

Д. С. Павлов

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРУКТУРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Большинство геологических задач имеет пространственную составляющую. Вопросами геометрии геологических тел занимается структурная геология. При решении структурных задач используются карты, схемы и разрезы – двумерные проекции элементов объемной структуры на плоскость. Плоский способ представления структурной информации приводит к дополнительным сложностям для восприятия трехмерных данных [1–3]. Эти построения являются сечениями трехмерной структуры в общем случае какой-либо поверхностью: геологическая карта – поверхностью рельефа, геологический разрез и карта срезов – соответствующей плоскостью, а в результате бурения скважин создаются разрезы скважин, дающие представление о структуре в одном измерении. Таким образом, трехмерная структура описывается на плоскости, что не всегда позволяет получить представление о геологическом объекте в полной мере.

Процесс работы с плоскими проекциями геологической структуры имеет место ряд избыточных трудозатрат [2, 3]. Прежде всего, собственно проецирование, которое исследователь вынужден осуществлять для передачи своего умозрительного объемного представления о структуре своим коллегам. Набор карт, схем и разрезов, полученный в результате такого проецирования, используется другими исследователями для воссоздания объемной модели структуры. Поскольку любая подобная проекция отражает структуру лишь в двух измерениях, происходит потеря информации. Таким образом, процесс передачи знаний проходит с потерей информации за счет проекционных трансформаций.

Помимо таких потерь существует также проблема хранения сведений о геологической структуре. Данные о положении тех или иных элементов структуры отражаются на картах, схемах и разрезах, которые часто выполнены с различной точностью и в разных масштабах. При анализе разрозненных сведений о структуре возникает необходимость предельно точной корреляции и интерполяции данных из многих источников. Кроме того, часто с появлением новых сведений необходимо переработать большую часть графических материалов.

Привлечение новейших информационных технологий позволяет частично устранить недостатки, связанные с использованием плоских бумажных носителей. Среди самых распространенных программных средств, применяемых в настоящее время, можно отметить геоинформационные системы (ГИС). В настоящее время ГИС, кроме геологии, активно используются в метеорологии, землеустройстве, экологии, муниципальном управлении, транспорте, экономике, обороне. Они позволяют эффективно работать с географически привязанной информацией. ГИС являются расширением концепции баз данных (БД), дополняя их визуализацией координатно-привязанных данных в виде карт, планов, схем и пр.

Наличие единого хранилища для данных и возможность различного графического представления одних и тех же сведений решает проблемы хранения и унификации структурно-геологической информации, однако все ГИС изначально предназначены для визуализации и анализа информации, имеющей географическую привязку по двум осям координат – XY [4]. Таким образом, ключевая проблема, заключающаяся в отсутствии третьего измерения (Z), так и не решена.

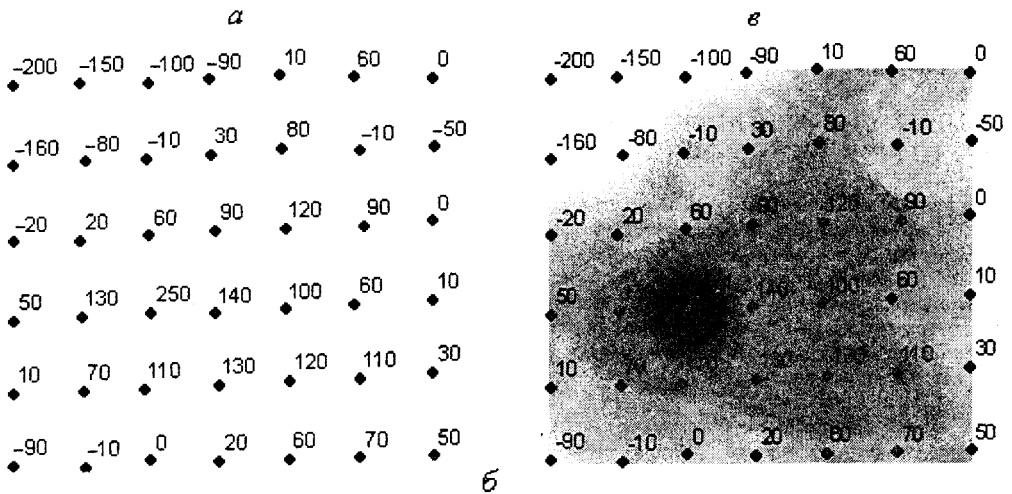
Современные ГИС предоставляют средства лишь для условной трехмерной визуализации. Это становится возможным при применении одного из атрибутов географически привязанной точки как третьей координаты. Используя ее, можно создать трехмерную поверхность, добавив в атрибутивную таблицу отдельный столбец для высот точек. Собственно изображение поверхности можно получить посредством дальнейшей интерполяции значений высот между точками с помощью 3D Analyst Tools в ArcMap с последующей визуализацией в ArcScene (рис. 1).

