

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СЕЙСМОЛОГИИ

Е. С. Подольская^{1,2,*} , А. К. Некрасова¹ , Т. В. Прохорова¹  и О. В. Селюцкая¹

¹Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (НИУ ВШЭ), Москва, Россия

* **Контакт:** Екатерина Сергеевна Подольская, ekaterina.podolskaia@gmail.com

Технологии веб-ГИС активно используются для представления результатов научных геопро-ектов широкого круга тематических направлений. Мониторинг тектонических процессов и сейсмической активности, построение и актуализация карт сейсмической опасности и сей-смического риска как в глобальном, так и в региональных масштабах требуют своевременного отображения, реализуемого в веб-ГИС. Показаны отличия веб-ГИС по сейсмологии от веб-ГИС для других дисциплин в науках о Земле, состоящие в типе используемых данных, важно-сти аспекта времени, пространственной локализации, потребности в среде моделирования и прогнозирования, пользовательском интерфейсе и целевой аудитории. Дана характеристика разработкам и современному состоянию веб-ГИС по сейсмологии в научных организациях России. Выполнен анализ технологий веб-ГИС в российской сейсмологии: систематизирова-ны актуальные на май–июнь 2025 г. проекты, проведено их сопоставление по используемой технологии, функционалу, содержанию, возможности передачи научного опыта и данных пользователями. Представлены веб-ГИС проекты Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики (ИТПЗ РАН), развернутые при помощи сервера QGIS в IT-инфраструктуре Института. Интерактивные геоинформационные проекты Института содержат данные по трем темам научных исследований: «Глобальный тест по прогнозу в реальном времени сильнейших землетрясений мира», «Линеаменты и места возможного возникновения сильных землетрясений» и база данных «Механизмы очагов землетрясений Восточной Аркти-ки». Первый показывает результаты среднесрочного прогноза по алгоритму M8 в глобальном масштабе, второй – результаты распознавания степени сейсмической опасности пересечения линеаментов различного ранга, полученных в результате авторского морфоструктурного районирования для ряда регионов мира (Итальянский регион, Центральный Французский массив, Пиренейский полуостров, а также Черноморско-Каспийский регион и Южная Сибирь). База данных по механизмам очагов землетрясений включает в себя обработанные данные по землетрясениям, произошедшим в 1927–2022 гг. в Восточной Арктике. Графический анализ содержания российских научных сейсмологических исследований с использованием веб-ГИС представлен облаком слов названий статей. Как результаты обзора отмечены тренды сейсмо-логических веб-ГИС как сред интеграции и аналитики: распространение клиент-серверной архитектуры с микросервисами, локальных серверных решений, использование Больших данных и цифровых двойников. Представлен пример совместного использования и развития веб-ГИС в научной академической организации и вузе.

Ключевые слова: веб-ГИС, клиент-серверная архитектура, микросервисы, Open Source, сей-смология, землетрясения, прогноз, линеаменты.

Цитирование: Подольская Е. С., Некрасова А. К., Прохорова Т. В., Селюцкая О. В. Отечественный научный опыт использования веб-геоинформационных систем в сейсмологии // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES5026. — DOI: 10.2205/2025es001035 — EDN: KXWTNY

<https://elibrary.ru/KXWTNY>

Получено: 7 апреля 2023 г.

Принято: 10 июня 2025 г.

Опубликовано: 16 декабря 2025 г.



© 2025. Коллектив авторов.

Введение

Объединение возможностей сети Интернет и геоинформационных систем позволило говорить о появлении и развитии веб-ГИС [Мандругин и Архипенко, 2011; Потанин, 2014; *Advances*. . ., 2011; Alesheikh et al., 2002; Ananda et al., 2016; Gomez, 2007; Hadi, 2023; Han, 2019; Zheng et al., 2000]. Широко используемые в самых разных отраслях знаний веб-технологии позволяют организовать коммуникацию пространственных данных и запросов между исследователями и тематическими пользователями.

Девять эпох веб-картографии определяют основу современной веб-картографии [Veenendaal et al., 2017]. К ним относятся не только технологические достижения информатики и современные возможности хранения данных, но и потребности пользователей веб-ГИС. Пользователям необходима качественная информация, соответствующая их потребностям и адаптированная к их уровню знаний и навыков. Доступ к веб-ГИС возможен через пользовательский и административный интерфейсы.

Современная геоинформатика отмечает схожесть терминов веб-ГИС и веб-картографии. Под веб-ГИС понимают геоинформационную систему, которая интегрирована в сеть Интернет [Вагизов, 2020]. Также встречаются, но менее распространены понятия Internet GIS, GeoWeb (или Geospatial Web) и Distributed GIS [Veenendaal et al., 2017]. В технологическом понимании веб-ГИС является системой для хранения пространственных данных и управления ими через веб или Application Programming Interface (API). Веб-ГИС обладает такой отличительной от электронных карт и сетевых ГИС особенностью, как предоставление пользователю инструментов анализа и получения тематических продуктов [Вагизов, 2020]. Как справедливо замечено в обзоре 2014 г. [Кошкарев и Ротанова, 2014], задача объединения ресурсов с пространственными данными и результатами научных исследований является общей для разных частей российской науки и образования.

Отличия веб-ГИС по сейсмологии от веб-ГИС для других дисциплин в науках о Земле определяются следующими особенностями:

- тип данных: веб-ГИС по сейсмологии обрабатывает специфические данные, такие как сейсмические события, данные о землетрясениях;
- время: сейсмология требует обработки данных в реальном/почти реальном времени для мониторинга землетрясений и предупреждения о них. Это требует высокой скорости обработки и обновления информации;
- пространственная локализация события: сейсмические события имеют локальную и региональную пространственную привязку;
- моделирование и прогнозирование: веб-ГИС по сейсмологии могут включать модели для прогнозирования землетрясений;
- пользовательский интерфейс, представление в 2D и 3D: необходимо наглядное и детальное отображение информации о землетрясениях, получаемое максимально оперативно;
- целевая аудитория: пользователями веб-ГИС по сейсмологии являются не только ученые, но и службы экстренного реагирования, правительственные организации и широкая публика.

Предлагаемая статья обобщает отечественный опыт создания и использования веб-ГИС для научных проектов по сейсмологии, дает характеристику веб-ГИС как технологии представления результатов проектов, исследования сейсмологических данных и изучения методов решения задач сейсмологии, анализирует используемые в российской сейсмологии технологии веб-ГИС, дает характеристику современному состоянию и перспективам их развития в научных организациях России.

Веб-ГИС как технология представления результатов проектов в науках о Земле

Зарубежный опыт развития современных веб-ГИС в области наук о Земле представлен значительным количеством работ. Интерес представляют две обзорные статьи 2024 года [Daud et al., 2024; Vinueza-Martinez et al., 2024]. Анализ научных статей по теме веб-ГИС управления природными рисками (Natural Hazard Management), сре-

ди которых указаны и землетрясения, сделанный в работах [Daud et al., 2024; Wu et al., 2022] указывает на использование экспертных систем, а также возможности пространственного анализа и моделирования, которые предоставляются пользователям. Библиометрический анализ статьи [Vinueza-Martinez et al., 2024] отмечает нехватку работ в упрощении принятия пространственных решений, разработке эффективных инструментов анализа в режиме реального времени с использованием «облаков». Возможности и ограничения интеграции данных остаются критическим вызовом веб-ГИС в науках о Земле.

Одним из первых проектов в области веб-ГИС в нашей стране стал проект «Цифровая Земля», целью которого было объединение пространственных научных данных и создание инфраструктуры пространственных данных (ИПД), среди примеров публикаций проекта отметим работу [Афанасьев и др., 2010]. Из актуальных и доступных российским исследователям веб-ГИС проектов в области наук о Земле необходимо отметить следующие: Goddard Earth Sciences Data and Information Services, Center Interactive Online Visualization and Data Analysis Infrastructure – проект NASA GIOVANNI (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>), геопортал OneGeology от British Geological Survey (OneGeology Portal, <http://portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal/>), база данных землетрясений USGS Earthquakes, доступная для загрузки (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>). Веб-ГИС по наукам о Земле являются темой докладов конференций. Так, серия работ была представлена на VI Всероссийской конференции «Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022». Так, в работе [Наумова и др., 2022] рассмотрены этапы развития информационной системы для создания, развития и поддержки научных исследований в геологии, [Еременко и др., 2022a], представленной в виде научного портала (<http://geologyscience.ru>). Эта система разрабатывается на базе Государственного геологического музея им. В. И. Вернадского РАН с 2018 года. Инфраструктуре пространственных данных геопортала академического института (ИГМ СО РАН) посвящена статья [Задорожный и др., 2022], пример веб-ориентированной ГИС «ACTIVETECTONICS» как банка данных информации представлен в работе [Гладков и Лунина, 2022], в работах [Еременко и др., 2022a; Еременко и др., 2022b] отражено состояние динамически развивающегося научно-популярного портала и цифровой системы анализа данных соответственно.

На сайте Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (<https://vsegei.ru/ru/gisatlas/web-gisatlas/>) представлена веб-ГИС «Цифровой двойник недр России». Ее интерфейс объединяет геолого-картографические информационные системы учреждений Роснедра, открытые межотраслевые информационные ресурсы и международные проекты в формате веб-сервисов. В доступе пользователей находятся векторные карты геологического содержания территории России и ее континентального шельфа. Инструменты веб-ГИС атласа позволяют в интерактивном режиме выполнять такие запросы, как поиск, выбор, сопоставление данных, а также загрузка результатов запросов.

