

На правах рукописи

БУЛАЕВА НУРЖАГАН МАЙСОВНА

**МОНИТОРИНГ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ВОСТОЧНОГО
ПРЕДКАВКАЗЬЯ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
(на примере Дагестана)**

Специальность: 25.00.36 – Геоэкология,
25.00.35 - Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2004

Работа выполнена в Институте проблем геотермии
Дагестанского научного центра РАН и экологическом факультете РУДН

Научный консультант:

доктор геолого-минералогических наук

М.Д. Хуторской

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук

В.Д.Скарятин

доктор технических наук

Е.В.Вержбицкий

доктор технических наук

Е.А.Лупян

Ведущее предприятие: Объединенный институт физики Земли
им.О.Ю.Шмидта РАН

Защита состоится «13» мая 2004г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.203.17 в Российском университете дружбы народов по адресу: 113093, г.Москва, Подольское шоссе, д.8/5, экологический факультет РУДН.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского университета дружбы народов по адресу: 117198, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.6

Автореферат разослан «9» апреля 2004г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор биологических наук, профессор



Черных Н.А.

ВВЕДЕНИЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Исследование теплового состояния Земли, закономерностей ее теплового режима в настоящее время приобретают актуальное значение для геоэкологического мониторинга, особенно, в связи с активизацией сейсмических процессов в Восточном Предкавказье. В этом аспекте важное значение имеет тепловой режим всей его осадочной толщи и складчатого палеозойского фундамента. Немаловажную роль в тепловом режиме поверхностного слоя фундамента играют его геологоструктурные элементы (глубинные разломы, тектонические нарушения, интрузии и др.) (Амирханов Х.И., Суетнов В.В., и др., 1973).

Исследование природы температурных аномалий по результатам космических и наземных съемок в инфракрасном диапазоне позволяет выявить динамику энергетических и экзогенных геотермических процессов, влияющих на современное геодинамические движения. Весьма актуальным представляются следующие проблемы:

- сейсмические — связь тектонической активности региона с поверхностными аномалиями, регистрирующимися на космических снимках при землетрясениях;
- геологические — выявление участков современной и гидродинамической активности с целью поиска зон повышенной трещиноватости в пластах — коллекторах для поиска и разведки нефтегазовых и геотермальных месторождений, а так же выявление участков для сброса отработанных вод под землю;
- гидрогеологические — изучение вероятностного распределения поверхностных вод в прибрежной зоне Каспия в результате изменения уровня водоема (прогнозирование участков затопления и подтопления);
- инженерно-геологические — прогноз и предотвращение природных и техногенных катастроф, связанных с проседанием земной поверхности в

результате разработки нефтегазовых месторождений и в результате подмыва отдельных участков в пределах населенных пунктов.

Решение поставленных задач обеспечивается созданным программно-техническим комплексом для приема, обработки и визуализации разнородной мониторинговой информации на базе геоинформационных технологий по изучаемому региону.

В основу работы положены следующие фактические материалы:

1. Космические снимки NOAA по Кавказу за январь-февраль 1999 года.
2. Общегеографическая карта Республики Дагестан масштаба 1:500000 и окрестности Махачкалы масштаба 1:200000.
3. План города Махачкалы масштаба 1:25000.
4. Результаты глубокого бурения (геологические срезы и термограммы), пробуренных в разное время организациями «Дагнефть» и «Дагбургеотермия».
5. Результаты экспедиционных работ по приповерхностной термосъемке на опытных полигонах: Димитровском (2001г.) и Манас-Ачису (2002г.).
6. Фактический материал по сейсмическим событиям на территории Восточного Предкавказья за период 1969-2002гг. (источники: материалы сейсмической станции «Махачкала», оперативные каталоги ЦОМЭ ГС РАН).

Работа выполнена в соответствии с плановой научной темой лаборатории региональной геотермии Института проблем геотермии «Мониторинг современных геодинамических движений и приповерхностных температурных полей Восточного Предкавказья и прилегающей шельфовой зоны Каспия».

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение теплового поля Земли и разработка новых подходов и решений для постановки комплексного мониторинга тепловых полей на территории Восточного Предкавказья (Республика Дагестан) на основе применения современных ГИС-технологий.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ. Разработка методики геоэкологических исследований с помощью комплексного мониторинга теплового поля в регионе

с помощью ГИС технологий, а именно:

1. технологии сбора, систематизации и хранения разнородной мониторинговой информации (банки данных);
2. технологии выделения геоэкологических аномалий и фонового поля на основе обработки материалов дистанционного зондирования;
3. технологии обработки и преобразования первичного материала в единую (специально разработанную) структуру;
4. технологии комплексной визуализации структурированных данных в пространстве и во времени на картографической основе.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Впервые целенаправленно проведены работы по постановке комплексного мониторинга теплового поля на территории Восточного Предкавказья с применением современных средств вычислительной техники и разработкой новых геоинформационных технологий. Разработана оригинальная методика построения трехмерной ГИС для изучения теплового поля на базе цифровой картографической 3D-модели и ее приложений, способной интегрировать и комплексно отображать разнородные данные в пространстве и во времени благодаря систематизации и приведению к единой структуре мониторинговой информации.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1. На основе системного подхода и современных ГИС-технологий разработана структура банка геофизических данных и предложена концепция комплексного мониторинга теплового поля Восточного Предкавказья для оценки геоэкологического состояния региона.
2. Разработана технология обработки и визуализации данных приповерхностного температурного поля, полученных в результате полевых работ, с целью их последующей интерпретации.
3. Разработаны геоинформационные технологии, основу которых составляет цифровая картографическая 3D-модель, для выявления и наглядного представления основных закономерностей распределения температур на

различных срезам по глубине, по кровлям отдельных литолого-стратиграфических комплексов и на профильных разрезах.

4. Разработана методика моделирования эволюции приповерхностного температурного поля (4D-модель) на базе дистанционных данных для решения задач мониторинга экологического риска.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ:

- По результатам проведенных экспедиционных работ на полигоне Димитровском в 2001г. выданы рекомендации по наличию продуктивных зон на этом участке в рамках договора с ОАО «Роснефть-Дагнефть» (№209, от 01.06.2002г.).
- В рамках постановления Правительства Республики Дагестан «О создании геоинформационной системы защиты территории и населения Республики Дагестан от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (№56, от 3 марта 2003г.) предложены программы: «Комплексный мониторинг тепловых полей Республики Дагестан на базе 3D-геоинформационных технологий, дистанционной информации и геофизического банка данных»; «Геодинамические измерения на территории Республики Дагестан и прилегающей акватории Каспия». Эти программы включены в общую программу Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Дагестан на 2004-2006гг.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные научные положения и результаты работы докладывались и получили одобрение на конференциях:

1. Всероссийская научно-практическая конференция «Применение материалов дистанционного зондирования Земли в интересах социально-экономического развития России», Элиста, 18-22 апреля 2001.
2. Третья Всероссийская научно-практическая конференция «Физические проблемы экологии», Москва, МГУ, 22-24 мая 2001.
3. Научно-практическая конференция «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Восточного Кавказа и прилегающей акватории Каспия», Махачкала,

2001.

4. XVI научно-практическая конференция по охране природы Дагестана, Махачкала, 2001.
5. II Республиканская научно-практическая конференция «Информационные и телекоммуникационные системы: интегрированные корпоративные сети», Махачкала, 10-12 октября 2001.
6. Международная конференция «The Earth's thermal field and related research methods», Москва, 17-20 июня, 2002.
7. Научно-практическая конференция «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, 2-5 сентября, 2002.
8. Всероссийская научная конференция «Геология, Геохимия и Геофизика на рубеже XX и XXI веков», Москва, 8-10 октября, 2002.
9. Международная конференция «GIS in geology», Государственный геологический музей им.Вернадского РАН, Москва, 13-15 ноября, 2002.

ПУБЛИКАЦИИ. По результатам выполненных исследований автором опубликованы 48 работ.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 257 страницах машинописного текста, содержит 114 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена космическому мониторингу приповерхностного теплового поля Земли. Здесь рассмотрены вопросы: физических основ ИК-съёмки, создания электронного банка данных дистанционной информации и предварительной обработки дистанционных данных для получения пространственно-временной температурной картины на примере снимков NOAA.

В рамках работ по проведению мониторинга теплового поля на территории Республики Дагестан под руководством автора создан банк данных на основе космических изображений NOAA. Он ориентирован на исследования динамики приповерхностного температурного поля, как отражение современных геодинамических процессов, происходящих на территории региона. Дистанционные данные NOAA выбраны из-за своей доступности (свободное распространение в сети Интернет), удобного для их обработки программного обеспечения, разработанного в Институте космических исследований РАН, и оперативного поступления (1-3 раза в сутки).

Современные персональные средства вычислительной техники позволяют хранить, обрабатывать и анализировать достаточно большие объемы информации, поэтому данные работы ориентированы на персональные компьютеры.

Электронный банк данных дистанционной информации NOAA создан для мониторинга приповерхностного температурного поля на территории Республики Дагестан (с целью моделирования приповерхностного температурного поля в динамике). Разработана иерархически организованная структура хранения дистанционной информации NOAA, представленная на рис.1.

Преимущество такой структуры – быстрый поиск необходимой информации благодаря разделению системы каталогов по годам и затем по месяцам. Таким образом, чтобы обратиться в банк данных с запросом по конкретной дате, поиск искомой информации сразу переходит в подкаталог соответствующего месяца и года и продолжается в этом каталоге.

