

8. *Zhuang X.* University of Osnabrueck. ShearLab: A rationally designed digital shearlet transform. [сайт]. Режим доступа: <http://shearlab.org>.

**Traces of marine natural disasters: a numerical data analysis**

*Mikhail Alexandrovich Kurako*, senior lecturer, Siberian federal university, Institute of space and information technologies

*Konstantin Vasilievich Simonov*, professor, leading researcher, Institute of computational modelling SB RAS, Siberian federal university, Institute of space and information technologies

*Nadezhda Olegovna Kudrya*, postgraduate student, Siberian federal university, Institute of space and information technologies

*We propose a new approach for processing spatial data — the morphological analysis of linear and non-linear structures in conjunction with a spectral decomposition based on the wavelet and shearlet transformations applied to the data about natural disasters.*

*Keywords: data processing, wavelet transform, shearlet transform, spectral decomposition, morphological analysis.*

УДК 519.688

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ**

*Елена Владимировна Кучунова*, к.ф.-м.н., доцент

*E-mail: HKuchunova@sfu-kras.ru*

*Андрей Викторович Рулев*, студент

*тел. 8-983-166-9043, e-mail: rulandrei99@mail.ru*

*Институт математики и фундаментальной информатики СФУ*

*<http://www.sfu-kras.ru>*

*В работе представлен вычислительный алгоритм построения поверхности рельефа местности по данным, записанным в векторных картах в польском формате. Исходными данными выступает набор изолиний. По этим данным строится сеточная функция высот при помощи интерполяционных сплайнов.*

*Ключевые слова: векторные карты, польский формат, интерполяционные сплайны.*

**Введение**

В последнее время интенсивное развитие получила геоинформатика. Важными объектами исследования современных геоинформационных систем являются трехмерные поверхности земного рельефа [1].

Все навигационные системы, поддерживающие загрузку карт, используют исключительно закрытые и недокументированные форматы (например, Garmin IMG). Однако в начале 2000-г годов появился формат представления геоданных, имеющий простую и хорошо документированную структуру. Этот формат получил название "польский формат" или формат МР. Польский формат – это текстовый формат хранения данных, ис-

пользуемый как в качестве промежуточного формата при конвертировании между различными промышленными форматами электронных карт, так и для их редактирования.

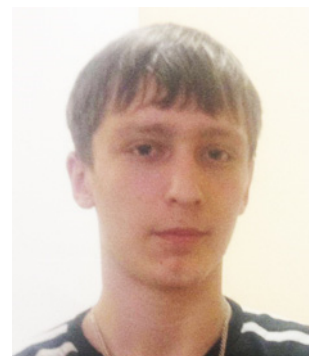
Для редактирования и визуализации польского формата карт существует множество прикладных программных продуктов, среди которых можно назвать GPSMapEdit. Подробную информацию об этой программе можно узнать на сайте <http://www.geopainting.com>. Большое количество карт в польском формате можно найти на сервере <http://mapcenter.cgpsmapper.com>.

Целью данной работы является построение цифровых моделей местности по векторным картам в польском формате. В качестве исходных данных выступают наборы изолиний. Каждая из изолиний представляет собой набор точек местности, имеющих одинаковую высоту.



**Е.В. Кучунова**

Строится цифровая модель с помощью прямоугольной сетки, в узлах которой заданы значения  $z$  (высоты). Прямоугольная сетка обладает преимуществом простой и удобной

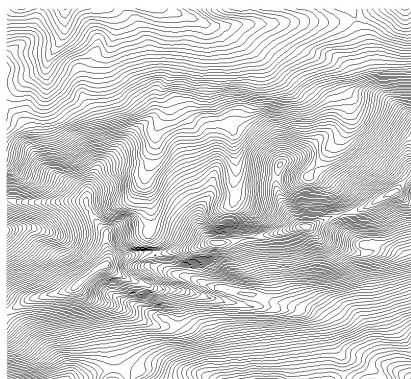


**А.В. Рулев**

структуры, требующей хранения только значений высот и позволяющей упростить алгоритмы анализа и обработки поверхности.

### Постановка задачи

Пусть имеется некоторая исходная прямоугольная область  $\Omega = [x_{\min}, x_{\max}] \times [y_{\min}, y_{\max}]$ , в которой задан набор изолиний  $L = \{l_0, l_1, \dots, l_{m-1}\}$ . При-



**Рис. 13. Пример исходного набора изолиний**

мер исходного набора изолиний изображен на рис. 1.

Каждая изолиния представляет собой пару  $l_k = \langle h_k, V_k \rangle$ , где  $h_k$  – высота набора вершин  $V_k = \{ \langle x_i^k, y_i^k \rangle, i = 0, \dots, n_k \}$ . Предположим, набор вершин  $V_k$  является упорядоченным вдоль изолинии  $l_k$  (в противном случае, вершины легко перепорядочить). Каждая изолиния может быть как замкнутой, так и не замкнутой.

