

## Секция 19

# ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИИ

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ю.С. Ананьев, доцент

*Томский политехнический университет, г.Томск, Россия*

Практически с момента появления, геоинформационные системы нашли широкое применение в практике геологических исследований на различных стадиях изучения, оценки и эксплуатации различных полезных ископаемых.

Традиционно, геоинформационными называют разновидность информационных систем, обеспечивающих сбор, хранение, обработку, доступ, визуализацию и распространение пространственно привязанной информации. В состав геоинформационных систем входят аппаратная часть, программный комплекс, данные, блок анализа данных и квалифицированный персонал, который управляет работой ГИС. Геоинформационные системы работают с различными видами данных: пространственными, атрибутивными и библиотеками условных знаков.

Пространственные данные указывают на местоположение и геометрию объектов. Наиболее часто используемыми моделями пространственных данных являются растровое и векторное (нетопологическое и топологическое) представление для отображения «плоских» объектов и GRID и TIN представление для описания поверхностей.

Атрибутивные данные используются для описания свойств пространственных объектов. Атрибутивные данные представляются в виде внутренних и внешних баз данных. В современных ГИС для описания пространственных данных используется аппарат реляционной алгебры.

Библиотеки условных знаков применяют для однообразного отображения пространственных объектов в конкретных предметных областях. Для геологических карт различного содержания стандартные библиотеки условных знаков разработаны во ВСЕГЕИ и обязательны для применения при картосоставительских работах.

Программное обеспечение, используемое при геолого-разведочных работах, можно разделить на несколько групп: векторные ГИС, растровые ГИС, горно-геологические системы для моделирования месторождений полезных ископаемых, сервисные программы. Векторные геоинформационные системы широко используются при картосоставительских работах. Из наиболее часто встречающихся пакетов следует отметить ArcGIS, MapInfo, ПАРК и др. Растровые ГИС традиционно используют для дешифрирования материалов аэрофото- и космосъемок при поисково-съёмочных работах. Геологи здесь используют Erdas Imagine, ENVI, ER Mapper и др. Горно-геологические системы предназначены для моделирования месторождений полезных ископаемых, подсчета запасов, планирования и оптимизации горных работ, моделирования рудничной вентиляции, проведения маркшейдерских расчетов. На Российских предприятиях наибольшее распространение получили Surpac, Micromine, Datamine, Gemcom, MineScape и др. Сервисные программы позволяют подготовить данные для геоинформационных и горно-геологических систем. Это векторизаторы, электронные таблицы, программы для скачивания данных с GPS и др. Применение конкретных программных средств обусловлено рядом факторов: удобством работы, выполняемыми функциями, требованиями МПР и его структур.

В настоящее время, при производстве геолого-разведочных работ ГИС используется для:

- топографической привязки;
- удобной среды для картосоставительских работ;
- обработки и наглядного представления результатов геохимических и геофизических исследований;
- среды для моделирования МПИ с подсчета запасов ПИ;
- среды для комплексной обработки разнородной геолого-геофизической информации;
- удобной среды для накопления и обобщения любой геологической информации.

По методам, способам и технологиям работы, а также по применяемому оборудованию и программному обеспечению можно выделить несколько направлений применения геоинформационных систем в геологии:

- при геологическом картировании;
- при геохимических и геофизических исследованиях;
- при моделировании МПИ для подсчета запасов и прогнозных ресурсов и управления горнодобывающим предприятием;
- при прогнозировании МПИ.

При использовании геоинформационных и горно-геологических систем на предприятиях геологического профиля традиционно возникает ряд проблем. Первый блок проблем связан, прежде всего, с практически полным отсутствием высококвалифицированных специалистов в области геологии и геоинформатики в одном лице. Второй блок проблем возникает в связи с разнообразием используемых форматов данных. Третий блок проблем возникает в алгоритмах обработки данных. Не секрет, что большинство производителей не публикуют заложенные в программное обеспечение алгоритмы. Последний блок проблем связан с практически полным отсутствием литературы по большинству вопросов геоинформатики. Следует

признать, что большинство литературных источников, которые получили широкое распространение, морально устарели, или описывают только теоретические вопросы построения и функционирования ГИС.

Тем не менее, геоинформационные и горно-геологические системы будут продолжать использоваться при геолого-разведочных работах на разных стадиях производства.

## ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**А.С. Васильев**

Научный руководитель старший научный сотрудник В.Д. Барышников  
*Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Переход на подземную отработку кимберлитовых месторождений является для АК «АЛРОСА» одной из важнейших задач в настоящий момент. Отсутствие мирового и отечественного опыта ведения подземных работ в сложных горно-геологических условиях (наличие водоносных горизонтов, многолетнемерзлых пород, нефти – и газопроявления и пр.) и суровых климатических условиях Севера выдвигают перед проектировщиками горняками серьезные проблемы, связанные с выбором эффективных и безопасных технологий и их параметров. Учитывая большие глубины залегания рудных тел (более 1 км), низкую прочность руд и вмещающих пород и ее изменчивость в широких пределах, геомеханические исследования приобретают первостепенное значение. Сведения о геомеханическом состоянии горных пород являются основой для правильного выбора технических решений и обеспечения безопасных условий труда горняков на всех этапах функционирования горного предприятия.

Специфика подземного ведения горных работ такова, что воспользоваться накопленным опытом решения задач геомеханики при открытой разработке кимберлитовых трубок практически невозможно. Это связано не только с изменением информации о состоянии и свойствах горных пород с глубиной и различием температурных режимов. Появляются новые типы пород (в частности, соли), требуется более детальное знание показателей механических свойств рудного массива для обоснования устойчивости горных выработок (для карьеров основное внимание уделялось исследованиям вмещающих пород, слагающих откосы), изменяются параметры процесса сдвижения, особенно при разработке рудных тел ограниченных размеров в плане. Отработка глубоких горизонтов сопровождается запредельным деформированием горных пород, что при наличии хрупких горных пород приводит к появлению новой формы проявления горного давления (динамических форм разрушения). Качественные закономерности формирования напряженного состояния в конструктивных элементах систем разработки уступают здесь место строгому количественному анализу. Без этого невозможно распространить полученный опыт ведения горных работ на другие горнотехнические условия (глубины разработки) и объекты, а также на выбор параметров иных технологических решений.

В 2005 г. на месторождении трубки «Интернациональная» начаты работы по реконструкции бортов карьера при одновременном ведении подземных горных работ. Отработка запасов переходной зоны от открытых к подземным работам наиболее ответственный участок с точки зрения обеспечения безопасных условий труда. Наличие водоносного горизонта ниже дна карьера требует оставления предохранительного целика, обеспечивающего защиту горных выработок от затопления. Выбор параметров целика и последующий контроль его состояния должен базироваться на результатах комплексных исследований с использованием аналитических и натурных методов. Прогнозные оценки параметров процесса сдвижения рудного массива могут быть получены по результатам математического моделирования состояния целика, достоверность которых определяется надежностью исходных данных о физико-механических свойствах массива. Имеющиеся данные геологоразведочных и эксплуатационно-разведочных работ по механическим свойствам горных пород явно недостаточны, разрозненны и не охватывают значительной толщи вмещающих пород. Для получения более полной картины состояния пород, обобщения полученных результатов на массив при сходных по составу и строению литологических типах пород, выделения на их основе инженерно-геологических комплексов (в зависимости от масштаба решаемых задач) поставлена задача разработать базу данных геоинформационной модели месторождения, на основе которой возможна статистическая обработка данных о физико-механических свойствах пород и установление основных взаимосвязей между ними, анализ информации в пределах месторождения и корректное привлечение данных по трубке «Мир».

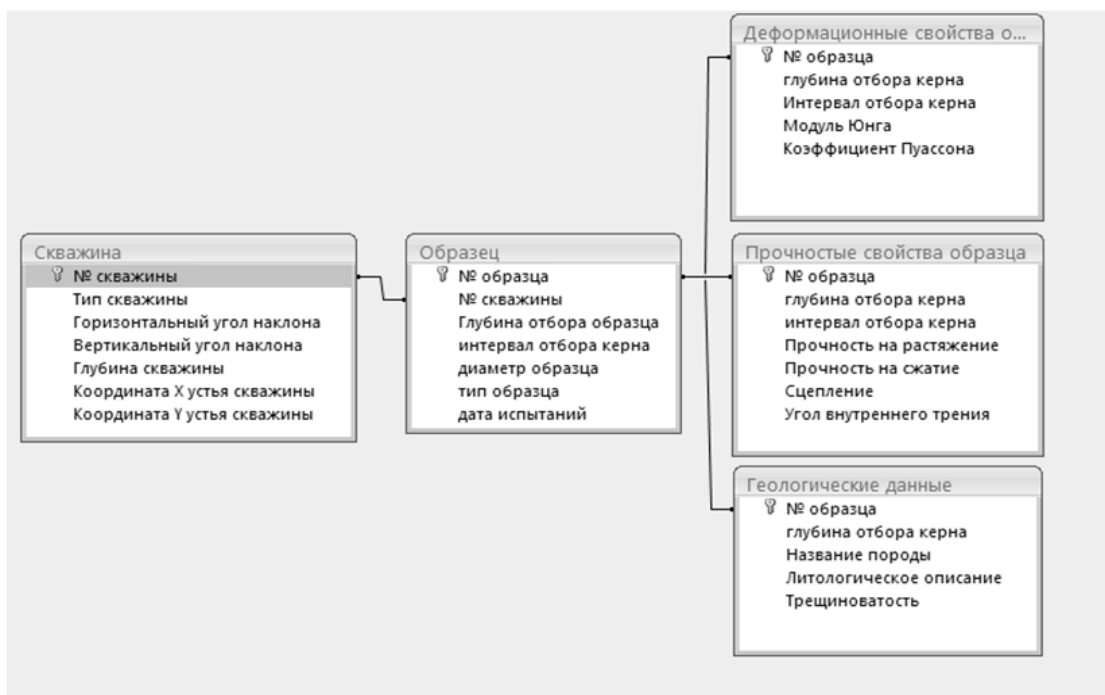
Цель формирования обобщенной базы данных – иерархически структурировать исходную информацию, а именно:

- геометрические параметры расчетной области рудного тела;
- данные о начальном напряженном состоянии массива горных пород;
- деформационные и прочностные свойства горных пород.
- для проведения расчетов с использованием упругой геомеханической модели месторождения.

