

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разевиг В.Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001. – М.: Солон-Р, 2001. – 557 с.
2. Ненашев А.П., Коледов Л.А. Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1981. – 109 с.
3. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 246 с.
4. Джонсон Г., Грэхем М. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1016 с.
5. Кутявина С.К., Кошелева С.Ю., Жердев А.А. Оптимизация проектирования печатных плат в среде САПР P-CAD 2001 с учетом конструкторской сложности электронных схем // Современные средства и системы автоматизации: Труды IV научно-практ. конф. – Томск, ТУСУР, 2004. – С. 124–128.
6. Стешенко В.Б. P-CAD. Технология проектирования печатных плат. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 652 с.
7. Овсищев П.И., Лившиц И.И., Орчинский А.К. и др. Компонировка и конструкции микроэлектронной аппаратуры: Справочное пособие / Под ред. Б.Ф. Высоцкого, В.Б. Пестрякова, О.А. Пятлина. – М.: Радио и связь, 1982. – 270 с.
8. Кутявина С.К., Аришин Е.А. Оптимизация этапов проектирования в средах САПР для повышения качества трассировки ПП // Молодежь и современные информационные технологии: Сб. трудов IV Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 72–75.

Поступила 06.06.2007 г.

УДК 004.67:514.83

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ ГЕОПОЛЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

М.В. Копнов, Р.В. Ковин

Институт «Кибернетический центр» ТПУ
E-mail: kopnovmv@tpu.ru

Проанализированы сложности восстановления двумерных геополей. Приведены результаты исследований и разработок в области геоинформационных систем и технологий для анализа двумерных геополей.

Введение

Одним из наиболее актуальных и динамично развивающихся сегодня направлений в геоинформатике является пространственный анализ объектов, представляющих собой протяженные непрерывные поверхности. Такие поверхности могут показывать распределение в пространстве температуры и давления, высот рельефа местности над уровнем моря, распределение химических элементов в почвах и т. д. В геоинформатике поверхности, однозначно описываемые скалярной функцией от двух пространственных координат x и y , получили название двумерные геополы [1].

Наиболее распространенной задачей при работе с пространственно распределенными данными является получение значений геополя в областях, где измерения не проводились. Решение этой задачи осложняется следующими особенностями исходных пространственных данных:

- информация об исследуемом явлении с определенной степенью достоверности известна лишь в некоторых областях геополя;
- чаще всего эти области представляют собой точки опробования (точки на местности, точки измерения поля в некоторой среде, где проводилось исследование, в результате которого в них определено значение геополя и т. д.);
- как правило, точки опробования представляют собой нерегулярную сеть точек.

Требования к методам восстановления двумерных геополей

При восстановлении геополей по мнению большинства исследователей [1, 2] метод должен:

- быть устойчивым к ошибкам измерений, обеспечивать эффективную фильтрацию этих ошибок;
- быть устойчивым относительно структуры сети исходных данных;
- обеспечивать получение приближающей функции, достаточно гладкой как в окрестностях экспериментальной точки, так и в пределах всего геополя, исключая появление ложных (не обусловленных имеющейся информацией) аномалий, т. е. сильного отклонения от региональной составляющей геополя, которое может возникнуть из-за особенностей применяемых методов приближения;
- обеспечивать возможность проведения вариантов расчетов в процессе восстановления геополя;
- быть достаточно технологичным, т. е. достаточно точным и экономичным в расходовании машинных ресурсов.

Среди наиболее успешных коммерческих пакетов, позволяющих решать задачи восстановления геополей, можно отметить программные продукты Spatial Analyst и Geostatistical Analyst для ГИС ArcGIS фирмы ESRI (США), Vertical Mapper от Ма-

pInfo Corporation (США) для MapInfo Professional, Encom Discover от Encom (Австралия) для MapInfo Professional. Среди отечественных разработок можно отметить систему SurfMapper для MapInfo Professional [3]. Перечисленные пакеты не являются самостоятельными системами, а представляют собой дополнительные модули к указанным универсальным геоинформационным системам. Среди систем, не являющихся геоинформационными, стоит выделить пакет Surfer от Golden Software (США).

Исследования программной реализации многих коммерческих пакетов показали [3], что наибольшее распространение получили детерминистические методы восстановления двумерных геополей. Однако не во всех пакетах предлагаемые методы в полной мере удовлетворяют описанным требованиям.