Так как дневные и ночные (точнее нужно говорить о снимках при солнечном свете и в его отсутствие) тепловые снимки имеют определенное отличие, то в данной структуре они тоже разделены по каталогам Day и Night. Имеется также разделение в структуре банка данных на каталоги: Base, в котором хранится исходная информация в виде трех файлов (GIF или JPG, TDF,

TXT), и Processed, в котором хранятся данные, полученные в результате обработки исходной информации с помощью программы AVHRR и др.

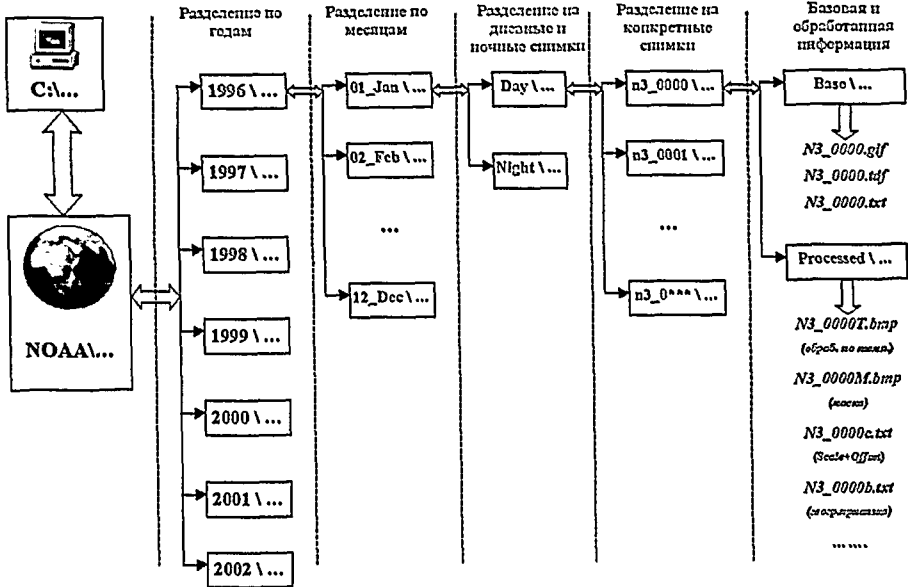


Рис. 1. Иерархически организованная структура хранения информации в электронном банке данных.

Любой банк данных для своей практической реализации требует программного обеспечения (приложения) для его ведения. Для разработки программного обеспечения необходимо определить его функции и операции, которые оно должно осуществлять.

Функции программного обеспечения заключаются в том, чтобы, «закрыв» от пользователя его структуру, предоставить ему возможность оперативной работы с этими данными.

Определим основные операции, которые должны быть реализуемы в программном обеспечении:

1) операция «Добавление данных» – позволяет добавлять в банк данных информацию, хранящуюся в любом исходном каталоге;

2) операция «Поиск (просмотр) данных» – позволяет пользователю по выбору за определенный период времени просмотреть один или несколько

интересующих его космических изображений NOAA в лобых (из пяти возможных) интересующих его спектральных каналах;

3) операция «Удаление данных» – введена для возможности удаления интересующих космических изображений NOAA (хотя такой необходимости в данном случае не возникнет, потому что данные за любой период представляют научную ценность исследователям);

4) операция «Выдача статистической информации по электронному банку данных» предполагает процедуры:

- подсчета количества космических снимков за определенный период;
- подсчета количества дневных и ночных снимков за определенный период;
- подсчета количества обработанных снимков;
- подсчета степени закрытости облаками (по маске) для снимка;
- и т.д.;

5) операция «Копирование данных» – введена для того, чтобы пользователь мог считать определенную последовательность интересующих его снимков и переписать эту последовательность в его рабочий каталог.

Кроме перечисленных основных операций, могут быть внесены еще множество разнообразных программных решений для ведения банка данных. Например, пользователь желает знать: закрыт ли облачностью район с координатами LAT, LON в определенное время T и т.п.

Структура программного обеспечения для ведения электронного банка данных дистанционной информации NOAA по Восточному Предкавказью приведена на рис.2.

Электронный банк дистанционных данных NOAA обеспечивает оперативный поиск необходимой информации для проведения исследований, ее обработку по приповерхностной температуре и привязку к географическим координатам. Электронный банк данных обеспечивает оперативные поступления мониторинговой информации по приповерхностным температурам в ГИС и ее интерпретацию с другими видами данных в рамках сопряженного мониторинга

тепловых полей региона.

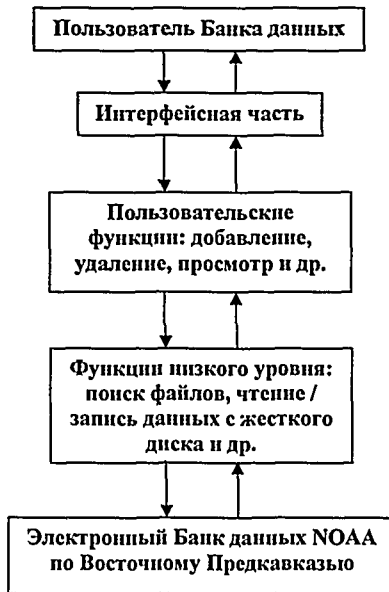


Рис.2. Структура программного обеспечения ведения электронного банка данных дистанционной информации NOAA.

Для интерполяции космического изображения в областях, где оно было закрыто облаками, предложено несколько методов. Использование того или иного метода зависит от конкретных дистанционных данных. Например, интерполяция по пространству целесообразна, если мы имеем дело с небольшими областями на снимке покрытыми облаками и эти области находятся преимущественно над водной поверхностью; если имеется группа снимков в течение небольшого промежутка времени с незначительным облачным покровом, то возможно использование интерполяции по времени; метод интерполяции с подключением дополнительной информации о регионе может быть использован, если мы располагаем множеством атрибутивных данных, от которых может зависеть приповерхностная температура Земли; а если за какой-то период найдено космическое изображение практически без облаков над изучаемым регионом, то нужно использовать метод интерполяции на основе

«чистого» или «шаблонного» изображения.

Вторая глава посвящена наземным геолого-геофизическим исследованиям. Здесь рассмотрены вопросы: теоретических основ геотерморазведки, создания банков данных для систематизации и хранения геолого-геофизической информации, и обработки и интерпретации экспедиционных данных на примере приповерхностной термосъемки.

Интегрирование разнородных данных об объекте исследования, полученных различными методами, с целью приобретения новых знаний наиболее концентрированно проявляется при мониторинге окружающей среды. Мониторинг предполагает сбор и сопоставление разнородных данных, полученных различными методами, с целью выявления экологического состояния региона и принятия обоснованных хозяйственно-управленческих решений.

В последние годы широкое развитие получает сопряженное (аэрокосмическое и геолого-геофизическое) изучение окружающей среды. Сопряженные исследования обеспечивают повышение информативности проводимого комплекса работ, возрастание оперативности, представительности и достоверности получаемой информации при общем снижении ее стоимости (Гридин В.И., Дмитриевский А.Н., 1986). Для проведения сопряженных исследований необходимо иметь средства управления, систематизации и хранения геолого-геофизических данных (данные по геологии, сейсмологии, экологии, результаты экспедиционных работ и т.д.), какими являются банки данных.

В соответствии с потоками исходных данных банк данных подразделяется на 4 составные части (рис.3). В будущем могут быть добавлены другие составные части в зависимости от источника (например, обработанная дистанционная информация).

Основным принципом при подготовке сейсмологической информации для создания базы данных было использование для каждого землетрясения всей

доступной информации и оценка наиболее вероятных значений каждого из основных параметров его очага. Эти данные используются для анализа и визуализации сейсмических процессов изучаемой территории.

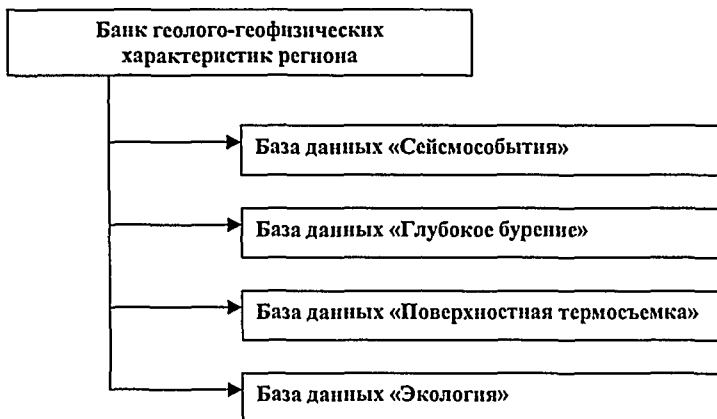


Рис.3. Структура банка геолого-геофизических характеристик региона.

Основными источниками для составления банка данных послужили Оперативные каталоги землетрясений Северного Кавказа Центральной опытно-методической экспедиции Геофизической службы Российской Академии Наук, сейсмологические бюллетени Кавказа, каталоги Дагестанской опытно-методической сейсмологической партии геофизической службы Российской Академии Наук, индивидуальные бюллетени сейсмической станции «Махачкала» Центральной опытно-методической экспедиции Геофизической службы Российской Академии Наук. Из «источников» предпочтение отдавалось оперативным каталогам, но оценка энергетического класса землетрясения бралась из того источника, где она имела наибольшее значение.

Программа управления БД «Сейсмособытия» проектировалась таким образом, чтобы ее можно было использовать как часть других приложений. Разработанное приложение имеет простой интерфейс обмена информацией с вызвавшей его программой и обеспечивается лишь одной процедурой. Основными функциями программы управления БД «Сейсмособытия» являются поиск и возврат информации о сейсмособытиях по запросу пользователя

(клиента), а также функции добавления новых сейсмособытий. Для добавления новых сейсмособытий исходными данными являются файлы формата XLS, редактирование которых проводится с помощью программы Microsoft Excel.