Отечественный опыт разработки веб-ГИС в науках о Земле во многом основывается на зарубежных технологиях коммерческого и «открытого» (Open Source) программного обеспечения (ПО). Использование коммерческого ПО (например, ArcGIS от компании ESRI), для российской ГИС-практики в последнее время значительно ограничено. В этой связи программное обеспечение Open Source выступает как альтернатива, обеспечивающая технические возможности поддержки и продолжения реализации научных проектов. В технологии ПО с открытым кодом есть как отдельные инструменты и модули (плагины), так и готовые решения для создания веб-картографических приложений. Геосервисы, созданные на основе стандартов Консорциума Open Geospatial Consortium (OGC) и называемые Open Source с лицензией GPL (GNU General Public License), делают доступ к пространственным данным научных проектов шире вместе с увеличением возможностей для пользователей путем интеграции веб-технологий и ГИС [Якубайлик, 2018]. Примером использования стандартов OGC является ГИС «Россия».

Функциональность открытых ГИС является предметом исследования ряда работ, среди них [Степанов, 2013].

Для научного сообщества лидером «открытого» ПО в геоинформатике по количеству пользователей и разнообразию решаемых пространственных задач продолжает оставаться QGIS, его актуальные версии для настольного и серверного использования семейства 3.x (<https://www.qgis.org/>) совместно с библиотекой плагинов (<https://plugins.qgis.org/>). Опыт комплексного сравнения нескольких плагинов для веб-публикаций освещен в работе [Duarte et al., 2021], представляющей анализ QGIS2Web, QGIS Cloud, GIS Cloud Publisher и Mappia Publisher с точки зрения их производительности, вариантов использования и инструментария.

ГИС- и веб-ГИС технологии стали обычной частью научных исследований в области сейсмологии [Тубанов и Предеин, 2015; Pashova et al., 2015; Zheng et al., 2000], представляют собой системы доступа к данным и набор инструментов для анализа рисков, построения сценариев возможного развития сейсмических событий, которые могут проводиться интересующимися пользователями. Такое сочетание данных и возможностей анализа позволяет называть системы по сейсмологии экспертными (expert system) или системами поддержки принятия решений (decision support system – в англоязычной литературе). Веб-ГИС системы, применяемые в сейсмологии, разрабатываются и используются в разных странах, например, во Вьетнаме [Phuong et al., 2018] и Греции [Rovithis et al., 2022].

Разработки и современное состояние веб-ГИС по сейсмологии в научных организациях России

История развития веб-ГИС-приложений в российских научных исследованиях по сейсмологии и оценке сейсмической опасности за последние десятилетия представляет закономерные варианты перехода от использования проприетарного ПО к Open Source и российским разработкам. Первоначально проекты часто основывались на использовании коммерческого программного обеспечения, такого как ArcGIS ESRI.

Известны исторические примеры разработок, не имеющие доступа в настоящее время.

- Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (ИВМиМГ СО РАН), развивающий научно-исследовательскую систему (НИС) «Активная сейсмология». В системе используются пространственные данные, в особенности, уникальный архив данных полевых экспериментов, начатых в 1995 году [Брагинская и Григорюк, 2012; Брагинская и др., 2019, 2021, 2023; Григорюк и Брагинская, 2012]. Целью создания системы было расширение круга специалистов, которые используют экспериментальные данные обработки и интерпретации сейсмических данных и математического моделирования. Система поддерживает интерактивный пользовательский и административный виды ввода данных.
- ГИС мониторинга и анализа полей сейсмической активности [Гитис и др., 2015; Gitis and Derendyaev, 2019, 2023; Gitis and Derendyaev, 2018; Gitis et al., 2015], состоит из экспресс-анализа сейсмичности с помощью ГИС SeismoMap («тонкий» клиент) и детального анализа этого же сейсмического процесса в ГИС GeoТайм 3 («толстый» клиент). Обе сетевые ГИС были размещены на сайтах Института проблем передачи информации РАН им. А. А. Харкевича (ИПИ РАН) и КФ ФИЦ ЕГС РАН.
- Научно-образовательный геопортал Южного Федерального Университета с наборами данных (ГИС ЮФО СЕЙСМИК), разрабатывался совместно с Инженерно-технологическим центром «СканЭкс» и описан в работе [Леткова, 2012]. Представляет собой клиент-серверную систему для работы с сейсмологическими данными, необходимыми для обеспечения безопасного строительства в сейсмичных регионах Южного федерального округа России. Гибрид коммерческого ПО (ArcGIS ESRI) и Open Source (PostgreSQL) состоит из пространственной базы данных, собственно ГИС локальной и сетевой версий, а также клиентского приложения. Первые два

элемента архитектуры (база пространственных данных и ГИС) представляют собой базовые для веб-системы, но самостоятельные ресурсы.

- Использование сервиса Google Maps [Григорюк и Брагинская, 2008; Ковалевский и др., 2013].

Отметим следующие значительные по объему данных и сложности структуры ГИС-проекты, непосредственно связанные с данными о сейсмических событиях, анализом таких данных и представлением результатов:

- ГИС-ориентированные базы данных, разработанные в Геофизическом центре Российской академии наук (ГЦ РАН) и описанные в ряде статей [Гвишиани и др., 2021; Отчет о деятельности Геофизического центра РАН за 2022 год. Результаты научных исследований и международных проектов, 2023; Соловьев и др., 2018a,b]. Базы данных являются частью многодисциплинарной ГИС аналитики (ГИС «Россия», <http://gis.gcras.ru/index.html>), которая необходима для поддержки исследований в области наук о Земле (<http://gis.gcras.ru/index.html>; <http://gis.gcras.ru/datadesc.html>). С помощью инструментов анализа и интерактивных запросов они дают возможность пользователю самостоятельно выполнять исследования по оценке сейсмической опасности в интересующих регионах по различным критериям на основе нескольких авторских методов. В ходе реализации проекта Российского научного фонда (РНФ) по оценке сейсмической опасности в регионах России в 2015–2017 гг. было создано картографическое приложение по оценке сейсмической опасности, опубликованное в виде самостоятельного геопортала (<http://seismgis.gcras.ru/>) и описанное в статье [Соловьев и др., 2018b]. В 2022 г. база геоданных была обновлена новыми наборами слоев, обновлен и расширен пользовательский интерфейс геопортала «Арктика» (<https://arctic-gis.gcras.ru/>) и добавлены инструменты взаимодействия с пространственными данными [Отчет... , 2023];
- информационные ресурсы, представленные на сайте Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) (<https://glob.emsd.ru/>), позволяющие в интерактивном режиме ознакомиться с данными по сейсмичности и вулканической активности Камчатского полуострова. В серии статей [Чебров и др., 2024; Чеброва и др., 2020; Чемарёв и др., 2021] представлена структура КФ ФИЦ ЕГС РАН, состоящая из баз данных регионального каталога землетрясений, сведений о механизме очагов, макросейсмического каталога, а также бюллетеня КФ ФИЦ ЕГС РАН и других материалов.

Использование Open Source-компонент в настоящее время позволяет создать ГИС-проект с настольной, веб- и мобильной частями (<https://www.geographyrealm.com/wp-content/uploads/2021/07/webgis-roadmap-tek-kshetri-emmanuel-jolaiya.png>). Инструментарий Open Source ГИС обладает широкой применимостью для сбора, хранения, представления и анализа как отдельных геоданных, так и результатов геопроектов. Разработка, развитие и поддержка веб-ГИС в сейсмологии вносят большой вклад в распространение научных данных, расширение открытого доступа к научной информации и предоставление дополнительных возможностей многократного использования результатов исследований. Это способствует укреплению сотрудничества и обмену информацией между специалистами, основанному на принципах открытой науки, и способствует реагирования на глобальные вызовы и чрезвычайные ситуации. Клиент-серверная архитектура является основной технологий проектов, где важно администрирование и контроль за доступом к данным.

Примером является геопортал Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН на основе ПО Open Source, служащий цели единого доступа к данным и сервисам по вулканологии и сейсмологии, разработанный в 2010 году и являющийся действующим в настоящее время (<http://geoportal.kscnet.ru/data.php>). Геопортал используется как источник данных и метаданных для исследований, содержит поряд-

ка десятка геосервисов [Мелкий и др., 2025], его история представлена в ряде работ [Казанцев и др., 2008; Пономарева и др., 2008; Романова, 2010, 2015]. Ранним примером веб-ГИС-приложения Института является «Сравнительный анализ материалов геомагнитных исследований различных типов проявлений позднекайнозойского подводного вулканизма в Тихом океане» [Рашидов и др., 2010]. Обзорная статичная карта расположения объектов исследований выполненных в этом регионе научных проектов опубликована по ссылке (http://www.kscnet.ru/ivs/grant/grant_04/).

Помимо Open Source, используются такие отечественные проприетарные программные продукты, как NextGIS (<https://nextgis.ru/>) разработки ООО «НекстГИС». Опубликованные в журналах разных тематик статьи [Гвишиани и др., 2023; Долгая и Калачева, 2024] показывают применение NextGIS для задач сейсмологии и оценки сейсмической опасности. Веб-ГИС [Гвишиани и др., 2023] создана в рамках проекта Российского научного фонда по системному анализу динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействию на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта. Как правило, созданные проекты описаны в научных статьях.

Примеры действующих на май 2025 года российских научных веб-ГИС проектов по сейсмологии, определенные авторами как ИПД, цифровые платформы (двойники) и информационные системы, показаны в табл. 1.

Анализ технологий веб-ГИС в российской сейсмологии

Актуальной на 2025 год технологической основой разработки веб-ГИС в российской сейсмологии является клиент-серверная архитектура с элементами микросервисов. Для анализа динамики экстремальных геомагнитных возмущений по данным наблюдений наземных станций в веб-ориентированном сервисе и цифровом двойнике (<https://geomagnetic.ru/>) используются разработки Open Source [Воробьев и др., 2020]. Развитие системы состоит в расширении набора доступных данных и моделей прогноза, а также технической интеграции с международными источниками геомагнитных данных проекта SuperMAG (<https://supermag.jhuapl.edu/>). Отметим совместную разработку Дальневосточного геологического института ДВО РАН и ООО «Геофизические технологии» первого в России сейсмологического сервиса онлайн-мониторинга землетрясений на территории нашей страны с возможностью уведомления пользователей (<https://eqalert.ru/>), поддерживающего Телеграм-бот, веб-сайт и мобильные приложения [Коновалов и др., 2024; Kononov et al., 2022], что делает ресурс удобным для пользования населению, экстренным службам и исследователям.

