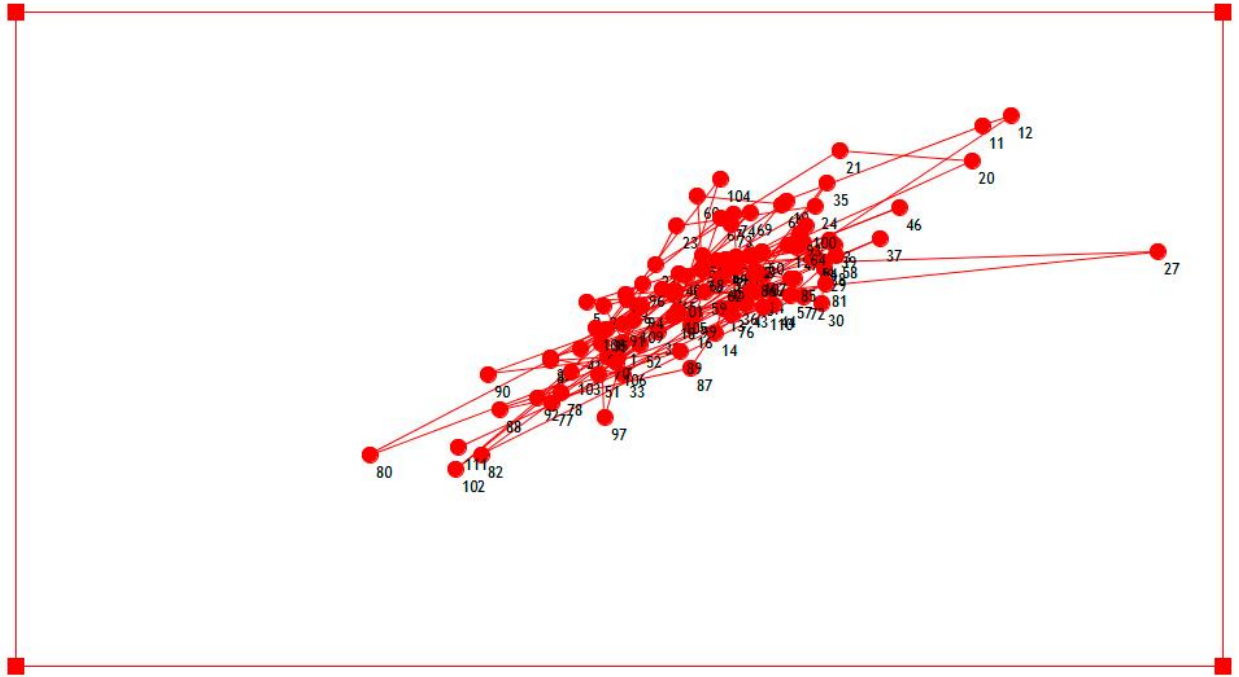


Рисунок В.16 – Траектория миграции для территории озера Байкал, 2002 – 2011 гг., KNDC