В ходе выполнения работы, предложена следующая структура базы данных (рисунок), состоящая из четырех основных видов таблиц, отображающих типы хранимых данных геоинформационной модели месторождения:

- *Скважины*. Таблица содержит описание скважин, из которых были отобраны образцы, углы наклона и координаты устья.
- *Образцы* (объекты геомеханических исследований). Таблица содержит данные о типоразмере образцов, глубине отбора, координатах, а также принадлежности образца к конкретной скважине.

- *Испытания.* Таблица описания результатов проведения экспериментов по определению деформационных, прочностных и физических свойств над экземплярами таблицы «Образцы»
- *Геологические данные.* Литологическое описание образцов и данные об их трещиноватости.



*Рис. Фрагмент диаграммы взаимосвязи таблиц базы данных*

Для заполнения информационной базы данных были использованы результаты исследования физико-механических свойств порядка тысячи образцов кимберлита и вмещающих пород различных скважин эксплуатационных блоков № 7 и 8 месторождения трубки «Интернациональная», полученные в ИГД СО РАН в 2005 – 2008 гг.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА МИКРОФОТОГРАФИЙ ШЛИФОВ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСТРУКТУР И КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

**Р.И. Кадыров, И.И. Нугманов, А.Н. Кольчугин**

Научный руководитель доцент И.Ю. Чернова

*Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, г. Казань, Россия*

В геологии наиболее актуальными и широко распространёнными задачами является определение минерального состава горных пород, последовательности образования в них зёрен, вопросы генезиса минеральных агрегатов в каждом конкретном случае, изучение пористости, её природы и ряд других сходных вопросов. Для решения этих проблем существует единый и проверенный временем подход: использование методов поляризационной микроскопии.

Поляризационный микроскоп позволяет различать зёрна отдельных минералов в шлифах, определять их форму и размер, оценивать их взаимоотношения между собой, изучать их свойства в параллельных и скрещённых николях и, ориентируясь на полученные результаты делать выводы относительно видов минералов, последовательности и условий их образования.

Однако нередко встаёт вопрос изучения не одного, а сотен и даже тысяч шлифов, и как часто это бывает, с одной определённой целью. Например, определение пористости шлифа, или наличия и процентного содержания в нём определённых минералов. Наиболее оптимальным выходом из этой ситуации является изучение фотографий шлифов с помощью специализированных программ обработки изображений. В настоящее время программ, предназначенных для обработки изображений, достаточно много, в том числе и свободно распространяемых через Internet: MultiSpec (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~bieh/MultiSpec/>), Image Tool (<http://ddsdx.uthscsa.edu/>) др. Многие из них широко используются в биологии и медицине. Но обработка изображений шлифов представляет собой более сложную задачу в сравнении с задачами, решаемыми с помощью простых программ. В данной работе показан пример эффективного решения задачи выявления микроструктур образцов карбонатных пород с помощью пакета Definiens (Definiens AG, Германия). Этот

программный пакет не специализируется на изучении шлифов, но, тем не менее, позволяет проводить эффективный анализ изображений. Основой платформы Definiens является технология системного распознавания изображений, имитирующая познавательные процессы человека, извлекая информацию из снимков. Эта технология изучает каждый пиксель не в отдельности, а в ситуации. Она строит картинку итеративно, распознавая группу пикселей как объекты. Также как и человеческий мозг, эта технология использует цвет, форму, текстуру и размер объектов, а также их взаимоотношения и контекст, чтобы прийти к таким же заключениям и выводам, что и опытный человек, работающий со снимками [2].

Основной задачей данной работы являлось изучение конфигурации пористого пространства карбонатных коллекторов нефти. Исследовались микрофотографии шлифов пород терригенно-карбонатной толщи нижнего и среднего карбона одного из месторождений нефти Республики Татарстан. Шлифы были изготовлены для участков керна с различной нефтенасыщенностью. Микрофотографии были сделаны с помощью стационарно установленной цифровой камерой высокого разрешения при параллельных и скрещенных николях, с использованием микрометрической линейки [1].

Технология обработки снимков заключается в создании единого алгоритма анализа на основе снимка одного шлифа. В данном случае была взята микрофотография шлифа, снятая при параллельных николях (рис. 1).

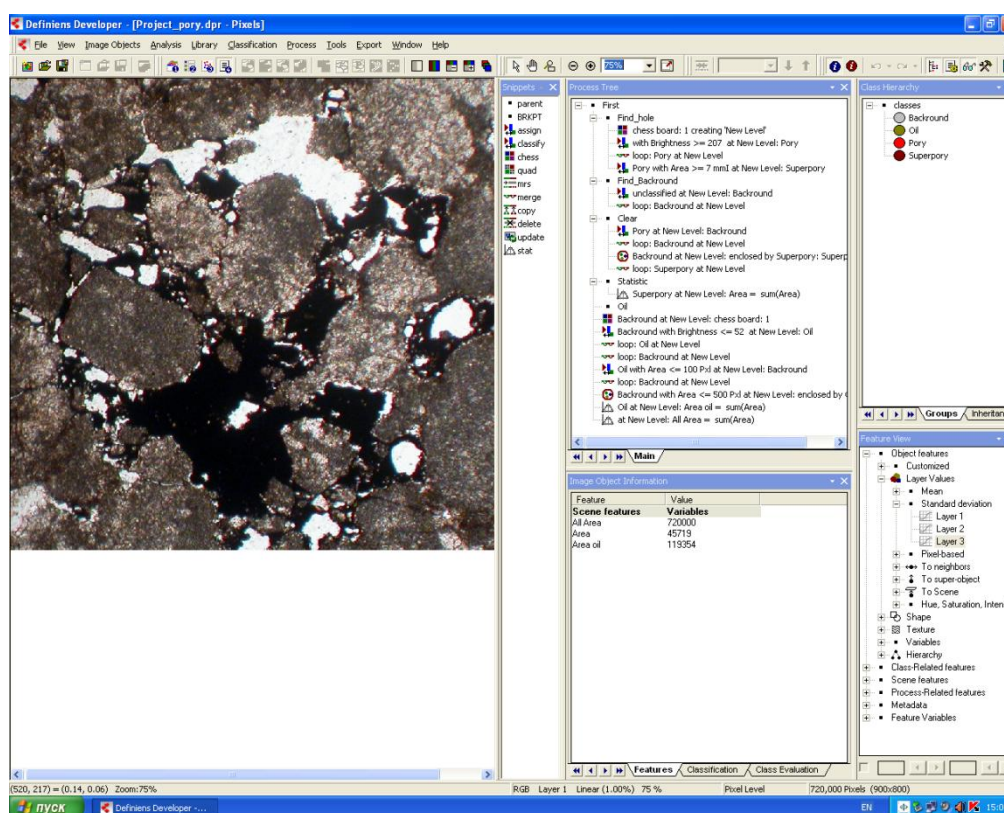


Рис. 1. Окно обработки первичного изображения шлифа

На первом этапе обработки была произведена попиксельная сегментация изображения. Каждый пиксель имеет определённое значение цветового спектра. Пиксели, имеющие определённый диапазон белого цвета были объединены в класс пор. Вся остальная область была сгруппирована в класс подложки.

На втором этапе наиболее мелкие поры были переклассифицированы в класс подложки, так как они не удовлетворяли условиям минимальной размерности пор. В свою очередь из оставшихся пор были удалены мелкие побочные элементы из класса подложки. Таким образом, была произведена фильтрация, и ошибочно классифицированным на первом этапе элементам, были заданы их истинные значения.

Следующим шагом стало выделение из класса подложки нового класса нефтенасыщенных пор. Была произведена попиксельная сегментация подложки и на основе пикселей черного цвета определённого диапазона выделен класс нефтенасыщенных пор. Остальная часть отнесена к зернам карбонатов.

Таким образом, были получены три класса объектов. Для каждого класса объекта рассчитана пиксельная площадь (зная разрешение снимка, есть возможность подсчёта в метрической системе). На основе этих данных, путём деления общей площади снимка на сумму открытых и нефтенасыщенных пор была рассчитана открытая пористость шлифа. В дальнейшем имеется возможность изучения геометрических характеристик зёрен и поровых пространств (рис. 2).

В итоге работы был создан алгоритм анализа порового пространства для микрофотографий шлифов карбонатных пород. На основе этого алгоритма был успешно проведен экспресс анализ остальных микрофото снимков. В дальнейшем возможно создание экспресс методики оценки порово-пустотного пространства коллекторов нефти и битумов, выявление закономерностей в распределении зёрен и последующая типизация нефтенасыщенных карбонатных пород.