Детерминистические методы

При использовании детерминистических методов предполагается, что анализируемые данные описываются некоторой детерминистической функцией $V(x, y)$, определенной на исследуемой области S , где (x, y) – координаты точки. Задача состоит в том, чтобы, базирясь на известных данных $V_i = V(x_i, y_i)$ – значений, измеренных в точках (x_i, y_i) – и на другой информации об исследуемом объекте (явлении), построить функцию $V(x, y)$ для всей исследуемой области S . После этого значение геополя в любой точке исследуемой области S может быть просто вычислено по формуле.

Детерминистические методы восстановления геополей, часто называемые интерполяторами, можно разделить на локальные и глобальные интерполяторы. Реализацию любого глобального интерполятора можно свести к выполнению двух основных этапов:

- с учетом всех исходных точек следует рассчитать детерминистическую функцию $V(x, y)$ (это может быть, например, решение системы линейных уравнений или проведение статистических расчетов);
- рассчитать значения геополя в требуемых точках непосредственно по детерминистической функции $V(x, y)$.

В качестве глобальных интерполяторов часто реализуют сплайн-интерполяцию, тренд-анализ (аппроксимацию полиномами) и др. Глобальные интерполяторы имеет смысл применять там, где явление может быть описано с помощью детерминистической функции на всей исследуемой области. Поверхность, восстановленная глобальным интерполятором, как правило, является гладкой.

При большом числе исходных точек (десятки тысяч) использование ряда методов неэффективно: например, если время расчета детерминистической функции квадратично зависит от числа исходных точек. Кроме того, при аппроксимации гло-

бальные интерполяторы заметно сглаживают поверхность. Поэтому для преодоления таких недостатков используют локальные интерполяторы [4].

Реализацию любого локального интерполятора можно свести к выполнению следующих этапов:

- нахождение ближайших исходных точек к расчетной точке геополя;
- расчет детерминистической функции $V(x, y)$ на основе найденных точек;
- вычисление значения геополя непосредственно по детерминистической функции $V(x, y)$;
- выполнение первых трех этапов для всех рассматриваемых точек геополя.

В виде локальных интерполяторов реализуют метод обратно взвешенных расстояний, локальную аппроксимацию полиномами, радиальные базисные функции и др. [1, 4]. Преимущество локальных интерполяторов перед глобальными заключается в том, что, изменяя число ближайших точек, можно контролировать степень фильтрации исходных данных и, следовательно, величину сглаживания поверхности.

При использовании детерминистических методов возникает ряд проблем. *Во-первых*, необходимо обосновать выбор интерполятора. Как известно, такое обоснование требует дополнительных сведений о природе восстанавливаемого явления. Зачастую такие сведения либо слабо формализованы, либо вообще отсутствуют. *Во-вторых*, многие методы имеют несколько настраиваемых параметров, требующих осмысленного использования. *И в третьих*, не всегда возможно сопоставить параметры выбранного метода с дополнительными сведениями о восстанавливаемом геополе.

Точность восстановления геополей

Известно, что задача восстановления геополя является некорректной [1–5]. Поэтому она может быть решена разными методами и с разной точностью. В каждом методе решения этой задачи вводятся определенные представления о природе геополя. В итоге каждый метод обеспечивает различную интерпретацию исходных данных. Основная сложность заключается в построении наиболее точной поверхности, как можно ближе соответствующей действительности (описываемому явлению). Достижение этой цели связано с рядом «факторов успеха»:

- наличие достаточного количества исходных достоверных данных;
- глубокое понимание исследуемого явления;
- применение адекватных математических методов описания закономерностей распространения явления;
- наличие удобного инструментария для изучения данных, построения поверхностей и оценки их достоверности.

Для решения проблемы точности восстановления геополей авторами предложен подход, основанный на инструментальной пост-обработке восстанавливаемого геополя. Суть его заключается в использовании инструментальных средств деформации поверхности. Предлагаемый подход может быть использован при решении задачи восстановления геополя, когда исходные данные слабо формализованы и поэтому не могут быть использованы в существующих методах восстановления.

Допустим, требуется восстановить поле кровли и подошвы продуктивного пласта нефтяного месторождения. Исходными данными для этой задачи является информация о глубине залегания кровли и подошвы этого пласта в нескольких скважинах. Также известно, что мощность такого пласта в области V равна нулю (в геологии такой случай называется выклиниванием пласта), рис. 1.

