

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

---

Научная статья

УДК 004.9

DOI: 10.18101/2304-5728-2020-4-26-39

## **ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КАЙНОЗОЙСКИХ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ МОНГОЛО-БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

© **Парамонов Вячеслав Владимирович**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
Институт динамики систем и теории управления  
имени В. М. Матросова СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134  
slv@icc.ru

© **Михайлов Андрей Анатольевич**

кандидат технических наук, научный сотрудник,  
Институт динамики систем и теории управления  
имени В. М. Матросова СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134  
mikhailov@icc.ru

© **Ружников Геннадий Михайлович**

доктор технических наук, главный научный сотрудник,  
Иркутский научный центр СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134  
ruginikov@icc.ru

© **Фёдоров Роман Константинович**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
Институт динамики систем и теории управления  
имени В. М. Матросова СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134  
fedorov@icc.ru

© **Ключевский Анатолий Васильевич**

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник,  
Институт земной коры СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
akluhev@crust.irk.ru

© **Демьянович Владимир Михайлович**

ведущий инженер,  
Институт земной коры СО РАН  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
vmdem@mail.ru

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной финансовой поддержки РФФИ, гранты 17-57-44006, 18-07-00758, 20-55-44011.

**Аннотация.** Исследование сейсмического потенциала территорий является одной из важных задач, оказывающих значимое влияние на их социально-экономическое развитие. Такие исследования чрезвычайно актуальны для территорий сейсмоактивного Монголо-Байкальского региона. Оценка сейсмического потенциала, в том числе построение карт энергии сейсмотектонического деформирования литосферы, требует обработки большого объема пространственных данных в значительные временные интервалы. Обработка такого массива данных является трудозатратной. Также в случае использования данных, полученных из различных источников, требуется их преобразование, очистка для осуществления возможности совместного использования и интеграции. В рамках данной работы предложен подход к автоматизации исследования трудоемкой задачи сейсмического районирования и построения карт энергий. Средством автоматизации выступает оригинальная сервис-ориентированная информационно-аналитическая система, построенная по геопортальному принципу. Разработанные сервисы обеспечивают загрузку и анализ гетерогенных пространственно-временных данных.

**Ключевые слова:** информационная система; геопортал; сервисы; WPS; сейсмичность; землетрясения; тематические карты; разломы; очистка данных; интеграция; пространственные данные.

#### **Для цитирования**

*Парамонов В. В., Михайлов А. А., Ружников Г. М., Фёдоров Р. К., Ключевский А. В., Демьянович В. М.* Информационно-аналитическая система оценки сейсмического потенциала кайнозойских активных разломов Монголо-Байкальского региона // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2020. № 4. С. 26–39.

### **Введение**

Для сейсмоактивных регионов решение проблем сейсмической безопасности является одной из важнейших задач социально-экономического развития. Учет и прогнозирование сейсмической активности позволяют минимизировать ее возможные последствия. Один из лучших способов снижения риска от землетрясений — избегать строительства и эксплуатации зданий и сооружений на сейсмоопасных территориях [1]. К сожалению, в настоящее время из-за социально-политических и экономических факторов зачастую необходимость освоения сейсмоопасных территорий является единственной альтернативой их устойчивого развития [2]. Результаты исследований сейсмической активности непосредственно отражаются на расчете сейсмостойкости зданий и сооружений [3]. В связи с этим актуальна задача изучения и создания математических моделей оценки сейсмической активности, а также их последующая реализация в виде сервисов распределенных информационно-аналитических систем. Первичные данные, являющиеся основой оценки сейсмической опасности, в большинстве случаев имеют различные источники происхождения. Это могут