Разработанное приложение по управлению БД «Сейсмособытия» не привязано к определенному файлу базы данных на физическом носителе. Подключение производится уже на этапе работы программы: главное, чтобы формат подключаемого файла совпадал с форматом, с которым работает программа. Если при подключении возникнет ошибка, программа выдаст соответствующее сообщение. Такой подход к разработке программного интерфейса сделает ее более гибкой и надежной.

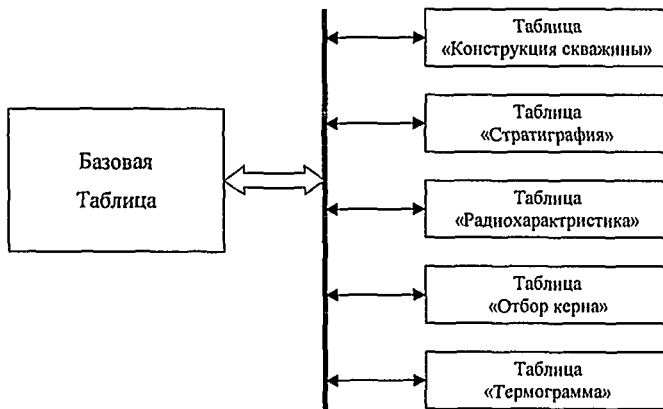


Рис.4. Структура БД «Глубокое бурение».

Данные глубокого бурения представляют собой важную информацию о состоянии земной коры в регионе. Данные получены в результате бурения и эксплуатации термальных и нефтяных скважин и имеют довольно сложную структуру. В результате изучения этой структуры разработана структура базы данных глубокого бурения (рис.4). Базовая таблица содержит основные характеристики буровой скважины: название месторождения, номер скважины, альтитуда устья, широта, долгота и т.д.

Структура БД «Глубокое бурение» предполагает возможность добавления

новых таблиц, которые могут потребоваться в процессе дальнейшего использования базы данных. Основными таблицами, которые используются при построении трехмерных моделей, являются таблицы «Стратиграфия» и «Термограмма».

База данных «Поверхностная термосъемка» предназначена для хранения и обработки экспедиционных данных по температуре в приповерхностных слоях земной поверхности. В дальнейшем предполагается использовать такие же наборы данных при обработке результатов экспедиционных работ по шельфу Каспийского моря. База данных рассчитана на ежегодное пополнение и сопоставление результатов экспедиционных работ разных лет. Предусмотрено также формирование файлов данных специального формата для визуализации полученных тепловых изображений.

Кроме пополнения, систематизации и хранения данных по экспедиционным работам система управления БД «Поверхностная термосъемка» выполняет и функцию обработки первичных экспедиционных данных. Обработка экспедиционных данных состоит из двух этапов: этапа аппроксимации и этапа вычисления и приведения температур. Для проведения каждого из этих этапов разработано соответствующее программное обеспечение, входящее в состав программного комплекса, обслуживающего базу данных по экспедиционным работам.

БД «Поверхностная термосъемка» состоит из двух таблиц: таблицы «Скважины» и таблицы «Термодатчики». В первую таблицу заносится информация по скважинам (первичные данные экспедиционных работ); во вторую – информация по градуировке термодатчиков.

База данных по экологии (рис.5) содержит информацию об основных загрязняющих факторах, таких как пыль, окись углерода, окись азота, свинец, бензопирин и др. Все эти факторы являются результатом антропогенного воздействия на окружающую среду. Основными источниками антропогенного воздействия являются транспорт, химическая промышленность, нефтегазовая

промышленность, сельское хозяйство, машиностроение и металлообработка, отходы производства и потребления. В базе данных каждый загрязняющий фактор связан с каждым отдельным источником загрязнения. Например, фактор «окись углерода» связан с такими источниками загрязнения как транспорт, нефтегазовая промышленность, машиностроение и металлообработка.

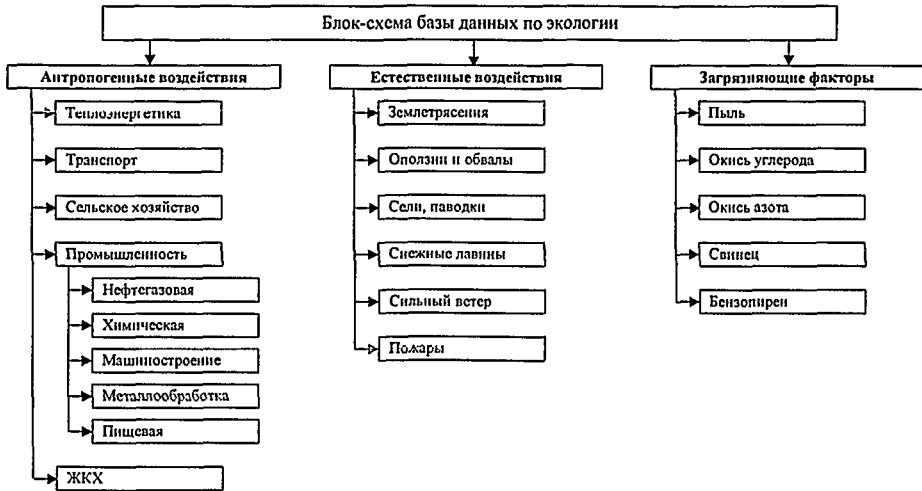


Рис.5. Структура экологической базы данных.

На экологическую обстановку в регионе оказывают воздействие природные явления, вызывающие чрезвычайные ситуации (землетрясения, оползни, паводки, сели, снежные лавины, сильный ветер, пожары и т.д.). Их нужно учитывать при анализе общей экологической обстановки в регионе. Необходимость включения в базу данных информации об естественных воздействиях очевидна.

Влияние антропогенного воздействия на окружающую среду в равнинной части Дагестана гораздо выше, чем в горной и высокогорной зонах. Это связано с тем, что практически все отрасли народного хозяйства сосредоточены в равнинной зоне.

Данные, содержащиеся в базе данных по экологии, кроме всего прочего должны иметь информацию о привязке, что позволит проводить экологический

мониторинг как по отдельным областям, так и в целом по всей территории Дагестана.

По результатам обработки данных полевых термометрических работ в неглубоких скважинах на опытных полигонах (Димитровском (2001г.) и Манас-Ачису (2002г.)) проанализировано распределение температур на глубинах 1, 2 и 3 м, проведена апробация методики поиска нефтегазовых месторождений с помощью малоглубинной терморазведки.

Для проведения экспедиционных работ по приповерхностной тепловой съемке в 2001 году были пробурены 58 скважин, в которых проведены более 100 комплексных измерений температур на глубинах 1, 2, 3 м и в поверхностном слое почвы. При выборе точек для бурения учитывались результаты геологических исследований предыдущих лет (Булаева Н.М., Абдулаев Ш.-С.О., 2001) на площадях Димитровского месторождения и месторождения Ачису, проведенных с широким использованием скважин глубиной до 2.5 км.

В результате проведения экспедиционных работ были получены цветные изображения распределения температур на глубинах 1, 2, 3 метров (рис.6).

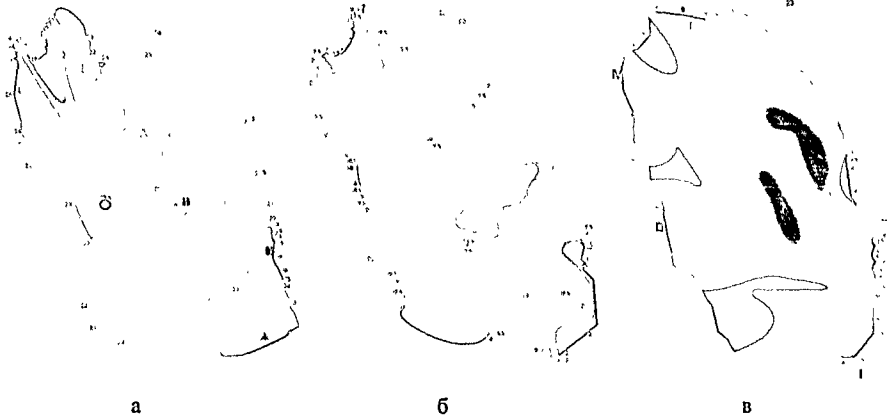


Рис.6. Картины распределения температур по глубинам на Южно-Димитровском участке (результат проведенных экспедиционных работ в 2001г.) на глубине: а) 1м; б) 2м; в) 3м.

По результатам профильных геотермических работ (терморазведки) условно выделены тепловые аномалии I и II как возможно нефтегазоносные

участки. Оба участка продуктивности имеют ширину 900 м при протяженности более 4 км тепловой аномалии I и порядка 3 км аномалии II. Из 72 км² исследованной площади возможно продуктивными оказываются более 10% этой площади. Обе тепловые аномалии расположены на участке (с хорошим дорожным покрытием), являющемся как бы южным продолжением известного Димитровского нефтегазового месторождения. Выявленная положительная аномалия центральной части участка совпадает с нефтяным месторождением.

В 2002 году экспедиционные работы по приповерхностной терморазведке проводились на участке Манас-Ачису по методике площадной съемки. Экспедиционные работы были начаты 20 июля 2002г. и продолжались до 31 августа 2002г. В течение этого времени были подготовлены к измерениям 88 скважин. Полученные данные не выявили значимых температурных аномалий.