Помимо клиент-серверной архитектуры, в науках о Земле (не только в сейсмологии) используются «облачные» решения на основе удаленных серверов, расположенных в разных регионах мира, расширяющие возможности обработки пространственных данных и публикации результатов научных проектов. Среди самых используемых такие платформы, как Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), включающая каталог спутниковых снимков и геоданных с инструментами анализа, Carto (<https://carto.com/>) и MapBox (<https://www.mapbox.com/>), обладающие возможностями создания веб-ГИС приложений.

Для содержательного и технического понимания современного состояния российских научных веб-ГИС проектов по сейсмологии выполнено сопоставление ресурсов по технологии, функционалу, содержанию, возможности передачи научного опыта и данных (взаимодействие с пользователями), результаты группировки Open Source (клиент-серверная архитектура), Open Source (клиент-серверная архитектура с микросервисами) и публикации на основе продуктов NextGIS показаны в табл. 2.

Приведенные в статье примеры показывают использование веб-ГИС не только для представления результатов проектов (мониторинг, прогноз, районирование и оценка сейсмической опасности) специалистам и широкой публике, но и для исследования сейсмологических данных, изучения методов решения задач сейсмологии, полевых наблюдений, работ по инженерной сейсмологии.

Таблица 1. Российские научные веб-ГИС проекты по сейсмологии, актуальные на май 2025 года

Название проекта и организация	Территориальный охват	Публикация, Интернет-ссылка
ИПД Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Научный тематический Геопортал (ИВиС ДВО РАН)	Тихий океан, Курильские острова, полуостров Камчатка	[Романова, 2015] [Мелжий и др., 2025] http://geoportal.kscnet.ru геосервисы http://geoportal.kscnet.ru/maps.php ; пример реализации научного геопортала – ГОСТ Р 58570-2019 «Инфраструктура пространственных данных. Общие требования»
Цифровая платформа (цифровой двойник) «Геофизический мониторинг опасных геологических процессов». Восточно-Сибирский геопортал «ActiveTectonics». Мониторинг сейсмического и микросейсмического режима. Пилотная система мониторинга опасных геологических процессов на тестовых участках (Лаборатория тектонофизики Института земной коры СО РАН, Байкальский филиал ФГБУН ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Центр комплексного мониторинга опасных геологических процессов ИЗК СО РАН)	Байкальская природная территория	[Брагинская и др., 2019]; [Брагинская и др., 2023]; https://izk.sssc.ru . При разработке ЦП был использован опыт работы над созданием НИС «Активная сейсмология». http://activetectonics.ru/ActTecServ.html ; https://seis-bykl.ru/ ; https://cm.crust.irk.ru/
Единая информационная система сейсмологических данных Камчатского филиала ФГБУН Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»	полуостров Камчатка	[Чебров и др., 2024]. Интерактивная карта землетрясений – https://sdis.emsd.ru/map/
Карты и базы данных. Интерактивные геоинформационные проекты (ИТПЗ РАН)	мир, регионы России	[Podolskaia et al., 2022] https://www.itpz-ran.ru/ru/resultaty/maps-and-databases/
«Интерактивная ГИС многокритериальной оценки сейсмической опасности» (Геофизический центр РАН)	мир	https://seismgis.gcras.ru/?panel=layers
ГИС (цифровой двойник) для анализа динамики экстремальных геомагнитных возмущений по данным наблюдений наземных станций (Уфимский государственный авиационный технический университет, Геофизический центр РАН)	мир, регионы России	[Воробьев и др., 2020] https://geomagnetic.ru/
Сервис EQAlert для онлайн-мониторинга землетрясений на территории России и сопредельных государств и уведомления пользователей (ДВО РАН и ООО «Геофизические технологии»)	регионы России	[Konovalov et al., 2022]; [Коновалов и др., 2024] https://eqalert.ru/
ГИС «Термальные поля и источники Курильских островов» (ИВиС ДВО РАН)	Курильские острова	[Долгая и Калачева, 2024] https://kamkursprings.nextgis.com

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН (ИТПЗ РАН) является академической научной организацией России, ведущей исследования по теории и методологии прогноза критических явлений в нелинейных хаотических системах, теории прогноза землетрясений, разработке глобальных и региональных моделей структуры и динамики Земли (<https://www.itpz-ran.ru/ru/dejatelnost/basic-direction/>).

Результаты пространственных проектов ИТПЗ РАН публикуются в веб-ГИС, поддерживаемой коллективом специалистов Института с 2020 года. Подготовленные при помощи настольного приложения QGIS и опубликованные проекты доступны для просмотра тематическим пользователям в разделе интерактивных ГИС (<https://www.itpz-ran.ru/ru/resultaty/maps-and-databases/>). При выборе серверной технологии было принято решение использовать локальную (on-premises) серверную основу Open Source QGIS. На сервере, развернутом в IT-инфраструктуре Института, в настоящее время хранятся данные по трем темам научных исследований: «Глобальный тест по прогнозу в реальном времени сильнейших землетрясений мира», «Линементы и места возможного возникновения сильных землетрясений», а также база данных «Механизмы очагов землетрясений Восточной Арктики».

Таблица 2. Сопоставление российских научных веб-ГИС проектов по сейсмологии (доступные источники на май 2025 г.)

Название проекта	Технология	Функционал	Содержание – слои	Взаимодействие с пользователя- ми	Загрузка/ выгрузка данных	Представление данных
Open Source (клиент-серверная архитектура)						
ИПД Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Научный тематический Геопортал ИВиС ДВО РАН	CSS, HTML5	Масштабирование карты, измерения по карте	Тематические слои, OSM, спутниковая карта BING	Запросы по текущей области карты и атрибутам	нет	кнопка включения 3D-просмотра
Цифровая платформа «Геофизический мониторинг опасных геологических процессов». Восточно-Сибирский геопортал «ActiveTectonics». Мониторинг сейсмического и микросейсмического режима. Пилотная система мониторинга опасных геологических процессов на тестовых участках	Folium, OpenLayers, Leaflet	Масштабирование карты	Тематические слои, OSM, спутниковая карта, панорамная съемка	Поиск объектов по названию	есть (выгрузка shp, kml)	2D
Единая информационная система сейсмологических данных Камчатского филиала ФГБУН Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»	OpenLayers	Масштабирование карты	Тематические слои, карты- подложки	Информация по атрибутам объекта, поиск в каталоге и статистика	есть (csv)	2D
Карты и базы данных. Интерактивные геоинформационные проекты ИТПЗ РАН	QGIS Desktop, QGIS Server	Масштабирование карты, измерения по карте	Тематические слои, карты- подложки	Инфо по атрибутам объекта, экспорт карты, отправка ссылки по электронной почте	есть (выгрузка png, jpeg, dxf)	2D
«Интерактивная ГИС многокритериальной оценки сейсмической опасности» (Геофизический центр РАН)	HTML, JavaScript	Масштабирование карты, измерения по карте, рисование на карте, геообработка	Тематические слои, OSM, спутниковые карты	Инструкция по использованию сервиса	есть (выгрузка png, pdf)	2D
Open Source и дополнительная разработка (клиент-серверная архитектура с микросервисами)						
ГИС для анализа динамики экстремальных геомагнитных возмущений по данным наблюдений наземных станций	Leaflet, Cesium, Turf, Django, Pandas	Масштабирование карты, геопростран- ственный анализ, анализ временных серий	Тематические слои, Ян- декс.Карты, Google Maps	Запросы по текущей области карты и атрибутам	нет	2D/3D
Сервис EQAlert для онлайн-мониторинга землетрясений на территории России и сопредельных государств и уведомления пользователей	Leaflet, CSS	Масштабирование карты, аналитика, экспресс оценка повреждений зданий и сооружений	Тематические слои, Ян- декс.Карты, OSM	Telegram-бот, мобильные приложения, форма обратной связи на сайте	нет	2D
NextGIS						
ГИС «Термальные поля и источники Курильских островов» (ИВиС ДВО РАН)	NextGIS Web	Масштабирование карты, закладки, «шторка» для сопоставления карт	Тематические слои, OSM, спутниковые карты	Поиск по словам, иденти- фикация объектов, ссылка на карту	есть (выгрузка png, jpeg, dxf)	2D

«Глобальный тест...» представляет результаты среднесрочного прогноза сильнейших землетрясений мира алгоритмом «M8» [Ismail-Zadeh and Kossobokov, 2020; Kossobokov and Shchepalina, 2020] в глобальном масштабе. В открытом доступе находятся следующие данные по прогнозу: для 1985–1999 гг. – jpeg-файлы (<https://www.itpz-ran.ru/en/predictions/global-predictions/>), для 2000–2014 гг. – веб-ГИС (https://www.itpz-ran.ru/en/results/maps-and-databases/global-test-for-real-time-prediction-of-the-worlds-strongest-earthquakes/earthquakes-data-m-8_0-7_5-2000-2014/). Доступ к данным с 2015 г. (https://www.itpz-ran.ru/en/results/maps-and-databases/global-test-for-real-time-prediction-of-the-worlds-strongest-earthquakes/earthquakes-data-m-8_0-7_5-2015/) по настоящее время возможен только по паролю и предоставляется по запросу. Интерфейс веб-ГИС проектов состоит из списка доступных для просмотра и анализа векторных и растровых слоев прогноза, который выполняется дважды в год и состоит в формировании файлов сценариев по алгоритму MSc (сценарий Мендосино – Mendocino) и предупреждений (Alerts). В списке также есть слои общегеографического содержания (градусная сетка линий меридианов и параллелей, береговая линия, карта-подложка), основное изображение карты, инструменты измерений [Podolskaia et al., 2022].