быть материалы исторического периода, инструментальные данные регистрирующих станций, наблюдения, полученные при проведении полевых работ и т. п. Как следствие, такая информация является гетерогенной, что обуславливает необходимость ее предобработки и организации средств для загрузки, хранения, предоставления пользовательских интерфейсов для доступа и обработки. В качестве операционного средства может использоваться информационно-аналитическая система, предполагающая наличие набора функций, обеспечивающих сбор, создание, преобразование, анализ данных и представление результатов в виде таблиц, графиков, тематических карт. Следует отметить, что для реализации таких инструментальных средств разработки, с одной стороны, используют для программирования средства низкого уровня (различные языки программирования общего назначения и стандартные возможности СУБД), а с другой — создают сильно специализированные системы, тесно связанные с конкретным объектом автоматизации и ориентацией на определенные структуры данных. Первое приводит к существенному увеличению затрат на стадии создания, а второе вызывает большие издержки на модернизацию информационно-аналитической системы, в том числе касающиеся внедрения новых методов обработки данных. Это обуславливает значимость необходимости создания распределенной сервисно-ориентированной информационно-аналитической системы для оценки и районирования сейсмической опасности территории на основе стандартов Open Geospatial Consortium, методов пространственного анализа и комплекса взаимосвязанных математических моделей землетрясений и прогнозирования их последствий с применением современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры [4; 5].

### **1 Проблемы сейсмической безопасности Монголо-Байкальского региона**

Значительная часть Монголо-Байкальского региона (МБР) расположена в высокосейсмичных областях Центрально-Азиатского складчатого пояса и подвержена частым и сильным землетрясениям, но особенно опасна в сейсмическом отношении западная половина Монголии [2; 6]. Только в XX в. на территории МБР произошло более 80 землетрясений с магнитудой  $M > 5.5$  (интенсивностью от 7 до 11–12 баллов). Среди них десятки землетрясений вызвали крупные нарушения земной поверхности, а сейсмические катастрофы (Болнайское, 1905, Фуюньское, 1931 и Гоби-Алтайское, 1957) сопровождались сейсмотектоническими деформациями протяженностью до нескольких сотен километров. Судя по сохранившимся следам древних землетрясений и летописным сведениям, подобные и, возможно, более грандиозные сейсмические события происходили здесь в прошлом. Ниже представлена информация о сейсмичности основных активных разломов, а также выполнено районирование литосферы Прибайкалья и Монголии [6] по энергии сейсмотектонического деформирования, проведены оценка и картирование сейсмического потенциала кайнозойских активных разломов.

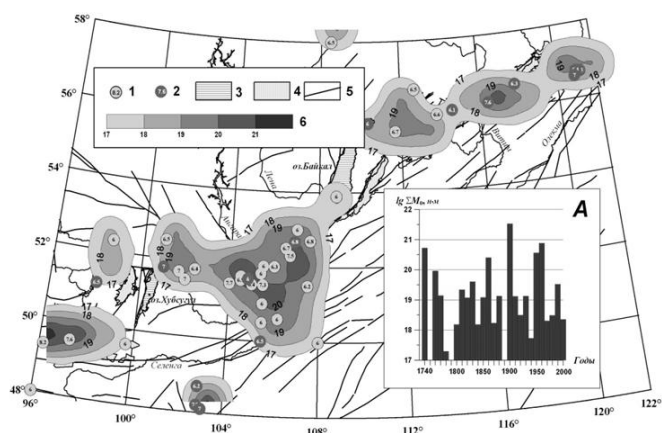


Рис. 1. Карта эпицентров и изолиний логарифма сейсмического момента сильных землетрясений (энергии сейсмостектонического деформирования литосферы) Прибайкалья в инструментальный и исторический периоды

Анализ и сопоставление энергии сейсмостектонических деформаций литосферы Прибайкалья, определенной по данным о сильных землетрясениях с магнитудой  $M_6$  за период инструментальных наблюдений (1950–2002 гг.), исторический период продолжительностью 210 лет и палеосейсмогеологическим (ПСС-ПСД) материалам за последние две тысячи лет, подтверждают адекватность гипотезы стационарного сейсмического процесса (рис. 1, 2). На вставке А рис. 1 представлена гистограмма логарифма суммарного сейсмического момента. 1 и 2 — эпицентры сильных землетрясений исторического и инструментального периодов (число в маркере соответствует магнитуде события), 3 — озера, 4 — впадины, 5 — разломы, 6 — изолинии логарифма сейсмического момента.

