
УДК 551.24:519.711
ББК 26.309
К 68

Коробков В.Н.

Старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления физического факультета Адыгейского государственного университета, тел. (8772) 59-39-44, e-mail: vicor2004@mail.ru

Варшанина Т.П.

Кандидат биологических наук, доцент кафедры географии факультета естествознания, зав. центром интеллектуальных геоинформационных технологий Адыгейского государственного университета, тел. (8772) 59-39-44, e-mail: gic-info@yandex.ru

Построение векторного поля для моделирования пространственно-временной структуры поля тектонических напряжений
(Рецензирована)

Аннотация

Приведен алгоритм построения векторного поля применительно к моделированию пространственно-временной структуры поля тектонических напряжений. Дано обоснование выбора средств разработки и описание структуры данных, необходимых для реализации векторного поля на ЭВМ.

Ключевые слова: моделирование, векторное поле, градиент, поле тектонических напряжений.

Korobkov V.N.

Senior Lecturer of Department of Automated Systems of Processing Information and Control at Physical Faculty of Adyghe State University, ph. (8772)59-39-44, e-mail: vicor2004@mail.ru

Varshanina T.P.

Candidate of Biology, Associate Professor of Geography Department at Natural Science Faculty, Head of the Center of Intellectual Geoinformation Technologies of Adyghe State University, ph. (8772) 59-39-44, e-mail: gic-info@yandex.ru

Construction of a vector field for modeling a spatiotemporal structure of the tectonic pressure field

Abstract

The paper presents the construction algorithm of a vector field with reference to spatiotemporal structure modeling of the tectonic pressure field. The grounds are given for choice of development tools. A description is made of structure of data required for a vector field realization on PC.

Key words: modeling, vector field, gradient, field of tectonic pressure.

Моделирование полей тектонического напряжения необходимо для определения пространственно-временной структуры поля тектонических напряжений территорий неограниченной площади типа тектонических движений и характера движения тектонических блоков в целях прогнозирования тектонических движений, сейсмических проявлений различной магнитуды и мониторинга безопасности производственной инфраструктуры.

В настоящее время геоинформационные технологии позволяют на основе моделирования геополей выявить ранее неизвестные свойства объектов и взаимосвязей между ними. Это дает возможность делать новые фундаментальные суждения о механизмах природных процессов.

Исследование принципов анализа и построения векторных полей и автоматизация этих процессов для моделирования поля тектонических напряжений невозможно без использования методов математического моделирования и реализации их на ЭВМ.

Математическое моделирование предоставляет возможность количественно выражать географические закономерности в виде различных моделей, которые позволяют ответить на вопросы: как развивается система и что станет с ней при изменении внешних условий. Специфика математической модели в географии заключается в моделировании как отдельных компонентов географической среды, так и комплекса элементов, составляющих блоковую структуру земной коры.

В математическом понятии географическое поле – это такое разделение по земной поверхности количественной оценки, когда каждая ее точка характеризуется конкретной величиной (скаляром). Геометрическое место точек, каждая из которых представлена скаляром географического поля, определяет его статистическую поверхность [1].

Скалярное поле можно представить в виде картографической модели. Наиболее часто употребляется способ изолиний. Над поверхностями, представленными с помощью изолиний, можно проводить как стандартные математические операции: сложение, вычитание, умножение и деление, так и специфические операции, выполняемые над скалярными полями, например, вычисление градиента.

Движение вдоль линии одного уровня не приводит к изменению значения функции поля u . Однако, при переходе с линии одной поверхности на другую значение функции поля меняется. Это изменение обозначим через Δu . Величина изменения зависит как от расстояния (Δr), так и от направления.

Отношение $\Delta u / \Delta r$ характеризует изменение поля на единицу длины в заданном направлении и вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta u}{\Delta r} = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \vec{j} \right) \cdot \left(\frac{dx}{dr} \vec{i} + \frac{dy}{dr} \vec{j} \right). \quad (1)$$

Первый множитель является вектором, который характеризует поле, и называется градиентом поля $grad u$:

$$grad u = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \vec{j} \right). \quad (2)$$

Второй вектор характеризует направление движения в заданной точке, а частные производные являются направляющими косинусами углов, образованных направлением перемещения с соответствующими осями координат:

$$\frac{dx}{dr} = \cos \alpha, \quad \frac{dy}{dr} = \cos \beta, \quad (3)$$

где α – угол между направляющей линией и осью абсцисс, β – угол между направляющей линией и осью ординат.