Проект «Линеаменты...» – результаты распознавания степени сейсмической опасности пересечения линеаментов различного ранга, полученных в результате авторского морфоструктурного районирования (выполняемого под руководством А. И. Горшкова) для ряда регионов мира [Podolskaia et al., 2022]. К июлю 2025 года опубликованы наборы данных для пяти многолетних исследований по распознаванию мест возможного возникновения сильных землетрясений (Итальянский регион, Центральный массив во Франции, Пиренейский полуостров, а также Черноморско-Каспийский регион и Южная Сибирь). По всем указанным регионам в 2023–2024 гг. ИТПЗ РАН были получены свидетельства Роспатента о регистрации баз геоданных как объектов интеллектуальной собственности [Подольская и др., 2022, 2023a,b, 2024; Podolskaia et al., 2022]. Интерфейс проектов состоит из списка доступных для просмотра и анализа векторных слоев линеаментов (линии) и сейсмогенных узлов (точки) региона, а также слоев общегеографического содержания (градусная сетка линий меридианов и параллелей, береговая линия, карта-подложка), основного изображения карты и инструментов измерений. Пример страницы проекта Итальянского региона доступен по ссылке (<https://www.itpz-ran.ru/ru/resultaty/maps-and-databases/lineaments-italyregion/>) и приведен рис. 1.

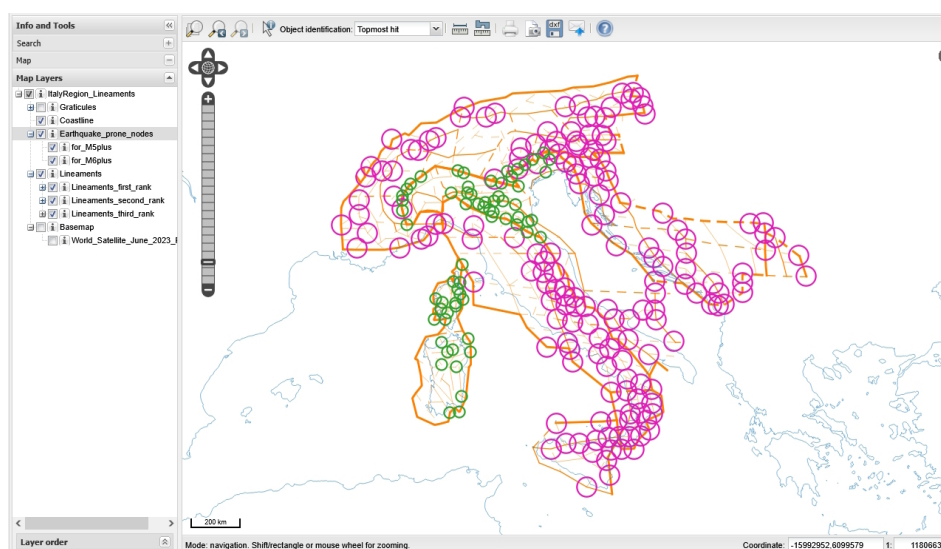


Рис. 1. Вид интерфейса веб-ГИС проекта «Линеаменты и места возможного возникновения сильных землетрясений» (по состоянию на май 2025 г.).

На странице результатов Института также опубликована база данных «Механизмы очагов землетрясений Восточной Арктики» (свидетельство о гос. регистрации № 122041300106-8 от 19.02.2024 – <https://www.itpz-ran.ru/ru/resultaty/maps-and-databases/east-arctic/>) включает в себя картографический интерфейс и таблицу 595 решений фокальных механизмов для 273 землетрясений магнитудой $M = 3,5–7,6$, произошедших в 1927–2022 гг. на территории, ограниченной $60^{\circ}–90^{\circ}$ с. ш. и $90^{\circ}–190^{\circ}$ в. д., собранных по данным сейсмологических агентств и литературных источников (рис. 2). Поиск событий выполняется по территории, дате и времени с возможностью получения ранжирования по магнитуде и глубине. Для большинства событий приведены сведения о глубине очага, скалярном сейсмическом моменте и моментной магнитуде. Помимо самих очаговых параметров, в базе есть информация о качестве предлагаемых решений.



Рис. 2. Вид интерфейса базы данных «Механизмы очагов землетрясений Восточной Арктики» (по состоянию на июнь 2025 г.).

Для графического анализа содержания российских научных сейсмологических исследований с использованием веб-ГИС было построено облако слов названий статей, представляющее собой изображение, составленное на основе текста; размер и цвет шрифта изображения определяется частотой появления слова в тексте (названия публикаций). Текстовые графические облака используются для обзоров и анализа в разных тематических областях ввиду своей наглядности, простоты использования и возможности выделения акцентов. Облако слов построено при помощи одного из доступных Интернет-сервисов (<https://wordscloud.pythonanywhere.com/>). Слова «ГИС», «система», «данные» являются самыми встречающимися в названиях рассмотренных публикаций, что отражает общий тренд современных ГИС-проектов в науках о Земле. Визуализация показана на рис. 3.

Заключение

Предлагаемая статья обобщает отечественный опыт создания и использования веб-ГИС для научных проектов по сейсмологии, дает характеристику веб-ГИС как технологии представления результатов проектов, исследования сейсмологических данных и изучения методов решения задач сейсмологии, анализирует используемые в российской сейсмологии технологии веб-ГИС, дает характеристику современному состоянию и перспективам их развития в научных организациях России.

В предлагаемой статье представлен анализ отечественного научного опыта использования веб-ГИС в сейсмологии для тематических пользователей (специалистов-

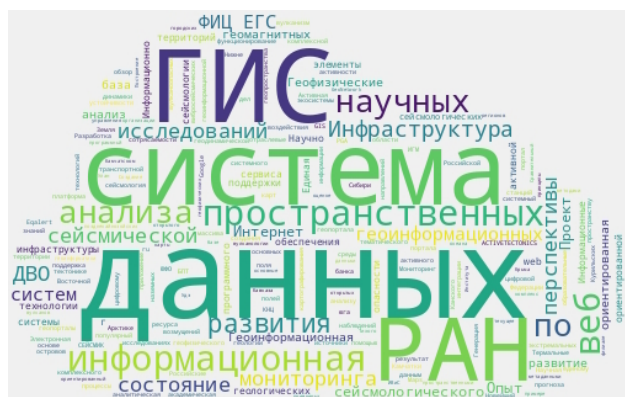


Рис. 3. Ключевые слова названий русскоязычных публикаций по сейсмологическим веб-ГИС в российских научных организациях.

инженеров, ученых), населения и специальных служб. Научная новизна анализа современного состояния российских веб-ГИС в сейсмологии состоит в обосновании понимания веб-ГИС как интегрирующего комплексного инструмента, учитывающего тип данных, оперативность получения данных, расположение и масштаб события. Помимо картографического представления данных такие системы содержат возможности анализа и построения моделей для прогнозирования землетрясений. Практическим результатом статьи является описание опыта технологического перехода от использования иностранных программных продуктов к использованию ПО с открытым кодом и российских разработок (семейство программ NextGIS), что показано в примерах Таблиц 1 и 2.

Современная веб-ГИС, посвященная исследованиям в области сейсмологии российской научной организации, как правило, включает настольные и серверные части, систему управления базами данных (СУБД) и пространственные библиотеки. В части архитектур построения систем есть примеры развития клиент-серверного варианта с применением микросервисов. В качестве дополнительной возможности используются облачные платформы, в частности, отечественных компаний (пример – ООО «Некст-ГИС»). Для российских проектов по сейсмологии важно обеспечить эффективное администрирование доступа пользователей, сохранить авторство уникальных данных регионального и локального охвата, результатов их анализа за организацией путем регистрации результатов интеллектуальной собственности, осуществляемое Роспатентом. Примером такого подхода является организация и хранения данных на локальном сервере ИТПЗ РАН.

Возрастает роль веб-ГИС как среды интеграции и аналитики данных по сейсмологии, что является общим трендом развития в эпоху WEB 3.0–4.0. Представление результатов проектов, данных и методов работы с ними совместно с полевыми наблюдениями требует использования таких современных IT-технологий, как Большие данные и цифровые двойники. Веб-ГИС как технология в сейсмологии становится не только более понятной, но и более используемой с Телеграм-ботом и возможностью получения данных от самих пользователей.

Веб-ГИС проекты находят широкое применение в образовательных целях, позволяя знакомить студентов, аспирантов, молодых специалистов с последними результатами научных разработок, развивать навыки работы с пространственными данными и инструментами геоинформационных систем. Современные технологии, используемые сегодня в тематических веб-ГИС-проектах, отличаются универсальностью для разных областей, пример актуального обзора сервисов для природоохранной тематики представлен в работе [Плотникова и др., 2024]. Результаты выполненного обзора, актуальный опыт ИТПЗ РАН по веб-ГИС в сейсмологии используются в чтении курса по веб-картографии и веб-ГИС в бакалавриате Факультета географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ с 2023 года (<https://www.hse.ru/edu/courses/912660786>),

что является примером совместного развития этой технологии в науке и образовании высшей школы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания Института теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН).

