

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КАЗАХСТАНА. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА.

О. И. Криворотько^{1,2}, С. И. Кабанихин^{1,2}, А. Т. Турарбек³, М. А. Бектемесов³,
И. В. Маринин¹, А. Б. Садыкова⁴

¹ *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск*

² *Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск*

³ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы*

⁴ *Лаборатория региональной сейсмичности ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК, 050040, Алматы*

УДК 519.688

В статье рассматриваются математические модели акустики, электродинамики и теории упругости, комплекс программ и их применение при создании динамической цифровой модели территории Казахстана.

Ключевые слова: геоинформационная система, землетрясение, база данных.

Введение

Геофизика является традиционно наиболее математизированной из наук о Земле. Это определяется физическими задачами, составляющими предмет ее изучения, которые, в большинстве своем, имеют математические постановки, и для их решения требуется использование аппарата широкого круга математических дисциплин. Исследование математических постановок геофизических задач, разработка вычислительных алгоритмов их решения, вместе с совершенствованием и обновлением математических методов обработки и интерпретации геофизических данных, формирует теоретическую область геофизики как науки. При этом для геофизики характерна тесная связь теории с практикой, поскольку очевидно, что ценность теоретических результатов определяется их прикладным значением, и направления развития теории формируются потребностями практики. Математические модели многих задач, возникающих в науках о Земле, хорошо описываются уравнениями математической физики. Более того, ряд важных геофизических задач представляет собой классические задачи математической физики, и им свойственно деление на прямые и обратные [1]. В этой связи ярким примером являются кинематические прямая и обратная задачи [2, 3]. Обратная кинематическая задача — одна из важнейших сейсмических проблем, тесно связанная с вариационным исчислением. Она является задачей интегральной геометрии, составляет основу кинематической сейсмотомографии, и была, по-видимому, одной из первых рассмотренных обратных задач для дифференциальных уравнений. Эта задача возникала в различных постановках, и история исследования ее по первому результату (1905–1907 гг.) составляет уже 100 лет. Математические проблемы геофизики тесно связаны с приложениями теории некорректных задач в части создания вычислительных алгоритмов обработки и интерпретации геофизических измерений, основанных на законах взаимодействия традиционных геофизических полей. Это закон всемирного тяготения Ньютона, законы Фарадея, Ома, Гука, принцип Гюйгенса, уравнения электромагнитного поля Максвелла и динамической теории упругости, уравнения Ламе. В первой половине прошлого столетия были доказаны фундаментальные теоремы существования и единственности решений краевых задач для дифференциальных уравнений и систем уравнений, соответствующих основным постановкам прямых

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-31-00189, № 15-01-09230), Министерства образования и науки Российской Федерации и Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № 1746/ГФ4 «Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач естествознания»).

задач геофизики. Решение краевых задач, соответствующих прямым задачам геофизики, можно рассматривать как математическое моделирование геофизических процессов. Численное решение этих задач играет существенную роль для правильного понимания и оценки эффективности результатов геофизических наблюдений, при проектировании геофизических приборов, планировании эксперимента. Численное решение прямых задач геофизики может представлять значительные трудности. До появления ЭВМ для расчетов были доступны лишь самые простые варианты моделей среды. Наиболее важной целью геофизических исследований является определение внутреннего строения Земли, т.е. распределения внутри Земли физических характеристик - плотности, намагниченности, магнитной восприимчивости, электропроводности, упругости, температуры. В связи с этим можно сказать, что обратные задачи являются основными математическими задачами в геофизике. Теория обратных задач как в геофизике, так и вообще в дифференциальных уравнениях развита значительно меньше, чем теория прямых задач. Очевидно, что каждой прямой задаче может быть сопоставлено много вариантов обратных задач.

Развитие геоинформационных систем было предопределено достижениями в области компьютерных технологий и компьютерной графики, а также автоматизацией картосоставительского процесса. Геоинформационная система — это система аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, созданная для цифровой поддержки, пополнения, управления, манипулирования, анализа, математико-картографического моделирования и образного отображения географических координированных данных [4]. ГИС эффективны во всех областях, это практически все направления деятельности органов управления и администраций: земельные ресурсы и объекты недвижимости, транспорт, инженерные коммуникации, развитие бизнеса, обеспечение правопорядка и безопасности, управление чрезвычайных ситуаций, демография, экология, здравоохранение и т.д.