В результате, направляющий вектор представляется в следующем виде:

$$\vec{e} = \vec{i} \cos \alpha + \vec{j} \cos \beta. \quad (4)$$

Формула (1), записанная через понятия градиента и направляющего вектора, имеет следующий вид:

$$\frac{du}{dr} = \vec{e} \cdot grad u. \quad (5)$$

Физический смысл градиента заключается в том, что он перпендикулярен поверхности равного уровня в каждой ее точке и направлен в сторону наибыстрейшего изменения поля, а модуль градиента равен максимальному значению производной по направлению [2].

При моделировании пространственно-временной структуры поля тектонических напряжений был использован метод морфологического анализа тектонических структур, разработанный В.П. Философовым. Автор метода установил, что долины рек одного порядка имеют, как правило, одинаковый геологический возраст. Проведенные через тальвеги одновозрастных речных долин базисные поверхности фиксируют отметки высот конкретного геологического времени. Мощность слоя между базисными поверхностями указывает на смещение местности по вертикали за промежуток времени, прошедший между образованием долин разных порядков [3].

Для компьютерного моделирования важно наличие определенного программного обеспечения. В некоторых случаях возможно использование стандартного универсального программного обеспечения, такого как обычные текстовые и графические редакторы. Однако, в большинстве случаев необходимо специализированное программное обеспечение, предназначенное для определенного вида моделирования конкретных объектов.

В результате исследований разработан программный продукт, реализующий этапы построения векторных географических полей применительно к полю тектонических напряжений.

Векторное поле строится по данным мощности «разностного слоя» между базисными поверхностями ближайших порядков, вычисленным по методу Философова. Для представления и обработки векторного поля на ЭВМ использован дискретный способ задания поля, то есть таблично со значениями проекций векторов в отдельных точках.

В качестве среды разработки выбрана свободно распространяемая объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL, базируемая на языке SQL и поддерживающая многие из возможностей стандарта SQL:2003. Одним из факторов выбора СУБД PostgreSQL при разработке геоинформационных систем (ГИС) является наличие модуля PostGIS. Данный модуль подключается к серверной части PostgreSQL и поддерживает работу с пространственными объектами ГИС, определенными консорциумом OpenGIS (OGC). Спецификация OpenGIS описывает стандартные типы объектов ГИС (точка, линия, полигон, мультиточка, мультилиния, мультиполигон), функции манипулирования ими и набор таблиц метаданных.

Все данные, необходимые для представления скалярного и векторного полей на ЭВМ, хранятся в таблицах базы данных «Vector». Логическая схема базы данных представлена на рисунке 1.

Задание поля определяется экстендом – областью, в которой отображаются скалярное и векторное поля. Экстенд задается координатами начальной (нижняя левая) и конечной (верхняя правая) точек. В указанной области по осям X и Y с заданным шагом строится сетка с введенными смещениями ΔX и ΔY . Данные о равномерной сетке хранятся в таблице Grid_line.

На пересечении осей X и Y получаются узлы, в которых необходимо вычислить вектора, характеризующие рассматриваемую поверхность. Узлы сетки хранятся в таблице Grid_point.

В таблицу Path1 заносятся ближайшие изолинии для каждого узла из первой четверти прямоугольной системы координат, начало которой находится в узле решетки. Таблицы Path2, Path3, Path4 содержат данные, аналогичные таблице Path1, из второй, третьей и четвертой четвертей соответственно.

Скалярное поле задается набором изогипсопахит «разностного слоя» между базисными поверхностями и хранится в таблице baz_line (рис. 2).

Векторное поле представляется градиентами, вычисленными по заложениям изолиний, в каждом узле регулярной решетки. Значения и направления градиентов хранятся в таблице Gradient.

