

УДК 004.9; 519.254; 550.34.06.013.3; 551.24

А. В. Михеева^{1,2,4}, **П. Г. Дядьков**^{2,3}, **Ан. Г. Марчук**^{1,3}, **А. А. Егоров**⁵

¹ *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
пр. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090, Россия*

² *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия*

³ *Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

⁴ *Высший колледж информатики НГУ
ул. Русская, 35, Новосибирск, 630058, Россия*

⁵ *Сургутский государственный университет
пр. Ленина, 1, Сургут, 628412, Россия*

*Anna@omzg.sgcc.ru, DjadkovPG@ipgg.nsc.ru
MAG@omzg.sgcc.ru, EAAfit@gmail.com*

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ GIS-ENDDB («БАЗЫ ДАННЫХ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ ЗЕМЛИ») *

Программа GIS-ENDDB (Earth's Natural Disasters Database) содержит данные импактного каталога Земли (Impact Structures Catalog), сейсмологические данные из более 60 каталогов землетрясений, а также массивы измерений теплового потока Земли, детального рельефа, аномалий гравитационного поля (данные дистанционного зондирования Земли) и другие геолого-геофизические наблюдения. Полученная система позволяет исследователю-непрограммисту, общаясь с ЭВМ, ставить и решать свои собственные, интеллектуальные задачи, ориентированные на изучение причинно-следственных связей катастрофических событий в истории нашей планеты. Методической базой исследований являются методы физико-математического анализа, геоинформационные методы (картографии, развития геоинформационно-экспертных технологий, геоинформационного моделирования и т. д.), различные подходы к интерпретации полученных данных.

Ключевые слова: каталог импактных структур, каталоги землетрясений, характеристики сейсмичности, геотектонические морфоструктурные элементы, геофизические аномалии.

Введение

Круг геодинамических задач, которые позволяет решать GIS-ENDDB¹, очень широк, но все они объединены общим методом решения – экспертно-геоинформационным, который

* Исследования выполнены при частичной поддержке Программы 18 Президиума РАН и проекта РФФИ № 14-05-00688-а.

Авторы выражают благодарность главному научному сотруднику Института физики Земли РАН, доктору физико-математических наук, члену-корреспонденту РАН А. В. Николаеву за поддержку «идеологии» экспертного подхода, реализованного в GIS-ENDDB, ведущему научному сотруднику ИФЗ РАН кандидату физико-математических наук И. И. Калининкову за полезные идеи развития алгоритмов линейных построений.

¹ Патент, государственный регистрационный номер 2015619859 от 15.09.2015.

представляет собой сочетание современных геоинформационных технологий и математических алгоритмов, используемых экспертом в итерационном режиме. Общим объектом исследования, при этом, является геолого-геофизическая среда, описанная топографическими и геофизическими цифровыми моделями, построенными по данным наблюдений.

Предметная база системы GIS-ENDDB

Предметная область исследования охватывает фундаментальные геодинамические задачи: 1) изучение сейсмогеодинамического режима (по данным сейсмичности), который является индикатором состояния земной коры последнего, современного нам века, и 2) исследование возможного влияния других геодинамических факторов (космогенных и эндогенных катастроф) на тектонические процессы Земли в течение её геологической эволюции. К более локальным прикладным проблемам относится *выявление* и исследование геоморфологии *линейных и кольцевых тектоногенных структур*. Изучение в пространстве взаимосвязи этих структур, а во времени – сейсмогеодинамического режима, связанного с этими структурами, необходимо для решения наиболее актуальной прикладной задачи геодинамики – сейсмического прогноза.

Анализ литературы показал, что точных аналогов по этой программной разработке не имеется. Существующие мировые ГИС-системы [1–5] затрагивают лишь отдельные стороны описанных проблем и не обладают достаточным информационным и программным обеспечением, необходимым набором технологий, формирующим основу комплексного геоинформационно-экспертного подхода к исследованию сейсмологической, геоморфологической и сопутствующей геофизической информации. Особенно отметим отсутствие в этих системах достаточной информационной базы по предметной области: представительных каталогов землетрясений (с представительной магнитудой $M_{np} = 1-2$), достаточно детальных данных наблюдений (в частности, данных дистанционного зондирования Земли). Отсутствие на данный момент универсального программного обеспечения и надежных характеристик для изучения геодинамических процессов (в том числе, подготовки землетрясений), а также невозможность использования имеющегося программного обеспечения для решения специализированных задач по выявлению геодинамических структур и изучению сейсмогеодинамического режима в области развития этих структур заставило начать работу по созданию собственной, более актуальной системы исследования природных катастроф. Были выработаны основные требования к вновь создаваемому продукту: возможность оперативного проведения исследований на разных масштабных уровнях; уход от излишней автоматизации путем создания системы экспертных оценок; наукоёмкость; возможность экспериментирования с использованием новых методик, возможность постоянной актуализации данных.

Предметная база данных системы GIS-ENDDB включает в себя сейсмологические каталоги, различающиеся по детальности и территориальному охвату (NEIC, SIGN, COMPLEX и др.) [6], мировой каталог импактных структур (Impact) [7], данные дистанционного зондирования Земли: по рельефу различной детальности – до 1 географической секунды на точку (ASTER GDEM), гравиметрии – до 30 секунд на точку (USGS: модель V18.1² – 2009г), а также данные теплового потока (ТП) Земли (Университета Сев. Дакоты, США³) (рис. 1) и тектоно-магнитных наблюдений (собранных в ходе полевых работ ИНГГ СО РАН⁴).

² Данные “GLOBAL MARINE GRAVITY” – V18.1, 2008. URL: topex.ucsd.edu/sandwell/publications/122.pdf.

³ The global heat flow database of the international heat flow commission. Site Provided by the University of North Dakota, 2015. URL: www.heatflow.und.edu/index2.html.

⁴ Kuleshov D. Problem of geomagnetic secular variation accounting for tectonomagnetic studies // INT. CONF. “Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies” (18–21 July 2016; Sochi region, Mountain cluster), 2015.