На вставке рис. 2 дано 3D-представление поверхности логарифма сейсмического момента по сейсмологическим (А) и палеосейсмогеологическим (Б) материалам [1]. 1 — ПСС-ПСД (число в маркере соответствует магнитуде), 2 — озера, 3 — впадины, 4 — разломы, 5 — изолинии логарифма сейсмического момента.

Близкое пространственное расположение максимумов выделенной за исследуемые интервалы времени энергии сейсмостектонических деформаций свидетельствует, что основные хрупкие разрушения литосферы происходили примерно в одних и тех же областях, которые можно соотносить с концентраторами напряжений. Изолинии повышенного уровня энергии проходят вдоль рифтовых структур, идентифицируя сейсмостектонические деформации литосферы региона в виде единой протяженной области энергетической разгрузки эндогенных геотектонических процессов – Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) [1].

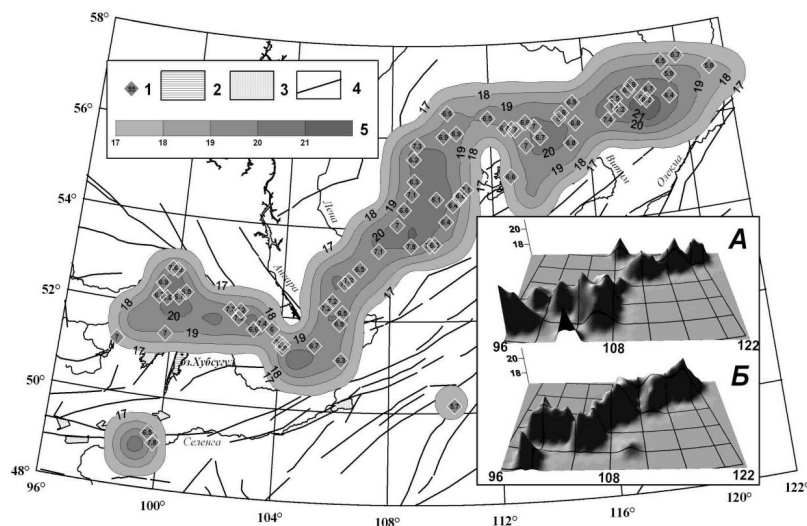


Рис. 2. Карта-схема расположения ПСС–ПСД и изолиний логарифма сейсмического момента по палеосейсмогеологическим материалам

## 2 Построение карт энергии

Для территории Прибайкалья и Монголии собраны пространственно-временные данные, позволяющие составить цифровые карты активных в кайнозой основных разломов с определением их количественных параметров, структурно-тектонической позиции, сейсмогеодинамики, сейсмогенерирующей значимости и т. д. [7] Под активными в кайнозой разломами понимаются разрывные нарушения с признаками тектонических движений в третичное, плейстоценовое и голоценовое (включая историческое) время. Эти разломы находят отражение на дневной поверхности в виде смещений молодых кайнозойских отложений и элементов рельефа, ограничений впадин и блоков фундамента, и линий, контролирующих выходы термоминеральных вод. Они подтверждаются геодезическими (данные о контрастных современных подвижках) и геофизическими (гравитационными, электромагнитными, магнитотеллурическими, газовыми, эманационными и др.) аномалиями, линейной упорядоченностью оро- и гидрографических элементов рельефа, приуроченностью кайнозойских вулканических образований, особыми вещественными изменениями (зоны дробления, дезинтеграции, остеклования, глинки трения, коккиритизации и др.), проявлением на аэрокосмических снимках. Сейсмогенерирующая значимость разломов устанавливается по ряду признаков: возрасту последнего обновления, генетическим (кинематическим) типам, средней скорости неотектонических и современных движений и приуроченности к очагам сильных землетрясений [6].