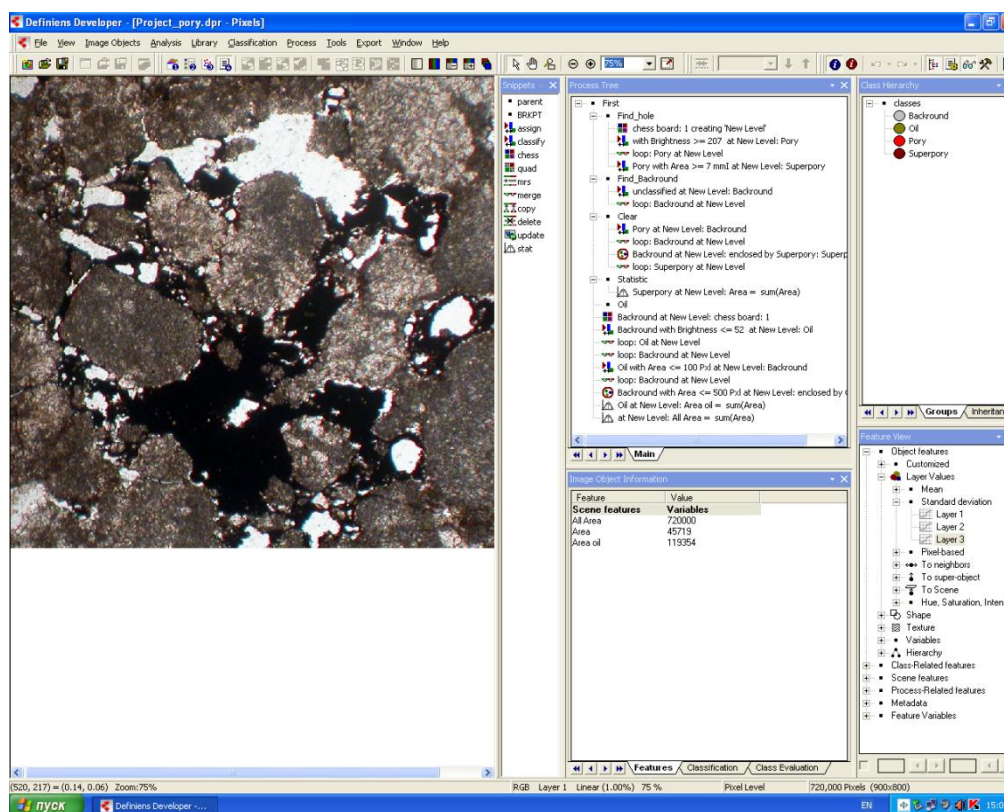


Рис. 2. Результат обработки снимка

#### Литература

1. Данилова Т.Е., Козина Е.А., Морозов В.П., Королев Э.А., Пикалев С.А. Краткая характеристика литологического строения и коллекторских свойств основных нефтеносных горизонтов палеозойских отложений Республики Татарстан. – Казань: Изд-во «Плутон», 2007 – 151 с.
2. <http://www.defines.com>.

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

М.М. Кириллова

Научный руководитель доцент Н.А. Антропова  
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Появление современных Геоинформационных систем с принципиально новым подходом в работе с пространственными данными повлекло на бурное развитие областей, связанных с применением карт. Географическая Информационная Система – или ГИС [1, 3] – это компьютерная система, позволяющая показывать данные на электронной карте. ГИС - это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, а также событий, происходящих на нашей планете. Эта технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий принимаемых действий.

Работающая ГИС включает в себя пять ключевых составляющих: аппаратные средства, программное обеспечение, данные, исполнители и методы [4]. В основе построения ГИС лежит СУБД (система управления базами данных). Однако, вследствие того, что пространственные данные и разнообразные связи между ними

плохо описываются реляционной (табличной) моделью, полная модель данных в ГИС имеет сложный смешанный характер. Пространственные данные специальным образом организованы, и эта организация не базируется на реляционной концепции. Напротив, атрибутивная информация объектов (называемая ещё «семантической») вполне может быть представлена реляционными таблицами и соответствующим образом обрабатываться. Но поскольку в ГИС графические объекты связаны с табличными данными то как графику, так и семантику нужно одновременно и в то же время эффективно обрабатывать, что усложняется и гигантскими объёмами информации.

Симбиоз двух моделей данных, лежащих в основе представления пространственной и семантической информации в ГИС, называется геореляционной моделью. Из-за сложной организации в целом модели данных в ГИС и сложности процедур обработки этих данных тенденции в исследованиях новых подходов к проблеме построения эффективных моделей данных лежат в области геоинформатики.

Данные в ГИС организуются различными способами. Наиболее распространённым является послойный принцип. Более перспективным является бесслоевой объектно-ориентированный подход к представлению объектов на цифровой карте. В соответствии с ним объекты входят в классификационные системы, которые отражают определённые логические отношения между объектами предметных областей. Группировка объектов разных классов для разных целей (отображения или анализа) производится более сложным способом, однако, объектно-ориентированный подход более близок к свойствам человеческого мышления, чем послойный принцип. Его применение ведёт к более продуктивным построениям данных в ГИС при решении самых сложных задач. Использование объектно-ориентированной технологии позволяет решать задачи на порядок сложнее, чем при их решении с помощью послойной технологии организации данных ГИС. К сожалению, объектно-ориентированных ГИС очень мало.

Как правило, структура карты представляется линейным списком слоев. Пользователям таких систем достаточно создать один слой и можно сразу приступить к наполнению электронной карты пространственными объектами. Через некоторое время появляется красивая электронная карта участка территории и появляется иллюзия, что работы ведутся в нужном направлении. Лишь через некоторое время пользователи начинают понимать, что все созданное является лишь картинкой, не столько подготовленной к автоматизированному анализу, сколько просто копирующей бумажные карты. Для адекватного отражения объектов реального мира концепции слоев недостаточно – необходим современный объектно-ориентированный подход. При использовании инструментальных ГИС, реализующих такой подход, создание электронных карт начинается с анализа тех объектов реального мира, которые будут присутствовать в электронной карте. По результатам анализа при помощи объектно-ориентированных средств ГИС формируется классификация объектов, и лишь затем начинается наполнение электронной карты экземплярами пространственных объектов.

Для начала вместо термина слой необходимо ввести термин класс пространственных объектов, для которого определяется набор характеристик, присущих всем объектам данного класса. ГИС должна предоставлять пользователям возможность организации перечня всех классов не в виде линейного списка, а в виде множественных пересекающихся иерархий. Данное требование обусловлено тем, что при составлении сложных муниципальных карт, приходится оперировать не десятками, а сотнями и даже тысячами классов пространственных объектов. Набор атрибутивных характеристик определяет структуру семантических данных, которыми будет обладать каждый объект класса. Поскольку атрибутивная информация вполне хорошо описывается реляционной моделью, то её принято хранить в реляционных таблицах общего назначения. Тогда инструментальная ГИС должна позволять описывать соответствие между декларированными атрибутивными характеристиками класса и физическими столбцами существующих реляционных таблиц. В идеальной ситуации такая ГИС должна предоставлять возможность создания новых таблиц и изменения структуры существующих реляционных таблиц.

Очень важен вопрос об организации хранения и внесения изменений в пространственные данные. Сложность данной проблемы заключается в объемах данных, с которыми приходится работать – это сотни тысяч и даже миллионы пространственных объектов. Нельзя подойти к решению этой проблемы упрощенно: завести линейный список объектов, при запуске программ загружать весь этот список в ОЗУ, а при сохранении записывать список из памяти компьютера на жесткий диск. При недостатке вычислительных ресурсов (производительность процессора, объём оперативной памяти), что всегда имеет место в ГИС, необходимо применить весьма сложные структуры данных и реализовать эффективные способы манипулирования большими объёмами данных с учётом их размещения на всех уровнях иерархии компьютерной памяти. Реляционная модель плохо подходит для эффективного манипулирования пространственными данными.

Рассмотрим два варианта организации хранения пространственных данных. Все пространство картографируемой территории равномерно разбивается на одинаковые прямоугольные сектора. С каждым сектором связывается блок данных, описывающий границы сектора и хранящий две таблицы объектов. Описанная организация хранения данных позволит быстро определить список секторов, для которых необходимо загрузить блоки данных. Недостатком этого подхода является невозможность определения эффективной разбивки территории на сектора при отсутствии информации о том, сколько пространственных объектов будет на карте и где они будут располагаться. Кроме того, предложенная схема снижает свою эффективность при неравномерном распределении (сгущенности) пространственных объектов. Для устранения указанных недостатков можно использовать другую организацию хранения данных.

По второй схеме территория не разбивается на одинаковые сектора. В начальном состоянии, когда на карте нет ни одного пространственного объекта, существует всего один сектор, границы которого полностью совпадают с границами территории. С этим сектором связан блок данных, содержащий описание границ сектора

и список объектов, границы которых полностью лежат в пределах сектора. По мере добавления объектов в сектор при достижении некоторого критического количества объектов происходит разбиение сектора на четыре одинаковых подсектора. При этом объекты, контуры которых полностью лежат в пределах одного из подсекторов, перемещаются в блок данных этого подсектора. Объекты, лежащие на границах подсекторов, остаются в блоке данных родительского сектора. Применяя описанный механизм к подсекторам, получаем иерархию вложенных секторов, с каждым из которых связано относительно небольшое количество объектов. Для определения местонахождения объекта по его номеру необходима таблица, состоящая из двух столбцов: «номер объекта», «номер сектора». Подход, описанный во втором способе хранения данных, учитывает неравномерность распределения объектов по территории и позволяет хранить объекты относительно небольшими порциями, загружая списки объектов только для нужных секторов. Кроме того, можно составить эффективный алгоритм отбора объектов по заданной прямоугольной области, постепенно отсекая сектора, не содержащие нужную область.