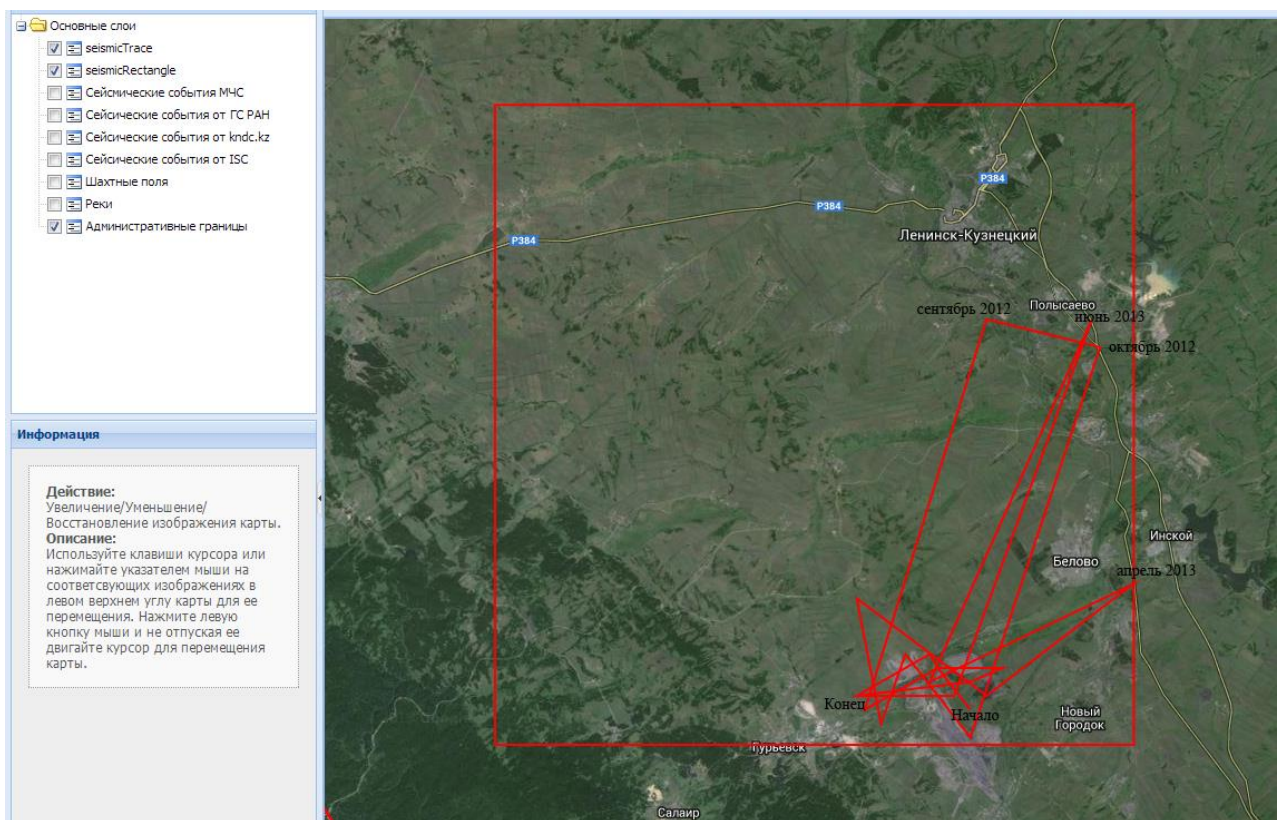


Рисунок В.17 – Траектория миграции для г. Белово и г. Полысаево, 2012 – 2013 гг., KNDC