Построим в области  $\Omega$  равномерную прямоугольную сетку  $\Omega_h$ :

$$\Omega_h = \{ \langle x_i, y_j \rangle, x_i = x_{\min} + ih_x, y_j = y_{\min} + jh_y; i = 0, \dots, N; j = 0, \dots, M \},$$

где  $N, M$  – количество узлов сетки вдоль осей  $OX$  и  $OY$  соответственно,

$$h_x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N}, h_y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{M}.$$

Требуется вычислить значение высоты  $z_{ij}$  в каждой точке  $\Omega_h$  таким образом, чтобы полученная поверхность интерполировала бы весь заданный набор изолиний  $L$ .

Пример исходного набора изолиний изображен на рис. 1.

### Вычислительный алгоритм

Представляемый вычислительный алгоритм разбивается на три этапа:

- 1) получение данных об исходном наборе изолиний;
- 2) перенос данных о высотах изолиний в узлы сетки;
- 3) получение поверхности с помощью сплайн-интерполяции.

**Этап №1. Получение данных об исходном наборе изолиний**

Данные об исходном наборе изолиний хранятся в текстовом файле с расширением .mr. В этом файле хранится информация обо всех объектах местности (озера, реки и ручьи, тропы, изолинии, участки леса, здания и сооружения). Все объекты задаются при помощи полилиний и полигонов (замкнутых полилиний), содержащих физические координаты (широта и долгота) набора точек. Из всего набора данных нам необходимо выделить только изолинии и считать координаты их вершин.

**Этап №2. Перенос данных о высотах изолиний в узлы сетки**

Рассмотрим некую изолинию  $l = \langle h, V \rangle$  множества  $L$ . Для простоты изложения опустим индекс, означающий ее номер. Предположим, что множество  $V$  этой изолинии содержит  $n$  вершин  $V = \{V_0, V_1, \dots, V_{n-1}\}$ . Необходимо перенести информацию об этой изолинии во все узлы сетки  $\Omega_h$ , располагающиеся вдоль изолинии  $l$ . Для этого дополняем изолинию точками при помощи линейной интерполяции.

Рассмотрим две соседних точки  $V_j$  и  $V_{j+1}$  изолинии  $l$ . Необходимо найти пересечение прямой линии  $V_jV_{j+1}$  со всеми линиями сетки  $\Omega_h$ . Для этого разбиваем отрезок  $V_jV_{j+1}$  на систему подотрезков  $\{v_0, v_1, \dots, v_k\}$  так, чтобы  $v_0 = V_j$ ,  $v_k = V_{j+1}$ , и расстояние между соседними точками не превосходило шаг сетки:  $|v_i - v_{i-1}| < \frac{h_x + h_y}{2}$ .

Далее для каждой точки  $v_i$  отрезка  $V_jV_{j+1}$  вычисляется ближайший узел  $(x_k^i, y_l^i)$  сетки  $\Omega_h$ , которому приписывается высота  $h$  изолинии  $l$ . Результат переноса отрезка на сетку изображен на рис. 2.

Таким образом, изолиния  $l$  аппроксимируется набором узлов сетки  $\Omega_h$ , для которых высота является постоянной и равна  $h$ . Применяя данный алгоритм ко всем изолиниям набора  $L$ , получаем множество узлов сетки  $\Omega_h$  с известными высотами. Пример такого множества вершин изображен на рис. 3.

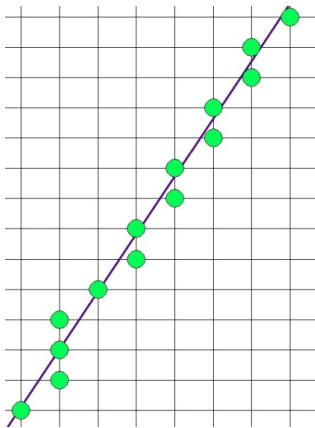


Рис 2. Перенос отрезка изолинии на сетку

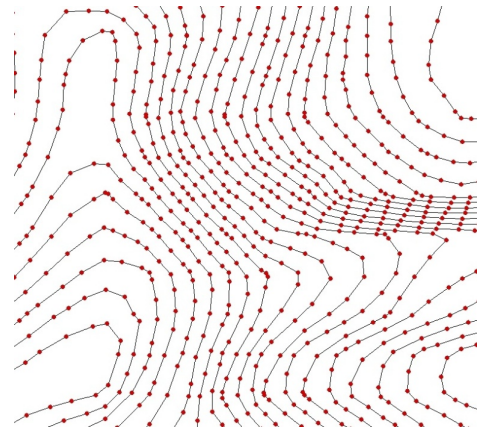


Рис. 3. Перенос изолиний набора на сетку

**Этап №3. Получение поверхности с помощью сплайн-интерполяции**

Следующей задачей является вычисление высот во всех узлах сетки  $\Omega_h$ . Рассмотрим некоторый разрез области  $\Omega$  вдоль оси  $Ox$  (зафиксируем значение  $y = const$ ). Вдоль этого разреза в некотором наборе узлов известны высоты, полученные после переноса изолиний. Во всех остальных узлах построим интерполяционный сплайн первого порядка [2]. Переберем по очереди все разрезы сетки  $\Omega_h$  при каждом значении  $y = y_i, i = 0, 1, \dots, M$  и вдоль каждого разреза построим интерполяционные сплайны.