### **3 Информационно-аналитическая система оценки сейсмической активности**

Обобщение и анализ данных о сейсмической активности является трудоемким процессом. Он сопряжен с накоплением и обработкой большого объема пространственно-временных данных. Применение современных информационных технологий позволяет автоматизировать проведение исследований напряженно-деформированного состояния литосферы и определение размеров потенциального сейсмического очага. К тому же полученная информация может быть аккумулирована в базе данных и впоследствии, быть доступной для заинтересованных субъектов. Учитывая особенности формирования данных о сейсмической активности и их пространственный характер, представляется актуальным создание сервис-ориентированной информационно-аналитической системы (ИАС), реализуемой по геопортальному типу. Такая ИАС направлена на интеграцию разноформатных данных о мониторинге землетрясений и связанных с ними событиях, получаемых сейсмическими станциями, различными исследовательскими группами.

Исходные данные в большинстве случаев представлены в слабоструктурированном виде (электронные таблицы, файлы с разделителем и т. п.), в различных форматах, схемах, обладающих разным качеством [8; 9]. В связи с этим требуется проведение предварительного их анализа, очистки, в ряде случаев реконструкции и трансформации в формат, обрабатываемый информационно-аналитической системой. Для загрузки, анализа данных и вывода результатов анализа в числовой и графической формах требуется создание и развитие сервисов, осуществляющих обозначенные функции. В проекте также проведены исследования, предоставляющие возможность проведения оценки и картирования сейсмического потенциала кайнозойских активных разломов региона.

Для наполнения базы данных ИАС тематической информацией, содержащей пространственные характеристики, были использованы сведения о землетрясениях, отраженные в каталогах землетрясений Монголии в период с 2010 по 2014 г. Данные являлись слабоструктурированными и были представлены в текстовом формате.

Ввиду разнородности и гетерогенности данных требуется привлечение методов их предобработки и набора сервиса для анализа и интеграции [10]. Изучением вопросов сейсмической активности занимается значительное количество исследователей, у которых есть свои методики, тематические базы данных и сервисы обработки. Это приводит к необходимости использования как локальных сервисов обработки данных, так и доступных на серверах пользователей в сети Интернет. При этом реализовано разграничение доступа к данным. Пользователь, являющийся владельцем данных, определяет, могут ли его тематические пространст-

венно-временные данные или сервисы их обработки быть доступными другим пользователям.

Подобное архитектурное решение дало возможность гибкой настройки и потенциально неограниченного расширения функций путем добавления и регистрации различных сервисов. Рассмотрим некоторые из сервисов обработки данных, реализованные в ИАС.

### *3.1 Сервис очистки данных и геокодирования*

Для повышения качества пространственно-временных данных был создан сервис их очистки и перевода в структурированный вид. Для того чтобы привести слабоструктурированные данные в реляционный вид и перейти непосредственно к загрузке в интегрирующую базу данных, предложен оригинальный программный интерфейс сервиса загрузки, обеспечивающий возможность преобразования «плоских» таблиц в реляционную базу данных. В дальнейшем это значительно упростит возможность проведения операций над данными. Следует отметить, что очистка данных является актуальной задачей на протяжении последних десятилетий (J. Maletic, A. Marcus: *Data Cleansing: Beyond Integrity Analysis*, 2000; F. Ridzuan, Wan M. Nazmee, W. Zainon: *A Review on Data Cleansing Methods for Big Data*, 2019; A. Zaveri, A. Rula: *Data Quality and Data Cleansing of Semantic Data*. In *Encyclopedia of Big Data Technologies*, 2019). Методы очистки и трансформации данных, реализованные в сервисе, обеспечили перевод данных в реляционный вид. Для очистки текста применялись методы фонетического сравнения [11], а также нечеткого сравнения пользовательских строк с вхождениями классификаторов (справочников). Например, наименование горных пород, местности и т. п. Для очищенных пространственных данных была проведена процедура геокодирования, что обеспечило возможность их привязки к местности. Для геокодирования использовался API ресурса OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>)

### *3.2 Загрузка данных*

Данные сейсмического мониторинга, пройдя предобработку (приведение в канонический вид, очистку, нормализацию), загружаются в реляционную СУБД PostgreSQL, которая является основной СУБД прототипа информационно-аналитической системы. По одной таблице в формате CSV создается одна таблица в СУБД PostgreSQL. При этом имеется возможность связать значения полей со справочниками (классификаторами). Существует возможность связывания в автоматическом режиме, когда значения в поле и классификаторе полностью (с точностью до регистра) совпадают, также и в ручном режиме — когда связывание значений проводится пользователем. При загрузке данных пользователю предоставляется возможность указать их тип, формат. Впоследствии это упрощает дальнейшие операции. В целом представленные в рамках проекта методы

извлечения и очистки неструктурированных данных являются развитием методов очистки данных, реализованных на предыдущем этапе проекта.