В связи с возрастающей доступностью и популяризацией глобальной сети Internet, использование геоинформационных ресурсов приобретает все большую перспективность и новые возможности. Симбиоз ГИС и технологий Internet позволяет объединять в единую информационную систему данные, расположенные в различных местах виртуального Internet-пространства, причем для пользователя не имеет значения, где эти источники информации расположены. Осуществляя навигацию по карте, он может легко переходить от карты одного района к карте другого, не подозревая, что данные могут быть расположены на разных серверах сети Internet. В отличие от существующих ГИС в рамках традиционных решений для локальных сетей, ГИС-по-Internet предоставляет разработчикам и пользователям новые возможности:

- создание распределенных ГИС, объединяющих данные, расположенные на различных серверах сети Internet;
- администрирование сложных распределенных ГИС становится более естественным и простым, т.к. отпадает необходимость тиражировать данные и программное обеспечение для ГИС, их обновление выполняется на местах у держателей той или иной информации, где осуществляется администрирование как данных, так и программ в рамках технической поддержки соответствующих серверов;
- интерфейс пользователя становится все более унифицированным, т.к. для работы программы на клиентском компьютере используется стандартный web - браузер (Internet Explorer или Netscape), иногда - со встроенным картографическим компонентом (PlugIn или ActiveX);
- простота установки программного обеспечения клиента, которое может устанавливаться (или обновляться на более новую версию) автоматически при входе на Internet-страницу, использующую карту;
- минимальная стоимость получения ГИС-информации для конечного пользователя [2].

Наиболее хорошо себя зарекомендовали для работы с мелкомасштабными «природными» картами (геология, сельское хозяйство, навигация, экология и т.п.) такие ГИС, как ArcInfo и ArcView GIS американской компании ESRI ([www.esri.com](http://www.esri.com), [www.dataplus.ru](http://www.dataplus.ru)). Из относительно простых западных ГИС можно назвать систему MapInfo, которая также распространена в мире весьма широко. Повторением концепции ArcInfo, но сильно уступающей последней по функциональной полноте является отечественная система GeoDraw, разработанная в ЦГИ ИГРАН (г. Москва). В геологии сильны позиции ГИС ПАРК (Ланэко, г. Москва), в которой также реализованы уникальные методы моделирования соответствующих процессов. Наиболее «продвинутыми» в области представления и дежурства крупномасштабных насыщенных карт городов и генпланов крупных предприятий можно считать две молодые отечественные системы: GeoCosm (ГЕОИД, г. Геленджик) и «ИнГео» (ЦСИ «Интегро», г. Уфа, [www.integro.ru](http://www.integro.ru)).

#### Литература

1. Ананьев Ю.С. Геоинформационные системы: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 70с.
2. Архипов А., Голованов Ю. Интернет как основа для создания ГИС. – М.: Гис – Обозрение, 1998. – №2.
3. Коновалова Н.В. Введение в ГИС. - Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского ун-та, 1995. - 148с.
4. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М.: Финансы и статистика, 1998. - 288 с.

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИМЕРЕ ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Е.В. Новикова, Н.А. Мирошниченко**

Научный руководитель профессор А.В. Леонтьев

**Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия**

На каждом горном предприятии имеется широкий круг задач, связанных с обработкой огромного количества разнородной информации и многократным повторением однотипных расчетов, требующих наглядного представления графических материалов. Коммерческие интегрированные горно-геологические системы хотя и предоставляют пользователям большой набор инструментов для моделирования и горного планирования, но по ряду причин, подробно рассмотренных в [1], заставляют многие горные предприятия обращаться к недорогим специализированным программным комплексам. Такие комплексы, с одной стороны,

могут успешно дополнять возможности интегрированных систем, с другой, использоваться самостоятельно для быстрого и качественного моделирования объектов геосреды и создания различных карт.

В данной работе демонстрируется подход к созданию информационной модели (ИМ) геомеханического пространства месторождения с использованием стандартных средств ввода, обработки и визуализации горно-геологической информации.

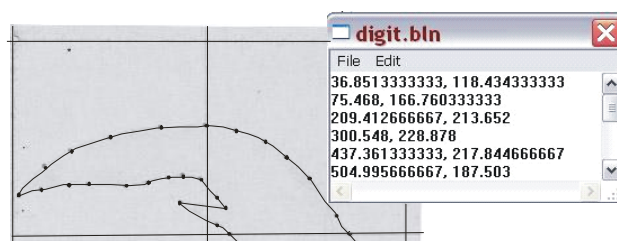
При создании ИМ в качестве картографической основы использовались топографические планы земной поверхности, планы горизонтов горных выработок, геологические карты, разрезы и другая горно-графическая документация различных масштабов в принятой системе координат, находящаяся на бумажных носителях. Ведение такой документации является неотъемлемой частью работ, выполняемых геолого-маркшейдерской службой.

Подготовка исходных материалов заключается в выборе из всех картографических данных, накопленных в результате различных наблюдений, тех, которые несут необходимую информацию для построения ИМ. Основные требования к картографическому материалу – его качество и максимальная информативность. Стандартно маркшейдерская графическая документация ведется на планах горных работ масштабов 1:500, 1:1000 и 1:2000. На первом этапе в качестве графической основы для построения ИМ были выбраны планы горных работ в масштабе 1:2000.

На этапе, предвещающем оцифровку, были решены следующие задачи:

- восстановлена информация, частично утраченная или искаженная из-за износа бумажного носителя, «обрезана» лишняя зарамочная информация, растр очищен от мелких дефектов;
- выбрана величина разрешения при сканировании для достижения необходимой графической точности;
- растровое изображение разделено на тематические слои (горные выработки, рудные тела, тектонические нарушения и т. д.);
- введена атрибутивная информация для графических объектов;
- оценена точность положения координатной сетки на картах и планах (растр обязательно должен быть пространственно привязан в системе координат и проекции, в которой он был построен);
- создана база данных информационной модели.

Геологические карты перегружены информацией, поэтому в нашем случае оцифровка контуров моделируемых объектов с фиксированием координат опорных точек выполнялась оператором вручную с помощью функции Digger в пакете трёхмерного моделирования поверхностей Surfer (рис. 1). Пространственная привязка объектов осуществлялась путем присвоения истинных прямоугольных координат перекрестиям линий координатной сетки оцифровываемых планов горизонтов. Сканирование карт и планов было выполнено на планшетных сканерах форматов А1 и А0 с разрешением 300 dpi. В случае наклона отсканированного изображения электронные варианты карт экспортировались в графический пакет CorelDraw, в котором вдоль линий координатной сетки карт проводились вспомогательные направляющие, и с помощью соответствующей опции с заданием угла и направления поворота осуществлялось вращение изображения до полного слияния направляющих с координатной сеткой.



**Рис. 1. Пример оцифровки контура рудного тела на одном из планов горизонтов**

На заключительном этапе оцифровки были произведены контроль и редактирование данных: проверено соответствие полученного цифрового изображений его твердому оригиналу, совпадение фактических и аналитических координат на отдельных фрагментах цифрового плана, соответствие электронной карты требованиям к горно-графической документации и принятым условным обозначениям. В результате оценки точности было установлено, что абсолютная ошибка в координатах опорной точки составляет не более 0,7–1,5 м на 12 км; относительная ошибка в расстояниях между опорными точками, принадлежащими одному контуру, не более 0.25 м. При этом предполагается, что систематическая ошибка, обусловленная неточностью изготовления планов горизонтов и сечений, равна нулю: для её оценки требуется проведение дополнительных измерений. Ошибки, вызванные прочими мелкими дефектами, на первом этапе построения ИМ не учитывались.

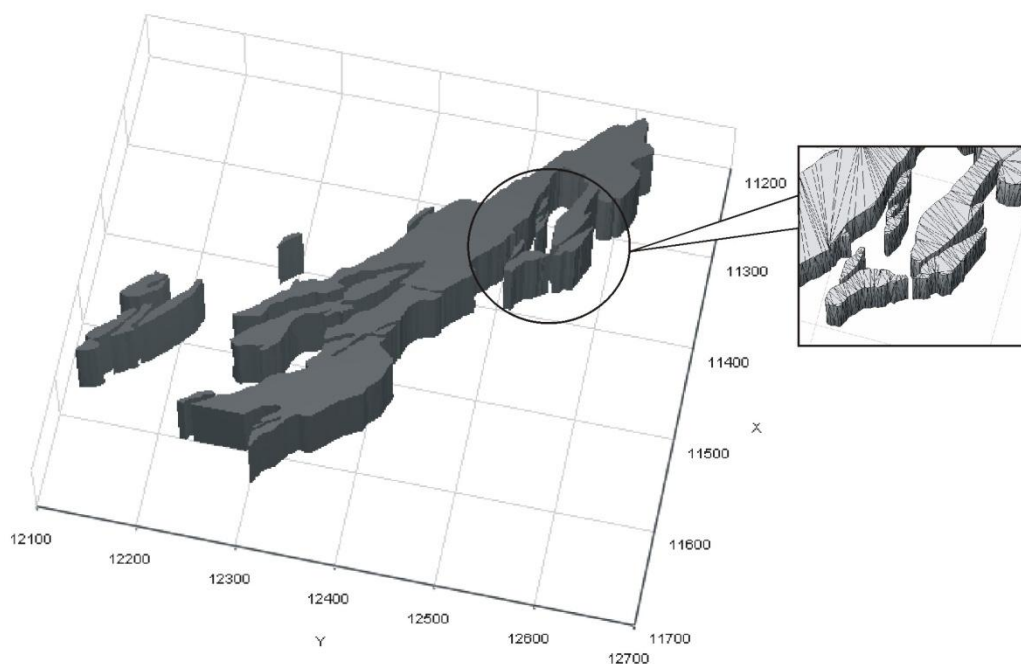
В результате оцифровки были получены и занесены в таблицы базы данных ИМ файлы двух типов: текстовые – содержащие трехмерные координаты опорных точек контуров геомеханических объектов, и графические – с информацией о физико-механических свойствах объектов геомеханического пространства и зарегистрированных динамических событиях. Все файлы могут быть экспортированы в различные пакеты для дальнейшей обработки (Surfer – BLN, Atlas – BNA, AutoCAD – DXF и т.п.), либо в базы данных для хранения и



представления в требуемом виде. Разработанная методика получения опорных точек геомеханического пространства обеспечивает их привязку к выделенным контурам и геодезическим координатам, в которых составлены планы горизонтов.