В Казахстане географические информационные системы, как область информационных технологий, зародились 20 лет назад. Основная задача ГИС — связать объекты на карте с базой данных, и обеспечить многогранный анализ и классификацию информации по пространственным и по описательным характеристикам. Пространственный анализ с использованием технологий ГИС и ДЗЗ (дистанционного зондирования земли) — одна из немногих высокотехнологичных отраслей, где казахстанские компании работают на самом современном уровне. К списку таких компаний можно отнести: ООО «Казахстанский Центр геоинформационных систем», Казахстанское агентство географических информационных систем и дистанционного зондирования, АО «Казахстан ГИС центр», ТОО «Центр дистанционного зондирования и ГИС «Терра»», ТОО «Казахстанское агентство прикладной экологии», и другие игроки рынка. Все эти компании выполняют задачи поставленные Заказчиком, они разрабатывают и поддерживают работу ГИС, поставляют и обрабатывают данные с ДЗЗ с различных космических снимков, создают цифровую картографическую продукцию различной направленности и многое другое.

1 Существующие модели ГИС Казахстана

В настоящее время геоинформационные технологии в Республике Казахстан очень активно развиваются, так как во многих организациях развиваются сетевые технологии, позволяющие накапливать, анализировать и актуализировать геоданные без привязки к определенному местоположению.

ГИС Казахстана используются в разных отраслях экономики и государственного управления: земельный кадастр, геология, добыча углеводородов и других полезных ископаемых, транспортировка нефти и газа, общественная безопасность, градостроительство, лесное хозяйство, государственное управление, экология, навигация и т.д. Большое количество ГИС проектов реализовано и реализуется на основе программного обеспечения ESRI, а платформа ArcGIS стала стандартом ГИС в ряде государственных ведомств и крупных компаний. Приведем пример некоторых из них:

- **АИС Государственного земельного кадастра.** Первой масштабной попыткой внедрения ГИС в Республике Казахстан стало внедрения кадастровых ГИС на базе продуктов ESRI в Казахстане. Система предназначена для автоматизации работ государственных подразделений по управлению земельными ресурсами Республики Казахстан: кадастровых центров (районных, областных и республиканского уровня).
- **ГИС Даму.** Данный ресурс является интерактивной системой предоставления всей актуальной статистической и аналитической информации о деятельности фонда «Даму», а также о развитии малого и среднего предпринимательства, сектора микрокредитования, макро- и микроэкономических процессах республиканского и регионального уровня.

- **ГИС Комитета по правовой статистике и специальным учетам** создана в рамках реформы правоохранительной системы, направленной на максимальную открытость для граждан, состоит из карт уголовных правонарушений, аварийности, карты проверок предпринимателей и т.д.
- **Корпоративная геоинформационная системы АО «Торговый Дом «КазМунайГаз»»**. Ее целью является корпоративное развитие системы автозаправочных станций компании по территории Республики Казахстан, а также повышение конкурентоспособности на рынке подобных услуг.
- **ГИС «Интерактивная карта»**. Географическая информационная система контрактных территорий «Интерактивная карта» разработана для комитета геологии и недропользования МИР РК. Организована данная система в виде web-приложения на платформе Portal for ArcGIS.
- **Геоинформационная система г. Астаны (ГИС)**. ГИС представляет собой автоматизированную геоинформационную систему города Астаны, объединяющая все организации и картографическую информацию города в единую информационную среду, и предоставляющая информационно-аналитический инструментарий для изучения и регулирования общих тенденций развития города Астаны, а также для принятия управленческих решений.
- **ГИС технологии в Государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций** создана в целях рационального планирования и принятия решений по оптимальному управлению территориями Казахстана в случае чрезвычайных ситуаций (ЧС). Она позволяет прогнозировать и моделировать развитие ЧС, планировать мероприятия по их ликвидации. Интегрирующим ядром является подсистема ГИС, разрабатываемая компанией ТОО «Казахстанский центр ГИС» на платформе ArcGIS. При создании ГИС используются принципы организации и построения инфраструктуры пространственных данных как элемента общегосударственных информационных ресурсов.