В развиваемом прототипе информационно-аналитической системы сервис загрузки данных кроме формата CSV поддерживает файлы различных ГИС форматов, поддерживаемых библиотекой GDAL/OGR. В пользовательском интерфейсе загрузки пользователь в системе может выбрать файл в системе хранения данных. Далее необходимо установить соответствие между атрибутами целевой и загружаемой таблиц с указанием функции обработки (нормализации) данных. Среди них выделим функцию Geocoding — используется для определения атрибута типа «Точка». На входе функции указывается атрибут, содержащий адрес. Для геокодирования применяется API сервиса OpenStreetMap.

В целом на основании данных каталога землетрясений была загружена информация о 1678 сейсмических событиях региона. Загруженные данные содержат такую информацию, как дата и время события, широта и долгота, глубина, магнитуда, азимут направления разрыва, погрешность, идентификатор станции.

### *3.3 Сервисы как развитие унаследованного программного обеспечения*

Развиваемая ИАС имеет сервисно-ориентированную архитектуру, в рамках которой был создан и реализован в виде WPS-сервисов [12] комплекс взаимосвязанных моделей, позволяющих провести оценку напряженно-деформированного состояния земной коры, сейсмичности и анализ произошедших землетрясений. Модели позволяют проводить зонирование и прогнозировать вероятную сейсмическую опасность территорий Монголо-Байкальского региона. Создание сервисов велось в двух направлениях:

1) разработка и использование существующих методов анализа данных землетрясений, зонирования, прогнозирования сейсмической опасности территорий в виде сервисов;

2) разработка инфраструктурных функций, позволяющих упростить применение сервисов анализа данных.

Результатом многолетних исследований сейсмичности МБР является создание ряда вычислительных моделей [13; 14]. Для их разработки, как правило, использовался язык Fortran, поскольку он был популярен в научной среде начиная с 50-х гг. XX в., и используется по сей день. Однако текущая реализация информационно-аналитической системы подразумевает разработку сервисов на языке C++. Поэтому для автоматизации создания WPS-сервисов разработан оригинальный инструмент на основе транслятора f2c с языка Fortran в язык C++. Данный инструмент позволяет в полуавтоматическом режиме осуществлять трансляцию с языка Fortran в язык C++.



Исследование влияния среды распространения сейсмических сигналов на определение динамических параметров очагов землетрясений Байкальского региона показало, что существенное влияние на оценку динамических параметров оказывает выбор модели среды [13]. Значительное влияние на структуру энергетики сейсмичности оказывают локальные афтершоковые последовательности сильных землетрясений [14]. На основе усовершенствованных методов разработаны WPS-сервисы определения динамических параметров очагов землетрясений, в том числе и афтершоков. Основной особенностью сервисов является гибкость в выборе модели среды и затухания потока афтершоков.

Для исследования общего сейсмического районирования территории разработан web-сервис, обеспечивающий проведение анализа геолого-геофизических особенностей природной обстановки, сочетающей в себе геологическое строение, рельеф, геодинамические факторы и сейсмичность [2]. Сервис позволяет проводить изучение и учет особенностей очаговой среды и физических процессов, происходящих в очаговых зонах землетрясений Монголо-Байкальского региона. Эти особенности связаны с геологическим строением, структурой, вещественным составом, напряженно-деформированным состоянием и скоростью деформации очаговой среды и обусловлены геодинамическими факторами и сейсмическим режимом [2].