В качестве координаты Z может выступать как фактическая высота точки, так и любая другая атрибутивная информация. Иными словами, поддержка третьего измерения в ГИС не является естественной.

К особенностям процесса структурного анализа можно отнести тот факт, что в большинстве случаев этот процесс носит итеративный характер, когда в ходе итерации происходят переосмысление, анализ, интерполяция и синтез новых данных на основании как уже имеющихся, так и вновь появляющейся информации [5–7]. Это обусловлено, как правило, небольшим количеством исходной структурной информации по объекту исследования. Процесс прекращается, когда модель геологической структуры достаточно полно отражает структуру действительного объекта для поставленных целей, т. е. большая часть времени при обработке структурно-геологических данных уходит именно на накопление и синтез информации.

ГИС предназначены главным образом для систематизации и визуализации географически привязанных данных [4]. Их ценность заключается в облегчении восприятия огромного количества различной информации, имеющейся для данной территории. Значительная часть времени при работе с ГИС уходит на выборку необходимых данных и подготовку их графического представления для печати.

Таким образом, основное время в работе структурного геолога занимают анализ геологической информации,



б

Attributes of Surface						
FID	Shape*	Id	Altitude	POINT_X	POINT_Y	
0	Point	0	0	-4478611,33517	17051970,1082	
1	Point	0	0	-4383979,73203	17180225,3946	
2	Point	0	0	-4383979,73203	17132043,0032	
3	Point	0	-200	-4524713,91105	17178492,215	
4	Point	0	-150	-4502182,57697	17179165,4868	
5	Point	0	-160	-4524367,27515	17151107,9782	
6	Point	0	-20	-4524367,27515	17125456,9209	
7	Point	0	50	-4524367,27515	17099112,5919	
8	Point	0	10	-4524367,27515	17074501,4423	
9	Point	0	-90	-4524367,27515	17050583,5646	

Record 14 | 1 | Show: All Selected Records (0)

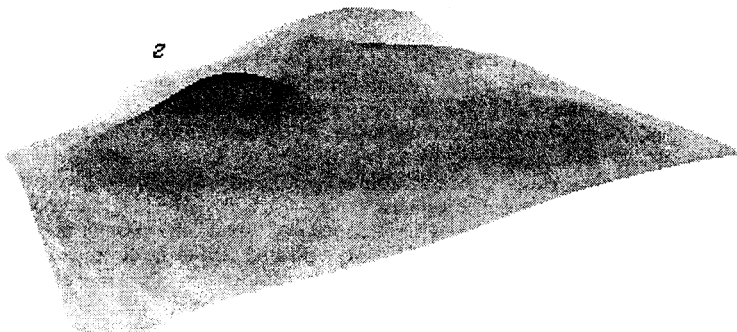


Рис. 1. Трехмерная визуализация, выполненная средствами пакета ArcGis.

a – набор географически привязанных точек с заданным атрибутом высоты; *б* – атрибутивная таблица со столбцом высот (Altitude); *в* – сплайн-интерполяция значений высоты в растр; *г* – 3D-визуализация результатов интерполяции, осуществленная средствами ArcScene.

