

**Информационно-коммуникационные и химические технологии****МРНТИ 27.3.63****<https://doi.org/10.58805/kazutb.v.1.14-4>****Мазакова А.Т., Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Бурегулов А.Д.**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби,

Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru

**ПРОГРАММА ИНТЕРПОЛЯЦИИ МАТРИЦЫ ВЫСОТ  
РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ**

**Аннотация:** В данной статье описана программа интерполяции матрицы высот рельефа местности.

При поиске месторождений, особенно углеводородных, большое внимание уделяется обнаружению кольцевых структур на снимках, полученных путем дистанционного зондирования Земли. Кольцевые структуры на поверхности Земли служат достаточно точным признаком того, что в данной местности есть залежи руд и углеводородов. Данный процесс можно автоматизировать с помощью программного обеспечения.

Авторами был создан программный комплекс для обнаружения кольцевых структур в трехмерном виде и с учетом источника освещенности. В данной статье приводится только часть комплекса, программа, которая предназначена для интерполирования исходной матрицы высот рельефа местности с целью получения более сглаженного вида.

**Ключевые слова:** кольцевые структуры, рельеф, матрица высот, интерполяция, математическая модель, поверхность, программа.

**Мазакова А.Т., Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Бурегулов А.Д.**

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

e-mail: aigerym97@mail.ru

**ЖЕР БЕДЕРІНІҢ БИІКТІК МАТРИЦАСЫНЫҢ ИНТЕРПОЛЯЦИЯЛАУ  
БАҒДАРЛАМАСЫ**

**Аңдатпа:** Бұл мақалада жер бедерінің биіктік матрицасын интерполяциялау бағдарламасы сипатталған.

Кен орындарын, әсіресе көмірсутекті кен орындарын іздеу кезінде Жерді қашықтықтан зондтау арқылы алынған суреттерде сақина құрылымдарын анықтауға көп көңіл бөлінеді. Жер бетіндегі сақиналы құрылымдар белгілі бір аумақта кендер мен көмірсутектердің кен орындарының бар екендігінің жеткілікті дәл көрсеткіші болып табылады. Бұл процесті бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы автоматтандыруға болады.

Авторлар сақина құрылымдарын үш өлшемді түрде және жарық көзін ескере отырып анықтауға арналған бағдарламалық пакетті жасады. Бұл мақалада кешеннің бір бөлігі ғана берілген, ол тегіс көрініс алу үшін бастапқы жер бедерінің биіктігі матрицасын интерполяциялауға арналған бағдарлама.

**Түйін сөздер:** сақина құрылымдары, рельеф, биіктік матрицасы, интерполяция, математикалық модель, бет, бағдарлама.

**Mazakova A.T., Mazakov T.Zh., Jomartova Sh.A., Burgegulov A.D.**  
al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru

## INTERPOLATION PROGRAM OF THE ELEVATION MATRIX OF THE TERRAIN

**Annotation:** This article describes the program for interpolation of the terrain elevation matrix. When searching for deposits, especially hydrocarbon deposits, much attention is paid to the detection of ring structures in images obtained by remote sensing of the Earth. Ring structures on the surface of the Earth serve as a fairly accurate indication that there are deposits of ores and hydrocarbons in a given area. This process can be automated using software.

The authors created a software package for detecting ring structures in a three-dimensional form and taking into account the light source. This article provides only a part of the complex, a program that is designed to interpolate the original terrain height matrix in order to obtain a smoother look.

**Keywords:** ring structures, relief, elevation matrix, interpolation, mathematical model, surface, program.

**Введение.** С развитием спутниковых технологий все более широкое внедрение находит геоинформатика. Важными объектами исследования современных ГИС являются трехмерные поверхности. В работах [1-2] представлены математические модели трехмерных изображений. Проблеме синтеза реалистических изображений посвящены диссертации [3-6]. Ряд работ посвящен построению моделей поверхности, основанной на триангуляции Делоне [7-11].

В своей работе мы предлагаем математическую модель отображения рельефа местности, которая учитывает густоту линий. При этом необходимо сгладит поверхность, чтобы получить необходимое изображение рельефа. Для этих целей используем метод интерполяции двумерной функции, которая позволяет получить более гладкие виды поверхности.

Кольцевые структуры – это геологические образования в плане кольцевой, округлой или овальной формы в каменной оболочке Земли и других планетных тел. Устанавливаются в основном путём геологического дешифрирования космических и аэровысотных снимков земной поверхности.