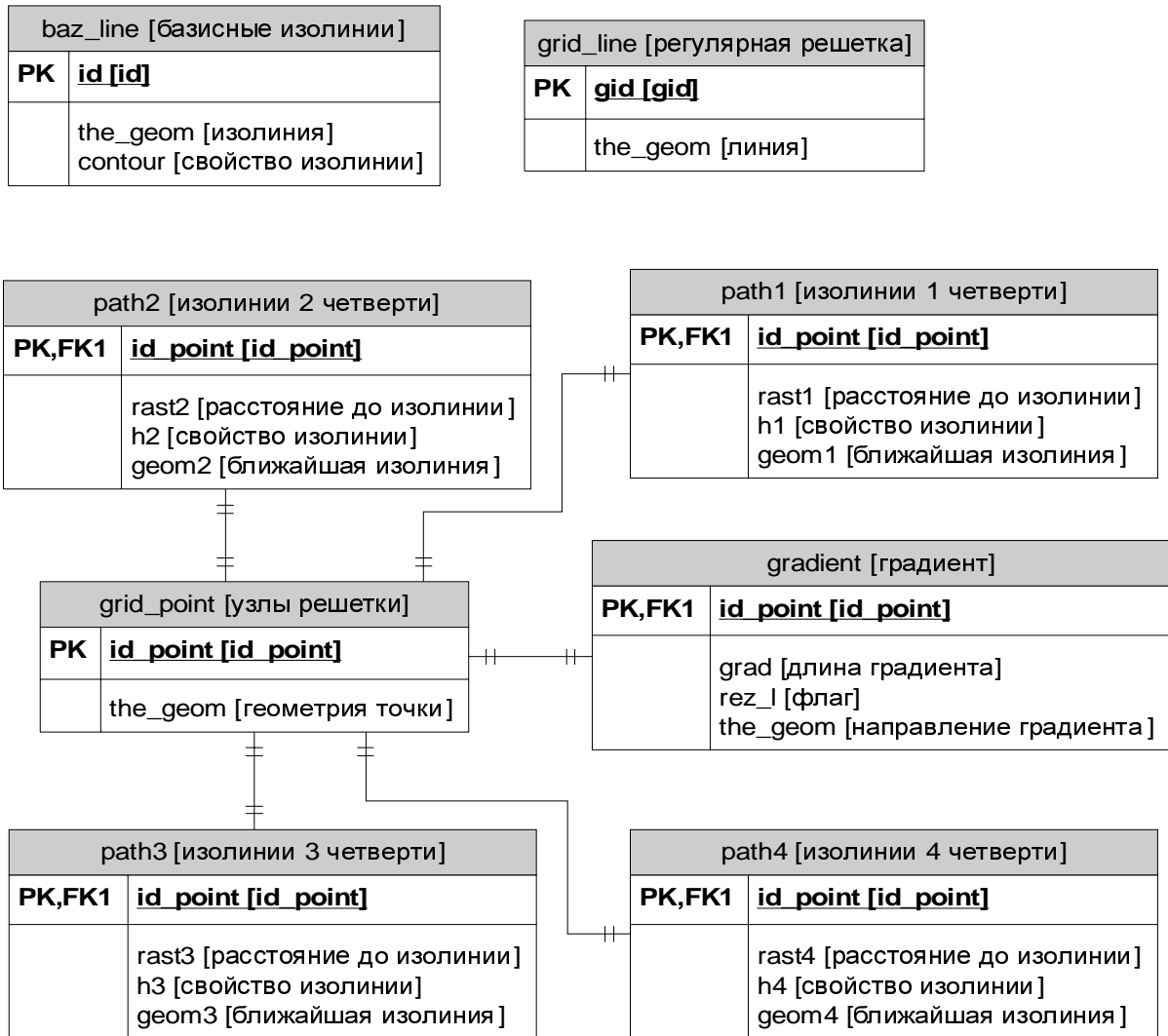


Рис. 1. Логическая схема базы данных

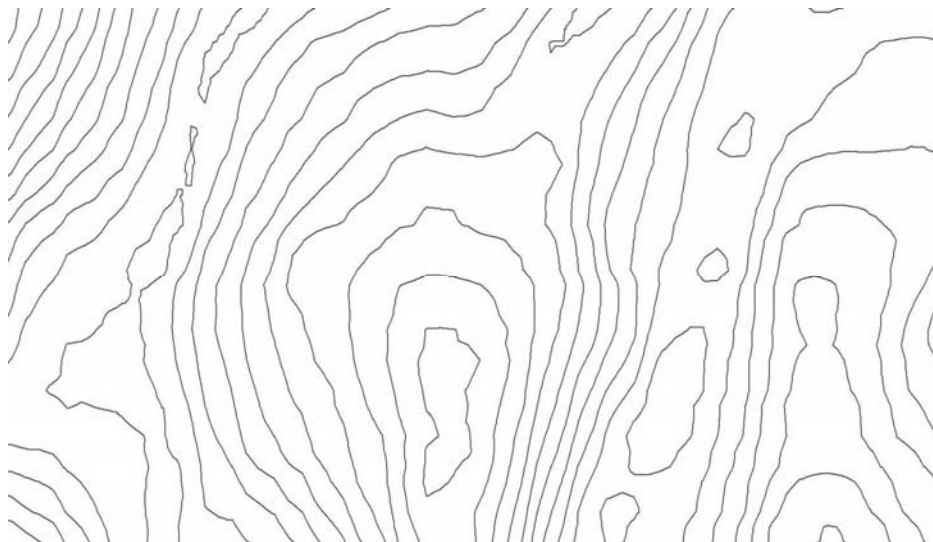


Рис. 2. «Разностный слой» между базисными поверхностями в виде изогипсопахит

Программный продукт, позволяющий строить векторные поля, состоит из следующих модулей.