корреляция сведений из разных источников и синтез новых данных на основе исходных – словом, постоянное накопление информации. ГИС помогают главным образом хранить, организовывать и проводить визуализацию уже накопленного (практически не изменяемого) объема информации. Иными словами, возможности применения ГИС в решении структурно-геологических задач ограничены, поскольку они не предназначены для динамической работы с подлинно трехмерными данными.

В то же время концепция ГИС дает основу для развития следующего поколения информационных систем, которые в действительности обеспечивают поддержку трех измерений. В настоящее время ведутся научные исследования в данной области [1–9], а также существуют несколько программных комплексов, обеспечивающих трехмерное представление геологических структур. Они разработаны компаниями Stratamodel, Inc. (США), Techno-guide (Норвегия) и Veisip Franlab, IFP (Франция). Поскольку коммерческий продукт должен самоокупаться, а количество пользователей подобных систем относительно невелико, стоимость их высока и варьирует от 15 до 300–400 тыс. долл. [2]. Указанные комплексы предназначены для нужд компаний нефтегазовой индустрии, в связи с чем алгоритмы подобных программ ориентированы на очень хорошую изученность территории геологическими и геофизическими методами.

Иными словами, несмотря на наличие на рынке подобных программных продуктов, их применимость весьма ограничена, так как необходимо большое количество исходной информации, которой мы зачастую не располагаем. К тому же эти продукты рассчитаны на определенные типы геологических структур, что связано со спецификой использующей их отрасли. Таким образом, на данный момент существует необходимость в разработке нового программного комплекса для построения объемной модели структуры геологических объектов, который позволяет работать в условиях малого количества разрозненных структурных данных.

В настоящий момент автором статьи осуществляется разработка подобной системы. Схема основных ее компонентов представлена на рис. 2.

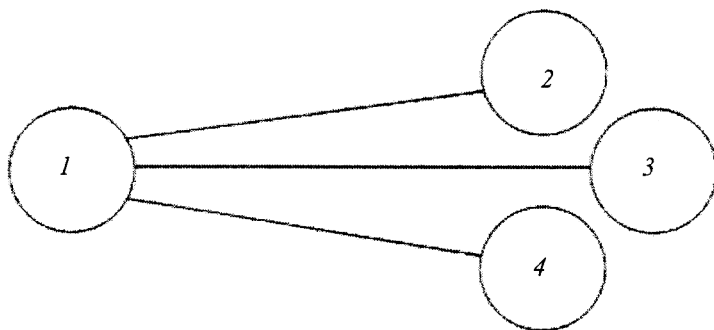


Рис. 2. Схема компонентов программной среды.

1 – база для хранения структурных данных – БД; 2 – компонент ввода исходных данных; 3 – компонент трехмерной визуализации модели; 4 – компонент синтеза новой информации.

Компонент БД обеспечивает накопление, хранение и организацию структурной информации. Использование централизованной БД вместо разрозненных файлов позволяет избежать проблем, связанных с расхождением различных версий файлов, а также обеспечивает возможность частичной выборки данных посредством составления запросов, фильтрующих информацию по тем или иным параметрам.

Компонент ввода обеспечивает занесение исходной информации в БД. Исходной информацией при работе со структурой являются разрезы скважин, геологические и сейсмогеологические профили, геологическая карта, топооснова, структурные карты и т. п. Эти сведения могут быть представлены в бумажном и электронном виде. В первом случае необходима предварительная оцифровка информации. Основная задача данного компонента – преобразование информации из разных источников к координатному виду XYZ и помещение ее в БД.