Использование традиционных методов и алгоритмов восстановления геополя не позволит корректно решить эту задачу (рис. 1, а). Однако при использовании дополнительной информации, представленной в виде сети-шаблона, реализовать такое выклинивание пласта возможно (рис. 1, б).

Способ можно интерпретировать так: поверхность вытягивается до тех пор, пока не будет достигнуто значения геополя в заданной пользователем сети-шаблоне.

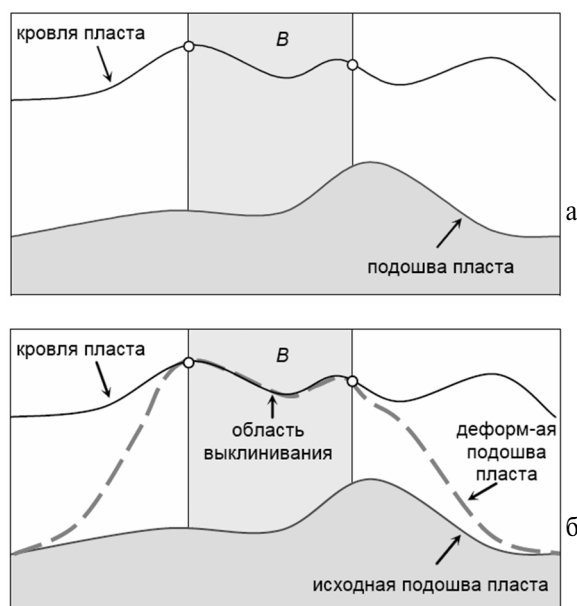


Рис. 1. Пример уточнения формы нефтяного пласта: а) до редактирования и б) после

Следует отметить, что использование слабо формализованных данных при восстановлении геополя представляет собой итерационный процесс, включающий построение карт невязок, карт вероятности ошибки, вычисление различных статистических показателей, а также визуализацию геополей, т. е. обработку разнородных данных, имеющих пространственную привязку. Поэтому для такой оценки целесообразно использовать геоинформа-

ционный подход, в рамках которого реализуются основные методы пространственного анализа.

Наш опыт в области решения задач восстановления геополей позволяет сделать следующие выводы:

- ни один из методов восстановления геополей не является лучшим с точки зрения точности;
- при большом числе исходных точек все строгие интерполяторы дают приблизительно одинаковые результаты;
- для выявления главных (локальных) закономерностей необходимо использовать методы глобального (локального) тренд-анализа;
- использование строгих интерполяторов в условиях, когда исходные данные содержат ошибки, недопустимо.

Проблемы вычислительной эффективности методов

Решение задач восстановления геополей всегда требовало больших объемов памяти и временных затрат. Несмотря на стремительное развитие вычислительной техники остается актуальной проблема вычислительной эффективности методов и алгоритмов восстановления геополей. Ресурсы современных компьютеров позволяют обрабатывать огромные массивы пространственных данных, однако время расчета по-прежнему может быть недопустимо большим. Использование высокоэффективных алгоритмов позволяет сократить время расчета в десятки, а то и сотни раз. К таким алгоритмам можно отнести алгоритмы поиска, использующие пространственное индексирование [6].

Известные методы пространственного индексирования не лишены недостатков – они не учитывают специфику цифровой модели геополя, представленной в виде регулярной сети.

Традиционно, восстановление геополя происходит следующим образом:

- выбирается ячейка регулярной сети;
- производится поиск точек исходного набора находящихся в круге заданного радиуса от восстанавливаемого узла регулярной сети;
- рассчитывается значение восстанавливаемого узла регулярной сети;
- если регулярная сеть не восстановлена – выполняется шаг 1.

Авторами разработан оригинальный алгоритм восстановления геополей учитывающий специфику регулярной сети, которая фактически является растром.

Суть предложенного алгоритма заключается в том, что для каждой точки исходного набора данных *рассчитываются узлы* регулярной сети находящиеся в окружности заданного радиуса.

Задав радиус и используя координаты точек исходного набора данных как координаты центра окружности поиска, можно без существенных временных затрат вычислить все ячейки регулярной

сети, находящиеся в заданном радиусе от точки исходного набора данных. Для расчета значения геополя в ячейке подобные расчеты необходимо провести для всех точек исходного набора данных.