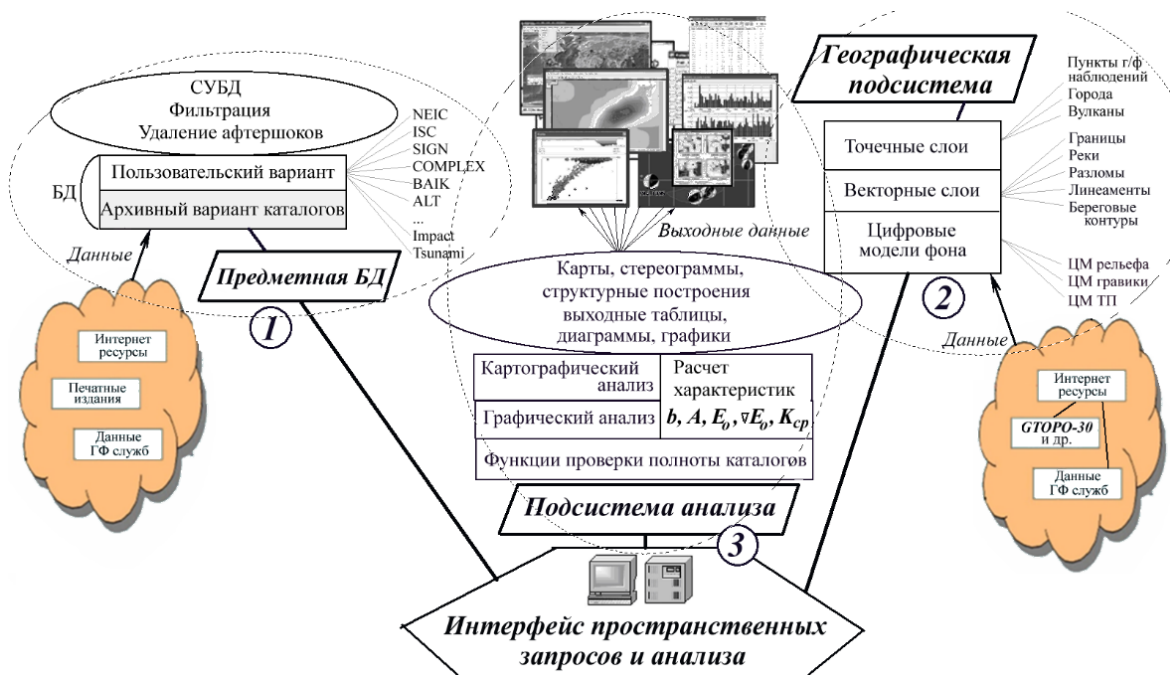


Рис. 1. Архитектура и информационное наполнение подсистем GIS-ENDDB

Сейсмологическая база данных состоит из десятков каталогов и других сейсмических материалов известных геофизических служб и агентств: Геофизической службы (ГС) РАН (оперативные и детальные каталоги Байкальского, Алтайского, Дальневосточного и других филиалов – BAIK, ALT и т. д.), Американской геологической службы – USGS (мировые и региональные каталоги землетрясений – NEIC, SIGN и др.), Международного сейсмологического центра в Беркшире, Англия (оперативные и очищенные мировые каталоги – ISC и ISC-EHB), Японской метеорологической службы (наиболее полный каталог землетрясений Японии – JMA), Сейсмологической опытно-методической экспедиции Республики Казахстан (наиболее детальный каталог KAZ), Китайского сейсмологического бюро (CHIN), Гарвардской сейсмологической группы (каталоги механизмов) и др.

Наполнение базы данных осуществляется из электронных источников с помощью специально разработанных конверторов, настроенных на форматы данных различных служб и преобразующих их в единый формат GIS-ENDDB. Этот подход удобен для работы с каталогами событий, а также с векторными и точечными данными, максимальный размер которых не превышает 125 Мб. Однако при работе с топографическими моделями ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) объемы хранимой информации по детальному рельефу вырастают до десятков и сотен Гигабайт. Поэтому была разработана методика фрагментарного добавления данных высокого разрешения в среду GIS-ENDDB, в частности, данных ASTER GDEM, размер которых в случае объединения в единый файл по всему миру составил бы $1,62 \cdot 10^{12}$ байт. Внедрение в систему файла такого размера неоправданно с точки зрения эффективности её работы, включение же необходимого фрагмента для района рассматриваемой структуры (или области) составляет несколько минут и включает скачивание файлов по выбранной географической области (из архива или непосредственно из сети Интернет), конвертацию исходных форматов этих файлов в формат ENDDB с помощью специального конвертора и внесение соответствующих изменений в текстовый файл описания массивов [9].

Также создан инструментарий для преобразования в цифровой вид данных с бумажных носителей, например, детальных морских карт или снимков высокого разрешения. Созданы программы псевдотрёхмерной и полностью трёхмерной визуализации цифровых моделей рельефа и других геофизических данных.

Среда информационного моделирования в системе GIS-ENDDB

Задачи пространственно-временного изучения объектов и явлений геологической среды являются очень сложными в связи с тем, что инструментальные измерения некоторых параметров среды либо невозможны, либо требуют дополнительной интерпретации, не всегда однозначной, и поэтому часто заменяются экспертными оценками или дополняются экспертными решениями. Вот почему геоинформационные технологии в геофизике применяются, прежде всего, для выполнения функций экспертно-информационных систем [1], примером которых является и система GIS-ENDDB (рис. 2).