С изучением кольцевых структур связано выявление неизвестных ранее закономерностей в размещении полезных ископаемых. Крупные кольцевые структуры (или концентры) могут играть важную роль в локализации зон нефтегазоаккумуляции и отдельных месторождений нефти и газа.

Феномен кольцевых структур давно привлекает внимание геологов, геофизиков, геоморфологов, что связано, прежде всего, с важнейшим минерагеническим значением этих образований. По имеющимся данным, с кольцевыми структурами связаны большое

количество уже известных месторождений на земле.

Современные исследования по обнаружению кольцевых структур в космических съемках активизировались в связи с бурным развитием дистанционных средств зондирования Земли и других планет. Как уже было отмечено ранее анализ кольцевых структур имеет большое значение для поиска новых месторождений полезных ископаемых.

На съемках из космоса не всегда можно сразу увидеть кольцевые структуры. Это связано с тем, как расположен объект исследования, какой источник освещения, а также с какой точки наблюдения был сделан снимок.

При исследовании рельефа с помощью математического моделирования, мы можем произвольно разместить источники освещения и точку наблюдения. Это позволит рассмотреть рельеф Земли с разных точек и с разного ракурса, не делая аэрокосмические съемки, что намного удешевит полученные графическое изображение рельефа местности. произвольно размещая В частности, можно разместить источник освещения на северной стороне, что никогда не возможно при аэрокосмосъемках.

**Методы и постановка задачи.** Для построения математической модели мы используем понятие матрицы высот рельефа. В матрице находятся значения высот, которые равномерно распределены с заданным шагом. Алгоритм построения матрицы обычно базируется на методе интерполяции поверхностей на основе численного «натяжения» и «сглаживания».

При «натяжении» элемент матрицы высот рельефа  $A$  заменяется средним значением [12]:

$$A_{i,j} = (A_{i+k,j} + A_{i,j+k} + A_{i-k,j} + A_{i,j-k})/4, \quad (1)$$

где  $k = K_{i,j}$ , т.е. значением матрицы расстояний  $K$  в интерполируемом узле с координатами  $i, j$ ;  $A_{i,j}$  – значение матрицы высот рельефа  $A$  в узле с координатами  $i, j$ .

Алгоритм интерполяции «сглаживанием» заменяет элемент матрицы  $A$  средневзвешенным значением по формуле [12]:

$$A_{i,j} = \frac{\sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{l+1} A_{k,l} + A_{i,j} \cdot (q \cdot t_{i,j} - 1)}{8 + q \cdot t_{i,j}}, \quad (2)$$

где  $q$  – коэффициент контроля гладкости интерполяции (по умолчанию его значение равно 0,5);  $t_{i,j}$  – веса, равные нулю до первого сглаживания, далее вес вычисляется по формуле:

$$t_{i,j} = (\sum_{k=i-2}^{i+2} \sum_{l=j-2}^{l+2} (A_{i,j} - A_{k,l}))^2 \quad (3)$$

Для построения регулярной матрицы предложен алгоритм, состоящий из следующих этапов: формирование опорных узлов, определение ближайших к ним точек, вычисление интерполяционного значения в узле, сохранение вычисленного значения в соответствующем элементе матрицы высот.

**Обсуждение и результаты.** Численное решение задач при конкретных исходных данных.

Входные и выходные данные организованы в виде отдельных файлов и содержат информацию одного из перечисленных ниже типов:

- параметрические данные
- исходная регулярная матрица высот рельефа местности
- результативная регулярная проинтерполированная матрица высот рельефа местности.

Для представления рельефа поверхности существует модель отображения данных в определенном формате. Формат поддержи-

вает относительно простое описание объекта как регулярного списка точек в высоте рельефа местности. Файлы устроены в виде заголовка, в котором определяются количество строк и столбцов исходной матрицы и следующего за ним списка самих элементов. Элементы – высота рельефа местности в на регулярной сетке поверхности.

В ASCII версии формата каждая вершина описывается одной числом (z-координатой).

Алгоритм построения матрицы высот базируется на интерполяции поверхности. В нем равномерно распределенные точки в трехмерном пространстве интерполируются непрерывной функцией двух независимых переменных. Для построения матрицы высот выполняются следующие этапы: формирование опорных узлов, вычисление интерполяционного значения в узле, сохранение вычисленного значения в соответствующем элементе матрицы высот.

В результирующий файл записываются построчно элементы вычисленной матрицы высот.