Кроме, вышеуказанных геоинформационных систем, на рынке ГИС Казахстана используется большое количество специализированных автоматизированных систем, включающих картографические данные. Так как, тема наших исследований связана с чрезвычайными ситуациями, обратим внимание на ГИС технологии, развивающиеся в этом направлении. К сожалению, в Казахстане ГИС предназначенной для моделирования, прогноза ущерба от ЧС нет, роль такой ГИС выполняет вышеуказанная «Корпоративная информационно-коммуникационная система Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Различные природные условия республики Казахстан определяют значительную ее подверженность природным катастрофам. Угрозе разрушительных землетрясений постоянно подвержены Алматинская, Восточно-Казахстанская, Жамбылская, Южно-Казахстанская области и г. Алматы. По данным Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, землетрясения занимают первое место среди потенциально опасных стихийных бедствий для Казахстана. Этой опасности подвержено около 6 миллионов казахстанцев и около 450 тысяч квадратных километров площади республики. В сейсмически опасной зоне расположено 27 городов и более 400 населенных пунктов [5, 6].

Для определения отличительных свойств и качеств ГИС ITRIS (Integrated Tsunami Research and Information System), разработанной в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН совместно с ООО «ГеоСистема», рассмотрим геоинформационные системы, имеющие отношение к чрезвычайным ситуациям.

1. Программные средства ГИС «Экстремум» предназначена для оценки последствий разрушительных землетрясений, включает операционную среду, средства организации и проведения видеоконференций, программы для расчета последствий землетрясений. Кроме того, в состав ГИС входит комплект программ, что позволяет хранить, систематизировать и обрабатывать значительные объемы картографической и семантической информации, прогнозировать последствия землетрясений, а также обосновывать эффективные сценарии реагирования.
2. Платформа RQE EQECAT используется для анализа потенциальных последствий стихийных бедствий по всей планете. Первый инструмент для моделирования под названием RQE компания EQECAT представила в январе 2013 г. Он включает более 180 моделей природных катаклизмов для 96 стран и территорий на 6 континентах. Модель расчета финансовых потерь RQE использует статистику землетрясений, тропических циклонов и ураганов, тяжелых конвективных штормов, зимних штормов, наводнений и прочих стихийных бедствий за 300 000 лет.

3. ГИС Seismo Map реализована в клиент-серверной архитектуре с тонким клиентом. Она выполняет экспресс-анализ сейсмической активности в географическом контексте Google Maps API и предназначена как для специалистов, так и для широкого круга пользователей сети Интернет.
4. ГИС Digital faults выявляет векторные тенденции возбуждения очагов землетрясений в областях динамического влияния разломов и оценки параметров деформационных волн.
5. ГИС GIS-EEDB решает пространственные геодинамические задачи, связанные с изучением современного сейсмогеодинамического процесса на разных масштабных уровнях — от локального до глобального.

На мировом рынке геоинформационных систем для потребителей представлено большое количество специализированных систем. Можно отметить, что в Казахстане, в основном, ГИС представлены для различных отраслей экономики и государственного управления. В данной работе мы продемонстрируем возможности ГИС Итрис для моделирования опасных природных явлений и для обработки и анализа геоданных.

2 Геоинформационная система ITRIS

В настоящее время для проведения сейсмического мониторинга и анализа данных используются различные информационные технологии позволяющие автоматизировать процесс обработки сейсмологических данных и визуализации полученных результатов. Одним из таких современных инструментов является система ITRIS, разработанная в рамках лаборатории математических методов геофизики ИВМиМГ СО РАН. Система ITRIS, является продуктом совместных усилий как ученых, занимающихся фундаментальными разработками в области изучения природных катастроф, так и специалистов по информационным технологиям. Геоинформационная система ITRIS основана на принципах ГИС-технологий и объединяет в своем составе специализированные базы данных, программные компоненты для моделирования, инструменты для обработки и анализа геоданных, включающих спутниковые снимки, цифровые модели суши и морского дна, материалы дистанционного зондирования [7, 8]. Особенностью программы является пользовательский интерфейс, позволяющий легко выполнять обработку, поиск и трехмерную визуализацию пространственных данных. Графическая оболочка программы написана на языке C# и построена в качестве картографической системы ГИС-типа, она обеспечивает легкую и эффективную манипуляции картами, 3D-моделями и данными.