В структуре базы данных ИМ, спроектированной с помощью настольной СУБД MS Access, в настоящее время содержится 19 таблиц, среди которых выделяются два подмножества: база данных первичной информации и база данных информационной модели. В структуре таблиц, содержащих первичную информацию, представлено около 50 электронных планов горизонтов и сечений. Произведена оцифровка рудного тела на 4-х из 13-ти горизонтов, по которым в базе данных имеется информация. Построено около 250 контуров, которые в совокупности содержат более 6000 опорных точек.

Одной из основных задач построения ИМ является отображение физико-механических свойств геомеханического пространства. Решение этой задачи обеспечивает моделирование блочной структуры, объёмных полей напряжений, деформаций и смещений. При разработке ИМ использовалась объектно-ориентированная технология, позволяющая создавать хорошо структурированные, надежные в эксплуатации, достаточно просто модифицируемые программные системы. Базовым понятием здесь является класс объектов ИМ, под которым понимается множество объектов модели, описывающих однотипные элементы моделируемого геомеханического пространства. Каждому объекту приписываются его геометрические, пространственные и физико-механические свойства. При этом как сама ИМ, так и любой её объект могут быть как элементарными, так и обладать сложной иерархической структурой. Модель обычно представляет собой совокупность зон, рудных тел, подсчетных блоков, которые разрабатываются отдельно и могут быть впоследствии скомбинированы. Цель моделирования рудного тела заключается в первую очередь в точном воспроизведении его границ и внутренней структуры. Для этого используют различные методы триангуляции, выбор которых определяется требованиями точности аппроксимации геометрических свойств объектов. Рис. 2 демонстрирует результаты моделирования рудного тела на горизонтах +0 м и -70 м с помощью метода триангуляции по опорным точкам, который позволяет отразить топологию сечения геомеханического объекта, соответствующего некоторому плану горизонтов, его форму без ограничений, касающихся выпуклости, связности точек, наличие в нём отверстий и выделенных (с другими физическими характеристиками) областей. Метод реализован в среде MatLab; его подробное описание приводится в [2]. Визуализация результатов осуществлялась с помощью средств отображения трехмерных поверхностей графического пакета Graphis.



**Рис. 2. Объемная модель рудного тела, ограниченного горизонтами +0 м и -70 м, и триангуляция фрагмента рудного тела в квадрате: 11300 – 11400 м (координата X); 12500 – 12600 м (координата Y)**

Результаты проведенного опытного моделирования рудного тела Таштагольского месторождения позволяют говорить о возможности реализации разработанных принципов и методов в практике горнорудных предприятий для оценки геомеханического состояния массива горных пород, а в перспективе – для анализа наблюдаемых геодинамических явлений и прогнозных расчетов.

## Литература

1. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб: Недра, 2002. – 424 с.,
2. Ярославцев А.Ф., Мирошниченко Н.А., Новикова Е.В. Информационное моделирование геомеханического пространства // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск, 2007. – № 2. – С. 84-98.

**РАНЖИРОВАНИЕ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ Г. ТОМСКА ПО СТЕПЕНИ  
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДТОПЛЯЕМОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**В.Д. Покровский**

Научный руководитель доцент К.И. Кузеванов  
*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Среди разнообразной застройки г. Томска – старинного студенческого, культурного и промышленного центра Западной Сибири – многие строения являются архитектурными памятниками каменного и деревянного зодчества. Сохранение этого культурного наследия является одной из важнейших задач градостроительной политики. В то же время, для Томска, как и многих других городов мира, характерны опасные геологические процессы, одним из которых является техногенное подтопление. Техногенное подтопление — подъем уровня грунтовых вод, вызванный влиянием жизнедеятельности города — формируется под действием природных и техногенных факторов, среди которых наибольшее значение имеют геологическое строение и дренированность территории, интенсивность дополнительного питания подземных вод и ухудшение условий их стока и испарения. В данной работе делается попытка, используя материалы проведенных ранее исследований и возможности средств современных ГИС-технологий, оценить угрозу этого процесса архитектурным памятникам Томска и, учитывая ограниченность финансовых средств для выполнения реставрационных работ обозначить приоритеты последовательности выбора объектов.

Для картографических построений использована настольная геоинформационная система ArcGis 9.2. Возможности компьютерной обработки географически привязанной информации использованы для: объединения разнородной и разновременной картографической информации, полученной из различных источников в единой системе условных координат в виде отдельных слоёв электронной карты; оцифровки важнейших тематических карт (рельеф, уровенные поверхности грунтового потока и верховодки и т.д.) в виде, доступном для обработки количественных параметров в полуавтоматическом режиме средствами ГИС-технологий; объединения электронных баз данных локальных объектов с пространственной информацией гидрогеологического содержания; обработки пространственной информации гидрогеологического содержания средствами ГИС-технологий [1].

В качестве исходной информации использованы цифровые модели рельефа и оригинальные листы гидрогеологической карты на бумажном носителе. Оригиналы после сканирования сшиты в единый растр и оцифрованы. Отдельно получены цифровые модели уровенной поверхности грунтового потока и верховодки.

Базовыми приёмами обработки картографической информации является создание и актуализация электронного слоя специализированной карты глубин залегания подземных вод [2].

Источниками данных являлись специализированные карты, отстроенные на основе многолетней информации, полученной при инженерно-геологических изысканиях для промышленного и гражданского строительства. Сведения об уровнях подземных вод в точках расположения инженерно-геологических скважин обрабатывались, в данном случае, с помощью интерполяции вручную. Нами материал оцифровывался, переводился в электронный вариант. Оцифровка изолиний первичных карт сопровождалась корректировкой в последние годы, изогипсы были переведены в точечный вариант.

На основе цифровой модели рельефа и уровней подземных вод созданы грид-представления этих поверхностей с непрерывным распределением по площади проинтерполированных значений абсолютных отметок рельефа и уровней подземных вод (верховодки и первого от поверхности грунтового водоносного горизонта [3]).

Путём пространственного вычитания этих поверхностей (абсолютные отметки рельефа и уровней подземных вод) получена новая результирующая специализированная гидрогеологическая карта глубин залегания подземных вод. В отличие от традиционного представления, электронный вариант карты глубин залегания подземных вод допускает анализ этой важнейшей с точки зрения условий развития процессов техногенного подтопления, информации в полуавтоматическом режиме (рис. 1, 2).

Средствами ГИС реализована возможность обращения к содержанию электронной карты глубин залегания в полуавтоматическом режиме. Содержание запроса сводится к вводу географических координат объекта, интересующего пользователя, в ручном режиме, а отклик информационной системы вырабатывается автоматически и содержит значение глубины залегания подземных вод в точке запроса. Эта информация является одним из ключевых критериев для оценки степени подтопления территории (объекта).

Созданная информационно-поисковая система, позволяет оперативно получить полную информацию о гидрогеологических условиях любой произвольно выбранной точки городской территории, в том числе и участки расположения памятников архитектуры, соответственно, обозначать приоритеты последовательности выбора объектов. С использованием этой системы выявлен ряд первоочередных объектов, расположенных на территориях существующего либо потенциально возможного техногенного подтопления (районы Белого озера, Московского тракта, Богоявленский собор, отдельные здания ТГУ и др.).

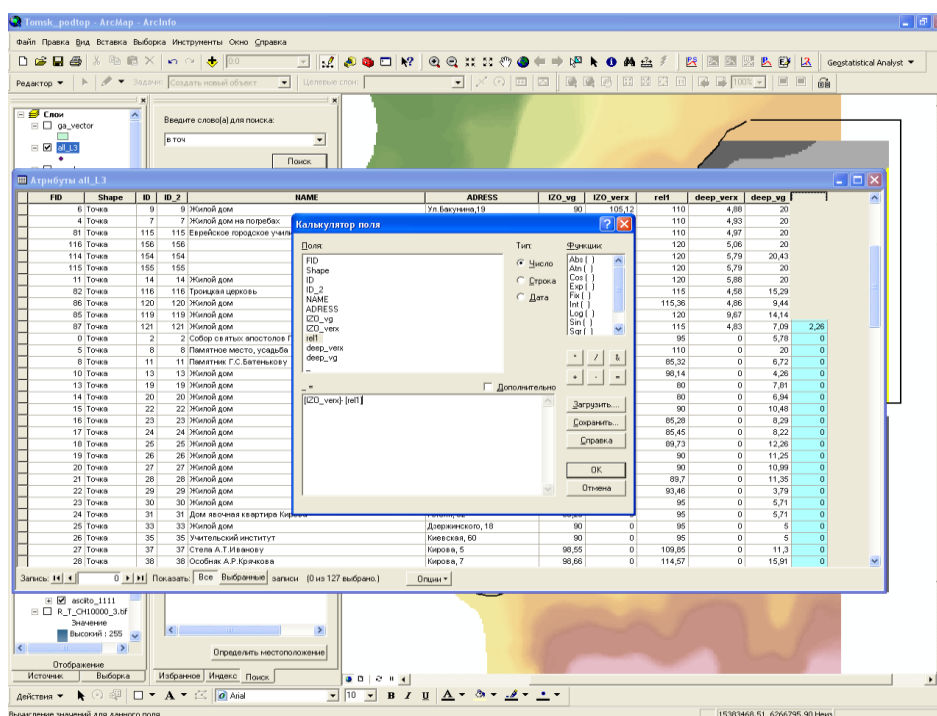


Рис. 1. Механизм автоматизированного расчёт глубин залегания уровней подземных вод