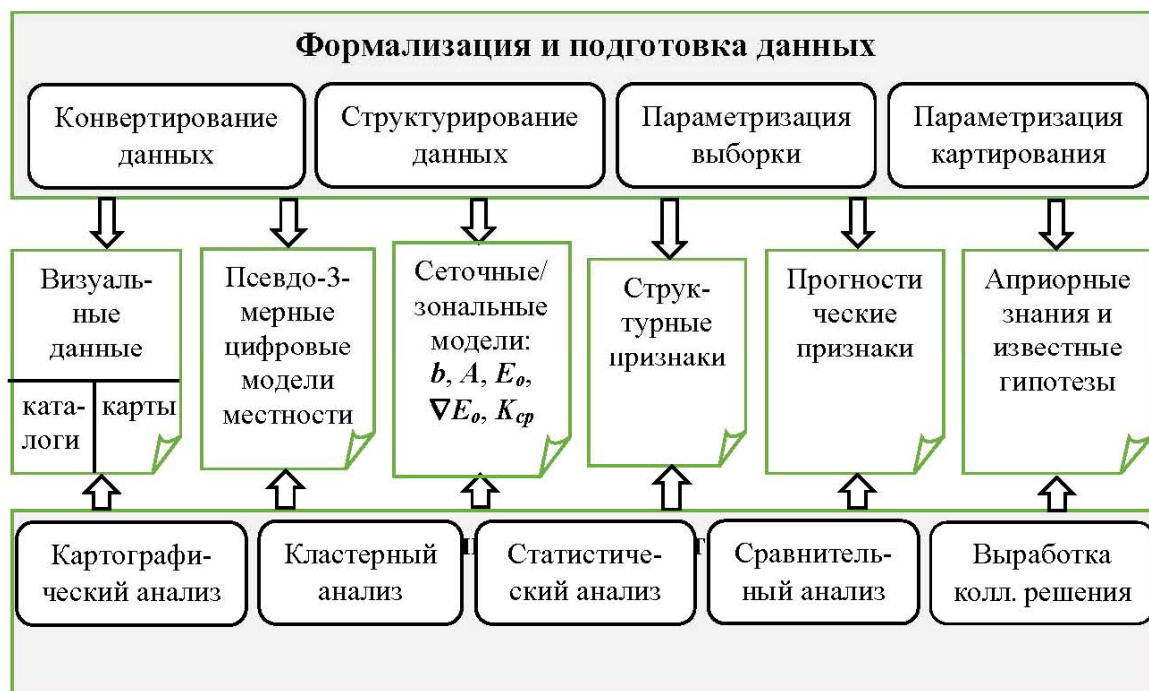


Рис. 2. Информационные модели и технологии системы GIS-ENDDB

Созданная на базе сейсмологического комплекса EEDB (Expert Earthquake Database⁵) [6], программно-аналитическая система GIS-ENDDB объединяет в рамках единого интерфейса подсистему геоинформационно-экспертного анализа с базами данных природных катастроф и географической подсистемой визуализации этих данных (см. рис. 1). В совокупности с географической оболочкой Базы данных составляют основу «геоинформационного подхода» [1], который заключается в изучении пространственно-временных процессов и явлений, характеризующих геодинамическое состояние среды.

В частности, при изучении процессов подготовки и реализации крупных сейсмических событий целью геоинформационного анализа является извлечение из полученной в виде карт и графиков информации закономерностей и знаний, имеющих значение для сейсмологического прогноза (сценарии использования инструментария GIS-ENDDB для такого вида исследований приведен в работе [10]). При этом на всех этапах исследования, не позволяющих оперировать в рамках четкой логики, используется «экспертный подход». Рассмотрим примеры этого подхода в рамках сформулированного ранее [9] алгоритма предсказания землетрясения. Алгоритм состоит из трех этапов:

⁵ Роспатент. Гос. рег. № 2011613755 от 13.05.2011.

1. Выявление кольцевых и радиальных структур различными методами (например, по данным сейсмичности с использованием алгоритма линейментных построений [9]), последовательно детализируя глобальную систему структурных элементов по масштабу;

2. Уточнение фазы сейсмического цикла с помощью сеймогеодинамических характеристик (относительной сейсмической энергии E_o , плотности сейсмогенных разрывов K_{cp} [11]) на каждом масштабном уровне.

3. Выявление ближайших активизаций, геодинамически связанных с выявленной областью, как возможных спутников перестройки геофизической среды.

В этом алгоритме *первой* специализированной функцией GIS-ENDDB является формирование экспертных заключений относительно разномасштабных геодинамических процессов, отраженных в геолого-геофизических полях в виде характерных геоструктурных элементов [11] линейной и кольцевой формы. Способы выявления этих структур зависят от типа используемой информации (рис. 3):

1) линейментными построениями по распределению сейсмичности в плане [9, 11, 12] (рис. 3, а);

2) по распределению сейсмичности в разрезах – в виде сейсмоактивных плоскостей и «сейсмических гвоздей» [11–12];

3) в аномалиях гравиметрии [11–12] (рис. 3, б);

4) в аномалиях теплового потока [11] (рис. 4, в);

5) по конфигурации зон распределения характеристик сейсмического режима [10, 11] (рис. 4);

6) по детальному рельефу в плане и разрезе [12] (рис. 3, в);

7) по геолого-тектоническим данным из других источников (например, об активных разломах, блоках, тектономагнитные наблюдения и т. д.).

Отметим, что, этот список постоянно пополняется в ходе исследований, требуя добавления новых данных и методов их анализа. Чем больше методов этого списка подтверждают выявленный объект, тем более достоверным он является.

На *втором* этапе алгоритма в области развития выявленных структур проводится построение сеточных или зональных моделей распределения характеристик сеймогеодинамического режима: b (наклона графика повторяемости), A (сейсмической активности), упомянутых выше характеристик E_o и K_{cp} , а также градиента относительной сейсмической энергии ∇E_o (см. рис. 2) [11, 13, 14].

Функции статистического анализа этих моделей реализуют два принципа: математический (количественный) и аналитический (качественный). Недостатками первого является проблема неполноты данных и недостаточной представительности выборки (в случае излишней детализации исследования). Неполнота данных в системе GIS-ENDDB определяется по значению дисперсии σ графика повторяемости [11, 15]. Для статистически точного определения необходимого объёма выборки и учёта её влияния на погрешность оценок параметров (b , A , E_o , K_{cp} , ...) используется понятие доверительного интервала [15]. Достаточно точное значение погрешности ε для выборочной оценки любого рассматриваемого параметра определяется при этом, как $1/\sqrt{n}$, где n – объём выборки в ячейке расчёта. В системе GIS-ENDDB заложена возможность построение карт распределения ε , которые позволяют оценить достоверность полученных расчётов.

