

КОМПЬЮТЕРНОЕ ГЕОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

А.А.Аузин, В.В.Глазнев

Воронежский государственный университет

В работе анализируются основные особенности трехмерного моделирования различных геологических объектов, сформулированы требования к системам трехмерного моделирования и программному обеспечению, ориентированному на его обеспечение. Приводится наиболее важная информация, характеризующая возможности системы компьютерного трехмерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР.

Моделирование, как одно из эффективных средств познания закономерностей существования и развития самых различных объектов, широко применяется в геологии. Геологический словарь приводит определение модели, как абстрактного или вещественного отображения объектов или процессов, адекватного исследуемым объектам (процессам) в отношении некоторых заданных критериев [1]. В практике геологоразведочных работ наибольшее применение нашли физические (вещественные), графические (картографические) и математические модели. Выбор вида наиболее эффективной с познавательной точки зрения модели, определяется прежде всего спецификой моделируемого объекта и стоящими перед исследователем задачами. Важную роль играет и информационная обеспеченность моделирования. Из вышеперечисленных моделей максимальной универсальностью и функциональностью обладают математические модели, которые к настоящему времени становятся преобладающими, чему в немалой степени способствует современный уровень развития и доступность мощных средств вычислительной техники. Однако, необходимо отметить, что полномасштабному внедрению методов математического моделирования препятствуют определенные особенности геологии как науки. Эти особенности, обусловившие в частности отнесение геологии к числу наук описательных, проявляются в том, что теоретические понятия геологии, как правило, многоплановы и неоднозначны, а на геологические характеристики объектов исследований, далеко не всегда конкретные и грешащие субъективизмом, часто излишнее влияние оказывают научные убеждения их авторов, не всегда бесспорные и в достаточной степени обоснованные. Подобное положение не только не способствует полноценному математическому описанию подходов к выполнению структурно-геологических построений или прогнозируемых путей развития каких-либо геологических процессов, но и затрудняет математическую формализацию имеющейся эмпирической геологической информации.

В геологической практике под математической моделью обычно понимают приближенное описание с помощью математических символов какого-либо геологического объекта, явления или процесса, содержащее в себе его свойства, существ-

венные для конкретных целей моделирования, и, в пределах данных целей, способное заменить реальные объекты, явления или процессы при их изучении. В предлагаемом определении отражается тот очевидный факт, что при любом моделировании, в том числе и математическом, невозможно полномасштабное описание свойств изучаемого объекта, поэтому в описание включаются лишь некоторые, наиболее важные на данном этапе моделирования, свойства природных геологических объектов. Определение таких свойств – не всегда просто решаемая задача и она требует отдельного рассмотрения.

Ряд авторов полагает, что, поскольку при формировании математических моделей в той или иной степени оказываются задействованными априорные геологические данные, полученные при изучении сходных геологических объектов, явлений или процессов и способные каким-либо образом охарактеризовать логику развития, структуру, состав или иные характеристики объекта моделирования, то есть основания, именно по этой причине, подобные модели считать геолого-математическими [2]. На наш взгляд, такая методическая особенность, как привлечение априорной геологической информации при формировании моделей, свойственна всем без исключения видам моделирования. Следовательно, термин "геолого-математическая модель" подчеркивает лишь прикладной аспект моделирования, а именно – природу объекта моделирования и специфические особенности решаемых задач, и только в этом смысле имеет право на существование.

Далее мы преимущественно ограничимся рассмотрением некоторых проблем трехмерного моделирования геологического строения природных геологических объектов, то есть по возможности не будем выходить за рамки вопросов формирования так называемых объемных структурных моделей.

Высокая эффективность использования объемных моделей, которые могут быть физическими или математическими, обусловлена тем, что они, кроме хорошей наглядности и информативности, имеют большой прогностический потенциал (с определенной долей условности, к классу объемных в некоторых случаях относят и блок-диаграммы, которые являются геометрическими моделями) [3]. Опыт моделирования геологических объектов, на-