Список литературы

- Афанасьев А. П., Бритков В. Б., Дрибинская И. Э. и др. Проект «Электронная Земля» и академическая инфраструктура пространственных научных данных // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2010. — Т. 11, № 3. — RE3004. — <https://doi.org/10.2205/2009es000431>.
- Брагинская Л. П. и Григорюк А. П. Опыт создания тематического Интернет-ресурса «Активная сейсмология» // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. — 2012. — Т. 1, № 4. — С. 117–121.
- Брагинская Л. П., Григорюк А. П. и Ковалевский В. В. Интеграция знаний и данных в области активной сейсмологии // XVII Российская конференция «Распределенные информационно-вычислительные ресурсы: Цифровые двойники и большие данные». — Новосибирск : Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН, 2019. — С. 48–55. — <https://doi.org/10.25743/ict.2019.89.60.007>.
- Брагинская Л. П., Григорюк А. П. и Ковалевский В. В. Научная информационная система активного сейсмологического мониторинга // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Том 8. — ФИЦ ЕГС РАН, 2021. — С. 378–381. — <https://doi.org/10.35540/903258-451.2021.8.71>.
- Брагинская Л. П., Григорюк А. П., Ковалевский В. В. и др. Информационная поддержка комплексного геофизического мониторинга БПТ // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2023): Сборник трудов всероссийской конференции с международным участием (22-25 августа 2023 г., г. Бердск). — ФИЦ ИВТ, 2023. — С. 368–375. — <https://doi.org/10.25743/sdm.2023.11.92.061>.
- Вагизов М. Р. Web-Картография: учебное пособие. — Санкт-Петербург : Изд-во «Своё издательство», 2020. — 73 с.
- Воробьев А. В., Пилипенко В. А., Еникеев Т. А. и др. Геоинформационная система для анализа динамики экстремальных геомагнитных возмущений по данным наблюдений наземных станций // *Компьютерная оптика*. — 2020. — Т. 44, № 5. — С. 782–790. — <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-707>.
- Гвишиани А. Д., Розенберг И. Н. и Соловьёв А. А. Геофизические процессы в Арктике и системный анализ их воздействия на функционирование и развитие транспортной инфраструктуры // *Мир транспорта*. — 2023. — Т. 21, № 3. — С. 6–34. — <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-3-1>.
- Гвишиани А. Д., Татаринцов В. Н., Кафтан В. И. и др. ГИС-ориентированная база данных для системного анализа и прогноза геодинамической устойчивости Нижне-Канского массива // *Исследование Земли из космоса*. — 2021. — № 1. — С. 53–66. — <https://doi.org/10.31857/S020596142101005X>.
- Гитис В. Г., Дерендяев А. Б. и Салтыков В. А. ГИС-платформа мониторинга и анализа полей сейсмической активности // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 27 сентября - 3 октября 2015 г. — Обнинск : ГС РАН, 2015. — С. 47–50.
- Гладков А. А. и Лунина О. В. Развитие web-ориентированной ГИС «ACTIVETECTONICS» как банка данных информации по активной тектонике юга Восточной Сибири // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022: материалы VI Всероссийской конференции. Владивосток, 3-8 октября 2022 г. — Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2022. — С. 25–26.
- Григорюк А. П. и Брагинская Л. П. Опыт веб-картографирования на основе сервиса Google Maps // *ГЕО-Сибирь*. — 2008. — Т. 3. — С. 1–4.
- Григорюк А. П. и Брагинская Л. П. Информационная система для комплексной поддержки научных исследований в области активной сейсмологии // *Вестник КемГУ*. — 2012. — Т. 2, 4(52). — С. 43–48.
- Долгая А. А. и Калачева Е. Г. Проект геоинформационной системы «Термальные поля и источники Курильских островов» // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXVII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2024. — ИВиС ДВО РАН, 2024. — С. 207–210.
- Еременко А. С., Лещикова Д. Е. и Романенкова Л. С. Научно-популярный портал: состояние дел и перспективы развития // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей

- промышленности. ITES-2022: материалы VI Всероссийской конференции. Владивосток, 3-8 октября 2022 г. — Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2022a. — С. 49.
- Еременко В. С., Наумова В. В. и Загуменнов А. А. Разработка цифровой экосистемы по анализу геологических данных // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022: материалы VI Всероссийской конференции. Владивосток, 3-8 октября 2022 г. — Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2022b. — С. 23.
- Задорожный М. В., Высоцкий Е. М., Вишневский А. В. и др. Инфраструктура пространственных данных геопортала ИГМ СО РАН // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022: материалы VI Всероссийской конференции. Владивосток, 3-8 октября 2022 г. — Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2022. — С. 42.
- Казанцев В. А., Романова И. М., Филиппов Ю. А. и др. Состояние и перспективы развития веб-портала КНЦ ДВО РАН // Современные информационные технологии для научных исследований. Материалы Всероссийской конференции, Магадан, 20–24 апреля 2008 г. — Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2008. — С. 53–54.
- Ковалевский В. В., Брагинская Л. П. и Григорюк А. П. Информационно-аналитическая система для вибросейсмических исследований // Проблемы информатики. — 2013. — 3(20). — С. 22–29.
- Коновалов А. В., Степнов А. А., Орлин И. Д. и др. Генерация карт сотрясаемости (PGA) на территории Российской Федерации с помощью сейсмологического сервиса Eqlert.ru // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2024. — Т. 51, № 3. — С. 20–41. — <https://doi.org/10.21455/vis2024.3-2>.
- Копкарев А. В. и Ротанова И. Н. Российские научно-образовательные и отраслевые геопорталы как элементы инфраструктуры пространственных данных // Вестник НГУ. Серия: Информационные Технологии. — 2014. — Т. 12, № 4. — С. 38–52.
- Мандругин В. В. и Архипенко О. П. WEBGIS как результат интеграции геоинформационных систем и интернет-технологий // ГЕО-Сибирь. — 2011. — Т. 1, № 2. — С. 50–53.
- Мелкий В. А., Долгополов Д. В. и Верхотуров А. А. Мониторинг геопространства вулканопасных территорий // Региональные геосистемы. — 2025. — Т. 49, № 1. — С. 93–111. — <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-93-111>.
- Наумова В. В., Еременко В. С., Еременко А. С. и др. От информационно-аналитической среды для поддержки научных исследований в геологии к единому цифровому пространству геологических научных знаний // Информационные технологии для наук о Земле и цифровизация в геологии и горнодобывающей промышленности. ITES-2022: материалы VI Всероссийской конференции. Владивосток, 3-8 октября 2022 г. — Владивосток : Дальневосточный федеральный университет, 2022. — С. 15–16.
- Отчет о деятельности Геофизического центра РАН за 2022 год. Результаты научных исследований и международных проектов / под ред. А. А. Соловьева и Р. И. Красноперова. — Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН, т. 11, №1 (BS1003), 2023. — <https://doi.org/10.2205/2023bs057>.
- Отчет о деятельности Геофизического центра РАН за 2022 год. Результаты научных исследований и международных проектов. Т. 11. — 2023. — <https://doi.org/10.2205/2023bs057>.
- Петкова Н. В. ГИС-приложение «ЮФО СЕЙСМИК» // Интернет-журнал «Науковедение». — 2012. — № 4. — С. 1–7.
- Плотникова А. С., Хамедов В. А., Архипцева Е. А. и др. Обзор российских геоинформационных сервисов природоохранной тематики на основе открытого программного обеспечения // Геоинформатика. — 2024. — № 4. — С. 4–20. — <https://doi.org/10.47148/1609-364x-2024-4-4-20>.
- Подольская Е. С., Горшков А. И., Новикова О. В. и др. База геоданных линейных и сейсмогенных узлов Черноморско-Каспийского и Итальянского регионов для ГИС. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2022622354. — Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, 2022.
- Подольская Е. С., Горшков А. И., Новикова О. В. и др. База геоданных линейных и сейсмогенных узлов регионов Болгарии и Греции для ГИС. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2023624052. — Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, 2023a.
- Подольская Е. С., Горшков А. И., Новикова О. В. и др. База геоданных линейных и сейсмогенных узлов регионов Иберии и Центрального Французского Массива для ГИС. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2023623873. — Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, 2023b.
- Подольская Е. С., Горшков А. И., Новикова О. В. и др. База геоданных линейных и сейсмогенных узлов Южной Сибири для ГИС. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2024623735. — Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, 2024.