Ошибки использования второго принципа (аналитического) связаны с тем, что зависимость исследуемых характеристик каждого события от физических свойств геологической среды известна лишь качественно [1] (из-за отсутствия строгих причинно-следственных моделей развития процессов структурообразования). Поэтому правильное сочетание этих двух принципов возможно только в рамках экспертного подхода.

Например, можно рассчитать значения наиболее информативных характеристик сейсмичности с точностью, определяемой качеством реальных данных, и, при наглядной визуализации полученных значений, проанализировать их с целью уточнения входных параметров программы. При таком подходе процесс расчёта характеристик в GIS-ENDDB сопоставим с программами классических экспертных систем, которые отличается от обычных программ по следующим признакам: эмпирическим (а не теоретическим) моделям объекта, неявному

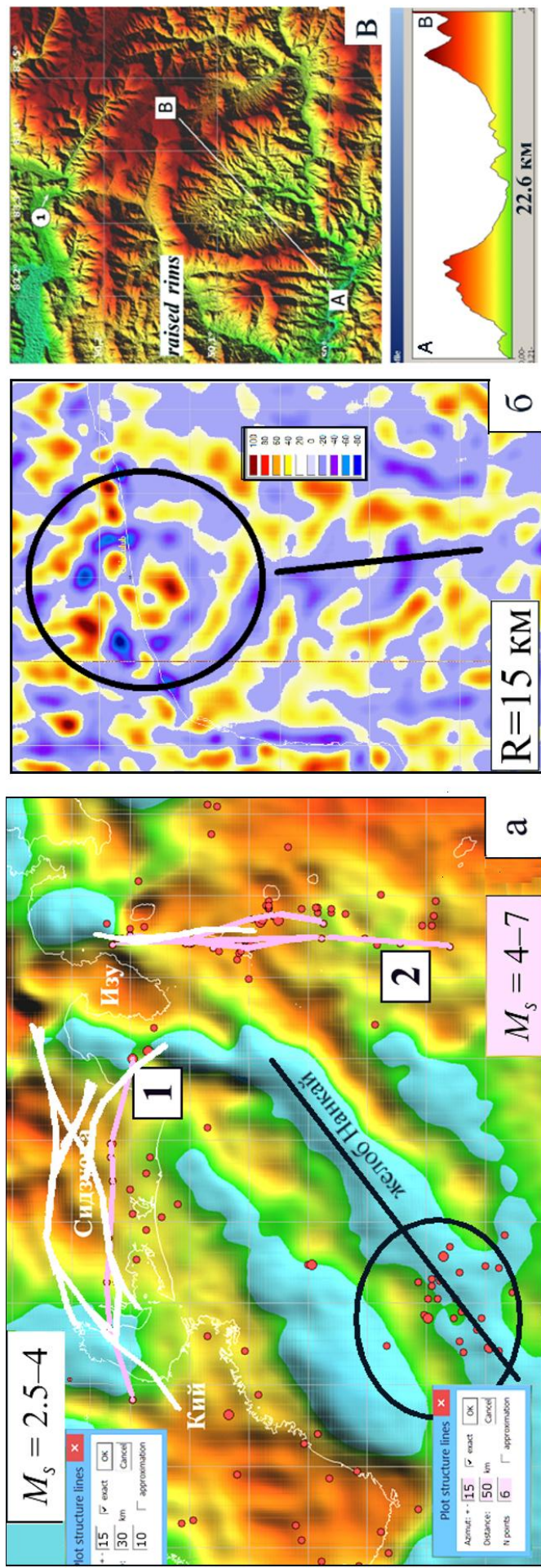


Рис. 3. Примеры кольцевых и линейных структур, выявленных по различным данным GIS-ENDDB: а – в районе Сидзуока-Изу по цифровой модели гравитационных аномалий (желоб Нанкай) и дугообразным линейностям сейсмичности с $H \leq 50$ км: розовый цвет – по умеренной сейсмичности: $M = 4-7$, 2000–2015 гг. (Az, L, n_{min}) = (15°, 50 км, 6), белый цвет – по слабой сейсмичности: $M = 2.5-4$, 2012–2014 гг. (Az, L, n_{min}) = (15, 30 км, 10), овалом отмечена область долговременной концентрации сейсмичности ($M=2-8$); б – для импактного кратера «Чиксулуб» по локальной составляющей гравитационного поля (трансформация Андреева-Гриффина); в – для кратера «Чаша» по данным детального рельефа ASTER GDEM (на карте и в разрезе)