Компонент визуализации представляет хранящиеся в БД данные о структуре в виде объемного изображения. Таким образом, исследователь имеет возможность наблюдать модель структуры в любой момент времени. Этот компонент обеспечивает интерактивную связь между собственно данными и их представлением, а также возможность выборки тех данных, которые необходимо отобразить. Все выбранные данные проходят процесс интерполяции, в результате которого рассчитывается положение тех или иных структурных элементов в тех частях структуры, для которых в БД отсутствуют сведения. Затем происходит собственно вывод полученной модели на экран монитора. Разумеется, на начальных этапах работы эта модель будет весьма неточной, однако в дальнейшем она

будет постепенно уточняться. Компонент визуализации содержит средства для выбора наиболее удобного ракурса просмотра, а также позволяет исследовать структуру в режиме виртуального полета.

Компонент синтеза вызывает, пожалуй, наибольший интерес во всей программной системе. Он предназначен для редактирования исходных данных, в результате которого синтезируется новая структурная информация, что увеличивает детализацию всей модели. Основная концепция работы этого модуля заключается в использовании плоскости редактирования. Исследователь ориентирует ее интересующим его образом, после чего система автоматически проецирует на выбранную плоскость элементы структуры. Положение любой спроецированной линии можно затем откорректировать с помощью средств, которые используются в любом векторном редакторе. Это позволяет исследователю редактировать данные, представленные в привычном плоском виде. На ранних стадиях создания модели такой процесс будет занимать большую часть всей работы. После сохранения изменений, совершенных в плоскости редактирования, информация об уточненном расположении элементов структуры сохраняется в БД, и пользователь видит обновленную трехмерную картину. Примеры различного положения плоскости редактирования представлены на рис. 3.

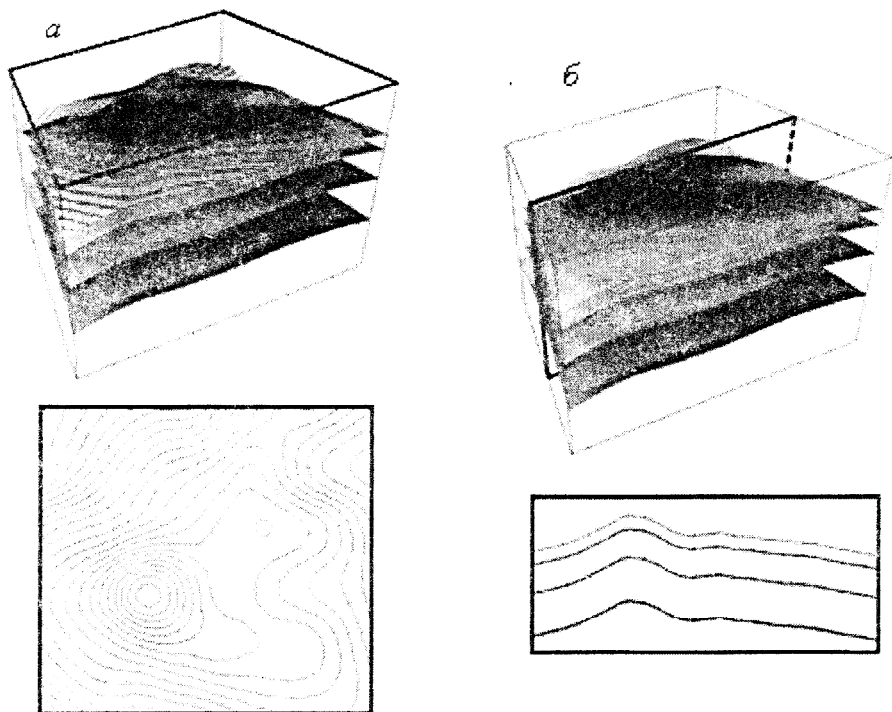


Рис. 3. Примеры ориентации плоскости редактирования и результаты проецирования.
а – горизонтальная ориентация (карта поверхности); б – вертикальная ориентация (разрез).