копленный в последние годы свидетельствует, что по целому ряду причин наибольшую прикладную эффективность имеют компьютерные математические трехмерные модели [4-10]. Среди этих причин не последнее место занимает то обстоятельство, что в процессе создания подобных моделей достигается максимально полная и адекватная содержанию реализации и последующее хранение имеющейся геолого-геофизической информации. Практическое использование математических компьютерных моделей дает возможность относительно легко осуществить процесс непрерывного моделирования (мониторинга), призванного отражать развитие во времени любого поддающегося математическому описанию геологического процесса или явления. Аналогичным образом и структурно-геологическая компьютерная модель может не носить статичного характера, а непрерывно развиваться по мере расширения знаний об изучаемом объекте, как в результате получения дополнительных данных, так и по причине переосмысления и корректировки материалов интерпретации уже имевшейся информации. В данном случае фактически осуществляется мониторинг геологических представлений о строении объекта. Современные программные средства существенно облегчают этот процесс, позволяя уточнять строение модели только в пределах объема, ограниченного сферой влияния вновь вносимой информации, без ее перестройки за пределами этой, очень часто, весьма локальной области. Полноценное внедрение компьютерных математических моделей геологических объектов в геологоразведочный процесс радикально изменяет информационную базу принятия решений определяющих стратегию и практику не только разведки, но и разработки месторождений полезных ископаемых. При этом резко возрастает обоснованность и, соответственно, геолого-экономическая эффективность подобных решений.

Специфика природных геологических объектов (прежде всего – присущая большинству из них существенная структурная сложность, значительные размеры и малодоступность для непосредственных исследований) такова, что большая часть моделей, строящихся на основе экспериментальных данных, относится к категории вероятностных. Причем очень часто сама возможность моделирования не может быть реализована без привлечения дополнительной информации. Малодоступность для прямого изучения приводит к тому, что информация об объекте исследования значительно дискретизирована не только в пространстве, но и очень часто – во времени. Существенные временные разрывы между отдельными актами получения информации могут иметь особенно негативные последствия при изучении относительно быстро протекающих геологических процессов, в частности – оползневых, суффозионных и т.п. Этот фактор следует учитывать при мониторинге различных процессов, связанных в частности с разработкой месторождений полезных

ископаемых, геокриологическими явлениями, геоэкологическими аспектами развития геологических сред и т. п.

При реконструкции геологического строения какого-либо объекта мы вынуждены довольствоваться весьма ограниченным числом экспериментальных данных фрагментарно характеризующих его структуру, причем объем фрагмента, по которому мы имеем конкретную информацию, в подавляющем большинстве случаев, даже отдаленно не приближается к объему исследуемого объекта в целом. Нередко данные, с которыми приходится оперировать, дополнительно отягощены случайными отклонениями, в том числе и ошибками субъективного характера, являющимися следствием неадекватной реконструкции профиля скважины, некорректной привязки кернового материала по глубине, ошибочного определения литолого-стратиграфической принадлежности пород и пр. Трудности с информационным обеспечением моделирования обостряются когда моделирование осуществляется на основе синтеза результатов работ разной геологической направленности, проводившихся со значительными временными перерывами различными исполнителями, в особенности, если эти специалисты принадлежали к разным геологическим школам и, соответственно, при осмыслении результатов своих исследований могли ориентироваться на различные априорные представления по истории развития и строению изучаемого объекта. В подобной ситуации необходим предварительный кропотливый анализ всей массы информации с целью ее взаимовязки и критического переосмысления с единых позиций [11,12].

Изначально разная прикладная ориентированность работ обуславливает и различные подходы как к методике их проведения, так и к полноте и направленности интерпретации получаемых первичных материалов. В частности, нередко оказывается, что значительные участки разрезов глубоких скважин, которые на момент проведения исследований не представляли прямого практического интереса, остаются фактически не изученными. Полноценная литолого-стратиграфическая реконструкция подобных интервалов, может быть выполнена только путем скрупулезного анализа данных каротажа, поскольку не только адекватность привязки кернового материала к фактическим глубинам отбора, но и сама его сохранность обычно оставляет желать лучшего. Важность привлечения материалов геофизических исследований в скважинах подтверждает и то обстоятельство, что часто со временем стратиграфическое расчленение разрезов существенно меняется, при этом, как правило, возрастное деление отложений детализируется, отдельные комплексы пород переходят из одного стратиграфического подразделения в другое и пр. Наиболее обоснованное выполнение подобного уточнения стратиграфии, а параллельно и литологии разрезов вскрытых буро-

выми скважинами, возможно лишь при привлечении данных каротажа [17].