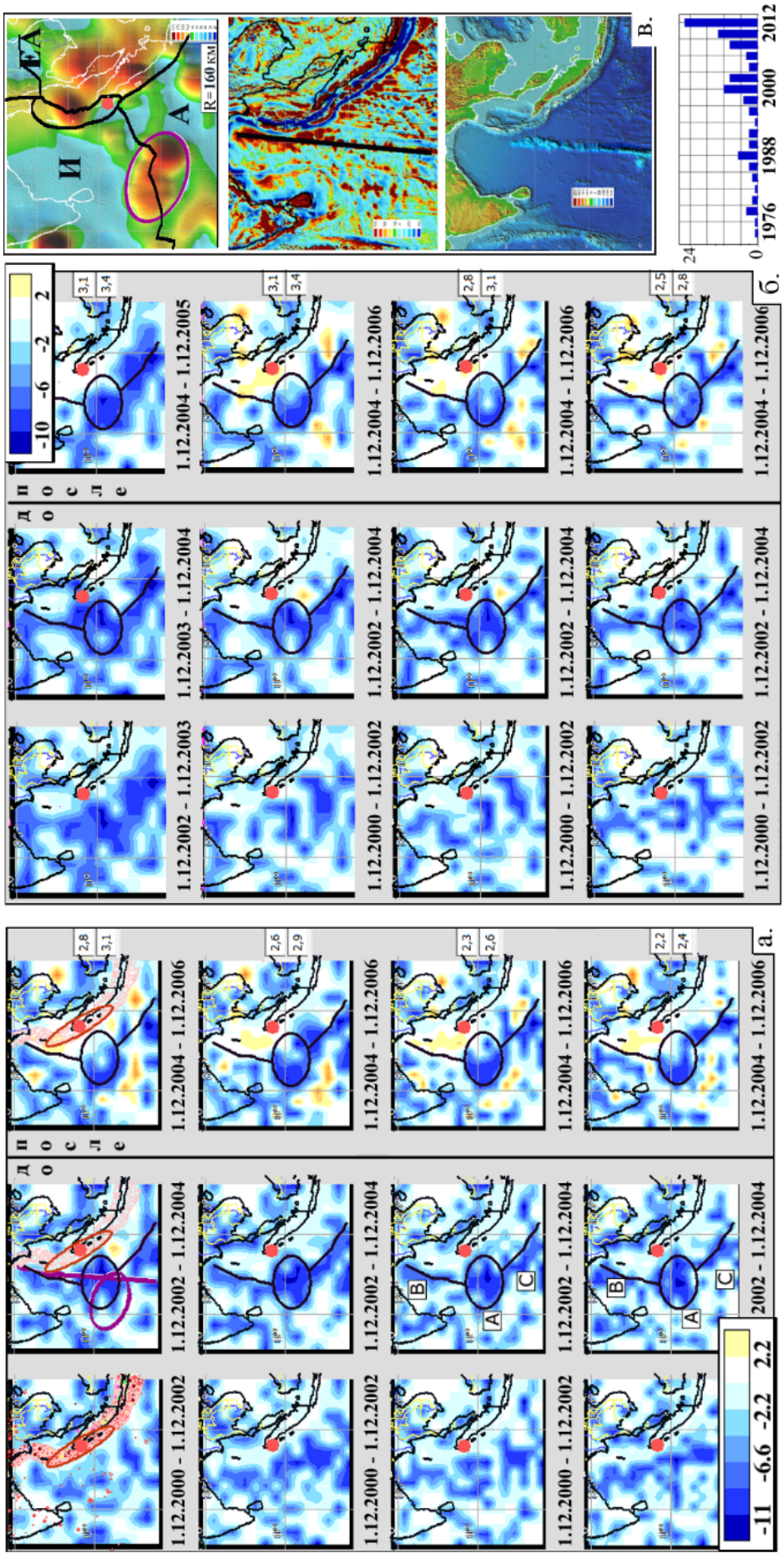


Рис. 4. Примеры одновременного вывода последовательностей карт с различной ячейкой расчета E_0 (указанной в конце последовательности) по 2-летним интервалам до и после Су-матро-Адаманского землетрясения 2004 г.: а – по данным каталога ISC (51 609 событий региона), в верхнем ряду показаны: розовым цветом – сейсмический пояс субдукции, красным – событие 26.12.2004 и его афтершоковый эллипс, фиолетовым – структуры, выраженные в г/ф полях, в нижнем ряду нанесены обозначения отмеченных структур затятий: А, В и С; б – по данным NEIC (21 724 событий), в верхнем ряду – годовые интервалы; в – карты (сверху вниз): теплового и гравитационного полей, рельефа

(а не точному) количеству шагов решения, удовлетворительным (а не оптимальным) искомым решениям, частой модификацией применяемых методов расчета.

Нахождение решения сводится к многократному подбору интерактивно задаваемых входных параметров программы – параметров выборки событий, окон осреднения, требуемой погрешности расчетов. Для выявления устойчивых решений в программе имеются опции одновременного вывода геодинамических последовательностей, рассчитанных с меняющимся в заданном диапазоне входным параметром, например, шагом осреднения (см. рис. 4). Для достоверности получаемой информации большое значение имеет также правильный подбор параметров визуализации. Значения подбираемых параметров могут существенно отличаться для различных характеристик сейсмогеодинамического процесса [10] (см. п. «параметризация» на рис. 2). Всё это позволяет говорить о «геоинформационно-экспертном» подходе к анализу данных природных катастроф. Только такой подход может помочь решить сложные задачи геодинамики, в частности, определить, какие изменения состояния геосреды в областях, окружающих сейсмогенную структуру, приводят к нарушению метастабильного состояния и реализации разрушительного землетрясения [10, 13].

Например, как показывает рисунок 4, в последний 2-летний период перед разрушительным Суматро-Адаманским землетрясением 26.12.2004 ($M_w=9,1$) на площади 400×600 км сформировалось кольцеобразное затишье “А” (с двумя линейными «рукавами» “В” и “С” северного и юго-восточного простирания), вблизи контура которых происходят как будущее мега-событие 2004 года, так и последующая активизация сейсмичности (отмечаемая аномалиями желтого цвета). Затишье выявляется по распределению характеристики $E_o = \lg E_{\text{сум}} / E_{\text{ф}}$, т. е. нормированной к фону (параметру $E_{\text{ф}}$, усредняемому за длительный период наблюдений: 1973–2004 гг.) суммарной сейсмической энергии ($E_{\text{сум}}$).

При анализе представительности используемых здесь каталогов (ISC и NEIC) выявляется статистическая недостаточность данных для территории структуры А (не более 274 событий глубиной до 60 км по данным различных каталогов), и даже для наиболее полного каталога ISC (являющегося в 2 раза более полным по сравнению с каталогом NEIC) данные графика повторяемости выявляют ограничение: $M_{\text{пр}}=4$ при дисперсии $\sigma=0,09$, а погрешность оценок ϵ для выбранных размеров ячеек составляет 20–50 %.

В случаях подобной недостаточности данных используется опция одновременного вывода геодинамических последовательностей, которая подтверждает устойчивость проявления структур А, В и С к входным параметрам расчета: размеру расчетной ячейки (в данном случае – для характеристики E_o) и даже к исходному каталогу (см. рис. 4, а – ISC, б – NEIC).

Кроме того, верификация с помощью реальных данных геофизических наблюдений: теплового потока и гравиметрии (см. рис. 4, в) показывает наличие кольцевых и линейных аномалий в области этих структур.

В частности, структура «В» соответствует северному сегменту Восточно-Индийского хребта, выраженного контрастной положительной аномалией на картах гравитационного поля и рельефа в виде прямолинейной структуры меридионального простирания длиной более 5000 км.