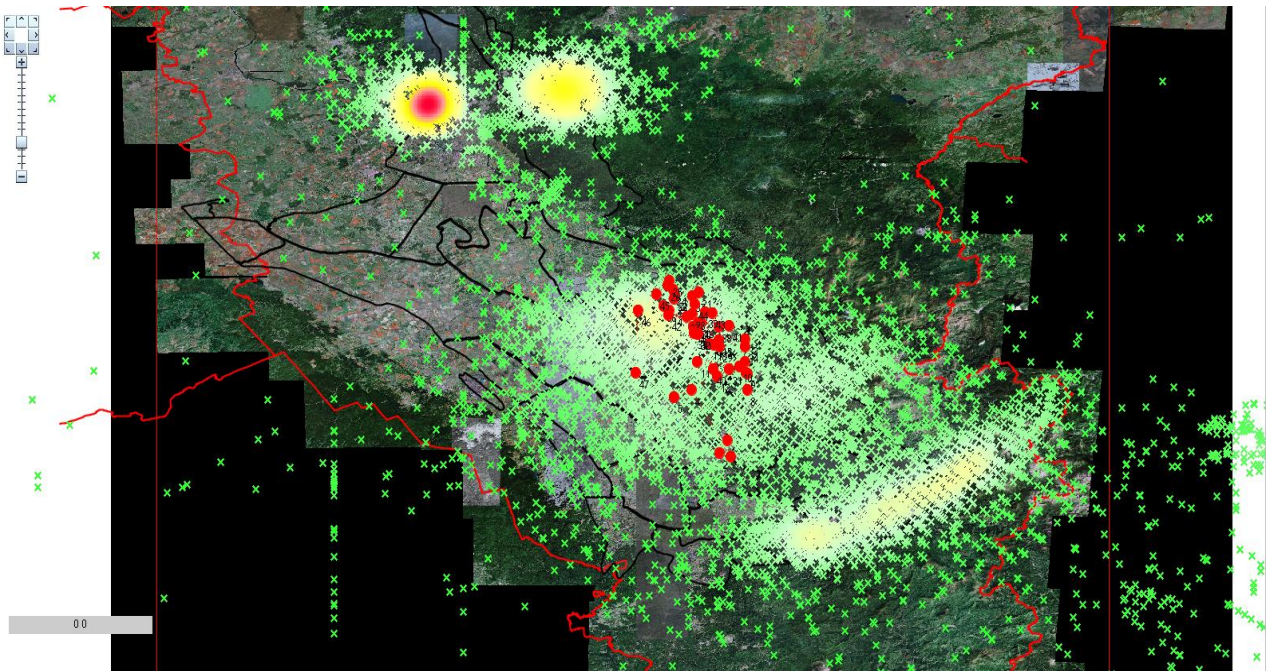


Рисунок В.18 – Карта плотности распределения сейсмических событий по данным ТЦМП

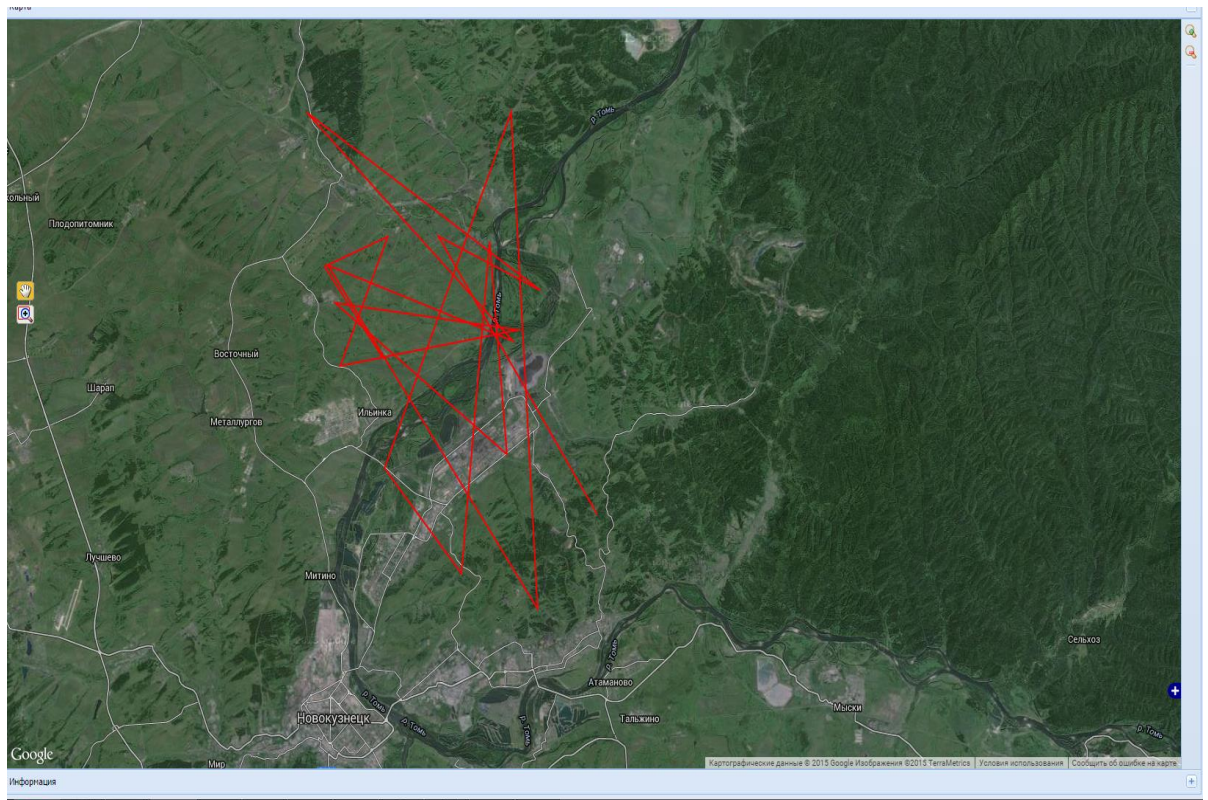