Рис. 1: Интерфейс геоинформационной системы ITRIS

В системе ITRIS успешно используются модули прогнозирования и оценки ущерба при землетрясениях, возможно моделирование и других природных катастроф, таких как цунами, наводнения, извержения вулканов, сели и пр. Для координации работы организаций по чрезвычайным ситуациям и для научных исследований в области моделирования природных катастроф необходима максимально полная и достоверная информация о том или ином событии. Система ITRIS включает в себя специализированные реляционные базы данных. В зависимости от пользовательской задачи база данных может быть дополнена другими видами данных. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

В системе ITRIS доступны такие базы данных природных явлений как землетрясения, вулканы, цунами, высоты цунами, удары метеоритов, наводнения, TideNet (сеть датчиков наблюдений за высотой волны, прилива), SeisNet (сеть датчиков наблюдений за сейсмической активностью).

Основные опции для работы с базой данных доступны в меню **Tools** и реализуются с помощью инструмента **Data Viewer**, который позволяет, открыв необходимую базу данных, выполнить поиск, выборку, сортировку в соответствии с заданными параметрами. База данных землетрясений (Рисунок 2) состоит из таблиц, в которых содержатся данные о дате и времени, координатах эпицентра, глубине и магнитуде землетрясения.

Полезной функцией, реализованной в ITRIS, является возможность выполнения различных видов выборки, с помощью которых пользователь сможет указывать территорию:

- по территории, пункт *Select Area* расположен на панели инструментов, он позволяет задать область на карте для проведения выборки из списка данных. На рисунке 3 отмечена территория Казахстана и показаны эпицентры произошедших землетрясений, каждая окружность соответствует отдельному явлению, а ее размер и цвет соответствуют параметрам землетрясения (Рисунок 2).
- по фильтру, пункт *Filter* позволяет пользователю задать диапазоны значений для интересующих его полей данных. После применения фильтра пользователь визуально может увидеть эпицентры землетрясений. В диалоговом окне *Filter* пользователь с помощью выбора широты и долготы, определяет землетрясения, произошедшие на определенной территории Казахстана.

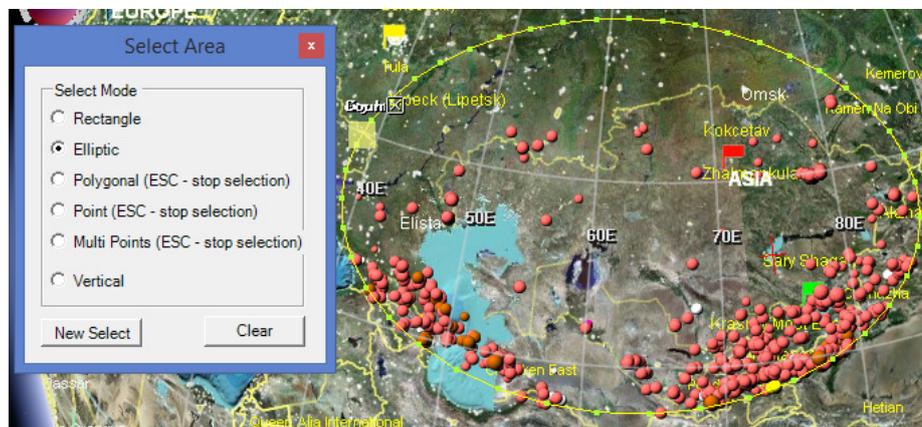


Рис. 2: Диалоговое окно *Select Area*.

Проведем моделирование землетрясения и оценку возможных ущерба на территории Казахстана с параметрами: $M = 7$, $Lon = 43.40$, $Lan = 77.09$, $Depth = 40$. Для этого воспользуемся инструментом *Earthquake Assessment Viewer*, который позволяет провести экспертную оценку в графическом или, при необходимости, в табличном виде.

В системе ITRIS выполняется моделирование параметров источника землетрясения, которое позволяет спрогнозировать ущерб от землетрясения, с обозначением населенных пунктов и степени возможного повреждения. В первую очередь, для определения источника землетрясения пользователю необходимо выбрать режим моделирования. Для определения места источника (диалоговое окно *Source Editor*) в программе предусмотрено два режима: 1) *Simple* — предназначен для простых пользователей; 2) *Advance* — предназначен для специалистов в сейсмологии и геофизике. После выбора режима необходимо ввести начальные параметры [7].

Затем необходимо провести моделирование, отметив область, интенсивность, эпицентр землетрясения. Если эксперимент сделан правильно, система выводит сообщение об успешном завершении. После этого появится окно *Loss Assessment Viewer* в котором отображаются две наиболее современные шкалы сейсмической интенсивности (Рисунок 3): это международный проект EMS-98 и общероссийский проект MMSK-92. В Казахстане используется MMSK-92.

