

УДК 778.19

С.М. Андреев<sup>1</sup>, О.С. Бутенко<sup>1</sup>, І.О. Романенко<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського "ХАІ", Харків<sup>2</sup>Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ

## СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНДШАФТУ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Запропоновано підхід щодо використання сучасних систем комп'ютерної математики для моделювання елементів ландшафту, відтворених у цифровому виразі за картографічними даними та даними дистанційного зондування Землі. Обґрунтовано можливість застосування систем комп'ютерної математики для створення прогностичних моделей ландшафту земної поверхні, а також формування адаптивних цифрових карт геофізичних сфер.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, системи комп'ютерної математики, цифрове моделювання ландшафту земної поверхні, комп'ютерні технології формування карт геофізичних сфер.

### Вступ

У теперішній час традиційно триває та набуває всебічного розвитку запроваджена на початку ХХІ століття тенденція переходу систем дистанційного зондування Землі військового та цивільного призначення до цифрових засобів отримання, обробки та накопичення геоінформаційних даних [1–3]. Крім того, розгалужено впроваджуються комп'ютерні технології створення цифрових моделей та засобів картографічного документування геофізичних сфер Землі (і взагалі, планетарних тіл Сонячної системи).

Саме тому актуальною є задача визначення прийнятних підходів щодо використання найбільш ефективних і достатньо апробованих алгоритмічних і програмних засобів з метою створення необхідних комп'ютерних моделей для обробки та документування даних дистанційного зондування та спостереження Землі.

Зважаючи на певний досвід людства щодо створення програмних продуктів із зазначеної мети і наявність такої продукції для безпосереднього використання в інтересах України, не можна не відзначити достатньо високий рівень вартості програмного забезпечення закордонного виробництва, безперечні, цілком природні, його певні недоліки, а звідси – нагальну потребу у створенні власних національних програмних пакетів для забезпечення потреб у вирішенні завдань дистанційного зондування Землі.

У зв'язку з цим, треба найбільш уважно ставитись до вивчення можливостей сучасних систем комп'ютерної математики (СКМ): Mathematica, Maple, Derive, MathCAD, MATLAB.

Кожна з найбільш розвинених на теперішній час СКМ є унікальною, а саме - має власний інтерфейс для спілкування з користувачем, значно великі набори математичних функцій, алгоритмів та методів рішення математичних задач. Проте, незважаючи на дещо слабку "символьну математику", на теперішній час найбільш адаптованою і апробованою

для рішення задач аналізу, синтезу, моделювання систем і планування експерименту можна ґрунтовно вважати СКМ MATLAB розробки компанії MathWorks (США). До того ж ця система є доступною на ринку комп'ютерних послуг і, як буде показано нижче, для рішення певних задач трьохвимірного моделювання поверхонь, не потребує закупівлі додаткових так званих "програмних розширень MATLAB" [4 – 5].

Отже, на практиці для моделювання поверхні, що є функцією висот від планового положення точки, використовуються два основних види структур – регулярна (рівномірна прямокутна) та нерегулярна (триангуляційна) сітки (рис. 1) [6].

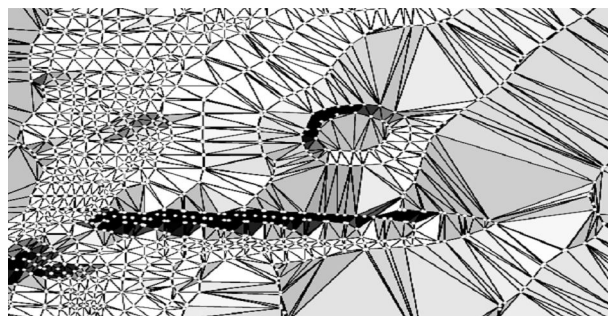


Рис. 1. Триангуляційна модель фрагменту поверхні Землі

Основним недоліком регулярної сітки є громіздкість подання даних. Реальні об'єкти для достатньо детального подання потребують значного масиву даних. Тому є необхідність обирати між точністю подання (розміром комірки) та розміром території, що охоплюється.