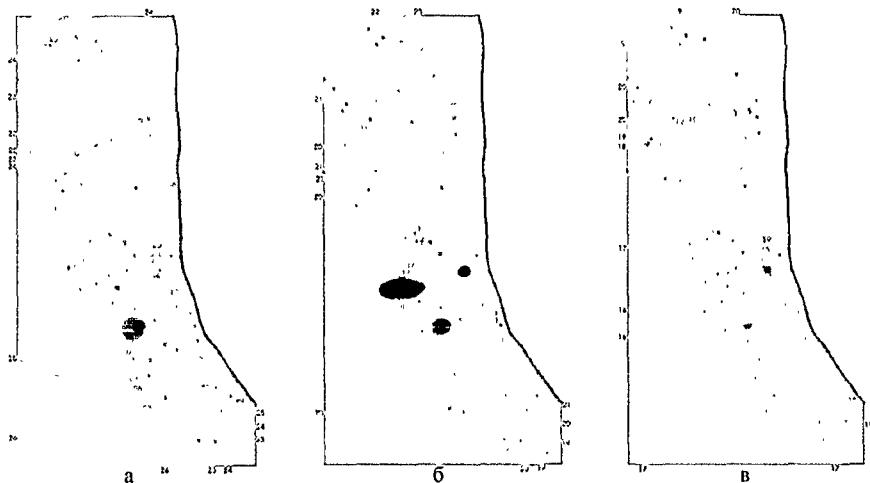


Рис.7. Картины распределения температур по глубинам на полигоне Манас-Ачису (результат проведенных экспедиционных работ в 2002г.) на глубине: а) 1м; б) 2м; в) 3м.

По данным полевых работ были построены картины распределения температур на исследуемой площади (рис.7). Картины распределения температур получены с помощью разработанной технологии визуализации, аналогичной технологии построения 3D-моделей (рис.8). При интерпретации полученных

тепловых картин необходимо учитывать тот факт, что погрешность интерполяции будет меньше при высокой плотности локализации исследуемых скважин.

Третья глава посвящена комплексной обработке, визуализации и интерпретации мониторинговой информации в ГИС. В ней рассмотрены вопросы: теоретических основ построения трехмерной ГИС для ведения мониторинга, структуры и технологии построения цифровой картографической 3D-модели, и интеграции и комплексной визуализации разнородных данных в рамках трехмерного моделирования.

Прогресс в развитии аппаратных средств персонального компьютера и, как следствие, постоянное расширение средств и возможностей компьютерной графики предоставляют исследователям в областях наук о Земле мощный инструмент в виде 3D-геоинформационных технологий. Виртуальное моделирование становится все более популярным в настоящее время. Применение третьей координаты дает новый взгляд на данные, позволяет выявить те закономерности, которые были скрыты при их отображении на плоских профилях и картах, а построение трехмерных моделей обеспечивает возможность дополнительного анализа (Беленко О.В., Мальцев К.А., 2002).

В данной работе основной упор делается именно на трехмерное моделирование, потому что плоское (двумерное) моделирование в современной геоинформатике «исчерпало» свои возможности в качестве исследовательского инструмента. Традиционные картографические модели в основном двумерны и при этом как бы не зависят от хода времени и состояния окружающей среды. На самом деле мир не таков. Он значительно трехмерен и подвержен постоянным динамическим изменениям, так что можно говорить даже о его четвертом, временном измерении (Берлянт А.М., 1996).

Специфика комплексного мониторинга теплового поля определила цели и задачи в области геоинформационных технологий для его проведения. Температурное поле, как и любое другое геофизическое поле – трехмерно,

поэтому для его исследования необходимо создание трехмерной ГИС. Кроме того, температурное поле является отражением современных геодинамических процессов, проходящих в земной коре. Следовательно, мониторинг тепловых полей неразрывно связан с геологическим строением, тектоникой и т.д. Поэтому трехмерная ГИС должна интегрировать и эти геофизические данные. Особый интерес представляют исследования по распределению теплового поля в динамике. При нынешних технических возможностях введение 4-го измерения (времени) – одно из обязательных условий в создании современной ГИС.

Анализ накопленного материала по температурному полю и трехлетний опыт в области цифрового моделирования в лаборатории региональной геотермии Института проблем геотермии привели к разработке геоинформационных технологий по созданию трехмерной геоинформационной системы, основу (ядро) которой составляет цифровая картографическая 3D-модель.

Разработанные и разрабатываемые геоинформационные технологии разбиты на 3 основные группы: технологии преобразования первичного материала в электронную форму (векторизация картографического материала, создание и ведение электронного банка данных по космическим снимкам, создание и ведение баз данных полевых измерений и т.д.), технологии преобразования данных в единую структуру 3D-ГИС (привязка к географической сетке, преобразование системы координат, создание тематических объектов и др.) и технологии комплексной визуализации (разбивка объектов на треугольники, обрезка данных, генерация массивов пространственных фигур и т.д.).

Цифровая картографическая 3D-модель имеет определенную логическую структуру и физическую организацию на жестком диске. Она состоит не из одного, а целой группы файлов, логически связанных в единое целое. Благодаря такой структуре обеспечивается гибкость адаптации к разнородной информации.

При разработке цифровой картографической 3D-модели мы пришли к

выводу о необходимости создания более гибкого и универсального инструмента (применительно к любой области наук о Земле), с упрощенной схемой построения и практической реализацией. Важно было добиться простоты реализации при минимальных затратах.

В результате исследований в области цифрового графического моделирования (Сафаралиев Г.К., Булаева Н.М. и др., 2001) разработана методика построения трехмерных цифровых картографических моделей на основе современных программных пакетов и технологий. При построении и трехмерной визуализации цифровых моделей используются широко известные программные пакеты, технологии и форматы: пакет «Corel Draw» – для векторизации картографической информации, пакет «Excel» – для ввода атрибутивной информации, пакет «Surfer» – интерполяция рельефа земной поверхности и др., формат DXF – для промежуточного хранения векторизованной информации, пакет «Borland Delphi» – создание программного обеспечения, библиотека OpenGL – инструмент вывода графической информации на дисплей. На практике при создании цифровых картографических моделей для векторизации картографической информации использовался пакет Corel Draw версии 10, хотя разработанная технология предполагает использование любого векторизатора, позволяющего сохранять данные в открытом формате (например, DXF).

Вместо пакета «Excel» может использоваться любое программное обеспечение СУБД с соответствующим форматом файла, ведь работать с «Excel» очень просто и он стандартен. Пакет «Surfer» очень удобен тем, что входные и выходные данные для работы с ним могут иметь открытый текстовый формат. Библиотека OpenGL фирмы Silicon Graphics – является очень удобным и быстрым средством вывода на экране дисплея графического материала большой степени сложности.

В течение 2001-2002гг. разработаны и подготовлены 3 цифровые картографические 3D-модели: «Центральная часть Дагестанского клина»,

«Махачкала», «Республика Дагестан».

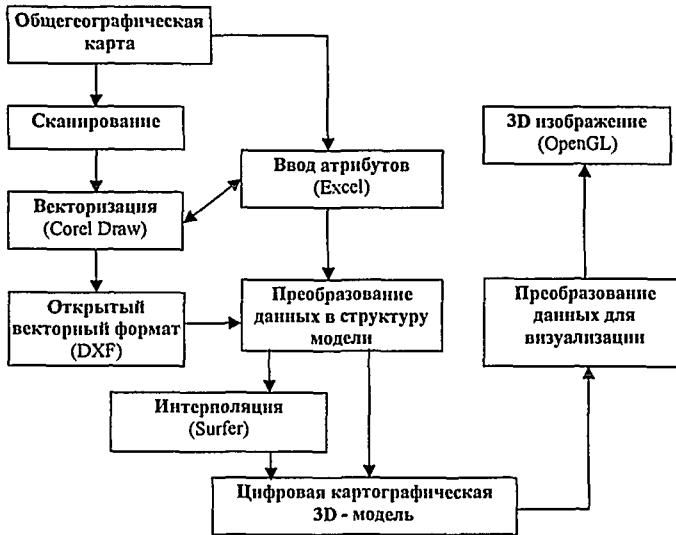


Рис.8. Технологический процесс построения и визуализации цифровой картографической 3D-модели.

Цифровые картографические 3D-модели разработаны для использования в мониторинговых задачах различных направлений научных исследований. Эти направления напрямую связаны с сейсмологией, геологией, геотермией, экологией, дистанционным зондированием и т.д. Поэтому нами ведется разработка тематических приложений в рамках цифровых картографических моделей с целью изучения территории Восточного Предкавказья. Трехмерность позволяет представлять практический материал в приближенном к реальности виде, что способствует иному восприятию и пониманию многих объектов и явлений.

В настоящее время разработанные цифровые картографические 3D-модели содержат приложения по геологии, геотермии, сейсмологии и по космическим снимкам.

Для того чтобы получить данные в соответствии с этой структурой, необходимо произвести серию технологических операций: подготовка исходных

данных по скважинам, подготовка картографического материала, отражающего выход геологических слоев на поверхность, векторизация имеющейся информации, ввод атрибутов слоев и информации по глубине, преобразование исходной информации и получение первичных данных для интерполяции геологических слоев, интерполяция геологических слоев, «подтягивание» слоев под рельефную структуру и подготовка для визуализации.

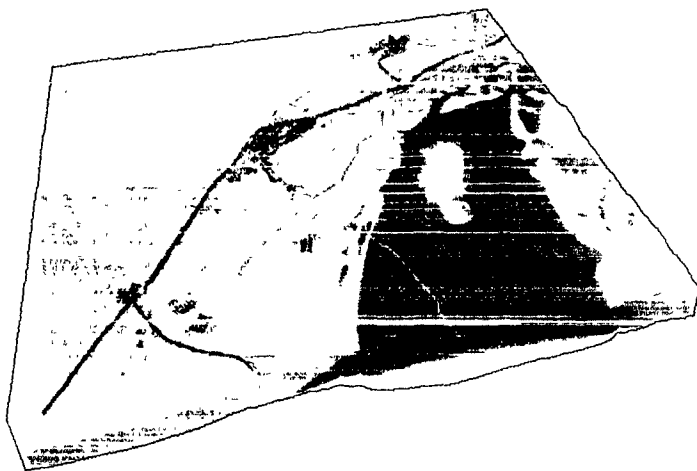


Рис.9. Цифровая картографическая 3D-модель центральной части Дагестанского клина с геологическим строением и окраской.