Практика геологоразведочных работ однозначно свидетельствует, что основной объективной причиной многовариантности любых геологических построений является информационный дефицит, который можно в известной степени уменьшить, сведя до относительно приемлемого уровня, но практически никогда не удастся устранить полностью. Важнейшим фактором, способным хотя бы частично восполнить дефицит получаемой в результате изучения керна и обнажений (а именно подобные данные составляют основную фактологическую базу при создании объемных моделей геологических объектов) геологической информации, могут выступать сведения о строении и глубинах залегания геологических тел, получаемые в процессе интерпретации материалов наземных и скважинных геофизических исследований (в последнем случае имеются в виду методы скважинной геофизики). По существу только эти данные могут использоваться для корректной интерполяции и экстраполяции в околоскважинном пространстве привязанной к скважинам и обнажениям дискретной геологической информации. Подобный позитивный опыт, применительно к привлечению данных 3Д сейсморазведки и томографии межскважинного пространства с помощью методов скважинной геофизики для решения аналогичных задач, имеется в нефтегазовой отрасли при формировании геолого-технологических моделей месторождений углеводородного сырья и мониторинге процессов их отработки.

Моделирование, в большинстве случаев, достаточно длительный итерационный процесс и наиболее приемлемая математическая модель отбирается исходя из условия, насколько корректно она отображает выбранные для моделирования свойства объекта-оригинала. Поскольку, как уже отмечалось выше, наши знания о строении изучаемого объекта не могут быть исчерпывающими и, соответственно, представления о его строении носят вероятностный характер, то достигнуть полной идентичности модели оригиналу невозможно в принципе. В подобной ситуации с большим основанием, можно говорить об адекватности математической модели тому мнению специалистов-геологов о геологическом строении объекта исследований, которое сложилось к моменту моделирования на базе не только эмпирических наблюдений на данном объекте, но и на основе геологической информации, полученной в результате изучения сходных, опять же – по мнению специалистов, геологических объектов. На практике далеко не всегда удастся достигнуть хорошего соответствия модели даже существенно упрощенным представлениям о строении оригинала, поэтому неизбежен определенный, в каждом случае строго индивидуальный, компромисс между имеющимся на конкретный момент времени пониманием геологической обстановки на объекте моделирования и геолого-математическим воплощением последнего. С другой стороны, в подобной ситуации, когда сте-

пень соответствия априорных представлений о свойствах объекта моделирования реальной геологической обстановке зависит не только от сложности его геологического строения, но и от таких субъективных факторов, как детальность имеющейся геологической информации, профессиональная подготовка и интеллект исследователя, эти априорные представления не следует фетишизировать. В этой связи можно заметить, что сама по себе работа по формированию математической объемной модели, конечно – при наличии возможности полноценной компьютерной визуализации как промежуточных, так и окончательных результатов, способна изменить первоначально существовавшие представления о геологическом строении исследуемого объекта. Трехмерная модель, даже весьма схематичная и недостаточно информационно обоснованная, дает в руки исследователю качественно иное отображение всей совокупности привлеченной для ее создания информации. Причем это отображение принципиально отличается в лучшую сторону от традиционных форм представления геологических материалов в виде двухмерных карт, разрезов или блок-диаграмм.

Касаясь проблем структурного моделирования рудных месторождений, следует подчеркнуть, что важнейшей и неотъемлемой составной частью подобных работ должен являться трехмерный компьютерный анализ результатов исследований скважин. Его главная цель – увязка между собой рудных подсечений для выявления основных особенностей пространственного распределения тел полезных ископаемых, полностью отвечающих объективным данным опробования и, в достаточной степени, соответствующим априорным представлениям о предполагаемой геологической ситуации на изучаемом объекте. Без предварительного трехмерного анализа геолого-геофизических данных практически невозможно сколько-нибудь корректное построение модели месторождения (здесь и далее, не имеется в виду случай, когда месторождение представляет собой однопластовую залежь и тому подобные тривиальные варианты). Опыт свидетельствует, что если анализ фактических данных оказался продуктивным и удалось выявить пространственные закономерности распределения полезного ископаемого, то собственно создание трехмерной модели месторождения становится проблемой чисто технического порядка.