Кольцевой структуре “А” соответствует крупная эллипсовидная аномалия теплового потока: до 187 мВт/м^2 (см. рис. 4, в, сверху), приуроченная к области сочленения 3-х литосферных плит: Индийской, Австралийской и Евразийской.

Исключение составляет линейная структура “С” юго-восточного простирания, не находящая отражение в геофизических аномалиях, что заставляет предположить соответствие структур “В” и “С” периферийной части сейсмического пояса Зондской зоны субдукции (показанного в верхнем ряду рис. 4, а).

В заключение отметим, что для реализации экспертного подхода, необходимого при решении подобных задач, во многом опирающихся на опыт и навыки экспертов, была поставлена задача создания сетевой версии GIS-ENDDB для коллективного исследования в многопользовательском режиме. Первые попытки организации удаленного доступа были предприняты в рамках локальной сети головной организации ГС РАН (г. Обнинск) для сейсмологического прототипа программы (GIS-EEDB) с помощью Удаленного рабочего стола. Это привело к осознанию необходимости расширения системы коллективного исследования. Такая система поможет принимать коллективные экспертные решения по многим спорным

вопросам, и повысит эффективность научно-исследовательских работ в целом, предоставляя удаленному исследователю доступ к созданным нами (с участием ГС РАН) уникальным базам данных, наиболее информативным для поставленных геодинамических задач.

В настоящий момент сетевой проект находится в начальной стадии разработки [16] и поддерживает функции визуализации каталога импактных структур на фоне стандартной топографической карты либо цифровой модели рельефа – ЦМР (рис. 5)⁶. При выборе структуры на карте выводится краткая информация и гиперссылка на страничку с полным описанием импактной структуры. Приложение выполняется на основе многозвенной архитектуры клиент-сервер. В качестве web-сервера используется облачный сервис. Все данные (географические и предметные) в настоящее время организованы в СУБД MS SQL Server, что несколько замедляет их подкачку, а затем обрабатываются массивом. При зуммировании область и глубина подгружаемых файлов меняется.

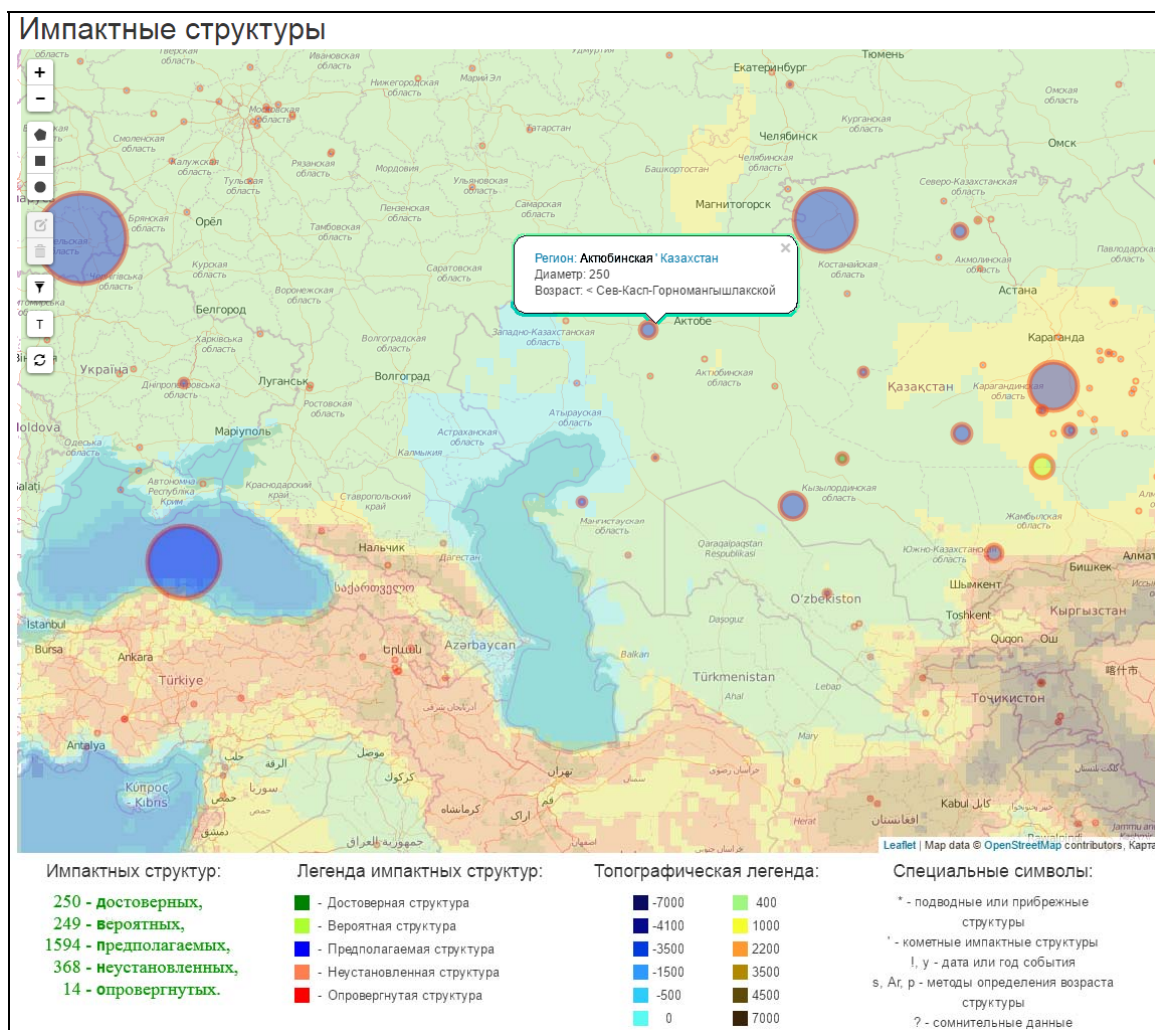


Рис. 5. Пример Web-странички, загружаемой по опции «Карта ENDDB». Визуализации ЦМР служит кнопка меню «Т»

Отметим, что данные о распределении импактных (постударных) структур Земли позволяют учесть влияние космогенного фактора на геотектонику и современные сейсмогеодинамические процессы. Возможная взаимосвязь импактных структур и современной сейсмично-

⁶ Полный каталог импактных структур Земли А. В. Михеевой, ИВМиМГ СО РАН, 2016. URL: <http://labmpg.sccc.ru/impact/>.