Система трехмерной визуализации и серия вспомогательных подпрограмм обладают набором средств для извлечения (выборки) сейсмологической информации по региону и интеграции этой информации в модель.

Информация, находящаяся в базе данных по сейсмологии, позволяет исследовать как общую динамику перемещения очагов сейсмических событий в Восточном Предкавказье за последние десятилетия, так и проводить детальное изучение конкретных землетрясений и пространственного положения очага сейсмического события, задаваемого тремя величинами: широтой, долготой и глубиной.

Для космических изображений вначале создаются файлы привязки, а затем при помощи файлов привязки космического снимка и файлов привязки

рельефа цифровой картографической 3D-модели создается файл определенного формата для быстрой интеграции в модель.

Технология интеграции разнородных экспедиционных данных в цифровую картографическую 3D-модель заключается в переводе этих данных в формат, доступный для 3D-модели.

В четвертой главе отражены прикладные аспекты применения геоинформационных технологий в задачах сопряженного мониторинга теплового поля. Здесь рассмотрены: системная организация сопряженного мониторинга чрезвычайных ситуаций в Каспийском регионе; инфракрасное излучение земной поверхности как отражение глубинных разломов; трехмерное моделирование и анализ температурного поля Махачкалинского месторождения термальных вод; исследование влияния сейсмической активности региона на формирование теплового поля; динамика приповерхностного температурного поля во время землетрясения 1999 года в Дубках по спутниковым данным NOAA.

В рамках цифрового моделирования поставлена задача детального изучения геотермического поля в различных геологических условиях. В качестве первоочередного объекта выбран район города Махачкалы. Высокая степень разбуренности этого района обусловлена региональной нефтегазоносностью, высокой геотермической активностью и наличием крупного месторождения термальных вод.

Махачкалинское месторождение термальных вод разрабатывается с 30-х годов прошлого века и по настоящее время. Изучение тепловых параметров среды происходило вначале при разработке нефтяных залежей в нижней части чокракского горизонта, эксплуатация которых закончилась в первой половине 60-х годов. Одновременно добывалась и термальная вода как для технических целей, так и для нужд нефтепромысла. В дальнейшем - при разработке термоводоносных пластов карагана и чокрака.

В результате накоплен значительный материал по термическим условиям до глубины 2000м, положенный в основу изучения температурного поля

Махачкалинского месторождения термальных вод и разработки методики их мониторинга. На базе этих данных было построено множество профилей, тепловых карт и др. Однако все результаты обработки тепловых характеристик региона до сих пор отображались только на плоскости.

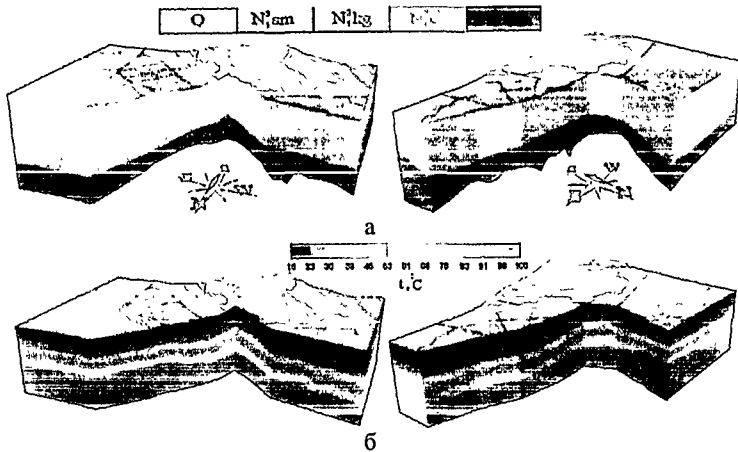


Рис.10. Отображение «слоеного пирога» геологического строения (а) и температурных значений (б).

Махачкалинская структура представляет собой асимметричную антиклинальную складку, вытянутую с северо-запада на юго-восток. Длина структуры в контуре верхнесарматского известняка составляет 8км при ширине 2км. Северо-восточное пологое крыло антиклинали под углом 10-12° погружается под дно Каспийского моря. Юго-западное крутое крыло с углом наклона 30-35° осложнено разрывом, который простираясь вдоль крыла с юго-востока на северо-запад переходит на северо-восточное крыло и постепенно затухает. Плоскость разрыва падает на северо-восток под углом 70°, амплитуда смещения не превышает 40м. Разрыв с глубиной выполаживается и исчезает в верхней части майкопских глин. Северо-восточное крыло складки под дном Каспийского моря по данным сейсморазведки также осложнено тектоническим нарушением, в северо-западной части которого располагается глубокая скважина, и, как это будет показано ниже, играет существенную роль в тепловом режиме этой части Махачкалинского месторождения. Геологический разрез

сложен отложениями сарматского, караганского и чокракского возраста. В юго-восточной части структуры вскрыты майкопские отложения на глубинах 2100-2190м.

Сложные геологические условия изучения теплового режима недр, а также решение многих практических задач, в том числе прогноза нефтегазоносности и геотермальных ресурсов потребовали применения компьютерной графики и других современных методов исследования.

Для решения задачи, поставленной в данном исследовании, разработано приложение для построения и визуализации распределения температурного поля в пространстве. Пространственная модель распределения температурного поля представляет собой набор поверхностей, где каждая поверхность построена на равномерной сетке. Все поверхности имеют одинаковые параметры и характеризуют распределение температуры на определенной глубине.

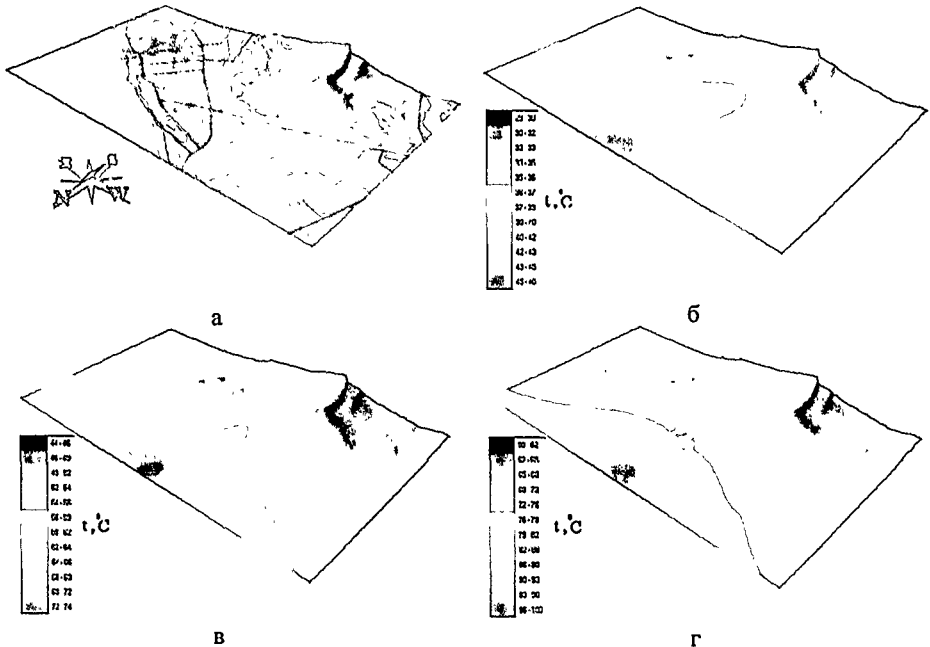


Рис.11. Цифровая картографическая 3D-модель г.Махачкалы (а), распределение температур на глубине 500м (б), 1000м (в), 1500м (г).

Для исследования распределения глубинных температур в районе города Махачкалы был подобран качественный температурный материал по 90 скважинам. Максимальная глубина экспериментальных измерений в скважинах составляет 1800м. Была произведена линейная интерполяция по температуре для каждой скважины для значений глубин от 0 (для модели – это нейтральный слой) до 1800м с интервалом в 50 м. Температура нейтрального слоя принята равной 15.6°С (Амирханов Х.И., Суетнов В.В., 1973). После геопозиционирования скважин в векторизаторе «Corel Draw» на план города и преобразования в систему координат цифровой картографической 3D-модели города Махачкалы были получены координаты и значения температур для 37 глубинных срезов. Интерполяция на равномерной сетке для каждого глубинного среза произведена в интерполяторе «Surfer».

Для визуализации полученной температурной модели совместно с цифровой картографической 3D-моделью разработано приложение для существующей системы трехмерной визуализации цифровых картографических 3D-моделей. В рамках приложения для отображения распределения температурного поля предусмотрены 4 режима:

- визуализация «слоеного пирога» температурного поля (рис.10);
- визуализация поверхности, отражающей распределение температурного поля на определенной глубине (рис.11);
- визуализация 3D-изотермы;
- визуализация распределения температурного поля на произвольной поверхности (например, по кровле стратиграфического горизонта) (рис.12).

Всего при обработке были использованы около 250 замеров температур максимальным термометром в интервале глубин от 100 до 2100м. Разность между замерами температур при испытании термоводоносных пластов и в скважинах, простаивающих длительное время, до 3-4 месяцев, составляет 1-2°С, что вполне допустимо при сравнительной оценке тепловых параметров среды в различных частях структуры.