Поскольку роль интерактивной составляющей при проведении трехмерного компьютерного анализа имеющейся информации чрезвычайно высока, то его успешность будет определяться, прежде всего, профессионализмом специалиста-исполнителя проекта. Сама по себе возможность проведения трехмерного компьютерного анализа лишь способствует наиболее эффективной практической реализации интеллекта геолога, но не может играть самостоятельной роли, а тем более быть панацеей при

разрешении любой геологической задачи. Чисто "компьютерное" решение проблемы трехмерного моделирования рудных месторождений, в подавляющем большинстве случаев, принципиально невозможно по причине недостаточности информации, с которой приходится оперировать. Свою роль играет и то, уже упоминавшееся, обстоятельство, что особенности геологии, как науки описательной, отнюдь не содействует полноценной математической формализации подходов к решению многих ее важнейших задач. В нашем случае это касается, прежде всего, выполнения структурно-геологических построений, которые, в условиях относительно дефицита информации, осуществляются преимущественно на фундаменте знаний о строении сходных в геологическом плане объектов. Нередко опытный специалист, руководствуясь минимумом объективных данных, может достигнуть конечного результата высокой степени достоверности в ситуации, когда, с математически строгой точки зрения, сколько-нибудь обоснованные выводы невозможны в принципе.

Существовавшая среди определенной части специалистов на ранних этапах компьютеризации геологической отрасли эйфория по поводу того, что применение вычислительной техники способно решить все (или почти все) проблемы геологии, сменилось более трезвым отношением к ее возможностям. К настоящему времени многие специалисты пришли к пониманию того, что максимальная прикладная эффективность от применения компьютерной техники может быть достигнута на пути оптимизации взаимодействия (в определенном смысле – симбиоза) компьютерных систем с профессиональным потенциалом геологов (создание т.н. человеко-машинных систем). В частности, искусственное выдвигание интерактивной составляющей из такого интеллектуально насыщенного процесса, как создание структурно-геологических моделей, примитивизирует конечный результат и делает его излишне зависимым от конкретного математического обеспечения структурно-геологических построений. Следует заметить, что человеко-машинный симбиоз не может быть продуктивным без обеспечения полноценной трехмерной визуализации результатов на всех этапах исследований и обеспечения возможности работы с изображениями. Важность именно этого сегмента процесса обусловлена тем, что наиболее эффективный, обладающий колоссальной пропускной способностью, канал получения информации человеком – зрительный и именно он должен быть задействован наиболее полно для максимального использования интеллектуальных возможностей специалиста.

Касаясь вопросов эффективности современных компьютерных систем нельзя не сказать о том, что количественно измерить практическую отдачу от их внедрения чрезвычайно затруднительно. Это объясняется тем, что при оценке деятельности интеллектуального плана сложно непосредственно

использовать такие, легко поддающиеся экономическому обсчету, критерии как производительность и т.п. В данном случае прикладная эффективность от применения компьютерных систем, количественной мерой которой, как правило, мы не располагаем, будет зависеть не столько от мощности применяемых компьютеров, сколько от правильного ответа на вопрос: где, с какой целью и каким именно образом мы их используем.

На наш взгляд наибольшее практическое применение найдут открытые, гибкие, компактные системы, которые могут легко наращиваться программными продуктами различных авторских коллективов. Экономическая оправданность разработки "тяжелых" универсальных систем, ориентированных на то, чтобы полностью обеспечить не только большинство возможных направлений моделирования, но и решить сопровождающие его проблемы, вызывает вполне обоснованные сомнения, обусловленные прежде всего узостью рынка сбыта и очень высокой стоимостью конечного продукта. Последнее обстоятельство определяется не только колоссальными трудозатратами, в частности – разработка современной версии одной из наиболее продвинутых отечественных систем этого класса ПАНГЕЯ потребовала порядка 300 человеко-лет труда высококвалифицированных специалистов (Колесов, 1997), но и ограниченным числом потенциальных пользователей.

Программные средства моделирования должны удовлетворять таким требованиям как технологичность, достаточная полнота и завершенность программного обеспечения, не критичность к формам представления исходной информации и удобство решения прикладных задач. Эти средства должны позволять использовать различные виды геолого-геофизической и другой информации вне зависимости от ее объемов, в том числе и начиная с самых минимальных, отвечающих обычно начальной стадии создания модели. Кроме того, с практической точки зрения чрезвычайно важно, чтобы двухмерные представления трехмерных моделей могли быть представлены на бумажных носителях информации в стандартной форме. С технической стороны, при реализации программного обеспечения, к аппаратной части не должно предъявляться излишне жестких требований, а возможно большее число процедур, и, прежде всего, процесс визуализации, могли быть реализованы максимально доступными средствами, желателен встроенными в стандартное программное обеспечение Windows.