В случае недостаточного количества строк и столбцов или негладкости поверхности разработана программа кубической интерполяции, которая из исходной регулярной матрицы высот рассчитывает новую регулярную матрицу высот с большими размерами матрицы [13].

Для получения более гладких изображений модуль mRelfInt вычисляет интерполированную матрицу. Хорошее качество интерполяции обеспечивается, когда количество строк и столбцов интерполированной матрицы задаются кратными количеству строк и столбцов исходной матрицы.

При обращении к программе на экран выводится следующая форма головного модуля (рисунок 1).

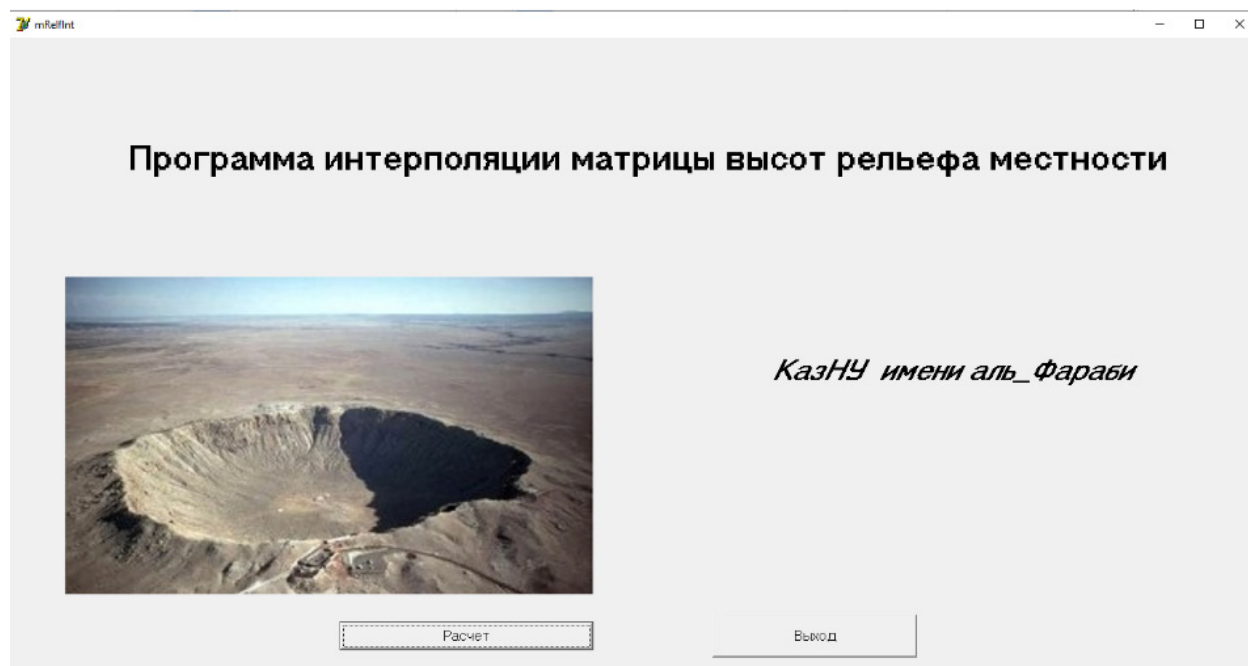


Рис. 1– Результат работы программы mRelfInt

В следующей форме программы вводятся параметрические данные, представленные на рисунке 2.

**Рис. 2 – Результат работы программы mRelfInt**

Время выполнения программы определяется размерами исходной числовой информации и объемом оперативной памяти, отведенной под задание.

Основная исходная информация – регулярная числовая матрица высот.

В состав параметрической информации входит ряд переменных:

azs – азимут источника освещенности (солнце),

zs – зенитный угол на источник освещенности,

azlrm – азимут левой рамки матрицы освещенности,

sk1 – мощность источника косого освещения,

sk2 – мощность источника вертикального освещения.

**Выводы.** Программное обеспечение для ЭВМ предназначено для интерполирования исходной матрицы высот рельефа местно-

сти с целью получения более сглаженного рельефа. Программа включена в состав комплекса обработки трехмерных изображений.

Предложенный алгоритм достаточно простой, гибкий и быстрый метод интерполяции матрицы высот рельефа. Практическая ценность комплекса обработки трехмерных изображений состоит в том, что разработанные в нем технологии и алгоритмы позволяют применять его во многих областях и решать широкий спектр прикладных задач, связанных с обработкой изображения.