В триангуляційній моделі якість апроксимації значно вище, ніж у регулярній. Проте суттєво зростає складність алгоритмів обробки [6]. Тому в даній роботі розглянуто моделювання поверхні Землі із використанням рівномірної прямокутної структури, зважаючи на стабільність рівня зростання продукти-

вності обчислювальних засобів (що значно компенсує трудовитрати на моделювання), а також на можливість програмування функції розвитку (прогнозу) поведінки будь-якої точки рівномірної прямокутної моделі ландшафту.

Під час побудовування моделі рельєфу на практиці є такі види вихідних даних [6]:

1. Трьохвимірні точки на поверхні (висотні відмітки на карті).
2. Структурні лінії рельєфу — лінії, вздовж яких має місце порушена гладкість поверхні (лінії обривів, межі річок, струмки, гірські хребці, межі штучних споруд, тощо).
3. Ізолінії — лінії одного рівня, вздовж яких поверхня є гладкою.
4. Горизонтальні плато — регіони, що у них висота поверхні усюди однакова (озера).
5. Області інтересів — регіони, поза якими інформація невідома або не цікавить користувача.

На практиці модель рельєфу застосовується сумісно з іншими даними про місцевість, такими як розміщення річок, лісів, доріг, домів, тощо. Звичайно, доречно різними кольорами відзначити елементи моделі ландшафту у залежності від того, чи належать вони до дороги, поля, лісу та ін.

**Метою даної роботи** є предметна постановка задачі моделювання ландшафту, у тому числі і просторовими кривими, що їх побудову та збереження у вигляді числових масивів координат пропонується виконувати засобами СКМ MATLAB.

## Результати досліджень

Приклад побудови гірського елемента ландшафту у середовищі СКМ MATLAB у спрощеному вигляді (здіяні три структурні лінії рельєфу) наведено на рис. 2. Програмний script-код MATLAB для побудови наведених ліній має достатньо простий зміст, що не становить алгоритмічної складності у порівнянні з триангуляційними [6] моделями:

```
>> X=[0,0.5,2,2.7,3,2.5,3,3.5,4,4.5,5];
>> Y=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Z=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X1=[-10,-9,-8,-7,-5,-3,-2,-0.5,1,3,5];
>> Y1=[0,0.5,0.7,0.9,1.5,2.5,3.5,4.5,4.7,4.8,5];
>> Z1=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X2=[-7,-6.5,-5,-4.5,-3,-1.5,-0.5,0.5,1,3,5];
>> Y2=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Z2=[-50,-32,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> plot3(X,Y,Z,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2)
>> grid on .
```

У наведеному прикладі (рис. 2) кожену точку моделі, відповідно дискретизації у площині XY та квантуванню по висоті Z, може бути завдано за вимірними параметрами ландшафту, тобто мається на увазі, що вхідними даними для побудови комп'ютерного образу елемента ландшафту мають бути дані з топографічних карт, або дані безпосереднього дистанційного зондування Землі існуючими технічними засобами вимірювання параметрів рельєфу.

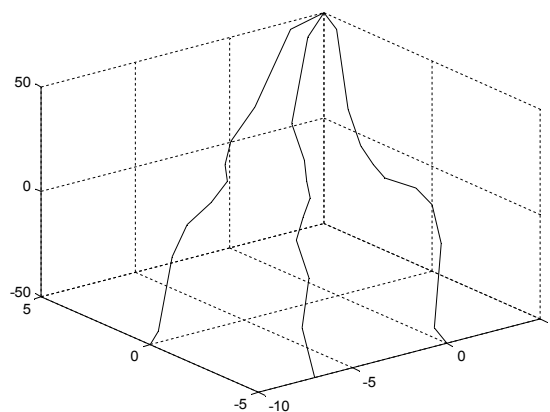


Рис. 2. Модель фрагменту гірського ландшафту, змодельована трьома структурними лініями рельєфу із використанням СКМ MATLAB

При цьому, враховуючи орієнтованість СКМ MATLAB на матричні математичні операції, вочевидь не є трудомісткою перебудова наведеного програмного коду таким чином, що кожна точка в моделі ліній рельєфу може бути задана не константою, а функцією, яка відображає певну поведінку у часі і передбачає можливість застосування прогностичних моделей.