- Пономарева В. В., Мельников Д. В. и Романова И. М. Геоинформационная система «Новейший вулканизм Камчатки» // Современные информационные технологии для научных исследований: Материалы Всероссийской конференции, Магадан, 20–24 апреля 2008 г. — Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2008. — С. 105–106.
- Потанин М. Ю. Веб-ГИС технологии: обзор основных направлений развития // Системный анализ в науке и образовании. — 2014. — № 2. — С. 43–52.
- Рашидов В. А., Романова И. М., Бондаренко В. И. и др. Информационные технологии в геомагнитных исследованиях позднекайнозойских подводных вулканов Тихого океана // Russian Journal of Earth Sciences. — 2010. — Т. 11, № 3. — RE3001. — <https://doi.org/10.2205/2009es000358>.
- Романова И. М. Создание системы управления пространственными данными и метаданными в ИВиС ДВО РАН на базе открытого программного обеспечения GeoNetwork // Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований РАН в области наук о Земле: Материалы Всероссийского семинара, 8–11 апреля 2010 г. — ИВиС ДВО РАН, 2010.
- Романова И. М. Инфраструктура пространственных данных Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: текущее состояние и перспективы развития // Вестник Краунц. Серия: Науки о Земле. — 2015. — Т. 25, № 1. — С. 72–78.
- Соловьев А. А., Красноперов Р. И., Николов Б. П. и др. Веб-ориентированный программный комплекс для анализа пространственных геофизических данных методами геоинформатики // Исследование Земли из космоса. — 2018a. — № 2. — С. 65–76. — <https://doi.org/10.7868/s0205961418020070>.
- Соловьев А. А., Соловьев Ал. А., Гвишиани А. Д. и др. ГИС-ориентированная база данных по оценке сейсмической опасности для регионов Кавказа и Крыма // Исследование Земли из космоса. — 2018b. — № 5. — С. 52–64. — <https://doi.org/10.31857/S020596140003241-6>.
- Степанов С. Ю. Сравнительный анализ открытых геоинформационных систем // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. — 2013. — 1(10). — С. 55–63.
- Тубанов Ц. А. и Предеин П. А. Построение ГИС-ориентированной карты сейсмической опасности городских территорий (на примере г. Улан-Удэ) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Т. 7. — 2015. — С. 83–85.
- Чебров Д. В., Копылова Г. Н., Касимова В. А. и др. Комплексные геофизические наблюдения и информационные ресурсы Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН (полуостров Камчатка) // Российский сейсмологический журнал. — 2024. — Т. 6, № 2. — С. 7–26. — <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.2.01>.
- Чеброва А. Ю., Чечмарёв А. С., Матвеев Е. А. и др. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: Принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. — 2020. — Т. 21, № 3. — С. 66–91. — <https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5>.
- Чечмарёв А. С., Матвеев Е. А. и Фараонов А. А. Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН в 2021 г. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Том 8. — Петропавловск-Камчатский : ФИЦ ЕГС РАН, 2021. — С. 424–427. — <https://doi.org/10.35540/903258-451.2021.8.81>.
- Якубайлик О. Э. Особенности построения программного обеспечения геоинформационных веб-систем // Международный научно-исследовательский журнал. — 2018. — 5 (71). — С. 62–64. — <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.71.025>.
- Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications / ed. by S. Li, S. Dragicevic and B. Veenendaal. — London, UK : CRC Press, 2011. — 385 p.
- Alesheikh A. A., Helali H. and Behroz H. A. Web GIS: Technologies and Its Applications // Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications. — Ottawa, 2002. — P. 9.
- Ananda F., Kuria D. and Ngigi M. Towards a New Methodology for Web GIS Development // International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA). — 2016. — Vol. 7, no. 4. — P. 47–66. — <https://doi.org/10.5121/ijsea.2016.7405>.
- Daud M., Ugliotti F. M. and Osello A. Comprehensive Analysis of the Use of Web-GIS for Natural Hazard Management: A Systematic Review // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, no. 10. — P. 4238. — <https://doi.org/10.3390/su16104238>.
- Duarte L., Queiros C. and Teodoro A. C. Comparative analysis of four QGIS plugins for Web Maps creation // La Granja. — 2021. — Vol. 34, no. 2. — P. 8–26. — <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.01>.
- Gitis V. and Derendyaev A. From monitoring of seismic fields to the automatic forecasting of earthquakes // International Journal of Web Information Systems. — 2019. — Vol. 15, no. 5. — P. 535–549. — <https://doi.org/10.1108/ijwis-12-2018-0087>.
- Gitis V. and Derendyaev A. A Technology for Seismogenic Process Monitoring and Systematic Earthquake Forecasting // Remote Sensing. — 2023. — Vol. 15, no. 8. — P. 2171. — <https://doi.org/10.3390/rs15082171>.

- Gitis V. G. and Derendyaev A. B. Web-Based GIS Platform for Automatic Prediction of Earthquakes // Computational Science and Its Applications - ICCSA 2018. — Springer International Publishing, 2018. — P. 268–283. — https://doi.org/10.1007/978-3-319-95168-3_18.
- Gitis V. G., Derendyaev A. B. and Weinstock A. P. Web-Based Geographic Information Technologies for Environmental Monitoring and Analysis // Computational Science and Its Applications - ICCSA 2015. — Springer International Publishing, 2015. — P. 698–712. — https://doi.org/10.1007/978-3-319-21470-2_51.
- Gomez R. Perez. Web-based GIS supporting the assessment of earthquake-triggered landslides projects // XXIII International Cartographic Conference. — ICA, 2007. — P. 1–10.
- Hadi F. S. Developing Web Services and Challenges // 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences. — Konya, Turkey : All Sciences Proceedings, 2023. — P. 6–11.
- Han R. Web GIS in Development: From Research and Teaching Perspectives // GIScience Teaching and Learning Perspectives. — Springer International Publishing, 2019. — P. 103–122. — https://doi.org/10.1007/978-3-030-06058-9_7.
- Ismail-Zadeh A. and Kossobokov V. Earthquake Prediction, M8 Algorithm // Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. — Springer International Publishing, 2020. — P. 204–208. — https://doi.org/10.1007/978-3-030-10475-7_157-1.
- Konovalov A. V., Stepnov A. A., Bogdanov E. S., et al. New Tools for Rapid Assessment of Felt Reports and a Case Study on Sakhalin Island // Seismic Instruments. — 2022. — Vol. 58, no. 6. — P. 676–693. — <https://doi.org/10.3103/s0747923922060081>.
- Kossobokov V. G. and Shchepalina P. D. Times of Increased Probabilities for Occurrence of World's Largest Earthquakes: 30 Years Hypothesis Testing in Real Time // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2020. — Vol. 56, no. 1. — P. 36–44. — <https://doi.org/10.1134/s1069351320010061>.
- Pashova L., Kouteva-Guentcheva M. and Bandrova T. Review and systematization of the available data for earthquake risk mitigation in Bulgaria using GIS // FIG Working Week 2015. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World. — Sofia, Bulgaria, 2015. — P. 1–16.
- Phuong Ng. H., Nam Ng. T. and Truyen P. T. Development of a Web-GIS based Decision Support System for earthquake warning service in Vietnam // Vietnam Journal of Earth Sciences. — 2018. — Vol. 40, no. 3. — P. 193–206. — <https://doi.org/10.15625/0866-7187/40/3/12638>.
- Podolskaia E., Nekrasova A., Prokhorova T., et al. Web-gis projects at the Institute of Earthquake prediction theory and mathematical geophysics, Russian Academy of Sciences // Proceedings Vol. 2, 8th International Conference on Cartography and GIS, 20–25 June 2022. — Sofia : Bulgarian Cartographic Association, 2022. — P. 237–243.
- Rovithis E., Makra K., Kontopoulos Ch., et al. The Kalochori Accelerometric Network (KAN), database and Web-GIS portal: earthquake records update between 01/01/2017 and 31/03/2021. — 2022. — <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.19070123.V1>.
- Veenendaal B., Brovelli M. A. and Li S. Review of Web Mapping: Eras, Trends and Directions // ISPRS International Journal of Geo-Information. — 2017. — Vol. 6, no. 10. — P. 317. — <https://doi.org/10.3390/ijgi6100317>.
- Vinueza-Martinez J., Correa-Peralta M., Ramirez-Anormaliza R., et al. Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, no. 15. — P. 6439. — <https://doi.org/10.3390/su16156439>.
- Wu X., Xu C., Xu X., et al. A Web-GIS hazards information system of the 2008 Wenchuan Earthquake in China // Natural Hazards Research. — 2022. — Vol. 2, no. 3. — P. 210–217. — <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.03.003>.
- Zheng K.-G., Soomro T. R. and Pan Y.-h. Web GIS: Implementation issues // Chinese Geographical Science. — 2000. — Vol. 10, no. 1. — P. 74–79. — <https://doi.org/10.1007/s11769-000-0039-0>.

RUSSIAN SCIENTIFIC EXPERIENCE OF USING WEB-BASED GEOINFORMATION SYSTEMS IN SEISMOLOGY

E. S. Podolskaia^{1,2,**} , A. K. Nekrasova¹ , T. V. Prokhorova¹ , and O. V. Selyutskaya¹

¹Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences (IEPT RAS), Moscow, Russia

²National Research University Higher School of Economics (HSE), Moscow, Russia

****Correspondence to:** Ekaterina Podolskaia, ekaterina.podolskaia@gmail.com.

Web GIS technologies are widely used to present the results of scientific geospatial projects in a range of thematic areas. Monitoring of tectonic processes and seismic activity, construction and updating of seismic hazard maps and seismic risk maps at global and regional scales require timely display implemented in web-GIS. Differences between web-based GIS in seismology and web-based GIS for other disciplines in geosciences are shown, consisting of the type of data used, importance of the aspect of time, spatial localization, need for a modeling and forecasting environment, user interface and target audience. Characteristics of developments and current state of web-GIS on seismology in scientific organizations of Russia are given. An analysis of web-GIS technologies in Russian seismology was carried out: projects relevant for May–June 2025 were systematized, their comparison was carried out according to the technology used, functionality, content, the possibility of transferring scientific experience and data by the users. We described web-GIS projects of the Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics (IEPT RAS), deployed using QGIS server at the Institute's IT infrastructure. Interactive geoinformation Institute's projects contain data on three research topics: “Global test for the real-time prediction of world strongest earthquakes”, “Lineaments and places of strong earthquakes’ possible occurrence” and database “East Arctic earthquake source mechanisms”. First one shows results of medium-term forecast using the M8 algorithm at global scale, second – results of seismic hazard’s degree recognition at the intersection of lineaments of various ranks, obtained as result of author’s morphostructural zoning for several world regions as Italian region, Central French Massif, Iberian Peninsula, Black-Caspian and South Siberia. The earthquake source mechanism database includes processed data for the earthquakes that occurred in 1927–2022 in the Eastern Arctic. As review results, we noted trends in seismological web GIS as an integration and analytics environment: the spread of client-server architecture with microservices, local servers, use of Big Data and digital twins. An example of the joint use and development of web GIS in a scientific academic organization and university is given.

Keywords: Web-GIS, client-server architecture, microservices, Open Source, seismology, earthquakes, forecast, lineaments.

Citation: Podolskaia E. S., Nekrasova A. K., Prokhorova T. V., and Selyutskaya O. V. (2025), Russian Scientific Experience of Using Web-based Geoinformation Systems in Seismology, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES5026, <https://doi.org/10.2205/2025ES001035>, EDN: KXWTNY

Received: April 7, 2023

Accepted: June 10, 2025

Published: December 16, 2025



© 2025. The Authors.