Ориентируясь на вышесказанное, на кафедре геофизики Воронежского госуниверситета была разработана система компьютерного трехмерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР [8,13], блок-схема которой показана на рисунке.

Система позволяет осуществлять:

1. Создание объемных структурных литолого-страти графических или иных моделей геологичес-

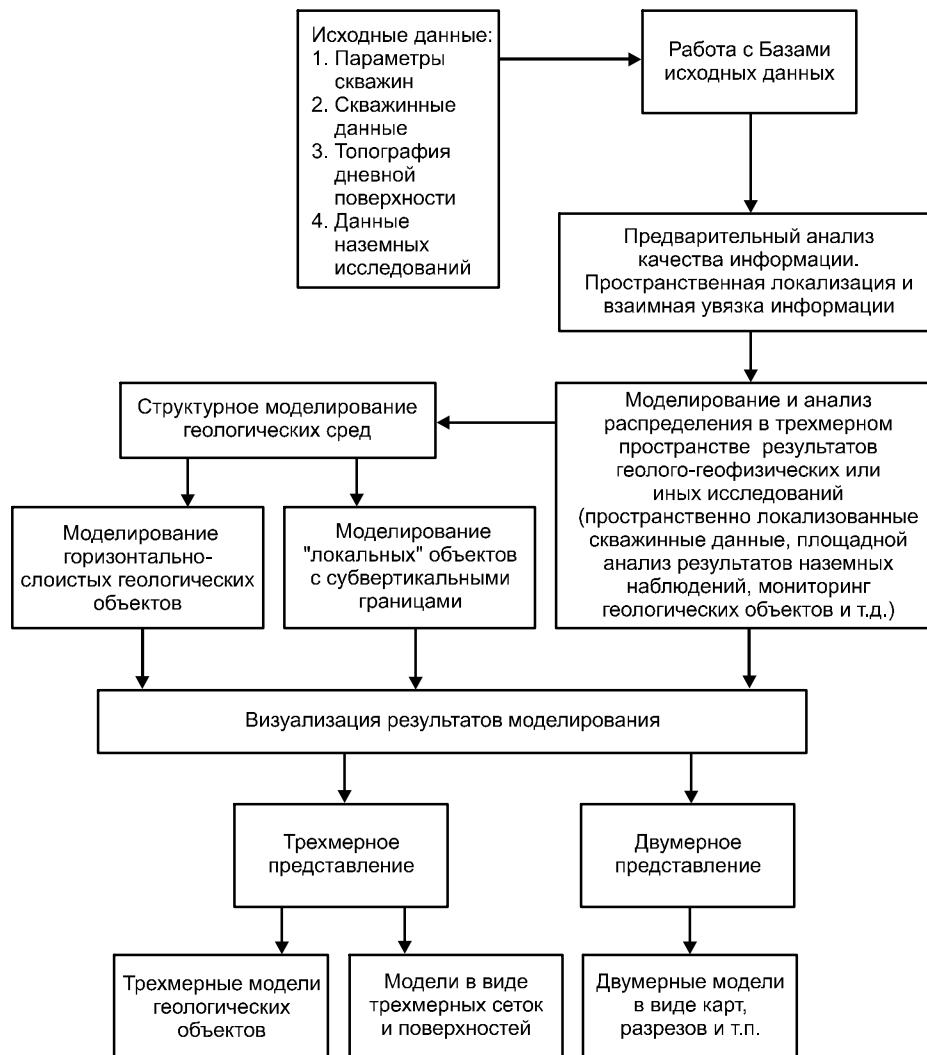


Рисунок. Блок-схема системы трехмерного компьютерного объектно-ориентированного моделирования КОММОДОР.

ских сред с преимущественно субгоризонтально-слоистым строением, в том числе и при наличии выклинивания пластов. При этом возможен расчет и визуализация неограниченного числа вертикальных и горизонтальных разрезов созданной модели, геологических карт пород подстилающих или перекрывающих поверхности несогласия, определение прогнозных разрезов в любых точках дневной поверхности модели.

2. Трехмерный компьютерный анализ пространственного распределения результатов геолого-геофизических исследований скважин (материалов опробования керна, данных каротажа и пр.).

3. Трехмерный анализ площадной многопараметровой информации (результатов многоэлементного опробования, комплексных геолого-геофизических съемок и т.п.). В этом случае, в качестве вертикальной оси выступает шкала значений анализируемых параметров, и в результате формируется объемная модель их площадного распределения, которое можно отобразить в том числе и в виде изолиний. Количество одновременно визуализируемых параметров практически не ограничено.