1). Модуль наложения на исходную поверхность «разностного слоя» между базисными поверхностями в изогипсопахитах равномерной сетки с регулярным шагом. В реализованной программе шаг задан равным 250 метров.

2). Во втором модуле для каждого узла производится поиск изогипсопахит, относительно которых можно построить вектор, проходящий через выбранную точку. Для этого на плоскости вводится прямоугольная декартова система координат с началом координат в текущем узле решетки. В каждой четверти ищется изолиния ближайшая к началу координат (узлу решетки).

3). Модуль расчета в узлах сетки значений градиента по заложениям изогипсопахит.

Из всех найденных во втором модуле ближайших к узлу изолиний выбирается одна с наименьшей характеристикой определяющей ее величины. Если оказывается, что узел находится внутри одной изолинии, это означает, что в данной точке поле находится в состоянии покоя и вектор не определен.

На выбранной изолинии ищется точка (X_2, Y_2) , расстояние от которой до узла решетки (X_1, Y_1) наименьшее. Через найденную точку и точку узла решетки проводится прямая, которая строится по формуле 6.

$$y = a + b \cdot x, \quad (6)$$

где коэффициент наклона прямой b определяется по формуле (7):

$$b = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, \quad (7)$$

коэффициент смещения a определяется по формуле (8):

$$a = Y_1 - b \cdot X_1, \quad (8)$$

где X_1, Y_1 – координаты узла решетки, X_2, Y_2 – координаты точки на изолинии.

Определяется точка (X_3, Y_3) пересечения прямой с изолинией, расположенной в противоположной четверти относительно узла решетки. Если значение характеристики найденной изолинии совпадает со значением выбранной изолинии, то фиксируется неудача и выбирается изолиния из следующей четверти.

Далее производится расчет градиента, то есть вычисление изменения функции поля по формулам 2 и 3. Общий алгоритм построения векторного поля представлен на рисунке 3.

На рисунке 4 представлен результат построения векторного поля.

Построенные таким образом векторные поля на основе мощности «разностного слоя» между полибазисными поверхностями различного порядка позволяют определять характер дифференциации тектонических напряжений в пределах тектонических элементов в их исторической динамике и оценивать величины тектонического напряжения в точках его наибольшего приложения.