Работа выполнена за счет средств программно-целевого финансирования научных исследований на 2021-2022 годы по проекту ИРН BR 10965224 «Разработка кадастра животного мира Северного Тянь-Шаня для сохранения его генетического разнообразия».

## Литература

1. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Часть 1. Математические модели //Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 2. – С.118-124.
2. Сойфер В.А. Компьютерная обработка изображений. Часть 2. Методы и алгоритмы // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 3. – С.110-121.
3. Галактионов В.А. Программные технологии синтеза реалистичных изображений. Автореферат дисс.док. физ-мат.наук, Москва, 2006. – 36 с.
4. Волобой А.Г. Исследование и разработка алгоритмов, методов и программных средств для задачи синтеза реалистичных изображений Автореферат дисс.канд.физ-мат.наук, Москва, 2005. – 28 с.
5. Климина С.И. Анализ и разработка вычислительных структур артрестирования и расчета освещенности поверхностей при генерации реалистичных изображений. Автореферат дисс. канд.техн. наук, Санкт-Петербург, 1994. – 18 с.
6. Нгуен Тхе Конг. Исследование и разработка высокопроизводительного алгоритма построения цифровых моделей рельефа. Автореферат дисс. канд.техн.наук, Москва, 2011. – 24 с.
7. Кучунова Е.В., Рулев А.В. Вычислительный алгоритм построения поверхности рельефа местности //Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 2 (14). – С.192-195.
8. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.
9. Скворцов А.В, Мирза Н.С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2006. – 168 с.
10. Хлебников В.В., Юров А.А. Моделирование реалистичных трехмерных сцен в реальном времени //Вестник ТГУ. – 2010. – том 15 (1). – С.320.
11. Хлебников В.В., Юров А.А. Моделирование реалистичных изображений объектов, используя различные алгоритмы расчета освещенности трехмерных сцен в реальном времени //Вестник ТГУ. – 2010. – том 15(2). – С.732-735.
12. Mgr. Miroslav Dressler. Art of Surface Interpolation. Kunštat. – 2009. – 80 p.
- 13.Джомартова Ш.А., Мазаков Т.Ж., Мазакова А.Т. Автоматизированная система поиска кольцевых структур // Вестник национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2016. – № 1 (59). – С.59-64.

## References

1. Soifer V.A. Computer processing of images. Part 1. Mathematical models //Soros Educational Journal. – 1996. – No. 2. – P. 118-124.
2. Soifer V.A. Computer processing of images. Part 2. Methods and algorithms //Soros Educational Journal. – 1996. – No. 3. – P. 110-121.
3. Galaktionov V.A. Software technologies for the synthesis of realistic images. Abstract of diss.doc. physics and mathematics sciences, Moscow, 2006. – 36 p.
4. Voloboy A.G. Research and development of algorithms, methods and software for the problem of synthesis of realistic images. Abstract of diss. candidate of physical and mathematical sciences, Moscow, 2005. – 28 p.

5. Klimina S.I. Analysis and development of computational structures for rendering and calculating the illumination of surfaces in the generation of realistic images. Abstract of diss.cand. techn. sciences, St. Petersburg, 1994. – 18 p.
6. Nguyen The Kong. Research and development of a high-performance algorithm for constructing digital terrain models. Abstract of diss. candidate of technical sciences, Moscow, 2011. – 24 p.
7. Kuchunova E.V., Rulev A.V. Computational algorithm for constructing the terrain surface // Educational resources and technologies. – 2016. – No. 2 (14). – P.192-195.
8. Skvortsov A.V. Delaunay triangulation and its application. – Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 2002. – 128 p.
9. Skvortsov A.V., Mirza N.S. Algorithms for constructing and analyzing triangulation. – Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 2006. – 168 p.
10. Khlebnikov V.V., Yurov A.A. Modeling of realistic three-dimensional scenes in real time // Bulletin of TSU. – 2010. – vol 15 (1). – P.320.
11. Khlebnikov V.V., Yurov A.A. Modeling of realistic images of objects using various algorithms for calculating the illumination of three-dimensional scenes in real time // Bulletin of TSU. – 2010. – vol 15(2). – P.732-735.
12. Mgr. Miroslav Dressler. Art of Surface Interpolation. Kunštat. – 2009. – 80 p.
13. Jomartova Sh.A., Mazakov T.Zh., Mazakova A.T. Automated search system for ring structures // Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan. – 2016. – No. 1 (59). – P.59-64.