Рисунок В.19 – Траектория миграции для Кемеровской области, 2014 – 2015 гг., ISC

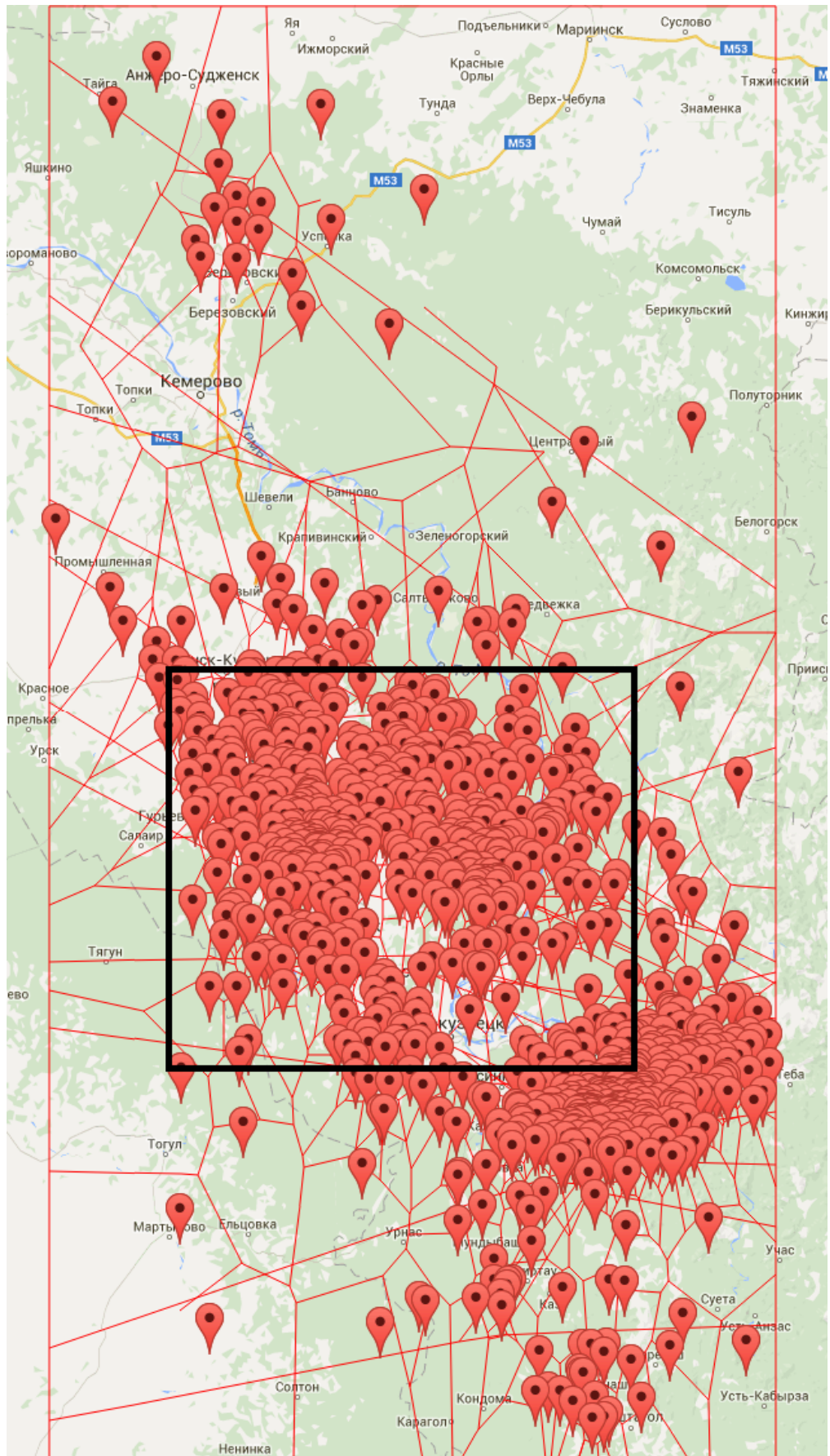


Рисунок В.20 – Диаграмма Вороного для Кемеровской области, 2014 – 2015