сти подтверждается результатами комплексного геоинформационно-экспертного анализа по множеству методов системы GIS-ENDDDB [17, 18].

Заключение

Приведенные примеры показывают полезность и необходимость программной геоинформационной системы GIS-ENDDDB для изучения глобальных процессов геодинамики с использованием экспертного подхода. Геоинформационно-экспертный подход позволяет в полной мере реализовать потенциал геоинформационного моделирования геодинамического пространства. Выявленные в результате сравнительного анализа геоструктуры, концентрирующие опасные землетрясения, либо влияющие на них, а также выдвинутые в результате экспертизы гипотетические модели подготовки землетрясений и разносторонняя проверка этих моделей могут помочь в принятии обоснованных решений долгосрочного и среднесрочного прогноза сейсмических активизаций и сильных землетрясений.

Список литературы

1. Гитис В. Г., Ермаков Б. В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. М.: Физматлит, 2004. 256 с.
2. Макеев А. М., Кролевец А. Н. Эффективная компьютерная программа поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений Камчатской сейсмоактивной зоны // Вторая региональная научно-техническая конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» (Петропавловск-Камчатский, 11–17 октября 2009 г.): Тез. докл. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 123.
3. SeismoGIS: A tool for the visualization of earthquake data / С. Willmes [и др.] // Proc. XXI ISPRS congress (Beijing, China, 3–11 July 2008). Beijing, 2008. P. 1239–1244.
4. Завьялов А. Д. Среднесрочный прогноз землетрясений. Основы, методика, реализация. М.: Наука, 2006. С. 254.
5. Маринин И. В., Елецкий С. В., Чесноков В. В. Использование Imp.Itris для предварительного и оперативного исследования цунами и оценки их последствий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 18, № 12. С. 181–185.
6. Михеева А. В., Дядьков П. Г., Марчук Ан. Г. Геоинформационная система GIS-EEDB и методы пространственно-временного анализа сейсмологических данных // Геоинформатика. 2013. № 2. С. 58–65.
7. Alekseev A. S., Mikheeva A. V. The new data of “Catalogue of the Earth’s impact structures” // *Geochimica et Cosmochimica Acta. Suppl.* 1. – S19. 2008. Vol. 72 (12). P. A627–A627.
8. Михеева А. В. Изучение структур различного геологического генезиса средствами ГИС ENDDB // Образовательные ресурсы и технологии. Геоинформатика в научных исследованиях Арктики. 2014. № 5 (8). С. 108–118.
9. Kalinnikov I. I., Mikheeva A. V. The GIS-EEDB computing system, lineaments and a problem of earthquake prediction // *Computing Center Bulletin. Series Math. Model. in Geoph.* Novosibirsk: NCC Publisher, 2015. No. 17. P. 17–34.
10. Mikheeva A. V. Studying a spatial-temporal distribution of seismicity in the area around Fukushima Prefecture by GIS-EEDB program tools // *Computing Center Bulletin. Series Numerical Analysis.* Novosibirsk: NCC Publisher, 2013. No. 16. P. 65–79.
11. Михеева А. В. Геоструктурные элементы, выявляемые математическими алгоритмами и цифровыми моделями геоинформационно-вычислительной системы GIS-ENDDB. Новосибирск: Омега Принт, 2016. 300 с.
12. Михеева А. В., Калинин И. И. Геоструктурные элементы, выявляемые цифровыми моделями и формальными алгоритмами ГИС ENDDB // Материалы X Междунар. сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» Новоханы, Азербайджан, 2015. С. 221–225.
13. Дядьков П. Г., Кучай О. А., Михеева А. В. и др. Стадии подготовки Алтайского землетрясения 27.09.2003, Mw = 7,3, и связанные с ними изменения состояния сейсмогенной среды // *Физическая мезомеханика.* 2010. Т. 13, № 6. С. 78–82.

14. Новиков И. С., Дядьков П. Г., Козлова М. П., Михеева А. В. и др. Неотектоника и сейсмичность западной части Алтае-Саянской горной области, Джунгарской впадины и Китайского Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 12. С. 1441–1451.

15. Djadkov P. G., Mikheeva A. V. The EEDB – Expert Earthquake Database for Seismic-Geodynamic Research // Bulletins of the Novosibirsk ICMMG. Mathematical Modeling in Geophysics. 2010. No. 13. P. 15–30.

16. Михеева А. В., Егоров А. А. Сетевая версия ГИС-системы визуализации каталога импактных структур Земли // Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования: Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. / АУ «Югорский НИИ информационных технологий». Ханты-Мансийск: Югорский формат, 2015. С. 46–48. URL: gisconf.uriit.ru/materials/index.html#47.

17. Михеева А. В., Калинин И. И. Возможности инструментов GIS-ENDDB в изучении сложных геотектонических структур // IV Междунар. конф. «Современные информационные технологии для научных исследований в области наук о Земле. ITES-2016» (г. Южно-Сахалинск, 7–11 августа 2016 г.): Тез. докл. Владивосток: Дальнаука, 2016. Р. 150.

18. Михеева А. В. Изучение геоструктурных элементов Памиро-Гиндукушской зоны средствами GIS-ENDDB // Путь науки. 2016. № 5 (27). Т. 2. С. 86–87.