Разработаны WPS-сервисы оценки влияния модели литосферы на динамические параметры колебаний грунта от землетрясений Монголо-Байкальского региона с функциями пространственного анализа. Они позволяют проводить мониторинг и комплексный анализ сейсмотектонической обстановки для принятия решений по предотвращению и минимизации рисков в результате опасных сейсмогеологических процессов.

### *3.4 Сервис публикации данных*

В рамках комплекса WPS-сервисов создан оригинальный сервис публикации данных и результатов анализа. Данный сервис используется для визуализации результатов анализа данных — отображения на карте. Сервис реализует публикацию растровых и векторных данных на основе стандарта WMS, что позволяет отображать картографическую информацию в рамках данной информационно-аналитической системы, и на других ресурсах и системах [15].

Реализованные сервисы помимо пользовательского имеют программный интерфейс (API) и позволяют автоматически создавать WMS сервисы, регистрируя настройки доступа и метаданные в каталоге карт. Сервисы отображения карт являются одним из основных компонентов, реализуемой технологии сбора данных, анализа и отображения.

На вход сервису подаются следующие параметры: название карты, ключевые слова, авторы, имя таблицы или файла, стили отображения. Сервис разработан на основе открытой программной системы Mapserver.

Для ускорения отображения данных за счет кэширования карт в виде тайлов применяется Mapcache [15]. Mapserver проводит генерацию растровых изображений, используя специальный файл настроек (MAP), в котором прописываются настройки доступа к данным, используемые проекции, стили отображения данных и т. д.

### **Заключение**

В результате работы был создан прототип информационно-аналитической системы (<http://geos.icc.ru/tablelist?action=showtable&id=3064>), позволяющий интегрировать данные о сейсмической активности, а также автоматизировать ряд работ для решения задач сейсмической безопасности, в частности, через построение карт энергий. ИАС имеет сервис-ориентированную архитектуру. При этом наряду с новыми, оригинальными сервисами были реализованы подходы, позволившие применить унаследованное программное обеспечение.

### **Литература**

1. Ключевский А. В., Демьянович В. М. Байкальская рифтовая зона: область повышенной энергии сейсмотектонических деформаций литосферы // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428, № 5. С. 663–666.
2. Баяраа Г. Сейсмичность Монголии и сопредельных территорий: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2010. 18 с.
3. Ordobaev V. Engineering methods to reduce seismic risk for buildings and structures // Civil security technology. 2013. Vol. 10, N. 4 (38). P. 62–66.
4. Granell C. etc. Conceptual Architecture and Service-Oriented Implementation of a Regional Geportal for Rice Monitoring // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2017. Vol. 6, I. 7. P. 191.
5. Формирование картографической информационной системы состояния окружающей среды Байкальского региона с использованием геопортальных технологий / Д. А. Батуев [и др.] // Вестник Северо-Восточного федерального ун-та им. М. К. Аммосова. Сер. Науки о Земле. 2019. № 4 (16). С. 82–89. DOI: 10.25587/SVFU.2020.16.49743.
6. Демьянович М. Г., Ключевский А. В., Демьянович В. М. Сейсмическое районирование территории Монголии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008. № 2. С. 74–77.
7. Демьянович В. М., Ключевский А. В. База данных активных в кайнозое разломов Монголо-Сибирского региона. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ). №2019620422. Дата регистрации: 18.03.2019. Номер и дата поступления заявки: 2019620243 27.02.2019.

8. Deaccelerator: A framework for extracting relational data from partially structured documents / J. Eberius [et al.] // Proceedings of the 22Nd ACM International Conference on Information & Knowledge Management. N. Y., 2013. P. 2477–2480.

9. Heuristic algorithm for recovering a physical structure of spreadsheet header / V. Paramonov [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer International Publishing, 2019. P. 140–149.

10. Инфраструктура информационных ресурсов и технологии создания информационно-аналитических систем территориального управления / И. В. Бычков [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 242 с.

11. Polyphon: An algorithm for phonetic string matching in russian language / V.V. Paramonov [et al.] // Communications in Computer and Information Science. Springer International Publishing, 2016. P. 568–579.