В результате обработки температурных данных по скважинам, расположенным в разных частях Махачкалинского месторождения, выявлены основные закономерности в распределении температур как по площади, так и в вертикальном разрезе, определены геотермические градиенты основных литолого-стратиграфических комплексов и усредненные тепловые потоки до глубины 1800м. Свод складки характеризуется повышенными температурами относительно крыльев. Максимальное превышение сводовых температур составляет 10°C на срезе 1500м (рис.11г). Вверх по разрезу разность равноглубинных температур сокращается и на срезе 500м (рис.11б) составляет $4-6^{\circ}\text{C}$.

В северо-западной части месторождения проявляется мощная геотермическая аномалия, образование которой связано с тепломассопереносом по тектоническому нарушению, осложняющему северо-восточное крыло складки. В центре аномалии в скважине 22-Т, расположенной на берегу Каспийского моря, замеренная температура на глубине 1415-1885м составляет $97-107^{\circ}\text{C}$ (рис.10, 11). На периклинали и части северо-восточного крыла по скважинам 111, 112 и 25-Т температура на срезе 1500м достигает $78-80^{\circ}\text{C}$, в то время как на своде складки по многочисленным замерам она не превышает 72°C . Вверх по разрезу температура в пределах аномалии снижается, на срезе 500м не превышает $45-46^{\circ}\text{C}$ и приближается к равноглубинным сводовым температурам (рис.11б). Это может свидетельствовать об очень локальной зоне разгрузки термальных вод и о современной активности данного разлома. Мы рекомендуем установить режимные наблюдения за характером температурных и гидрохимических особенностей этого очага разгрузки.

Разработана и интегрирована в систему трехмерной визуализации технология расчета теплового потока на поверхности на основе данных геологического строения и распределения температурного поля. Результаты расчета отражаются в тематической окраске рельефа по тепловому потоку. Для оценки тепловых потоков значения теплопроводности пород заимствованы из

работы (Амирханов Х.И., Суетнов В.В., 1973), в которой приводится теплопроводность отдельных литолого-стратиграфических комплексов для территории Предгорного Дагестана, и в том числе Махачкалинской структуры.



Рис.12. Цифровая картографическая 3D-модель г.Махачкалы (а), распределение температур по поверхности чокракского горизонта (б).

На рис.13 отражены усредненные значения тепловых потоков до глубины 1800м. Как видно, наибольшие значения теплового потока относятся к северо-западной части города (район Вузовского водохранилища и севернее). Нужно отметить, что достоверными можно считать только результаты моделирования от побережья Каспия до подножия горы Тарки-Тау, потому что здесь имеется фактический материал по скважинам. Данные же, относящиеся к шельфу Каспия и к горе Тарки-Тау, интерполированы приближенно. Однако, учитывая геологическое строение этого участка, представляющего собой смежную с Махачкалинской антиклиналью Таркинскую синклиналию, геотермическая ситуация в этой части близка к реальной и характеризуется минимальными значениями параметров теплового потока.

В результате обработки массива температурной информации по Махачкалинскому месторождению термальных вод с помощью геоинформационных технологий, основу которых в данном случае составляют цифровое трехмерное моделирование и визуализация, выявлены и наглядно представлены основные закономерности распределения температур на различных срезах по глубине, по кровлям отдельных литолого-

стратиграфических комплексов и на профильных разрезах.

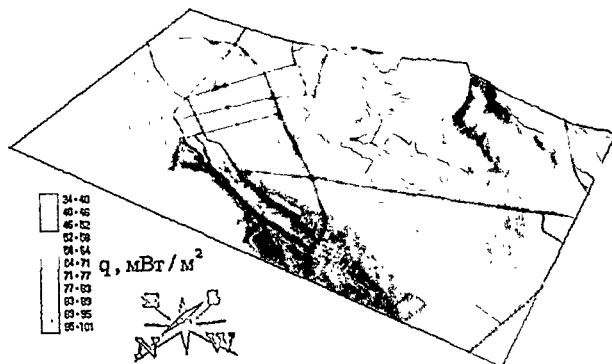


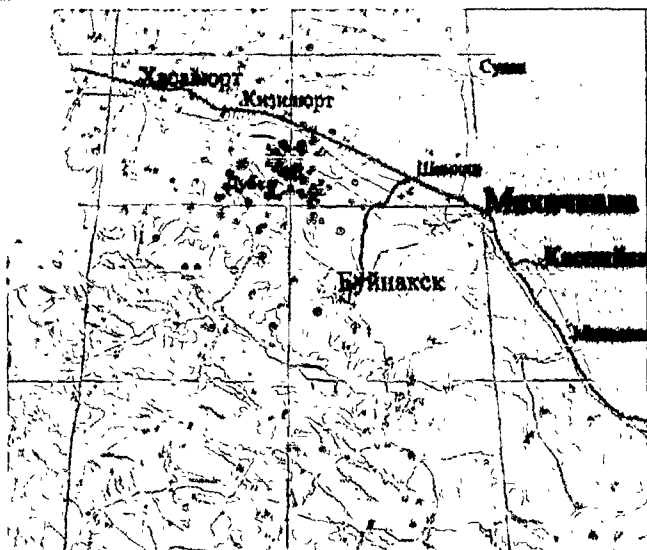
Рис.13. Цифровая картографическая 3D-модель города Махачкалы с окраской по тепловому потоку.

Эта информация используется при расчете теплосодержания гидротермальных ресурсов для их дальнейшей утилизации в коммунальном хозяйстве. Установлена роль тектонического нарушения в формировании геотермической аномалии в северо-западной части Махачкалинского месторождения.

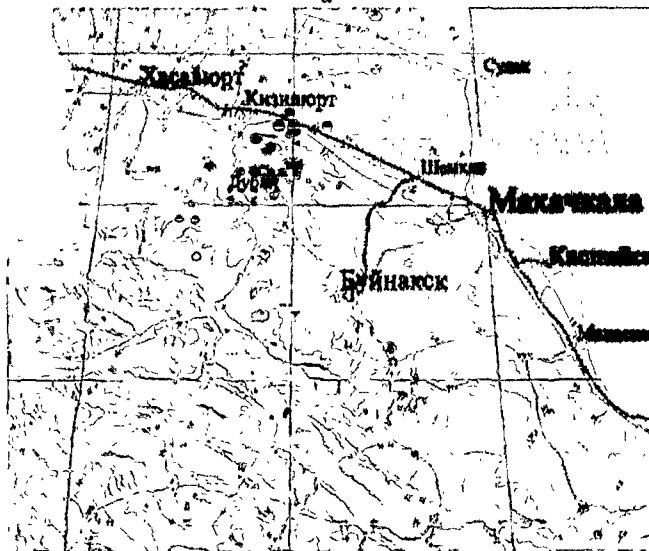
Активная сейсмическая деятельность 70-х годов прошлого века в Восточном Предкавказье сменилась в 80 – 90-х годах относительным затишьем. В 1999 году отмечено повышение сейсмической активности. В связи с повышением сейсмической активности наблюдается интерес к выявлению взаимосвязей между тепловым полем и сейсмическими процессами, происходящими в регионе. В рамках плановой темы «Мониторинг современных геодинамических движений и приповерхностных температурных полей Восточного Предкавказья и прилегающей шельфовой зоны Каспия» нами исследовано влияние сейсмической активности недр на приповерхностное температурное поле, собрана и проанализирована сейсмологическая информации для ее сопоставления с тепловой.

Основой для такой постановки работ явились космические снимки со спутников NOAA (регион Северного Кавказа и Каспийского моря) за период 1996 - 2002 годов в видимом и ИК диапазонах. Эти снимки представляют собой

набор файлов форматов: TDF, JPG или GIF для каждого космического изображения.



а



б

Рис.14. Эпицентры очагов землетрясения в Дубках за период: (а) 22 января – 4 февраля 1999г., (б) 21 – 28 февраля 1999г.

Подробные исследования тепловых аномалий во время землетрясений по данным спутника NOAA проведены для Китая, Японии и Европы (Тронин А.А., 2002). В этих исследованиях показано, что тепловые аномалии появляются от 6 до 24 дней до землетрясения и остаются еще около недели после. Они приурочены к землетрясениям с магнитудой более 4.7 и глубиной менее 60км. Амплитуда аномалии находится в пределах от 3 до 7 °С.

Имея достаточный фактический материал по сейсмологии и дистанционным данным NOAA, автор проводил исследования динамики температурного поля в районе Дылым-Дубки во время землетрясения 1999 года.

Для проведения исследований из базы данных по сейсмическим событиям произведена выборка сейсмических очагов, относящихся к землетрясению 1999 года в Дубках за период с 1 января по 28 февраля 1999 года. Всего из базы данных выбраны 186 событий с энергетическим классом, превышающим 5.0, и магнитудой больше 2,0.

Наиболее сильные толчки, зафиксированные за этот период: 31 января 5:07 (по Гринвичу) с энергетическим классом 13.2 – основной и 21 февраля 18:14 с энергетическим классом 11.9 – наиболее сильный афтершок. Всплески сейсмической активности делятся на два периода: 31 января – 4 февраля и 21 – 26 февраля. На рис.14 показаны эпицентры очагов землетрясения за январь – февраль 1999 года.

За январь и февраль 1999 года в имеющейся базе данных NOAA существуют 75 дневных снимков и 69 ночных. Основной поток информации, поступающей со спутников NOAA, составляют данные прибора AVHRR. Прибор AVHRR измеряет собственное и отраженное Землей излучение в пяти спектральных каналах. Чтобы регистрировать излучение, приходящее в основном от интересующих наблюдателя объектов (земля, море, облачность и т.д.), спектральные диапазоны каналов должны приходиться на окна прозрачности атмосферы.