гг., ISC

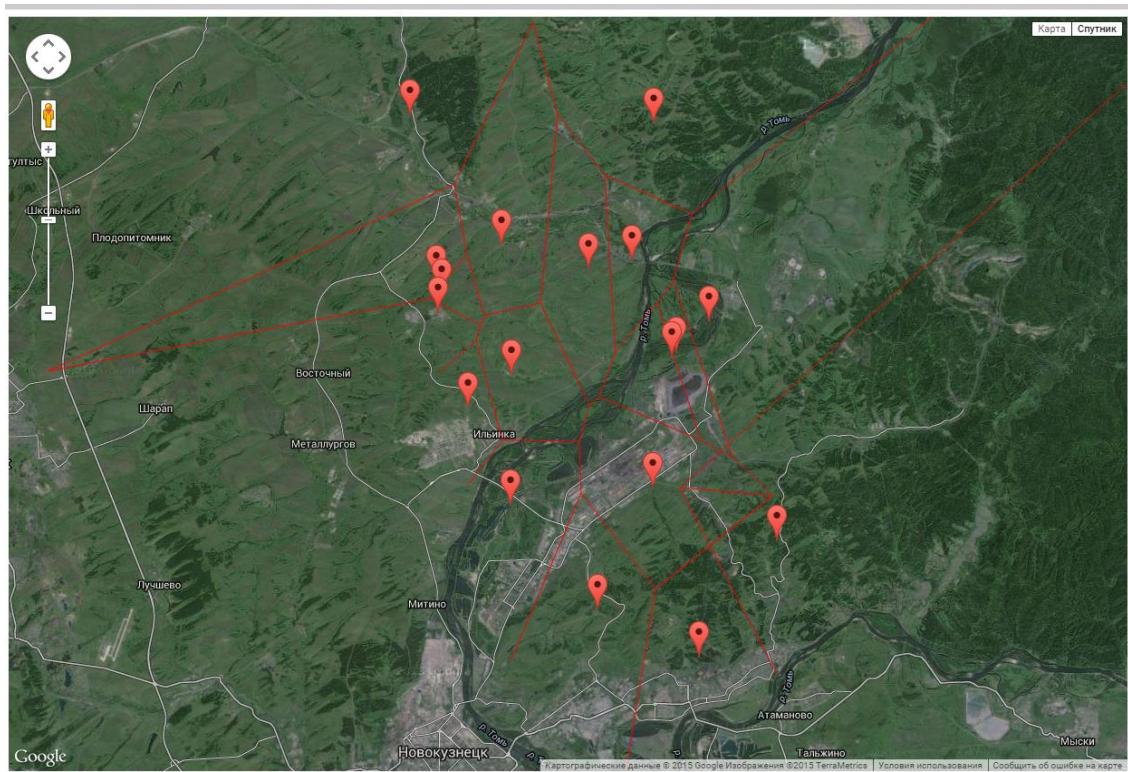


Рисунок В.21 – Диаграмма Вороного для территории траектории миграции Кемеровской области, 2014 – 2015 гг., ISC