12. Компоненты среды WPS-сервисов обработки геоданных / И. В. Бычков [и др.] // Вестник Новосибирского гос. ун-та. Сер. Информационные технологии. 2014. Т. 12, № 3. С. 16–24.

13. Ключевский А. В., Демьянович В. М. Динамические параметры очагов сильных землетрясений Байкальской сейсмической зоны // Физика Земли. 2002. № 2. С. 55–66.

14. Ключевский А. В., Демьянович В. М. Динамика энергетической структуры сейсмичности юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы: бифуркация Андронова-Хопфа // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, № 3. С. 399–419. DOI: 10.15372/GiG2019020.

15. Федоров Р. К. Сервисы публикации картографических и реляционных данных // Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти чл.-кор. РАН А. Н. Антипова (Иркутск, 23–27 сентября 2019 г.). Иркутск, 2019. С. 992–994.

#### ANALYTICS SYSTEM FOR EVALUATING SEISMIC POTENTIAL OF THE CENOZOIC ACTIVE FAULTS IN THE MONGOL-BAIKAL REGION

*Vyacheslav V. Paramonov*

Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher,  
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS  
134 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia  
slv@icc.ru

*Andrey A. Mikhailov*

Cand. Sci. (Engineering), Researcher,  
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS  
134 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia  
mikhailov@icc.ru

*Gennady M. Ruzhnikov*

Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher,  
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS  
134 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia  
ruginov@icc.ru

*Roman K. Fyodorov*

Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher,  
Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS  
134 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia  
fedorov@icc.ru

*Anatoly V. Klyuchevsky*

Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Chief Researcher,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia  
akluhev@crust.irk.ru

*Vladimir M. Demyanovich*

Leading Engineer,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
128 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia  
vmdem@mail.ru

*Abstract.* The study of the seismic potential of territories is one of the important tasks having the significant influence on their socio-economic development. It is extremely relevant for the territories of the earthquake-prone Mongol-Baikal region. Evaluation of the seismic potential, including the construction of energy maps of seismotectonic deformation of the lithosphere, requires processing a large volume of spatial data over significant time intervals. The processing of such an array of data is labor intensive. Besides, in the case of using data obtained from various sources their pre-processing and cleaning is required to implement the possibility of sharing and integration. Thus, the article proposes to automate the study of seismic zoning and the construction of energy maps. The automation tool is an original service-oriented analytics system based on the geoportal principle. The developed services provide loading and analysis of heterogeneous spatiotemporal data.

*Keywords:* information system; geoportal; services; WPS; seismicity; earthquakes; thematic maps; faults; data cleaning; integration; spatial data.

#### *References*

1. Klyuchevsky A. V., Demyanovich V. M. Baikalskaya riftovaya zona: oblast povyshennoi energii seismotektonicheskikh deformatsii litosfery [Baikal Rift Zone: Area of Increased Energy of Seismotectonic Deformations of the Lithosphere]. *Doklady Earth Sciences*. 2009. Vol. 428, no. 5. Pp. 663–666.
2. Bayaraa G. *Seismichnost Mongolii i sopredelnykh territorii: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk* [Seismicity of Mongolia and Adjacent Territories. Abstract of Cand. Geol. and Mineral. Sci. Diss.]. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2010. 18 p.