На рис. 3 наведено приклад моделювання лінійної, а на рис. 4 – нелінійної трансформації спрощеної моделі гірського елемента ландшафту (здіяні три структурні лінії рельєфу), при цьому вочевидь простота та не великий обсяг script- та m-файлів, що їх потребує система MATLAB для реалізації даної моделі:

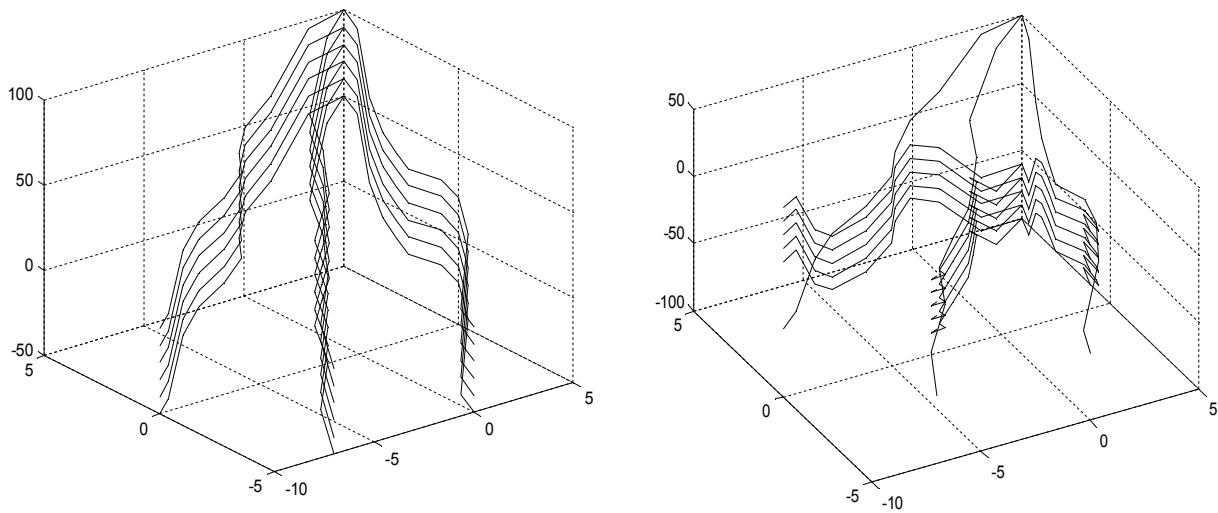
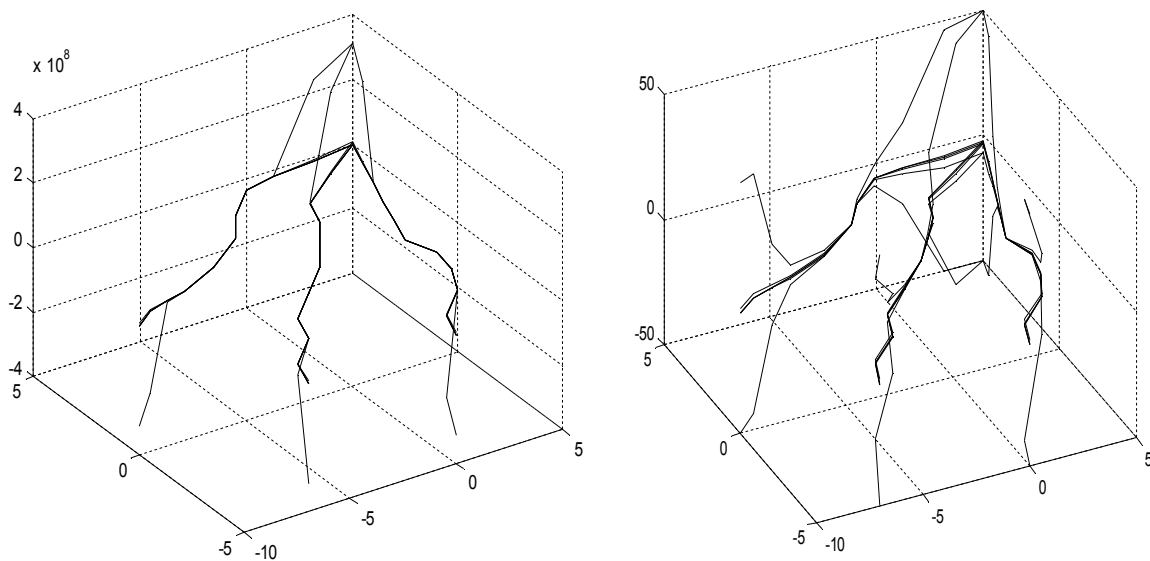
### Script-file for Command Window

```
>> X=[0,0.5,2,2.7,3,2.5,3,3.5,4,4.5,5];
>> Y=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Z=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X1=[-10,-9,-8,-7,-5,-3,-2,-0.5,1,3,5];
>> Y1=[0,0.5,0.7,0.9,1.5,2.5,3.5,4.5,4.7,4.8,5];
>> Z1=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X2=[-7,-6.5,-5,-4.5,-3,-1.5,-0.5,0.5,1,3,5]; Y2=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Y2=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5]; Z2=[-50,-32,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> Z2=[-50,-32,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> plot3(X,Y,Z,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2)
>> grid on
>> Z_2=sinoptic_2(Z,5);
>> Z1_2=sinoptic_2(Z1,5);
>> Z2_2=sinoptic_2(Z2,5);
>> hold on
>> plot3(X,Y,Z_2,X1,Y1,Z1_2,X2,Y2,Z2_2)
```