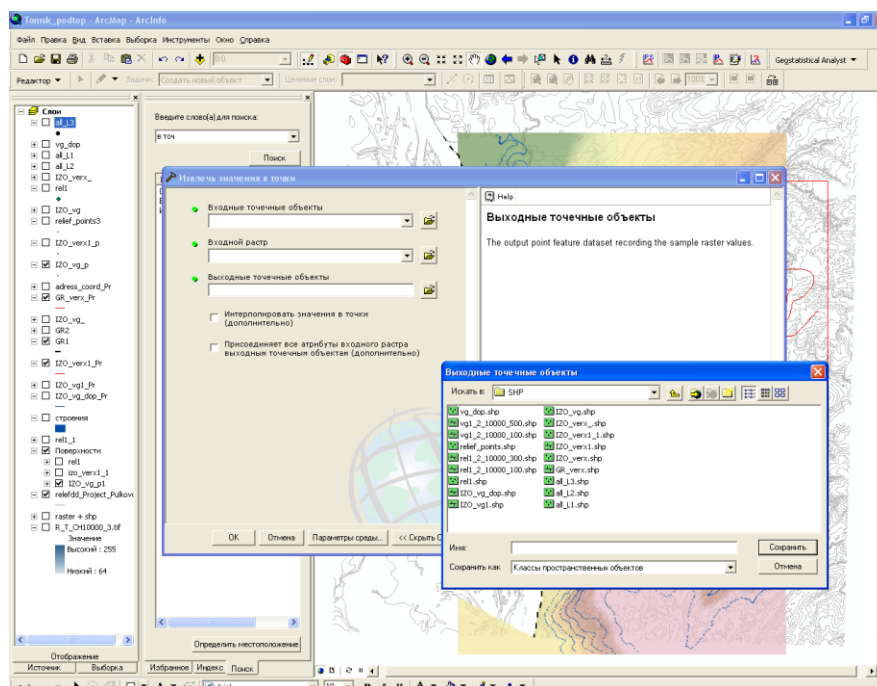


Рис. 2. Механизм отдачи атрибутов значений интерполированных поверхностей глубин залегания уровней подземных вод точечным объектам

Литература

1. Лыгин В.А., Макушин Ю.В. Опыт организации работ по ведению мониторинга геологической среды на территории Томской области // Информационный бюллетень ГИС ассоциации., 1996. – № 5. – С. 55–59.
2. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеология и подтопление территории г. Томска // Подземные воды юга Западной Сибири. Формирование и проблемы рационального использования: Сб. научн. тр. Института геологии и геофизики СО АН СССР / Отв. ред. В.А. Николаев. – Новосибирск: Наука, 1987. – Вып. 683. – С. 146–153.

3. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Типовые фильтрационные разрезы как основа геоэкологического картирования урбанизированных территорий // Геоэкологическое картирование: Тез. докл. Всерос. конф. – М., 1998. – С. 60–63.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЛИСТА Р56-ХVIII ПО ДАННЫМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT

**Ф.С. Прокопьев**

Научный руководитель доцент Ю.С. Ананьев

*Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В последнее время в практике геологоразведочных работ все чаще применяются дистанционные методы исследования. К данным методам относится дешифрирование спектрально-пространственных космоснимков различного пространственного разрешения. При помощи данного метода может решаться определенный круг вопросов, связанных с геолого-структурным и в отдельных случаях с вещественным картированием. Данный вид работ позволяет добиться нескольких целей. Одной из главных целей является уточнение геологического строения территорий в различных масштабах исследований (200000–5000) [2].

Район, по которому производится дешифрирование, расположен на Северо-востоке России в Магаданской области. Главной тектонической структурой района является Балыгычано-Сугойский наложенный прогиб, расположенный в Юго-восточной части Яно-Колымской складчатой системы и примыкающий к Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу.

В геологическом строении района принимают участие морские терригенные отложения верхоянского комплекса, представленного здесь триасом и юрой, меловые континентальные терригенные угленосные, вулканические отложения и рыхлые четвертичные образования различного генезиса. Верхоянский комплекс представляет собой мощную толщу аргиллитов, алевролитов, песчаников, туфопесчаников, туфов андезитов, туффитов, тефроидов, туфогравелитов, ракушечников. Различия фациальных обстановок накопления отложений позволили выделить сформированные структурно-формационные зоны (СФЗ) и подзоны (СФП): в триасе – Тахтоямно-Вилигинская с Келянской и Инчиканской подзонами; юрские отложения относятся к Вилигинской структурно-формационной области (СФО) и Сугойской СФЗ; меловые – к Вилига-Таватумской СФЗ. Среди четвертичных отложений широко распространены склоновые, аллювиальные и ледниковые образования.

Интрузивные образования отнесены к раннемеловому мандычанскому, ранне-поздне-меловому быстринскому, поздне-меловому омсукчанскому и наяханскому комплексам. Субвулканические и экструзивные образования объединены в вулканические комплексы совместно со своими покровными аналогами: в Балыгычано-Сугойской СФЗ: раннемеловой арылахский, ранне-поздне-меловой каховский, поздне-меловые – надеждинский, шороховский и джагынский; в Вилига-Таватумской зоне – таватумский, юмский и кананыгинский комплексы. Каховский вулканический комплекс и быстринский плутонический, равно как и омсукчанский и надеждинский, образуют вулканоплутонические ассоциации.

Район имеет трехъярусное тектоническое строение. Территория охватывает южную часть Балыгычано-Сугойского прогиба – наложенной структуры орогенной стадии развития Яно-Колымской складчатой области. Структуры основания прогиба принадлежат Буюндино-Балыгычанской зоне пологих дислокаций и Сугойской складчатой зоне, разделённых Омсукчанским глубинным разломом; с юга к структурам основания по Верхнегатапскому глубинному разлому примыкает Армано-Гижигинская зона брахиформной складчатости. Омсукчанский глубинный разлом разделяет два крупных блока земной коры: Яно-Колымский блок (на западе), который и Омолонский.

В рамках данной работы применялись следующие исходные данные: геологическая карта листа Р-56-ХVIII и космоснимок Landsat ETM+ (дата съемки 19.06.2000) из библиотеки университета штата Мериленд. Для обработки информации применялись различные программное обеспечение. Для оцифровки топографической основы применялся векторизатор Easy Trace. Для обработки космоснимков применялась программа Erdas Imagine. Основная работа производилась в пакетах программ ArcGis и ArcInfo (расчет гидрологически корректной цифровой модели рельефа методом TOPOGRID).

Всю работу с космоснимком можно разделить на два этапа:

1. Первичная обработка космических данных.
2. Дешифрирование и анализ данных.

### **Первичная обработка космических данных**

Прежде чем переходить к обработке материалов дистанционного зондирования необходимо сформировать исходный массив этих данных. Необходимо произвести выбор космоснимка в зависимости от обзорности, пространственного разрешения, спектральных характеристик, информативности. Последняя определяется природными условиями, сезоном и временем съемок, прозрачностью атмосферы и другими факторами. Первичная обработка также делится на два блока.

а) Первый блок – «Технологический». Он является универсальным, независимым от задач дальнейшей интерпретации и включает в себя процедуры координатной привязки растровых изображений (геометрической коррекции), корректировки искажений, связанных с рельефом местности, состоянием атмосферы и другими помехами технологического характера.

б) Второй блок обработки служит непосредственно целям геологического дешифрирования. В связи с этим основной смысл процедур второго блока обработки сводится к выявлению особенностей земной поверхности, имеющих прямую или косвенную геологическую подоплеку. Среди методов, применяемых для

решения задач геологического дешифрирования, можно условно выделить несколько групп: процедуры улучшения, алгебра растров, совместная обработка изображений и данных о рельефе местности, спектральное профилирование, фильтрация и другие.

#### **Дешифрирование и анализ данных**

Следует разделить на два подхода: непосредственно и формальное дешифрирование.

Непосредственное дешифрирование включает в себе распознавание на препаратах целевых объектов, процессов и явлений. Непосредственное дешифрирование предполагает знание дешифровщиком геологии изучаемого района. Для непосредственного дешифрирования использовались эталонные объекты с геологической карты масштаба – стратотипические разрезы и петротипические массивы. Для дешифрирования по эталонным объектам была разработана таблица дешифровочных признаков для магматических стратифицированных образований. Ниже приведены несколько примеров.

Каныгинская свита ( $K_2kn$ ) состоит из андезибазальтов, трахиандезибазальтов, андезитов, слоев туфов. Данная толща хорошо дешифрируется на обработанном космоснимке по алгоритму TASSELED\_CAP. Имеют характерный красно-розовый фототон с оранжевыми пятнами.

Галимовская свита ( $K_1gl$ ) представлена аргиллитами, алевролитами, песчаниками, гравеллитами. При использовании алгоритма TASSELED\_CAP отложения окрашены в насыщенный розовый цвет. При использовании алгоритма FERROUS MINERALS имеют ярко оранжевый цвет.

Тэугэрэнджская ( $T_2tt$ ) и Бодринская толщи ( $T_2bd$ ) сложены алевролитами, аргиллитами, песчаниками. На космоснимке LANDSAT (7,5,2) имеет темно-синюю окраску. При применении алгоритма PRINCIPAL COMPONENT (6) окрашены в лимонно-желтый цвет. Также данные толщи можно хорошо выделить на обработанном космоснимке LANDSAT с использованием алгоритмы FERROUS MINERALS (железистые минералы).

Магматические образования характеризуются однородной текстурой, равномерным фототонном и отсутствием слоистости.

Риодациты Шороховского комплекса ( $\lambda\zeta K_2Sr$ ) отличается темно-оранжевым фототонном при использовании индекса MINERAL COMPOSITE. При дешифрировании космического снимка, обработанного по алгоритму TASSELED CAP, Шороховский комплекс имеет ярко красный фототон и четко выделяется на снимке.