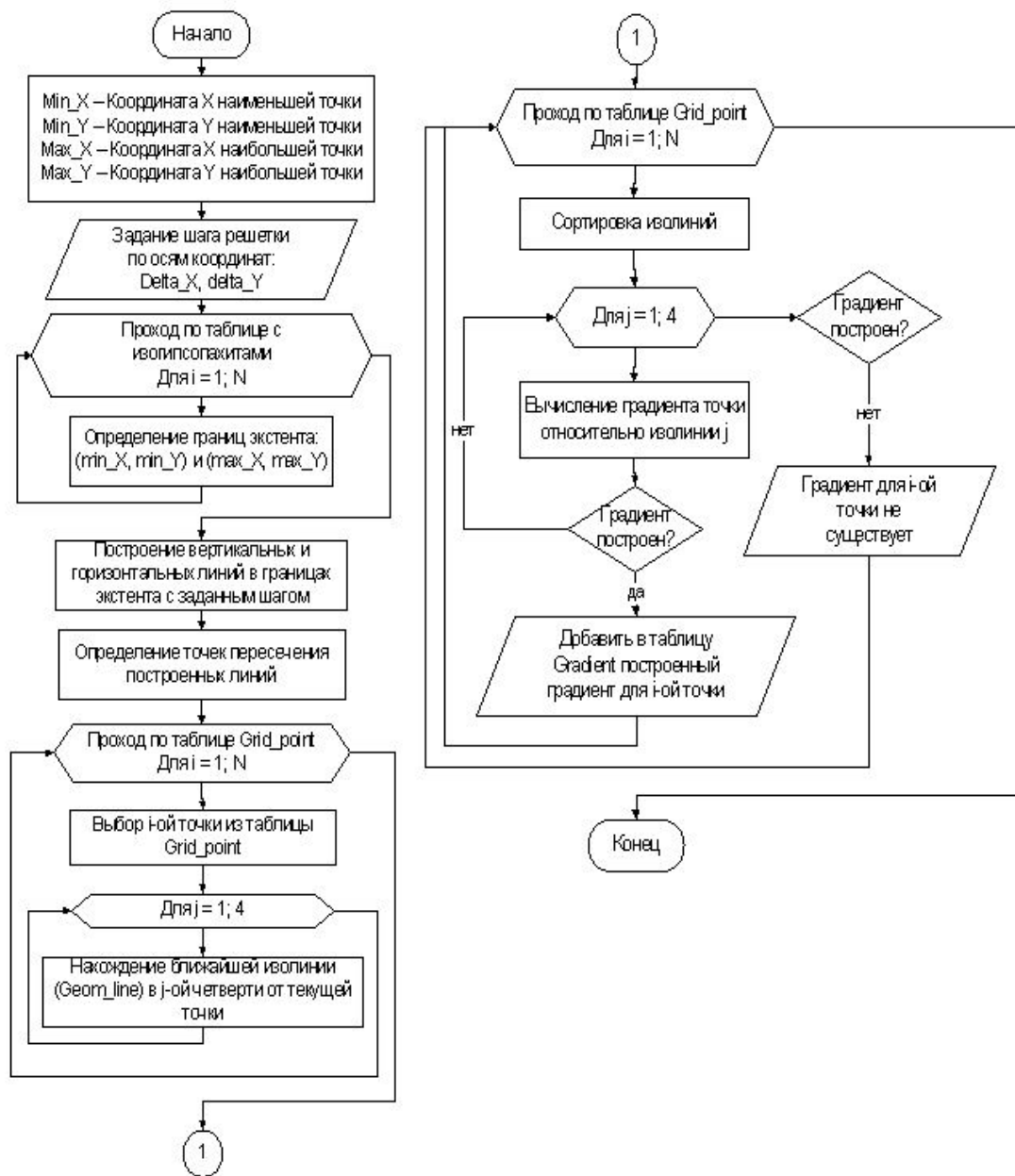


Рис. 3. Общий алгоритм построения векторного поля

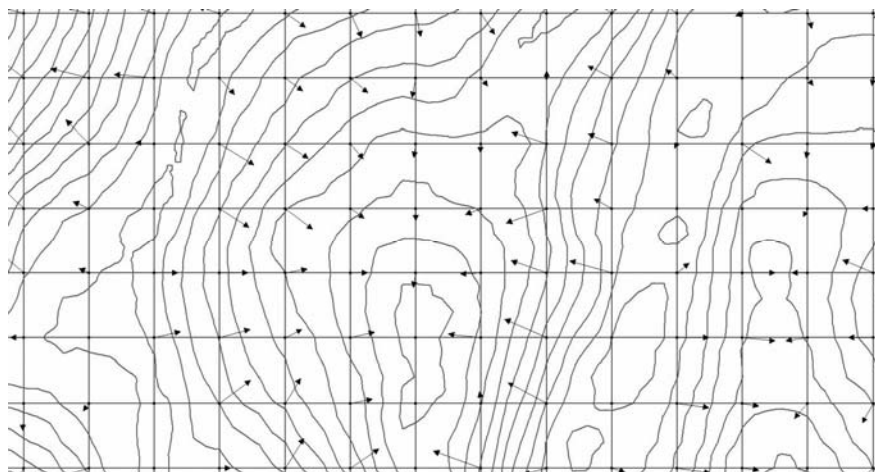


Рис. 4. Отображение градиента в узлах решетки

Примечания:

1. Екеева Э.В. Методы географических исследований: учеб. пособие. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010.
2. Кумпяк Д.Е. Векторный и тензорный анализ: учеб. пособие. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2007.
3. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во СГУ, 1975.

References:

1. Ekeeva E.V. Methods of geographical researches: the manual. Gorno-Altaiisk: RIO GAGU, 2010.
2. Kumpyak D.E. Vector and tensor analysis: a manual. Tver: Tver State University Publishing House, 2007.
3. Filosofov V.P. Bases morphometrics method of searches of tectonic structures. Saratov: SGU Publishing House, 1975.