Информации о том, будет ли точка исходного набора данных участвовать в расчете значения ячейки сети (находится в заданном радиусе), храниться в двумерной матрице, размерностью равной размерности восстанавливаемой регулярной сети. Каждая ячейка матрицы соответствует ячейке регулярной сети и содержит битовый вектор, число элементов которого равно количеству исходных данных. Каждый элемент такого вектора содержит информацию о том, будет ли точка исходного набора данных с соответствующим индексом участвовать в расчетах или нет.

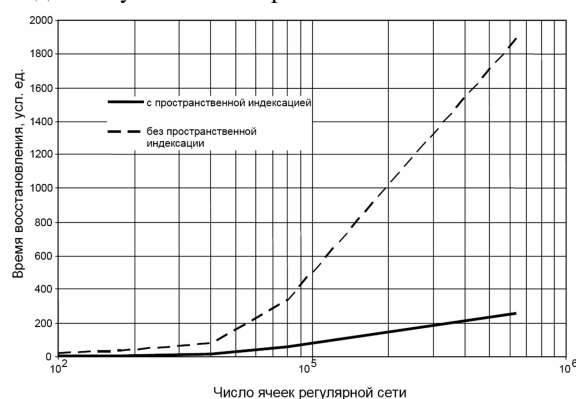


Рис. 2. Сравнение вычислительной эффективности алгоритмов восстановления геополя

Таким образом, алгоритм восстановления геополя можно кратко описать следующим образом:

- с помощью алгоритма Брезенхейма [7] определяются индексы граничных ячеек окружности заданного радиуса;
- выбирается точка исходного набора данных;
- определяются ячейки восстанавливаемой регулярной сети удаленные от точки исходного набора данных на заданный радиус;
- для каждой ячейки запоминается порядковый номер точки исходного набора данных;
- если не пройдены все точки исходного набора данных — шаг 2;
- для каждой ячейки регулярной сети вычисляется значение уровня поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. — М.: Недра, 1990. — 301 с.
2. Каневский М.Ф., Демьянов В.В. Введение в методы анализа данных по окружающей среде // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — 1999. — № 11. — С. 4–11.
3. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные технологии для анализа двумерных геополей. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. — 166 с.
4. Burrough P.A., McDonnell R.A. Principles of Geographical Information Systems. — Oxford: Oxford University Press, 1998. — 333 p.

Предложенный алгоритм расчета восстановления геополя позволил сократить время расчета при большом количестве исходных точек более чем в 2 раза (рис. 2).

Заключение

Проблемы, возникающие при восстановлении геополя, можно разделить на методологические и технологические. К первому типу относятся проблема выбора и обоснования метода восстановления, его параметров, их значений, моделей, функций и т. п. Преодоление этих проблем в большей степени зависит от теоретических и практических знаний самого исследователя. Недостаточная подготовка не позволит ему в полной мере воспользоваться математическим аппаратом и инструментарием современных средств решения рассматриваемых задач.

В свою очередь технологические проблемы можно также разделить на проблемы вычислительной эффективности используемых методов и проблемы интеграции разнородных пространственных данных. Проведенный анализ существующих систем показал, что наиболее перспективными при решении задач восстановления геополей являются геоинформационные системы, имеющие соответствующий набор функций для осуществления пространственного анализа геополей. В рамках геоинформационного подхода авторами был разработан подход позволяющий уточнять результаты восстановления геополя на стадии постобработки, основываясь на данных, которые невозможно использовать в традиционных методах восстановления геополей.

Исследования предложенного авторами алгоритма восстановления геополей показали его высокую эффективность при большом количестве исходных данных. Учитывая изложенное, можно сделать вывод о том, что применение алгоритмов пространственного индексирования является обязательным при разработке методов восстановления геополей.

Представленные подходы были успешно использованы в разработанном авторами программном пакете SurfMapper.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06 07-89190.

5. Gousie M.B., Williams G., Agnitti T., Doolittle N. CompSurf: An Environment for Exploring Surface Reconstruction Methods on a Grid // Computers & Geosciences. — 2003. — № 9. — P. 1165–1173.
6. Ласло М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ / Пер. с англ. — М.: Изд-во «БИНОМ», 1997. — 304 с.
7. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение. — М.: Мир, 1989. — 478 с.

Поступила 16.10.2007 г.