References

- Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications / ed. by S. Li, S. Dragicevic and B. Veenendaal. — London, UK : CRC Press, 2011. — 385 p.
- Afanasiev A. P., Britkov V. B., Dribinskaya I. E., et al. The Electronic Earth project - information-analytical environment for spatial scientific data // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2010. — Vol. 11, no. 3. — RE3004. — <https://doi.org/10.2205/2009es000431>. — (In Russian).
- Alesheikh A. A., Helali H. and Behroz H. A. Web GIS: Technologies and Its Applications // *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*. — Ottawa, 2002. — P. 9.

- Ananda F., Kuria D. and Ngigi M. Towards a New Methodology for Web GIS Development // International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA). — 2016. — Vol. 7, no. 4. — P. 47–66. — <https://doi.org/10.5121/ijsea.2016.7405>.
- Braginskaya L. P. and Grigoryuk A. P. The Experience of the Thematic Web Resource "Active Seismology" // Interexpo GEO-Siberia. — 2012. — Vol. 1, no. 4. — P. 117–121. — (In Russian).
- Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P. and Kovalevsky V. V. Integration of Knowledge and Data in Active Seismology // XVII Russian Conference «Distributed Information and Computing Resources: Digital Twins and Big Data». — Novosibirsk : Institute of Computational Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2019. — P. 48–55. — <https://doi.org/10.25743/ict.2019.89.60.007>. — (In Russian).
- Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P. and Kovalevsky V. V. Scientific Information System for Active Seismological Monitoring // Problems of Complex Geophysical Monitoring of Seismically Active Regions. Proceedings of the Eighth All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation. Volume 8. — GS RAS, 2021. — P. 378–381. — <https://doi.org/10.35540/903258-451.2021.8.71>. — (In Russian).
- Braginskaya L. P., Grigoryuk A. P., Kovalevsky V. V., et al. Information Support for Integrated Geophysical Monitoring of the BNT // Processing of Spatial Data in Problems of Monitoring Natural and Anthropogenic Processes (SDM-2023): Collection of Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation (August 22–25, 2023, Berdsk). — Federal Research Center for Information, Computational Technologies (FRC ICT), 2023. — P. 368–375. — <https://doi.org/10.25743/sdm.2023.11.92.061>. — (In Russian).
- Chebrov D. V., Kopylova G. N., Kasimova V. A., et al. Integrated Geophysical Observations and Information Resources of the Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (Kamchatka Peninsula) // Russian Journal of Seismology. — 2024. — Vol. 6, no. 2. — P. 7–26. — <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.2.01>. — (In Russian).
- Chebrova A. Yu., Chemarev A. S., Matveenkov E. A., et al. Seismological Data Information System in Kamchatka Branch of GS RAS: Organization Principles, Main Elements and Key Functions // Geophysical Research. — 2020. — Vol. 21, no. 3. — P. 66–91. — <https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5>. — (In Russian).
- Chemarev A. S., Matveenkov E. A. and Fararonov A. A. Unified Information System of Seismological Data of the Kamchatka Branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences» (KB FRC EGS RAS) in 2021 // Problems of Complex Geophysical Monitoring of Seismically Active Regions. Proceedings of the Eighth All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation. Volume 8. — Petropavlovsk-Kamchatsky : GS RAS, 2021. — P. 424–427. — <https://doi.org/10.35540/903258-451.2021.8.81>. — (In Russian).
- Daud M., Ugliotti F. M. and Osello A. Comprehensive Analysis of the Use of Web-GIS for Natural Hazard Management: A Systematic Review // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, no. 10. — P. 4238. — <https://doi.org/10.3390/su16104238>.
- Dolgaya A. A. and Kalacheva E. G. Project of the Geographic Information System "Thermal Fields and Springs of the Kuril Islands" // Volcanism and Related Processes. Proceedings of the XXVII annual scientific conference dedicated to the Volcanologist Day. — Institute of Volcanology, Seismology, FEB RAS, 2024. — P. 207–210. — (In Russian).
- Duarte L., Queiros C. and Teodoro A. C. Comparative analysis of four QGIS plugins for Web Maps creation // La Granja. — 2021. — Vol. 34, no. 2. — P. 8–26. — <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.01>.
- Eremenko A. S., Leshchikova D. E. and Romanenkova L. S. Scientific Popular Portal: Status and Development Perspectives // Information Technologies for Earth Sciences and Digitalization in Geology and Mining. ITES-2022: Materials of the VI All-Russian Conference. Vladivostok, October 3–8, 2022. — Vladivostok : Far Eastern Federal University, 2022a. — P. 49. — (In Russian).
- Eremenko V. S., Naumova V. V. and Zagumenov A. A. Development of a Digital Ecosystem for Analyzing Geological Data // Information Technologies for Earth Sciences and Digitalization in Geology and Mining. ITES-2022: Materials of the VI All-Russian Conference. Vladivostok, October 3–8, 2022. — Vladivostok : Far Eastern Federal University, 2022b. — P. 23. — (In Russian).
- Gitis V. and Derendyaev A. From monitoring of seismic fields to the automatic forecasting of earthquakes // International Journal of Web Information Systems. — 2019. — Vol. 15, no. 5. — P. 535–549. — <https://doi.org/10.1108/ijwis-12-2018-0087>.
- Gitis V. and Derendyaev A. A Technology for Seismogenic Process Monitoring and Systematic Earthquake Forecasting // Remote Sensing. — 2023. — Vol. 15, no. 8. — P. 2171. — <https://doi.org/10.3390/rs15082171>.
- Gitis V. G. and Derendyaev A. B. Web-Based GIS Platform for Automatic Prediction of Earthquakes // Computational Science and Its Applications - ICCSA 2018. — Springer International Publishing, 2018. — P. 268–283. — https://doi.org/10.1007/978-3-319-95168-3_18.

- Gitis V. G., Derendyaev A. B. and Saltykov V. A. GIS Platform for Monitoring and Analyzing Seismic Activity Fields // Problems of Complex Geophysical Monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Fifth Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. September 27 - October 3, 2015. — Obninsk : GS RAS, 2015a. — P. 47–50. — (In Russian).
- Gitis V. G., Derendyaev A. B. and Weinstock A. P. Web-Based Geographic Information Technologies for Environmental Monitoring and Analysis // Computational Science and Its Applications - ICCSA 2015. — Springer International Publishing, 2015b. — P. 698–712. — https://doi.org/10.1007/978-3-319-21470-2_51.
- Gladkov A. A. and Lunina O. V. Development of the Web-Oriented GIS "Activetectonics" as a Data Bank of Information on the Active Tectonics of the Southern of Eastern Siberia // Information Technologies for Earth Sciences and Digitalization in Geology and Mining. ITES-2022: Materials of the VI All-Russian Conference. Vladivostok, October 3-8, 2022. — Vladivostok : Far Eastern Federal University, 2022. — P. 25–26. — (In Russian).
- Gomez R. Perez. Web-based GIS supporting the assessment of earthquake-triggered landslides projects // XXIII International Cartographic Conference. — ICA, 2007. — P. 1–10.
- Grigoriuk A. P. and Braginskaya L. P. The Informational System for Complex Support of Scientific Investigations in Active Seismology // Bulletin of Kemerovo State University. — 2012. — Vol. 2, 4(52). — P. 43–48. — (In Russian).
- Grigoruk A. P. and Braginskaya L. P. Web Cartography Based on Google Map Service // GEO-Siberia. — 2008. — Vol. 3. — P. 1–4. — (In Russian).
- Gvishiani A. D., Rozenberg I. N. and Soloviev A. A. Geophysical Processes in the Arctic and the System Analysis of their Impact on Operation and Development of the Transport Infrastructure // World of Transport and Transportation. — 2023. — Vol. 21, no. 3. — P. 6–34. — <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-3-1>.
- Gvishiani A. D., Tatarinov V. N., Kaftan V. I., et al. GIS-Oriented Database for the System Analysis and Prediction of the Geodynamic Stability of the Nizhne-Kansky Massif // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. — 2021. — Vol. 57, no. 9. — P. 1151–1161. — <https://doi.org/10.1134/S0001433821090486>.
- Hadi F. S. Developing Web Services and Challenges // 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences. — Konya, Turkey : All Sciences Proceedings, 2023. — P. 6–11.
- Han R. Web GIS in Development: From Research and Teaching Perspectives // GIScience Teaching and Learning Perspectives. — Springer International Publishing, 2019. — P. 103–122. — https://doi.org/10.1007/978-3-030-06058-9_7.
- Ismail-Zadeh A. and Kossobokov V. Earthquake Prediction, M8 Algorithm // Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. — Springer International Publishing, 2020. — P. 204–208. — https://doi.org/10.1007/978-3-030-10475-7_157-1.
- Kazantsev V. A., Romanova I. M., Filippov Yu. A., et al. State and Prospects of Development of the Web Portal of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences Scientific Center (KNC DVO RAN) // Modern Information Technologies for Scientific Research. Materials of the All-Russian Conference, Magadan, April 20-24, 2008. — Magadan : North-Eastern Scientific Center, FEB RAS, 2008. — P. 53–54. — (In Russian).
- Konovalov A. V., Stepnov A. A., Bogdanov E. S., et al. New Tools for Rapid Assessment of Felt Reports and a Case Study on Sakhalin Island // Seismic Instruments. — 2022. — Vol. 58, no. 6. — P. 676–693. — <https://doi.org/10.3103/s0747923922060081>.
- Konovalov A. V., Stepnov A. A., Orlin I. D., et al. PGA shaking maps in Russia by Equalert.ru seismological service // Problems of Engineering Seismology. — 2024. — Vol. 51, no. 3. — P. 20–41. — <https://doi.org/10.21455/vis2024.3-2>. — (In Russian).
- Koshkarev A. V. and Rotanova I. N. Russian Science and Educational and Industry Geo-Portals as Elements of the Spatial Data Infrastructure // Vestnik NSU. Series: Information Technologies. — 2014. — Vol. 12, no. 4. — P. 38–52. — (In Russian).
- Kossobokov V. G. and Shchepalina P. D. Times of Increased Probabilities for Occurrence of World's Largest Earthquakes: 30 Years Hypothesis Testing in Real Time // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2020. — Vol. 56, no. 1. — P. 36–44. — <https://doi.org/10.1134/s1069351320010061>.
- Kovalevsky V. V., Braginskaya L. P. and Grigoryuk A. P. Information and Analytical System for Vibroseismic Research // Problemy Informatiki. — 2013. — 3(20). — P. 22–29. — (In Russian).
- Mandrugin V. V. and Arkhipenko O. P. WEBGIS as Result of Integration of GIS and Internet Technologies // GEO-Siberia. — 2011. — Vol. 1, no. 2. — P. 50–53. — (In Russian).
- Melkiy V. A., Dolgopolov D. V. and Verkhoturov A. A. Monitoring the Geospace of Volcano Hazard Areas // Regional Geosystems. — 2025. — Vol. 49, no. 1. — P. 93–111. — <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2025-49-1-93-111>. — (In Russian).