3. Ordoabaev B. Engineering Methods to Reduce Seismic Risk for Buildings and Structures. *Civil Security Technology*. 2013. Vol. 10. No. 4 (38). Pp. 62–66.
4. Granell C., etc. Conceptual Architecture and Service-Oriented Implementation of a Regional Geoportal for Rice Monitoring. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2017. Vol. 6. Iss. 7. 191.
5. Batuev D. A., Batuev A. R., Beshentsev A. N., Korytnyi L. M., Fedorov R. K. Formirovanie kartograficheskoi informatsionnoi sistemy sostoyaniya okruzhayushchei sredey Baikal'skogo regiona s ispolzovaniem geoportalnykh tekhnologii [Formation of a Cartographic Information System for the Environment of the Baikal Region Using Geoportal Technologies]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta imeni M. K. Ammosova. Ser. Nauki o Zemle*. 2019. No. 4 (16). Pp. 82–89. DOI: 10.25587/SVFU.2020.16.49743.
6. Demyanovich M. G., Klyuchevsky A. V., Demyanovich V. M. Seismicheskoe raionirovanie territorii Mongolii [Seismic Zoning of the Territory of Mongolia]. *Seismostoitkoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzhenii*. 2008. No. 2. Pp. 74–77.
7. Demyanovich V. M., Klyuchevsky A. V. *Baza dannykh aktivnykh v kainozoe razlomov Mongolo-Sibirskogo regiona. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM* [Database of Active in the Cenozoic Faults of the Mongol-Siberian Region. Certificate of State Registration of a Computer Program]. Pat. Rus. Fed. № 2019620422. Publ. 18.03.2019.
8. Eberius J., Werner C., Thiele M., Braunschweig K., Dannecker L., Lehner W. Deexclerator: A Framework for Extracting Relational Data from Partially Structured Documents. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> ACM International Conference on Information & Knowledge Management*. New York, NY, USA: ACM, 2013. Pp. 2477–2480. <https://doi.org/10.1145/2505515.2508210>
9. Paramonov V., Shigarov A., Vetrova V., Mikhailov A. Heuristic Algorithm for Recovering a Physical Structure of Spreadsheet Header. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing, 2019. Pp. 140–149. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30440-914>
10. Bychkov I. V., Ruzhnikov G. M., Khmel'nov A. E. et al. *Infrastruktura informatsionnykh resursov i tekhnologii sozdaniya informatsionno-analiticheskikh sistem territorialnogo upravleniya* [Infrastructure of Information Resources and Technology for Creating Analytics Systems of Territorial Administration]. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2016. 242 p.
11. Paramonov V. V., Shigarov A. O., Ruzhnikov G. M., Belykh P. V. Polyphon: An algorithm for Phonetic String Matching in Russian Language. *Communications in Computer and Information Science*. Springer International Publishing, 2016. Pp. 568–579. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46254-7\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46254-7_46)
12. Bychkov I. V., Ruzhnikov G. M., Fyodorov R. K., Shumilov A. S. Komponenty sredey WPS-servisov obrabotki geodannykh [Components of the Environment of WPS-services for Processing Geodata]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Informatsionnye Tekhnologii*. 2014. Vol. 12. No. 3. Pp. 16–24.
13. Klyuchevsky A. V., Demyanovich V. M. Dinamicheskie parametry ochagov silnykh zemletryasenii Baikalskoi seismicheskoi zony [Dynamic Parameters of Sources of Strong Earthquakes in the Baikal Seismic Zone]. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. 2002. No. 2. Pp. 55–66.
14. Klyuchevsky A. V., Demyanovich V. M. Dinamika energeticheskoi struktury seismichnosti yugo-zapadnogo flanga Baikalskoi riftovoi sistemy: bifurkatsiya Andronova-Khopfa [Dynamics of the Energy Structure of Seismicity in the Southwestern

*В. В. Парамонов, А. А. Михайлов, Г. М. Ружников, Р. К. Фёдоров, А. В. Ключевский, В. М. Демьянович. Информационно-аналитическая система оценки ...*

---

Flank of the Baikal Rift System: Andronov-Hopf Bifurcation]. *Russian Geology and Geophysics*. 2019. Vol. 60. No. 3. Pp. 399–419. DOI: 10.15372/GiG2019020

15. Fyodorov R. K. Servisy publikatsii kartograficheskikh i relyatsionnykh dannyykh [Services for Publishing Cartographic and Relational Data]. *Materialy mezhdunar. nauchno-prakt. konf., posvyashchennoi pamyati chl.-korr. RAN A. N. Antipova — Proc. Int. sci. and pract. conf., dedicated to the memory of RAS Corr. Mem. A. N. Antipov* (September 23–27, 2019). Irkutsk, 2019. Pp. 992–994.

Статья поступила в редакцию 25.11.2020; одобрена после рецензирования 07.12.2020; принята к публикации 11.12.2020.