Аналогично поступаем и вдоль оси  $OY$ , фиксируя по очереди значения  $x = x_j$ , для каждого значения  $j = 0, 1, \dots, N$  строим интерполяционный сплайн. Таким образом, в каждом узле  $(x_i, y_j)$  сетки  $\Omega_h$  получаем вычисленное значение высоты  $z_{ij}$ ,  $i = 0, 1, \dots, N$ ,  $j = 0, 1, \dots, M$ .

### Результаты численных экспериментов

В работе была рассмотрена векторная карта горного хребта Борус (рис. 4, слева), расположенного в системе Западного Саяна. Протяженность карты составляет от  $91^\circ 20'$  до  $91^\circ 40'$  восточной долготы и от  $52^\circ 42'$  до  $52^\circ 54'$  северной широты. Карта содержит более 500 изолиний, которые в совокупности содержат около  $3 \cdot 10^5$  вершин. Перепад высот составляет от 320 до 2260 метров над уровнем моря.

Вычисления производились при количестве узлов сетки 1000 по каждому из направлений. Полученная цифровая модель изображена на рис. 4 (справа).

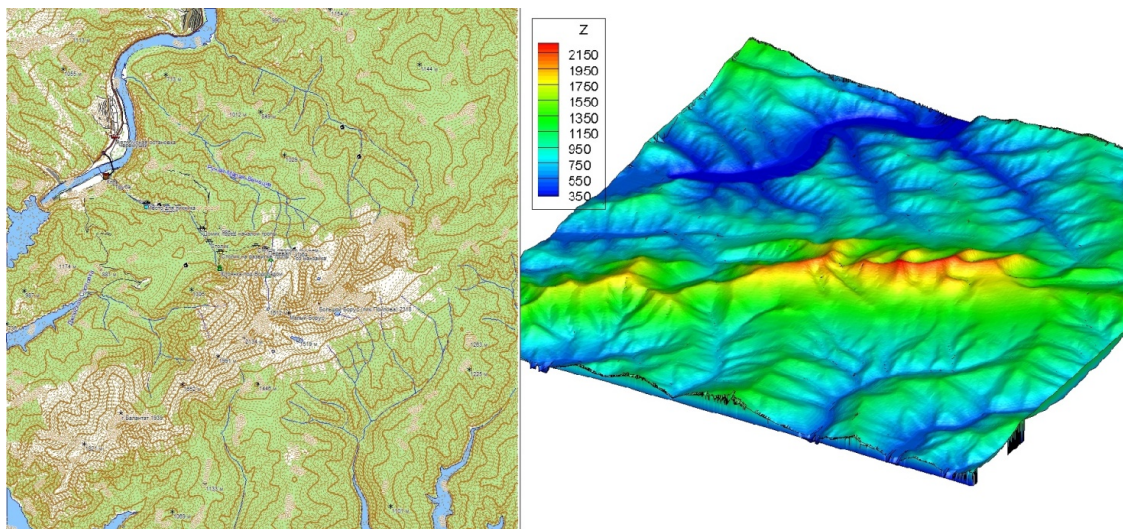


Рисунок 4. Горный хребет Борус (слева - исходная карта, справа - построенная поверхность)

### Заключение

Авторы считают, что в данной работе новым является следующий результат: разработан вычислительный алгоритм построения цифровой модели рельефа на основе изолиний, данные о которых извлекаются из векторных карт в польском формате. Данные в этом формате отличаются хорошей структурой, их удобно извлекать из файла. Описанный алгоритм реализован в виде программного комплекса на языке C++.

### Литература

1. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др Основы геоинформатики /.; Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. 352 с.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 632 с.

### An algorithm for modelling the surface of the terrain

*E. Kuchunova, candidate of physical and mathematical sciences, associate Professor, School of Mathematics and Computer Science SFU*

*A. Rulev, student, School of Mathematics and Computer Science SFU*

*The paper presents a computational algorithm for constructing the surface of the terrain according to the data at vector maps in Polish format. The input data is a set of contours. Using interpolation splines the grid function of altitude are built based on this data.*

*Keyword: vector map, polish format, interpolation spline.*