При дешифрировании разрывных нарушений основным признаком наличия дизъюнктива является нарушение сплошности геологической структуры. Также важным признаком разломов является их прямолинейность. Некоторые разрывные нарушения выделяются при просмотре космического снимка LANDSAT в комбинации каналов 6–3–2, при использовании алгоритма TASSELED CAP в комбинации каналов 3–2–1, алгоритма TEXTURE в комбинации каналов 4–3–2.

*Формальное дешифрирование* на первом этапе ограничивается распознаванием и фиксацией ландшафтных, либо тепловых неоднородностей. Как правило, формальное дешифрирование в чистом виде практически не встречается [1]. При выполнении данной работы применялись оба подхода.

В результате выполнения работы получена космогеологическая схема с уточненными геологическими границами стратифицированных и магматических образований, что в условиях современной рыночной экономики является очень важным фактором. Ошибки и неточности на картах нарушают объективность геологической модели, которые в дальнейшем увеличивают затраты на комплекс геологоразведочных работ.

Следует сказать, что информацию о геологическом строении площади, полученную при помощи дистанционных методов не заменяет предыдущие наработки геологов данного района, а вновь полученные данные существенно улучшают и совершенствуют существующую геологическую карту.

#### **Литература**

1. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под. ред. А. В. Перцова. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГИИ, 2000. – 316 с.
2. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. и др. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – Томск: STT, 2007. – 228 с.

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**М.В. Терещенко**

Научный руководитель профессор Н.Н. Гриб

**Технический институт – филиал Якутского государственного университета  
имени М.К. Аммосова, г. Нерюнгри, Россия**

Южная Якутия неоднократно испытывала на себе влияние сильных землетрясений. На указанной территории неоднократно наблюдались землетрясения интенсивностью в 4–5 баллов. Одно из последних было зарегистрировано 8 ноября 2008 г. и отмечено большинством жителей Нерюнгринского района.

В настоящее время ведется активная работа по разработке и реализации промышленных проектов комплексного развития Южной Якутии. В этой связи вопрос актуальности точного определения и прогнозирования изменения сейсмической активности выходит на новый уровень.

Теоретической разработкой систем прогноза землетрясений и применением геофизических методов для выявления предвестников землетрясений занимались все ведущие институты геологии, геофизики и физики Земли у нас в стране и за рубежом. К настоящему времени полученные модели прогнозирования землетрясений

обладают определенными достоинствами и недостатками, которые определяют границы их возможного применения [2]. Тем не менее, проведенные исследования показали необходимость проведения комплексных геофизических исследований в течение длительного промежутка времени в конкретном районе.

Для решения вышеуказанной проблемы на территории Нерюнгринского района организован сейсмологический мониторинг (рис.1), ведутся регулярные наблюдения за вариациями геофизических полей, что является необходимым условием формирования полноценной базы геофизических данных. Указанная база данных используется как основа для качественного анализа поступающего от сейсмостанции набора данных.

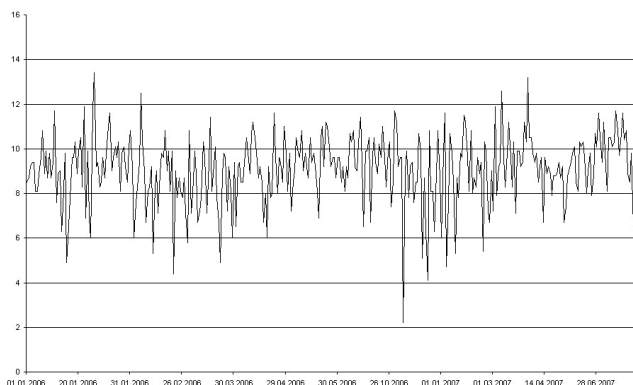


Рис. 1. Изменение энергии землетрясений в 2006-2007 гг.

В настоящее время в г. Нерюнгри на базе Технического института (ф) Якутского государственного университета функционирует цифровая сейсмологическая станция нового поколения. Данная сейсмостанция регистрирует все сейсмические события и передает параметры очагов землетрясений в центр сбора информации в г. Якутск. У сейсмостанции имеется возможность получения копии произошедших событий на магнитный носитель в формате IBM DOS. Указанная функция предоставляет возможность программным путем анализировать сейсмическую активность региона, не вмешиваясь в основной технологический процесс.

Для построения математической модели геофизических событий необходимо выявить закономерности в статистике полученных сейсмологических данных. Но получение качественной математической модели требует проведения предварительной обработки исходных данных.

Выполнение качественного анализа данных, поступающих от сейсмологической станции, возможно только в случае использования математических методов обработки первичных геофизических данных.

Сейсмическая активность представляется в виде временных рядов, методы анализа которых являются достаточно изученными и широко применяются для обработки различных данных при решении задач в области теории случайных процессов [1].

Отсутствие соответствующего программного обеспечения ведет к необходимости выполнения дополнительных трудоемких мероприятий по преобразованию исходного набора данных, предоставляемого системой мониторинга.

Для устранения подобного недостатка было разработано программное обеспечение, которое позволило:

- автоматизировать процесс обработки экспериментальных геофизических данных;
- осуществлять экспорт геофизических данных сейсмостанции в СУБД;
- применить математические методы на этапе предварительной обработки цифровых данных;
- осуществлять построение графиков исходных сигналов с использованием определенного пользователем метода обработки данных;
- автоматизировать процесс экспорта информации в электронные таблицы Excel по запросу пользователя для последующей обработки.

Перед анализом экспериментальных данных требуется выполнить предварительную математическую обработку, включающую в себя вычитание постоянной наводки, выделение сигнала на фоне шумов и приведение измеренных значений АЦП к физической величине (рис. 2).

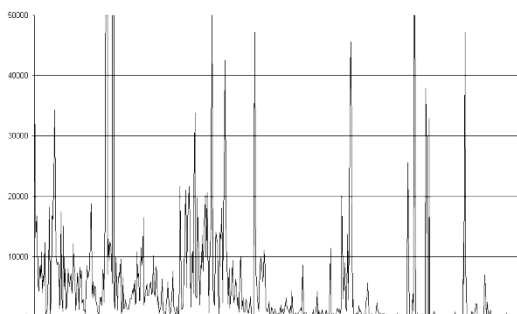
Для отображения сигналов с большим числом измеренных значений в виде графиков требуется использование специальных методов для выявления основных характеристик сигнала. При этом каждая точка на графике должна отображать определенную группу точек сигнала.

Набор методов предварительной обработки экспериментальных данных реализованный в предлагаемом программном обеспечении, позволяет, с использованием математического аппарата, представить физически верное отражение изучаемых геофизических процессов (рис. 3).

Предварительная обработка экспериментальных геофизических данных, реализованная в программе SeismAnalyzer обеспечивает:

- сглаживание методом простого среднего;
- сглаживание методом взвешенного скользящего среднего с распределением весов «по треугольнику»;
- подавление случайных выбросов на основе статистического анализа сигнала;

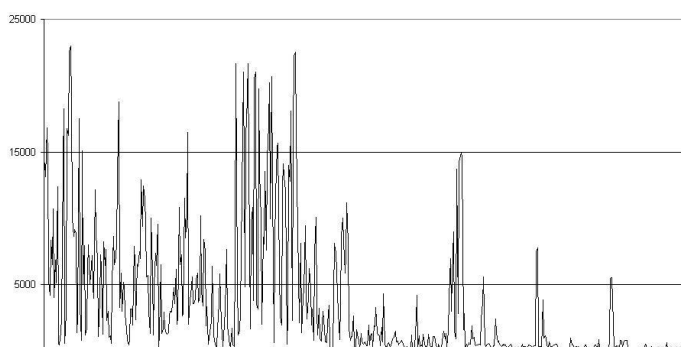
- сглаживание методом взвешенного скользящего среднего с распределением весов «по гиперболе» (WMAH);
- сглаживание методом медианного фильтра;
- сглаживание методом скользящего среднего (MA).



**Рис. 2. Магнитная составляющая С-Ю за март 2008 г.**

Каждый из предлагаемых методов обладает своими достоинствами и недостатками, применительно к конкретной ситуации. Поэтому выбор метода обработки возлагается на специалиста в данной предметной области.

Корректная предварительная обработка и интерпретация геолого-геофизических данных необходима для создания на основе имеющихся данных модели геологической среды, математический отклик которой по физическим параметрам должен быть максимально приближен к результатам исследований.



**Рис. 3. Результат обработки исходных геофизических данных**

Предлагаемое программное обеспечение предоставляет также возможность проведения для землетрясений заданного класса анализа определенных пользователем параметров, таких как количество землетрясений, изменение сумм энергетических классов, координат и других.

Дальнейшее развитие указанного программного обеспечения направлено на:

- автоматизацию процесса обработки экспериментальных геофизических данных;
- реализацию возможности автоматической и полуавтоматической локации сейсмических событий;
- реализацию математической модели сейсмических событий по геофизическим предвестникам.

Реализация вышеприведенных математических методов в предлагаемом программном продукте направлено на приведение исходных данных о сейсмических событиях к формату, позволяющему осуществлять их последующую обработку с целью построения математической модели сейсмических событий.

#### Литература

1. Большаков А.А., Каримов Р.Н.. Методы обработки многомерных данных и временных рядов: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 522 с.: ил.
2. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация / Под ред. А.Д. Завьялова, Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта. – М.: Наука, 2006. – 254 с. – ISBN 5 – 02 – 033946 – 6 (в пер.).