Прежде, чем начать оценку повреждений, пользователю нужно выбрать необходимые параметры в следующих пунктах:

- *Assessment* — необходимо выбрать файл сформированный на основе выбора источника в *Source Editor*.
- *Epi.distance/Intensity* — указывается расстояние от эпицентра и интенсивность землетрясения.
- *Options* — в этом разделе пользователю необходимо выбрать шкалу EMS или MMSK. После чего нужно указать тип зданий, а также индекс уязвимости *Vulnerability indices*.
- *Area, Place name, Area and place name* — выбрав способ отображения площади землетрясения, пользователь может отобразить названия местности или площадь землетрясения [7].

Для моделирования системой формируются таблицы, которые содержат информацию относительно повреждения зданий и возможного количества жертв. Для просмотра рассчитанной степени повреждений зданий пользователю необходимо выбрать шкалу EMS или MMSK, а затем указать тип зданий, для которого нужно отобразить прогнозные оценки и исследуемый уровень повреждений.

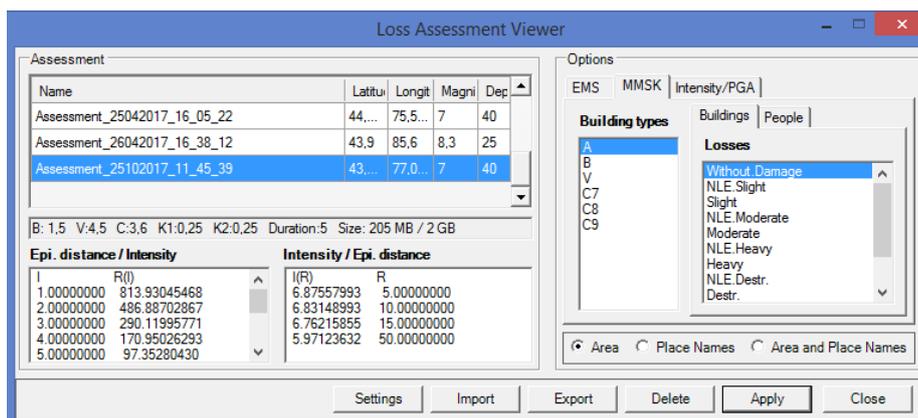


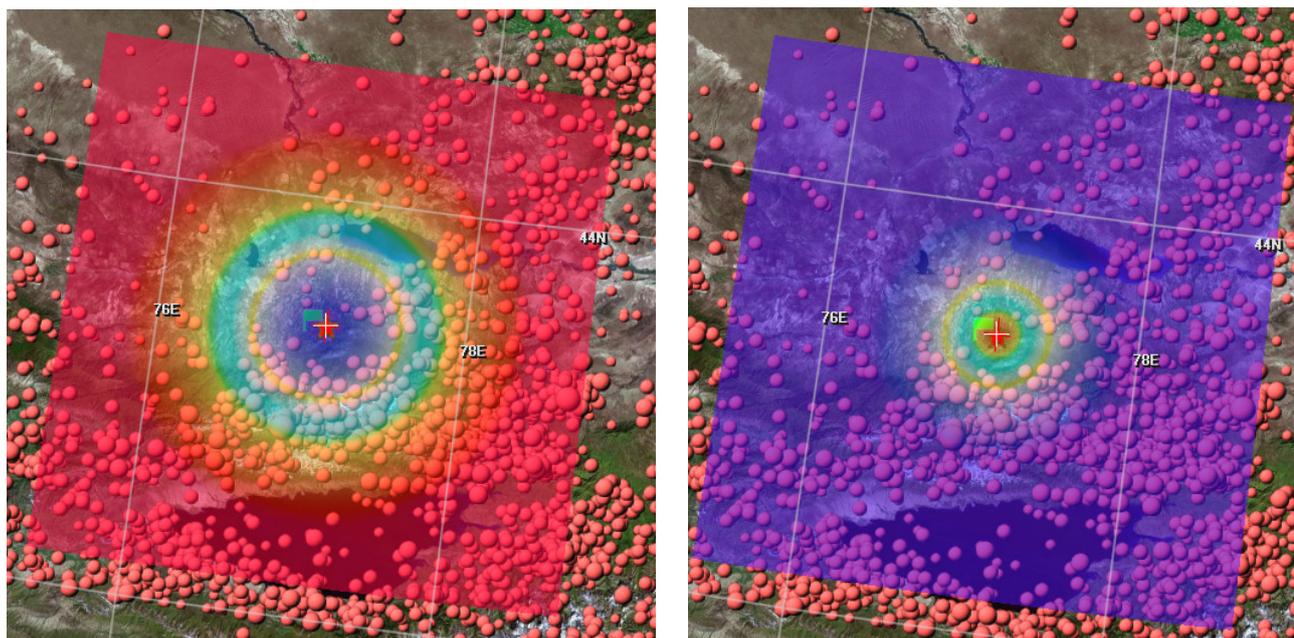
Рис. 3: Окно моделирования землетрясения *Loss Assessment Viewer*.