Материал поступил в редколлегию 12.07.2016

A. V. Mikheeva^{1,2,4}, **P. G. Dyadkov**^{2,3}, **An. G. Marchuk**^{1,3}, **A. A. Egorov**⁵

¹ ICM & MG SB RAS

6 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

² IPGG SB RAS

3 Academician Koptug Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

³ Novosibirsk State University

1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

⁴ Higher School of Informatics of NSU

ул. Русская, 35, Новосибирск, 630058, Россия

⁵ Surgut State University

1 Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation

Anna@omzg.sgcc.ru, DjadkovPG@ipgg.nsc.ru

MAG@omzg.sgcc.ru, EAAfit@gmail.com

INFORMATION TECHNOLOGIES OF THE EXPERT SYSTEM GIS-ENDDB («THE EARTH'S NATURAL DISASTERS DATABASES»)

The GIS-ENDDB program package (the Earth's Natural Disasters Database) contains data of the Earth's Impact Structures Catalog, seismological data from more than 60 catalogs of earthquakes, as well as arrays of measurements of the Earth's heat flow, detailed topography, the gravitational field anomalies (the Earth's remote sensing data) and other geological-geophysical observations. The resulting system allows the researcher-nonprogrammer to communicate with a computer, to formulate and to solve his own intellectual challenges focused on studying the cause-and-effect relations of catastrophic events in the history of our planet. The methodological basis of the research are the methods of physical and mathematical analysis, GIS techniques and different approaches to interpreting the data.

Keywords: impact structures catalog, earthquakes catalogs, seismic characteristics, geotectonic morphostructural elements, geophysical anomalies.

References

1. Gitis, V.G.; Ermakov, B.V. Fundamentals of Existential Prediction in Geoinformatics; Moscow: Phymathlit, 2004; 256 p. (in Russian).

2. Makeev A.M., Krolevets A.N. Efficient computer program for the search to planes of earthquake hypocenters grouping in Kamchatka seismic active zone // Second Regional Scientific Conference "Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East" (Petropavlovsk-Kamchatsky, October 11–17, 2009): Proc. rep. – Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009. – P. 123. (in Russian).
3. SeismoGIS: A tool for the visualization of earthquake data / C. Willmes [et al.] // Proc. XXI ISPRS congress (Beijing, China, 3-11 July 2008) – Beijing, 2008. – P.1239–1244.
4. Zavyalov, A.D. Medium-Term Earthquake Prediction: Principles, Methods, and Practice; Moscow: Nauka, 2006; 254 p. (in Russian).
5. Marinin I.V., Yeletskiy S.V., Chesnokov V.V. Using “Imp.Itris” for pre- and operative-tsunami research and its consequences assessment // Mining informational-analytical bulletin. – Publisher MGGU, 2009. – Vol. 18. – No. 12. – P. 181–185. (in Russian).
6. Mikheeva, A.V.; Dyadkov, P.G.; Marchuk, An.G. GIS-EEDB geoinformation system and methods for space-time analysis of seismological data. Geoinformatika. – 2012. – No 2. – P. 58–65.
7. Alekseev A.S., Mikheeva A.V. The new data of “Catalogue of the Earth’s impact structures” // *Geochimica et Cosmochimica Acta. Suppl.1.* – S19 (July 2008).72 (12). – P. A627–A627.
8. Mikheeva A.V. Study of structures of various geological genesis by means of GIS ENDDDB // Educational resources and technology. – Geoinformatics in scientific research of Arctic. – S.Y. Witte Moscow University, 2014. – No. 5 (8). – P. 108–118. (in Russian).
9. Kalinnikov I.I., Mikheeva A.V. The GIS-EEDB computing system, lineaments and a problem of earthquake prediction // Computing Center Bulletin. Series Math. Model. in Geoph.—Novosibirsk: NCC Publisher, 2015. – No. 17. – P. 17–34.
10. Mikheeva A.V. Studying a spatial-temporal distribution of seismicity in the area around Fukushima Prefecture by GIS-EEDB program tools // Computing Center Bulletin. Series Numerical Analysis. – Novosibirsk: NCC Publisher, 2013. – No. 16. – P. 65–79.
11. Mikheeva A.V. Geostructural elements detected by mathematical algorithms and numerical models of the geoinformation-computer system GIS-ENDDDB // Novosibirsk: Omega Print, 2016. – 300 p. (in Russian).
12. Mikheeva A.V., Kalinnikov I.I. Geo-structural elements detected by digital models and formal algorithms of the GIS ENDDDB // Proc. 10th International Seismological School "Modern methods of processing and interpretation of seismic data" (Novhany, Azerbaijan, 14-18 September 2015). – 2015. – P. 221–225. (in Russian).
13. Dyadkov P.G., Kuchay O.A., Mikheeva A.V. [et al.] Preparation stages of the Altay earthquake of magnitude 7.3 in 2003 and attendant changes in the seismogenic environment // Physical mesomechanics. – 2010. – Vol. 13, – No. 6. – P. 78–82. (in Russian).
14. Novikov I.S., Mamedov G.M., Cherkas O.V., Dyad'kov P.G., Kozlova M.P., Mikheeva A.V. Recent tectonics and seismicity of the western Altai-Sayan mountainous region, Junggar basin, and Chinese Tien Shan // Russian Geology and Geophysics. – 2014. – Vol. 55. – No. 12. – P. 1441–1451.
15. Dyadkov P.G., Mikheeva A.V. The EEDB – Expert Earthquake Database for Seismic-Geodynamic Research // Bulletins of the Novosibirsk ICMG. Mathematical Modeling in Geophysics. – 2010. – No. 13. – P. 15–30.
16. Mikheeva A.V., Egorov A.A. The network version of GIS system for visualization of the Earth’s impact structures catalog // Geoinformation technology in solving environmental management tasks: Materials of II All-Russian scientific-practical conference. – AU "URIIT". – Khanty-Mansiysk: Yugra format, 2015. – P. 46–48. – URL: gisconf.uriit.ru/materials/index.html#47. (in Russian).
17. Mikheeva A.V., Kalinnikov I.I. Capabilities of tools GIS-ENDDDB in the study of complex tectonic structures // IVth Int. Conf. “Modern Information Technologies in Earth Sciences ITES-2016” (7-11 August 2016, Yuzhno-Sakhalinsk): abstr. – Vladivostok, Dal'nauka, 2016. – P. 150.
18. Mikheeva A.V. Studying geostructural elements in the Pamir-Hindu Kush zone by means of GIS-ENDDDB // The Way of Science. – 2016. – No. 5 (27). – Vol. II. – P. 86–87.