- Naumova V. V., Eremenko V. S., Eremenko A. S., et al. From an Information and Analytical Environment to Support Scientific Research in Geology to a Single Digital Space of Geological Scientific Knowledge // Information Technologies for Earth Sciences and Digitalization in Geology and Mining. ITES-2022: Materials of the VI All-Russian Conference. Vladivostok, October 3-8, 2022. — Vladivostok : Far Eastern Federal University, 2022. — P. 15–16. — (In Russian).
- Pashova L., Kouteva-Guentcheva M. and Bandrova T. Review and systematization of the available data for earthquake risk mitigation in Bulgaria using GIS // FIG Working Week 2015. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World. — Sofia, Bulgaria, 2015. — P. 1–16.
- Petkova N. V. GIS "UFO Seismic" // Internet-zhurnal «Naukovedeniye». — 2012. — No. 4. — P. 1–7. — (In Russian).
- Phuong Ng. H., Nam Ng. T. and Truyen P. T. Development of a Web-GIS based Decision Support System for earthquake warning service in Vietnam // Vietnam Journal of Earth Sciences. — 2018. — Vol. 40, no. 3. — P. 193–206. — <https://doi.org/10.15625/0866-7187/40/3/12638>.
- Plotnikova A. S., Khamedov V. A., Arkhiptseva E. A., et al. An overview of Russian geographic information services on environmental issues based on open source software // Geoinformatika. — 2024. — No. 4. — P. 4–20. — <https://doi.org/10.47148/1609-364x-2024-4-4-20>. — (In Russian).
- Podolskaia E., Nekrasova A., Prokhorova T., et al. Web-gis projects at the Institute of Earthquake prediction theory and mathematical geophysics, Russian Academy of Sciences // Proceedings Vol. 2, 8th International Conference on Cartography and GIS, 20-25 June 2022. — Sofia : Bulgarian Cartographic Association, 2022. — P. 237–243.
- Podolskaya E. S., Gorshkov A. I., Novikova O. V., et al. Geodatabase of Lineaments and Seismogenic Nodes of the Black Sea-Caspian and Italian Regions for GIS. Certificate of State Registration of the Database №2022622354. — Institute of Earthquake Prediction Theory, Mathematical Geophysics, RAS, 2022. — (In Russian).
- Podolskaya E. S., Gorshkov A. I., Novikova O. V., et al. Geodatabase of Lineaments and Seismogenic Nodes of the Bulgaria and Greece Regions for GIS. Certificate of State Registration of the Database №2023624052. — Institute of Earthquake Prediction Theory, Mathematical Geophysics, RAS, 2023a. — (In Russian).
- Podolskaya E. S., Gorshkov A. I., Novikova O. V., et al. Geodatabase of Lineaments and Seismogenic Nodes of the Iberia and Central French Massif Regions for GIS. Certificate of State Registration of the Database №2023623873. — Institute of Earthquake Prediction Theory, Mathematical Geophysics, RAS, 2023b. — (In Russian).
- Podolskaya E. S., Gorshkov A. I., Novikova O. V., et al. Geodatabase of Lineaments and Seismogenic Nodes of Southern Siberia for GIS. Certificate of State Registration of the Database №2024623735. — Institute of Earthquake Prediction Theory, Mathematical Geophysics, RAS, 2024. — (In Russian).
- Ponomareva V. V., Melnikov D. V. and Romanova I. M. Geoinformation System «Recent Volcanism of Kamchatka» // Modern Information Technologies for Scientific Research: Materials of the All-Russian Conference, Magadan, April 20-24, 2008. — Magadan : North-Eastern Scientific Center, FEB RAS, 2008. — P. 105–106. — (In Russian).
- Potantin M. Yu. Web GIS Technologies: Main Directions of Development // System Analysis in Science and Education. — 2014. — No. 2. — P. 43–52. — (In Russian).
- Rashidov V. A., Romanova I. M., Bondarenko V. I., et al. Information technologies in geomagnetic investigations of Late Cenozoic Pacific submarine volcanoes // Russian Journal of Earth Sciences. — 2010. — Vol. 11, no. 3. — RE3001. — <https://doi.org/10.2205/2009es000358>. — (In Russian).
- Report of Geophysical Center RAS for 2022. Results of Scientific Research and International Projects. Vol. 11. — 2023. — <https://doi.org/10.2205/2023bs057>. — (In Russian).
- Report of the Geophysical Center RAS for 2022. Results of Scientific Research and International Projects / ed. by A. A. Soloviev and R. I. Krasnoperov. — Geoinformatics Research Papers, vol. 11, №1 (BS1003), 2023. — <https://doi.org/10.2205/2023bs057>. — (In Russian).
- Romanova I. M. Creation of a Spatial Data and Metadata Management System at the Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IVS FEB RAS) Based on the Open Source Software GeoNetwork // Modern Information Technologies for Fundamental Scientific Research of the Russian Academy of Sciences in the Field of Earth Sciences: Materials of the All-Russian Seminar, April 8-11, 2010. — Institute of Volcanology, Seismology, FEB RAS, 2010. — (In Russian).
- Romanova I. M. Spatial Data Infrastructure in the Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS: Current State and Future Evolution // Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center». Earth Sciences. — 2015. — Vol. 25, no. 1. — P. 72–78. — (In Russian).
- Rovithis E., Makra K., Kontopoulos Ch., et al. The Kalochori Accelerometric Network (KAN), database and Web-GIS portal: earthquake records update between 01/01/2017 and 31/03/2021. — 2022. — <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.19070123.V1>.

- Soloviev A. A., Krasnoperov R. I., Nikolov B. P., et al. Web-Oriented Software System for Analysis of Spatial Geophysical Data Using Geoinformatics Methods // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. — 2018a. — Vol. 54, no. 9. — P. 1312–1319. — <https://doi.org/10.1134/S0001433818090360>.
- Soloviev A. A., Soloviev A. A., Gvishiani A. D., et al. GIS-Oriented Database on Seismic Hazard Assessment for Caucasian and Crimean Regions // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. — 2018b. — Vol. 54, no. 9. — P. 1363–1373. — <https://doi.org/10.31857/S020596140003241-6>.
- Stepanov S. Yu. Comparative Analysis of Open Geoinformation Systems // *Information Technologies and Systems: Management, Economics, Transport, Law*. — 2013. — 1(10). — P. 55–63. — (In Russian).
- Tubarov Ts. A. and Predein P. A. The Creation of a Gis-Based Seismic Hazard Maps of Urban Areas (For Example, Ulan-Ude) // *Interexpo GEO-Siberia*. Vol. 7. — 2015. — P. 83–85. — (In Russian).
- Vagizov M. R. *Web Cartography: A Textbook*. — Saint Petersburg : Publishing House «Svoio Izdatel'stvo», 2020. — 73 p. — (In Russian).
- Veenendaal B., Brovelli M. A. and Li S. Review of Web Mapping: Eras, Trends and Directions // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. — 2017. — Vol. 6, no. 10. — P. 317. — <https://doi.org/10.3390/ijgi6100317>.
- Vinueza-Martinez J., Correa-Peralta M., Ramirez-Anormaliza R., et al. Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends // *Sustainability*. — 2024. — Vol. 16, no. 15. — P. 6439. — <https://doi.org/10.3390/su16156439>.
- Vorobev A. V., Pilipenko V. A., Enikeev T. A., et al. Geoinformation system for analyzing the dynamics of extreme geomagnetic disturbances from observations of ground stations // *Computer Optics*. — 2020. — Vol. 44, no. 5. — P. 782–790. — <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-707>. — (In Russian).
- Wu X., Xu C., Xu X., et al. A Web-GIS hazards information system of the 2008 Wenchuan Earthquake in China // *Natural Hazards Research*. — 2022. — Vol. 2, no. 3. — P. 210–217. — <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.03.003>.
- Yakubaylik O. E. Features of Program Building which Provide Geoinformation Web Systems // *International Research Journal*. — 2018. — 5 (71). — P. 62–64. — <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.71.025>. — (In Russian).
- Zadorozhnyy M. V., Vysotsky E. M., Vishnevsky A. V., et al. Spatial Data Infrastructure of the Central Siberian Geological Museum // *Information Technologies for Earth Sciences and Digitalization in Geology and Mining. ITES-2022: Materials of the VI All-Russian Conference. Vladivostok, October 3-8, 2022*. — Vladivostok : Far Eastern Federal University, 2022. — P. 42. — (In Russian).
- Zheng K.-G., Soomro T. R. and Pan Y.-h. Web GIS: Implementation issues // *Chinese Geographical Science*. — 2000. — Vol. 10, no. 1. — P. 74–79. — <https://doi.org/10.1007/s11769-000-0039-0>.