В результате моделирования система ITRIS дает результат в визуальном и численном виде. При отметке эпицентра красной звездой мы видим, что радиус ущерба повреждений зданий больше, чем возможный ущерб человеческих жертв. На рисунке 4 в визуальном виде окружностями указаны населенные пункты, размер которых соответствует численности населения. При моделировании возможного землетрясения пользователю предоставляется возможность увидеть количество пострадавшего населения в виде таблицы.

Заключение

Применение геоинформационной системы ITRIS для моделирования и прогнозирования землетрясений на территории Казахстана позволяет моделировать развитие событий по различным сценариям и получать наиболее полный и объективный прогноз. С помощью системы ITRIS, нам удалось выполнить несколько важных задач:

- дополнить базу данных землетрясений Казахстана;
- откорректировать базу данных о сейсмологических станциях Казахстана;
- в графическом виде отобразить сейсмический режим Казахстана на основе исторической базы данных;



а) ущерб повреждений зданий.

б) ущерб возможных человеческих жертв.

Рис. 4: Графическое представление возможного ущерба от землетрясения.

- по параметрам эпицентра землетрясения смоделировать возможный ущерб;
- провести оценки повреждений зданий и возможных человеческих жертв, при землетрясении на территории Казахстана (на примере Алматинской области);
- по заданным параметрам в табличном виде спрогнозировать возможный ущерб.

Список литературы

- [1] Гольдин, С.В. Преобразование и восстановление разрывов в задачах томографического типа. Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1988. — 100 с.
- [2] Романов, В.Г. Некоторые обратные задачи для уравнений гиперболического типа. Новосибирск: Наука, 1972.
- [3] Романов, В.Г., Кабанихин, С.И. Обратные задачи геоэлектрики. Москва: Наука, 1991.
- [4] Середович, В.А. Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация). Новосибирск: СГГА, 2008. — 192 с.
- [5] Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. Алматы, 2012.
- [6] Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. Алматы: Наука, 2004.
- [7] С.И. Кабанихин, О.И. Криворотько, И.В. Маринин. Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф. Предварительный оперативный анализ и оценка последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Новосибирск, 2013.
- [8] A. Marchuk, I. Marinin, V. Komarov, A. Karas, D. Khidasheli. 3D GIS Integrated Natural and Man-made Hazards Research and Information System. Proceedings of The Joint International Conference on Human-Centered Computer Environments (HCCE) 2012, Aizu-Wakamatsu & Hamamatsu, Japan, Duesseldorf, Germany, March 8-13, 2012, Aizu-Wakamatsu, Japan, 2013. P. 225–229.

Криворотько Ольга Игоревна — к.ф.-м.н., науч. сотр. Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, ст.преп. кафедры высшей математики ФФ НГУ;
e-mail: krivototko.olga@mail.ru;

Кабанихин Сергей Игоревич — д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН, директор Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
e-mail: kabanikhin@sscc.ru, ksi52@mail.ru

Турарбек Асем Турарбеккызы — докторант кафедры информационных систем механико-математического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби;
e-mail: assem.turarbek@kaznu.kz, turarbak_aset@mail.ru

Бектемесов Мактагали Абдимажитович — д.ф.-м.н., проф. Казахского национального университета им. аль-Фараби;
e-mail: maktagali.bektessov@kaznu.kz

Маринин Игорь Валерьевич — ведущий программист Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;
e-mail: igor.marinin@inbox.ru

Садыхова Алла Байсымаковна — д.ф.-м.н., проф., заведующая лабораторией региональной сейсмичности ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК;
e-mail: aluadin@mail.ru