4. Создание трехмерных моделей, отражающих динамику развития различных геологических процессов, обусловленных отработкой месторождений полезных ископаемых, геокриологическими явлениями, геоэкологическими аспектами формирования геологических сред и пр. В этом случае вертикальная ось – временная.

5. Интерактивное трехмерное компьютерное проектирование (моделирование) и трехмерная визуализация скважин наклонно-направленного бурения с целью придания им требуемой траектории и наведения на заданную цель.

Система КОММОДОР ориентирована на использование компьютеров среднего уровня, на которых установлена операционная система Windows 9x (Windows NT), без привлечения специализированных аппаратных средств, при этом возможность визуализации трехмерных моделей реализована с использованием графического стандарта OpenGL. В настоящее время проводятся работы направленные на обеспечение совместимости системы с программным обеспечением компании ESRI с целью корректного импорта результатов визуализации раз-

личных представлений трехмерных моделей в системе ArcView GIS и пр., для окончательного оформления графических материалов (разрезов, карт и т.п.) в соответствии с требованиями действующих инструкций.

Необходимо подчеркнуть, что система КОММОДОР может найти применение не только при решении вышеперечисленных задач. На ее основе могут быть разработаны программные средства, позволяющие вести мониторинг отработки месторождений полезных ископаемых, решать вопросы оптимизации оперативного планирования на горнодобывающих предприятиях на основе эффективного контроля структуры запасов отработываемых месторождений, определять приоритетные направления эксплуатационного и разведочного бурения и тому подобное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологический словарь. Т.1. -М., 1973. -486 с.
2. Каждан А.Б., Гусков О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. - М., 1979. -168 с.
3. Бурде А.И. Теоретические основы и способы определения комплекса методов при региональных геологосъемочных и поисковых работах. -Л., 1978. -143 с.
4. Аузин А.А., Глазнев В.В. Разработка трехмерных компьютерных моделей геологических сред // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -2000. -№5(10). -С. 177-182.
5. Денисов С.Б. Системы моделирования месторождений и их роль в процессах освоения и разработки месторождений углеводородов // Нефтяное хозяйство. -1998. -№1. -С. 14-19.
6. Проектирование разработки нефтяных месторождений с использованием постоянно действующих геологотехнологических моделей / С.А.Жданов, М.М.Максимов, А.Я.Хавкин и др. // Нефтяное хозяйство. -1997. -№3. -С. 33-36.
7. Аронов В.И. Трехмерная аппроксимация как проблема обработки, моделирования и интерпретации геофизических и геологических данных // Геофизика. -2000. -№4. -С. 21-25.
8. Аузин А.А., Глазнев В.В. Объемные цифровые модели геологических объектов и некоторые проблемы их создания // Геофизика. -2000. -№5. -С. 40-43.
9. Сильвестер Й.Ф., О'Хearn Т., Хсу Х., Эллиот С. Гигантское месторождение Карачаганак - реализация его потенциала // Нефтяное обозрение. -1998. -С. 4-15.
10. Шелепов В.В., Галимзянов Р.М., Парфенов Б.В., Басик Е.П. Рабочая модель Повховского месторождения с целью определения запасов нефти // Нефтяное обозрение. -1998. -С. 52-61.
11. Аронов В.И. Методика построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. -М., 1990. -301 с.
12. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. -Л., 1971. -174 с.
13. Глазнев В.В. Система для создания трехмерных моделей геологических объектов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1999. -№8. -С. 205-207.
14. Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации – КОСКАД 3D // Геофизика. -№4. -С. 29-33.
15. Черемисина Е.Н., Липилин А.В., Никитин А.А. Компьютерные технологии комплексной интерпретации геолого-геофизических данных: состояние и перспективы развития // Геоинформатика. -2000. -№3. - С. 32-38.
16. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. РД 153-39.0-047-00. -М., 2000. -63 с.
17. Аузин А.А., Бабкин В.Ф. Корреляция отложений турнейского яруса по данным геофизических исследований в скважинах // Геологический вестник центральных районов России. -2000. -№2. -С. 13-17.
18. Кашик А.С., Голосов С.В. Система комплексной интерпретации и динамической визуализации геофизических данных // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. -2000. -№ 2 (24). -С. 8-10.