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БОКОВЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТВОЛОВ НА КОМСОМОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ****О.Б. Хамитов, Э.Р. Агишев**Научный руководитель профессор В.А. Байков  
**ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа, Россия**

Бурение боковых стволов (БС) в настоящее время становится одним из основных способов восстановления бездействующих и обводненных скважин. Особенно это актуально для месторождений Западной Сибири, где крупные месторождения нефти и газа переходят в позднюю стадию разработки, характеризующуюся значительным обводнением эксплуатационных объектов. Ввод в эксплуатацию БС позволяет восстановить работу бездействующей скважины и вовлечь в разработку «застойные» участки месторождений, тем самым повысить коэффициент извлечения нефти. Стоимость восстановления скважины методом резки БС составляет половину стоимости бурения новой скважины.

Рассмотрим процесс проектирования и бурения бокового ствола на примере Комсомольского месторождения.

Месторождение находится в северной части Западно-Сибирской равнины. Запасы нефти содержатся в 42 пластах. Значительная часть этих пластов наряду с нефтью также содержит запасы газа и конденсата. Продуктивные пласты приурочены к отложениям мелового возраста. Геологический разрез месторождения представлен песчано-глинистыми отложениями мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, которые подстилаются метаморфизованными породами складчатого палеозойского фундамента.

Резка бокового горизонтального ствола (далее БГС) из скважины 5214 была запланирована на пласт 1ПК19. С целью выбора оптимального направления, траектории горизонтального ствола и прогноза запускного дебита были построены секторные геологическая и гидродинамическая модели для пластов 1ПК19 и 2ПК19, входящих в один объект разработки. Пласты ПК19 представляют собой пластово-сводовые залежи размером примерно 8×6 км. Среднее значение эффективной нефтенасыщенной толщины пласта 1ПК19 составляет 3,4 м, пласта 2ПК19 – 5,9 м. В обоих пластах присутствует подошвенная вода. Кроме того, пласт 2ПК19 содержит газовую шапку. Оба пласта представлены осадками фаций русловых каналов и песков разлива пойменного типа.

Добыча с этих пластов начата 2001 г., по состоянию на 1.01.2009 г. на объект ПК19 работает 38 добывающих и 14 нагнетательных скважин. Средний дебит составляет 14 м<sup>3</sup>/сут., обводненность порядка 80 %. Всего с начала разработки добыто более 2 млн м<sup>3</sup> жидкости, в том числе 890 тыс. т нефти, и 380 млн м<sup>3</sup> газа.

Из-за того что залежь разрабатывается неравномерной сеткой скважин, многие участки остаются не вовлеченными в разработку. Резка второго ствола позволяет одновременно вовлечь в разработку «застойные» участки пласта и уменьшить фонд простаивающих и аварийных скважин.

Скважина 5214 работала на пласт 2ПК19 с марта 2002 г. по август 2008 г., затем была остановлена по причине высокой обводненности. За время работы скважина отобрала 30 тыс. м<sup>3</sup> жидкости, из них 21 тыс. т нефти. Для прогноза геологического строения пласта и проводки горизонтального ствола была построена секторная геологическая модель размером 3,5×3 км, включающая 40 скважин. Мощность пластов модели составила порядка 40 м, что позволило при разбиении на 80 слоев достичь шага дискретизации по вертикали порядка полуметра. В горизонтальной плоскости была выбрана сетка размером 50×50 м. На основе секторной геологической модели была построена фильтрационная модель.

В соответствии с локализацией остаточных запасов нефти и технологическими условиями для бурения было выбрано юго-восточное направление с отходом от материнского ствола на 200 м и длиной горизонтальной части 300 м (рис. 1), были определены точка входа в целевой пласт Т1(-1513 м), точка выхода ствола скважины на горизонталь Т2(-1520 м) и точка забоя Т3 (-1521 м).

Прогнозирование запускных параметров и оптимизация положения траектории бокового ствола проводилось на основе построенной гидродинамической модели. Адаптация модели производилась по 22 скважинам, эксплуатируемым на объект ПК19, из них 4 нагнетательных скважины и 2 боковых горизонтальных ствола. С целью адаптации проницаемости модель настраивалась по историческим значениям забойного давления, во время расчета велся контроль по жидкости. Особое внимание уделялось соотношению фактических и расчетных значений дебитов и обводненности на уже введенных в эксплуатацию БГС. Гидродинамическое моделирование позволяет выявить зоны, промытые нагнетательными скважинами и избежать закладки БГС в них. Таким образом, предварительный расчет позволил выбрать оптимальную траекторию проводки ствола и забойное давление, чтобы избежать быстрого подтягивания подошвенной воды или прорыва газа в скважину.

После адаптации был произведен расчет–прогноз на 3 года, при этом расчет добывающих скважин велся по забойному давлению, нагнетательных по приемистости. Проектируемая скважина была введена с контролем по давлению, забойное давление принято на уровне 100 атм. В результате прогноза в первый месяц работы дебит жидкости составил 40 м<sup>3</sup>/сут., дебит нефти 34 м<sup>3</sup>/сут., при обводненности 13 % (рис. 2). Что согласуется с показателями запуска БГС, пробуренных ранее на этом же участке.

Так на близлежащей скважине 5230bh2, после месяца работы дебит жидкости упал с 83 до 45 м<sup>3</sup>/сут., и держится на этом уровне около года. За 3 года работы бокового ствола 5214 дебит жидкости падает до 21 м<sup>3</sup>/сут., дебит нефти до 14 м<sup>3</sup>/сут. Обводненность прогнозируется на уровне 30 %, накопленная добыча жидкости составит 38 тыс. м<sup>3</sup>, из них 30 тыс. м<sup>3</sup> нефти.

Неотъемлемым условием успешности строительства бокового горизонтального ствола становится точная и качественная проводка горизонтального участка скважины в продуктивной части пласта. Геонавигация позволяет сопоставить данные каротажа, записанного в пилотном стволе и каротажа регистрируемого в режиме



реального времени в процессе бурения. Появляется возможность прогнозировать поведение пласта и, своевременно, давать рекомендации по смене целевого коридора глубин, держаться на расстоянии от контактов ВНК и ГНК.

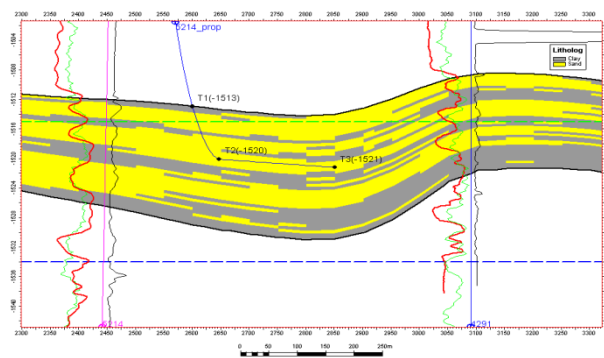


Рис. 1. Проектная траектория БГС

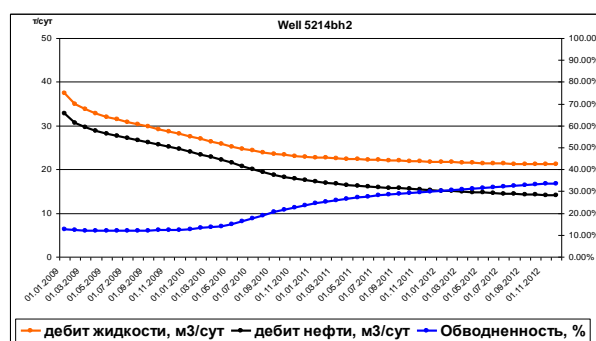


Рис. 2. Прогнозные показатели работы скв. 5214bh2

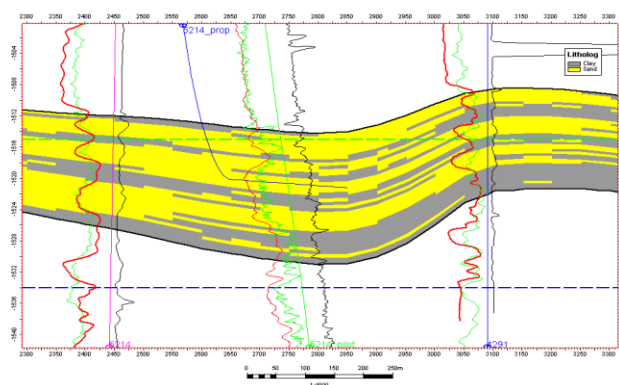


Рис. 3. Траектория пилотного ствола скважины с данными каротажа

При проводке горизонтальной части в пласте следует учитывать, что смещение от оптимальной траектории по вертикали может обернуться прорывом газа при приближении к ГНК, или быстрым подтягиванием подошвенной воды при опускании к уровню ВНК.

Пилотный ствол скважины 5214 Комсомольского месторождения был пробурен 10 декабря. По результатам бурения пилотного ствола было выявлено соответствие геологической модели действительности (рис. 3). В настоящее время идет бурение горизонтального участка. После запуска в работу скважины будет произведен факторный анализ для сравнения прогнозных и фактических параметров. В первую очередь по фактическим данным будет скорректирована геологическая модель, перестроены кубы свойств. Далее будет произведен перерасчет на обновленной гидродинамической модели с учетом реальной траектории скважины и эффективной длины вскрытия пласта.

Проектирование боковых горизонтальных стволов на основе геологического и гидродинамического моделирования позволяет еще на этапе подготовки проекта оценить возможные риски проведения данного мероприятия, выбрать оптимальные технологические параметры закладки и работы БГС. Геонавигация при

бурении горизонтального участка приближает эффективность проводки ствола по коллектору к 95 – 100 %. Из-за сложного геологического строения, наличия ВНК и ГНК в пластах комплексный подход при строительстве боковых горизонтальных стволов необходим для Комсомольского месторождения. Он позволяет надежно спрогнозировать технико-экономические показатели работы бокового ствола, оценить рентабельность и в дальнейшем получить максимальную прибыль от добычи нефти.