С помощью программного обеспечения AVHRR, разработанного в

Институте космических исследований РАН, было выполнено восстановление приповерхностной температуры для каждого из снимков. Для расчетов поверхностной температуры использовались методы *SST (Sea Surface Temperature) – Day / Night Split*.

Поскольку облака мешают тепловой инфракрасной съемке, для дальнейшего использования данных по приповерхностной температуре необходимо создать маску для обработанного космического изображения, чтобы знать на каких участках полученные результаты не могут быть достоверными. Маску легче всего создать в этом же программном обеспечении ИКИ – AVHRR. Цель операции – расстановка нулевых значений (черный цвет) в испорченных участках изображения или в участках, закрытых облаками.

Для моделирования приповерхностного температурного поля в динамике в качестве объекта отображения использованы цифровая картографическая 3D-модель Республики Дагестан (Булаева Н.М., Кобзаренко Д.Н., 2002) и система трехмерной визуализации, разработанные в лаборатории региональной геотермии.

Данные по температуре, полученные с помощью программы AVHRR, по каждому космическому изображению были преобразованы в серию специализированных форматов тематической окраски рельефа (PNT) цифровой картографической 3D-модели. В процессе преобразования осуществлялась привязка космического изображения к географической сетке для последующей интеграции в формат PNT.

В результате моделирования созданы две серии растровых изображений, отдельно для дневных и ночных снимков, с едиными параметрами обзора (район Дубков) и раскраской рельефа модели в псевдоцвета в соответствии с температурой.

Особенностью моделирования является то, что создана единая цветовая палитра и соответствующие ей значения температур для каждой серии изображений, что позволяет отслеживать не только локальные аномалии в

рамках одного снимка, но и температурные изменения от снимка к снимку.

Поскольку имели место два всплеска сейсмической активности (рис.14), то для каждого временного интервала, соответствующего этому всплеску, составлены композиции псевдоцветных температурных изображений для сравнения и анализа. Известно, что приповерхностная температура меняется в течение суток, поэтому, чтобы сопоставление выглядело логичным, подобрано примерно одинаковое время съемки. Так как температурное излучение от земной поверхности в дневное время суток при солнечном освещении включает отраженную составляющую солнечной энергии, то весьма интересными представляются результаты ночной съемки, для которой тепловые контрасты преимущественно зависят от теплового излучения земной коры.

Проведен сопоставительный анализ температурных данных применительно к сейсмическому режиму в районе Дубков за период январь – февраль 1999 года. Используемая в моделировании цифровая картографическая 3D-модель и ее составляющая цифровая модель рельефа наглядно демонстрируют разломные зоны, расположенные в районе сейсмической активности.

Моделирование динамики приповерхностной температуры во время землетрясения в Дубках по спутниковым данным NOAA выявило:

а) на динамической картине приповерхностных температур в дневное время суток перед сильными всплесками сейсмической активности 31 января и 21 февраля наблюдаются зоны с повышенными температурами, размеры которых увеличиваются по мере приближения ко времени всплесков сейсмической активности, кроме этого увеличивается и значение общей фоновой температуры, особенно в процессе афтершоковой активности 21-25 февраля;

б) последовательности космических изображений по данным ночной съемки (в предрассветные часы), когда минимально влияние экзогенных факторов на формирование приповерхностной температуры, показали, что за двое суток до всплеска сейсмической активности наблюдается область

повышенной температуры, которая покрывает всю разломную зону от Махачкалы до Хасавюрта, включая зону Чиркейского водохранилища и поселка Дубки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Создан банк геолого-геофизических данных, банк данных дистанционной информации NOAA и банк данных по экологии по региону.
2. Разработаны методы приближенного восстановления температурных характеристик полученных по космическим изображениям на участках помех или облачности, которые представляют собой интерполяцию по времени, интерполяцию с подключением дополнительной информации о регионе, интерполяцию на основе «чистого» или шаблонного изображения.
3. Усовершенствована методика поиска полезных ископаемых с помощью измерения температуры в неглубоких скважинах на опытных полигонах: Димитровском (2001г.) и Манас-Ачису (2002г.). По результатам проведенных полевых работ построены и проанализированы картины распределения температур по глубинам 1, 2 и 3 м.
4. Разработана технология построения цифровых картографических 3D-моделей для решения мониторинговых задач комплексными методами исследования.
5. На основе разработанной технологии построены 3 цифровые картографические модели: модель центральной части Дагестанского клина (на основе карты масштаба 1:200000), модель Республики Дагестан (на основе карты масштаба 1:500000), модель города Махачкалы (на основе плана города масштаба 1:25000).
6. В рамках цифровой картографической 3D-модели разработаны тематические модули визуализации геологической, температурной, сейсмологической и дистанционной информации. Эти модули

- интегрированы в программный комплекс системы трехмерной визуализации.
7. Разработаны геоинформационные технологии, основу которых составляет цифровая картографическая 3D-модель, для выявления и наглядного представления основных закономерностей распределения температур на различных срезах по глубине, по кровлям отдельных литолого-стратиграфических комплексов и на профильных разрезах.
 8. Проведено сопоставление обработанной сейсмологической информации по Дагестану по наиболее активным очаговым зонам с температурными аномалиями на космических снимках. Полученные температурные аномалии совершенно отчетливо наблюдаются в районе наиболее плотного расположения очагов мелких приповерхностных землетрясений (глубиной 5-15км).
 9. На примере моделирования динамики приповерхностной температуры во время землетрясения в Дубках по спутниковым данным NOAA выявлены закономерности изменения температурного поля в дневное и ночное время суток во время всплесков сейсмической активности. Показано, что моделирование геотермического процесса в динамике имеет большое значение для мониторинга экологического риска региона.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Булаева Н.М. Температурный режим в малоглубинных скважинах прибрежного района Тарки-Турали в условиях неоднородного почвенного покрова // Тезисы докладов на IV конференции молодых ученых Дагестана, Махачкала, 1985, С.159.
2. Булаева Н.М. Обоснование целесообразности дистанционной тепловизионной съемки земной поверхности Северного Дагестана для поиска месторождений полезных ископаемых // Тезисы докладов на V конференции молодых ученых Дагестана, Махачкала, 1986, С.17.
3. Булаева Н.М. Постановка дистанционных геотермических исследований в

- Дагестане // Сборник трудов ИПГ, Махачкала, 1986, С.41-47.
4. Сардаров С.С., Булаева Н.М. Дистанционное геотермическое фрагментирование земной коры // Тезисы докладов научной сессии Даг. ФАН СССР, февраль 1986.
 5. Булаева Н.М. О возможности применения дистанционных ИК-методов для решения геофизических задач // Геотермия I (Сборник трудов ИПГ), 1988, С. 80-83.
 6. Сардаров С.С., Булаева Н.М. Результаты дистанционного фрагментирования земной коры опытно-методического полигона в Дагестане // Тезисы докладов, Свердловск, октябрь 1989, С.80.
 7. Сардаров С.С., Ратушный В.В., Булаева Н.М. Дистанционное фрагментирование земной коры на опытно-методическом полигоне в Дагестане // ДАН СССР, февраль 1989, С.583-586.
 8. Булаева Н.М. Дизъюнктивно-блочное строение Восточного Предкавказья по данным дистанционного ИК-зондирования // Тезисы докладов на международном симпозиуме КАПГ-3, Махачкала, октябрь 1990, С.23.
 9. Булаева Н.М. Изучение структуры земной коры Восточного Предкавказья по данным дистанционного ИК-зондирования // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.ф.-м.н., М., 1992, С.16.
 10. Сардаров С.С., Булаева Н.М. Математическое моделирование теплового излучения блочной среды // Сб.: «Геотермия. Геотермальная энергетика», Махачкала, 1994, С.72-76.
 11. Булаева Н.М. Изучение дизъюнктивно блочного строения Восточного Предкавказья методами ИК-зондирования // Основные проблемы геологического изучения использования недр Северного Кавказа (материалы VIII юбилейной конференции по геологии и полезным ископаемым), Есентуки, 1995, С.296-297
 12. Аскеров С.Я., Булаева Н.М. Оседание надзалежного массива горных пород при разработке флюидных месторождений // Сб.: «Геология и минеральные

- ресурсы Дагестана», ИГ ДНЦ РАН, Вып. 45, Махачкала, 1995. С. 79-82.
13. Сардаров С.С., Булаева Н.М. ИК-мониторинг тектонически активных зон // Тезисы докладов научной конференции «Каспий-95», ноябрь, 1996.
 14. Сардаров С.С., Булаева Н.М. ИК-мониторинг тектонически активных зон // Журнал «Мониторинг. Безопасность жизнедеятельности» №2, С.-Петербург, 1996, С.13-15.
 15. Булаева Н.М. Экологический мониторинг и эффективность аэрокосмических исследований // Тезисы докладов научной конференции (ДГТУ), Махачкала, октябрь 1996, С.21-22.
 16. Булаева Н.М., Аскеров С.Я. Аэрокосмический и экологический мониторинг природной среды Восточного Предкавказья // Тезисы докладов международного Симпозиума МиПЧС, Махачкала, октябрь 1997, С.80-82.
 17. Bulaeva N.M. Infrared Radiation of the Earth's Ground Reflects the Deep-Seated Faults // «Lithosphere», №8, Minsk, 1998, P.133-134.
 18. Bulaeva N.M., Askerov S.Ya. Aerocosmic Methods Of East Pre-Caucasus Heat Fields Analysis // Proceedings of the International Conference «The Earth's Thermal Field And Related Research Methods», М.:MSGPA, 1998, P.48-50.
 19. Аскеров С.Я., Булаева Н.М. О термическом влиянии на неустойчивость прифилтровой зоны системы «скважина-пласт» при разработке флюидных месторождений // Вестник ДНЦ РАН, №3, 1999, С.55-57.
 20. Булаева Н.М., Аскеров С.Я., Мамедбеков С.Н. К вопросу о возможности оценки дистанционными методами степени загрязненности почвенных сред // Сб.: «Тепловое поле Земли и методы его изучения», М.: РУДН, 2000, С.315-320.
 21. Абдулаев Ш.-С.О., Булаева Н.М. Использование геоинформационных технологий для изучения современных геодинамических процессов // Сб.: «Информационные и телекоммуникационные системы: состояние и перспективы развития», Махачкала, ДНЦ РАН, 2001, С.232-241.
 22. Булаева Н.М., Пономарева Н.Л., Тулик Н.В. Сопоставление сейсмических