Хотя ничто не препятствует сориентировать плоскость редактирования произвольным образом, основное пространство получили горизонтальные (рис. 3, а) и вертикальные (рис. 3, б) проекции структуры. В первом случае в плоскости редактирования оказывается карта поверхности слоя в изолиниях, а во втором – разрез. Такой подход дает возможность эффективно строить профильные разрезы через структуры с погружающимися шарнирами, что при использовании обычных методик сопровождается громоздкими вычислениями и/или дополнительными построениями [6]. Использование плоскости редактирования позволяет производить построения в привычном двухмерном виде, при этом результаты, синтезируемые в ходе построений, визуализируются в трех измерениях. Таким образом, в ходе итеративных построений общая модель геологической структуры становится все более детальной.

Подводя итоги, следует отметить, что разработка подобной системы обеспечивает:

- 1) централизованное хранение структурной информации в БД;
- 2) унификацию разнородной структурной информации в виде множества координатных данных;

- 3) возможность редактирования структурных данных с целью уточнения модели структуры;
- 4) поддержку привычного подхода плоского проецирования в процессе редактирования;
- 5) автоматическое построение произвольных плоских проекций – карт, схем, разрезов;
- 6) простое для восприятия представление структурных данных за счет трехмерной визуализации информации;
- 7) отсутствие потери части данных за счет конечного плоского результата построений;
- 8) возможность немедленной визуализации на всех стадиях работы со структурой.

Предложенная программная система может применяться на всем протяжении процесса создания трехмерной модели геологической структуры, а также снимает ограничения, связанные с использованием бумажных носителей и ГИС. Данное направление исследований, по нашему мнению, перспективно в свете дальнейшего развития концепции ГИС в сторону трехмерной привязки атрибутивной информации. Подобные системы востребованы и будут использоваться во многих областях как промышленной, так и научной среды, где необходимо знание геологической структуры в естественном трехмерном виде.

Summary

Pavlov D. S. The 3-D modeling usage prospects in structural geology.

In solving structural-geological problems a variety of two-dimensional structure projections on a plane are used. They include maps, schemes and cross-sections. This projection can reflect the structure only in two dimensions. Due to this fact, some part of information is lost. Besides, a flat projection does not always allow to imagine the geological structure entirely. In this article the opportunities of GIS are estimated, and major stages of 3-dimensional model processing of a geological structure are considered. A possible program architecture solution for such processing is also described.

Литература

1. *Бурштейн Л. Е.* Трехмерные компьютерные модели в геотектонике и структурной геологии // Информ. бюл. ГИС-ассоциации. 1999. № 5 (22).
2. *Коротаев М. В., Ершов А. В.* Принципы создания цифровой трехмерной геологической карты нового поколения // Там же.
3. *Павлов Д. С.* Математический алгоритм построения геологического разреза // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Материалы молодежной школы-конференции XXXVII Тектонического совещания / Ред. В. Е. Вержбицкий, В. С. Вишневская, Ю. В. Карякин и др. М., 2004.
4. *Цветков В. Я.* Геоинформационные системы и технологии. М., 1998.
5. *Groshong R. H., Jr.* 3-D structural geology: a practical guide to surface and subsurface map interpretation. Berlin, 1999.
6. *Ramsay J. G., Huber M. I.* The techniques of modern structural geology. Vol. 2: Folds and Faults. London, 1987.
7. *Ramsay J. G., Lisle R. J.* The techniques of modern structural geology. Vol. 3: Application of continuum mechanics in structural geology. London, 2000.
8. *Петров А. Н.* Геометрические модели слоистых тел и картирование сложнослоистых толщ путем интерполяции элементов залегания: Метод. рекомендации. Магадан, 1988.
9. *Петров А. Н.* Математическое моделирование тектонических движений при изучении геологических структур. Магадан, 1997.

Статья поступила в редакцию 12 марта 2006 г.