- событий с данными аэрокосмического мониторинга // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Применение материалов дистанционного зондирования земли в интересах социально-экономического развития России», Элиста, 18-22 апреля 2001, С.64-65.
23. Булаева Н.М., Тупик Н.В., Кобзаренко Д.Н. Изучение температурных полей на глубинах по результатам космических и наземных съемок // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Применение материалов дистанционного зондирования земли в интересах социально-экономического развития России», Элиста, 18-22 апреля 2001, С.62-64.
24. Сафаралиев Г.К., Булаева Н.М., Кобзаренко Д.Н., Тупик Н.В. Использование системы трехмерной визуализации для решения задач мониторинга среды // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Физические проблемы экологии», М., МГУ, 22-24 мая 2001, С.218-219.
25. Сафаралиев Г.К., Булаева Н.М., Пономарева Н.Л., Тупик Н.В. Афтершоковая активность и ее диагностическое значение // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Физические проблемы экологии», М., МГУ, 22-24 мая 2001, С.141-142.
26. Булаева Н.М., Тупик Н.В., Кобзаренко Д.Н., Пономарева Н.Л. Сбор и визуализация сейсмологической информации // Материалы научно-практической конференции Института геологии «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Восточного Кавказа и прилегающей акватории Каспия», Махачкала, 10-13 сентября 2001, С.42-44.
27. Булаева Н.М., Даниялов М.Г., Тупик Н.В. Организация сопряженного аэрокосмического мониторинга окружающей среды региона // Материалы научно-практической конференции Института геологии «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Восточного Кавказа и прилегающей акватории Каспия», Махачкала, 10-13 сентября 2001, С.44-46.
28. Булаева Н.М., Тупик Н.В., Кобзаренко Д.Н., Пономарева Н.Л. Разработка

- системы сбора и визуализации сейсмической информации // Сб.: «Информационные и телекоммуникационные системы: состояние и перспективы развития», Махачкала, ДНЦ РАН, 2001, С.199-208.
29. Абдулаев Ш.-С.О., Булаева Н.М., Тупик Н.В. Выбор сети опорных точек для геодинамических измерений в регионе // Сб.: «Информационные и телеком-муникационные системы: состояние и перспективы развития», Махачкала, ДНЦ РАН, 2001, С.143-151.
30. Сафаралиев Г.К., Булаева Н.М., Тупик Н.В. Сопряженный мониторинг тепловых полей региона // Сб. «Информационные и телекоммуникационные системы: состояние и перспективы развития», Махачкала, ДНЦ РАН, 2001, С.187-198.
31. Булаева Н.М., Тупик Н.В., Кобзаренко Д.Н. Система сбора и визуализации мониторинговой информации // Тезисы докладов XVI научно-практической конференции по охране природы Дагестана, Махачкала, 2001, С.217-218.
32. Булаева Н.М., Тупик Н.В. Космический мониторинг среды // Тезисы докладов XVI научно-практической конференции по охране природы Дагестана, Махачкала, 2001, С.219-220.
33. Булаева Н.М., Кобзаренко Д.Н., Аскеров С.Я. Визуализация тепловых полей на основе первичных данных // Тезисы докладов XVI научно-практической конференции по охране природы Дагестана, Махачкала, 2001, С.224-225.
34. Сафаралиев Г.К., Булаева Н.М., Тупик Н.В. Комплексные исследования тепловых полей Восточного Предкавказья // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования, Москва, 3-7 декабря 2001, С.30-31.
35. Bulaeva N.M., Tupik O.N., Askerov S.Ya., Gadzhimirzoev K.B. Geothermal Area Researches Of The Thermal Mode Of Southern Polygon In Daghestan // In book «The Earth's Thermal Field And Related Research Methods» eds: Yu.Popov, M.Khutorskoy, D.Korobkov, MSGPU, Moscow, 2002, P.24-27.
36. Bulaeva N.M., Ponomareva N.L., Tupik N.V., Kobzarenko D.N. The Relation

- Between Seismic Events And Thermal Fields In Region // In book «The Earth's Thermal Field And Related Research Methods» eds: Yu.Popov, M.Khutorskoy, D.Korobkov, MSGPU, Moscow, 2002, P.208-211.
37. Булаева Н.М., Пономарева Н.Л., Тупик Н.В., Аскеров С.Я. Корреляция тепловых полей с сейсмическими событиями в Дагестане // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.16-19.
 38. Булаева Н.М., Пономарева Н.Л., Бугаева О.С., Тупик Н.В. Лучевая диаграмма «слышимости сейсмостанции Махачкала» // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.13-15.
 39. Булаева Н.М., Гаирбеков Х.А., Тупик Н.В., Эмиров С.Н. Геодинамические аспекты интеграции глубинного теплового поля Восточного Предкавказья // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.26-28.
 40. Булаева Н.М., Кобзаренко Д.Н., Аскеров С.Я., Османов Р.Ш. Пространственно-временная модель для анализа сейсмособытий // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.219-220.
 41. Сафаралиев Г.К., Булаева Н.М., Гридин В.И., Цуцкин Е.В. Теоретическое обоснование предложений по системной организации сопряжённого мониторинга чрезвычайных ситуаций в Каспийском регионе // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.154-159.
 42. Булаева Н.М., Босниев К.С., Гридин В.И., Швидченко Л.Г. Профессиональная переподготовка специалистов Юга России по направлению «Системно-аэрокосмические методы изучения и освоения природных ресурсов» // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.217-218.

43. Булаева Н.М., Пономарева Н.Л., Тупик Н.В. Анализ сейсмических событий с использованием ГИС «Глобус» // Сб.: «Геодинамика и сейсмичность Восточного Кавказа», Махачкала, ИГ ДНЦ РАН, 2002, С.19-21.
44. Булаева Н.М., Тупик Н.В., Кобзаренко Д.Н., Аскеров С.Я., Гаджимирзоев К.Б. Организация и проведение исследований приповерхностного температурного поля Манасского полигона // Материалы всероссийской научной конференции «Геология, Геохимия и Геофизика на рубеже XX и XXI веков», Москва, 8-10 октября 2002, С.122-123.
45. Булаева Н.М., Тупик Н.В., Кобзаренко Д.Н., Аскеров С.Я. Аэрокосмический мониторинг современных геодинамических движений и приповерхностных температурных полей на территории Дагестана и прилегающего шельфа Каспия // Материалы всероссийской научной конференции «Геология, Геохимия и Геофизика на рубеже XX и XXI веков», Москва, 8-10 октября 2002, С.205-206.
46. Булаева Н.М., Гридин В.И., Пекин В.Н., Шахраманиян М.А. Цуцкин Е.В. Предложения по системной организации сопряженного мониторинга чрезвычайных ситуаций в Северо-Кавказском регионе // Сб.: «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». – М.: Центр «Антистихия», 2002г. С. 16-17.
47. Булаева Н.М., Кудрявцева К.А., Кобзаренко Д.Н., Аскеров С.Я. Трехмерное моделирование и анализ теплового поля Махачкалинского месторождения термальных вод // Журнал «Физика Земли», №6, 2004 (в печати).
48. Булаева Н.М., Османов Р.Ш. Система сбора, накопления и интерпретации геофизических данных по Восточному Предкавказью для решения мониторинговых задач // Журнал «Информационные ресурсы России», №2, 2004 (в печати).

Булаева Нуржаган Маисовна

Мониторинг теплового поля Восточного Предкавказья на основе дистанционного зондирования и наземных измерений
(на примере Дагестана)

Проведены работы по постановке комплексного мониторинга теплового поля на территории Восточного Предкавказья с применением современных средств вычислительной техники и разработкой новых геоинформационных технологий.

Разработана оригинальная методика построения трехмерной ГИС для изучения теплового поля на базе цифровой картографической 3D-модели и ее приложений, способной интегрировать и комплексно отображать разнородные данные в пространстве и во времени благодаря систематизации и приведению к единой структуре мониторинговой информации.

Создан программно-технический комплекс для приема, обработки и визуализации разнородной мониторинговой информации на базе геоинформационных технологий по изучаемому региону.


Bulaeva Nurjagan Maisovna

Monitoring of the East Ciscaucasia's thermal field on the basis of remote sounding and ground measurements
(on an example of Dagestan)

The operations on statement of the thermal field's complex monitoring on territory of East Ciscaucasia with application of modern computer hardware and development new geoinformation technologies are spent.

The original technique of the three-dimensional GIS construction for studying of a thermal field is developed on the basis of digital cartographical 3D-model and its applications, capable to integrate and complexly to display the diverse data in space and time due to ordering and reduction to uniform monitoring information structure.

The software-technical complex for reception, processings and visualization diverse monitoring information is created on the basis of geoinformation technologies for investigated region.



25.00

РНБ Русский фонд

2007-4

14795

Тираж 200 экз.

Отпечатано в Институте проблем геотермии Дагестанского ИЦ РАН

367030, г.Махачкала, пр.И.Шамиля, 39а

23 апр 2004