### m-file

```
function ZZ=sinoptic_2(X,n)
q=n;
for i=1:q ZZ=X+10*i; Z1(i,:)=ZZ; end;
ZZ=Z1.
```

Слід зазначити, що координати точок структурних ліній рельєфу в межах запропонованих script-file MATLAB можуть бути завдані як матриці даних (картографічних або вимірних), так і як функції, що змістовно представляють аналітичний опис ліній рельєфу, чи, навіть, опис поверхні рельєфу, тобто трьохвимірну функцію залежності квантованих за координатою Z величин висоти рельєфу від дискретно завданих величин плоских географічних координат X та Y.

Рис. 3. Багаторазова ( $5^x$ ) лінійна трансформація моделі фрагменту гірського ландшафтуРис. 4. Багаторазова ( $5^x$ ) нелінійна трансформація моделі фрагменту гірського ландшафту

Для будь-якого з описаних варіантів використання система MATLAB забезпечує можливість модельного відтворення та завданого трансформування поверхонь рельєфу. При цьому за допомогою стандартних вбудованих MATLAB-функцій можна реалізувати кольорову відмітку величин рівня висот, точкову індикацію координат будь-якої точки поверхні із використанням маніпулятора "миша", а також тонові контурні лінії проєкцій перетинів поверхні ландшафту, що моделюється (рис. 5).

На рис. 6 наведено приклади різноманітних можливих реалізацій візуальної трьохвимоірної моделі фрагменту ландшафтної поверхні із використанням СКМ MATLAB. Окремо слід зазначити, що наведена тривимірна поверхнева модель забезпечує, як і у прикладах моделей, що будуються з просторових ліній, побудову віртуального рельєфу із використанням або дискретних (квантованих) масивів даних про координати просторових точок (ліній), або функцій (якщо такі відомі, побудовані), що відтворюють (апроксимують) ландшафтні елементи.

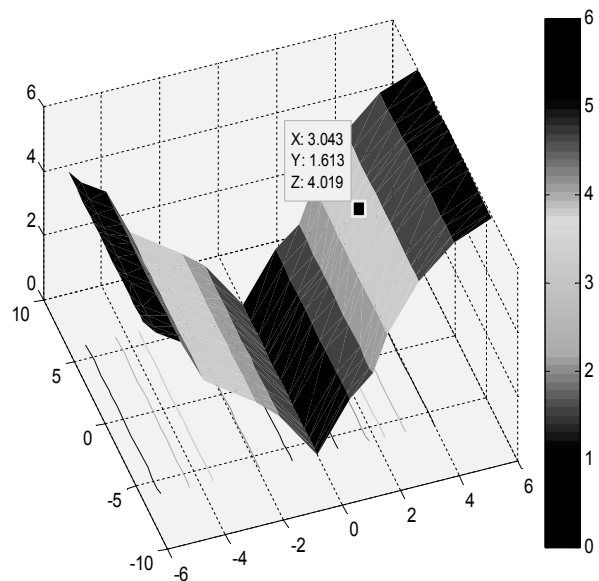


Рис. 5. Трьохвимоірний модель ландшафтної поверхні з кольоровою індикацією рівня висот та проєкцій перетинів

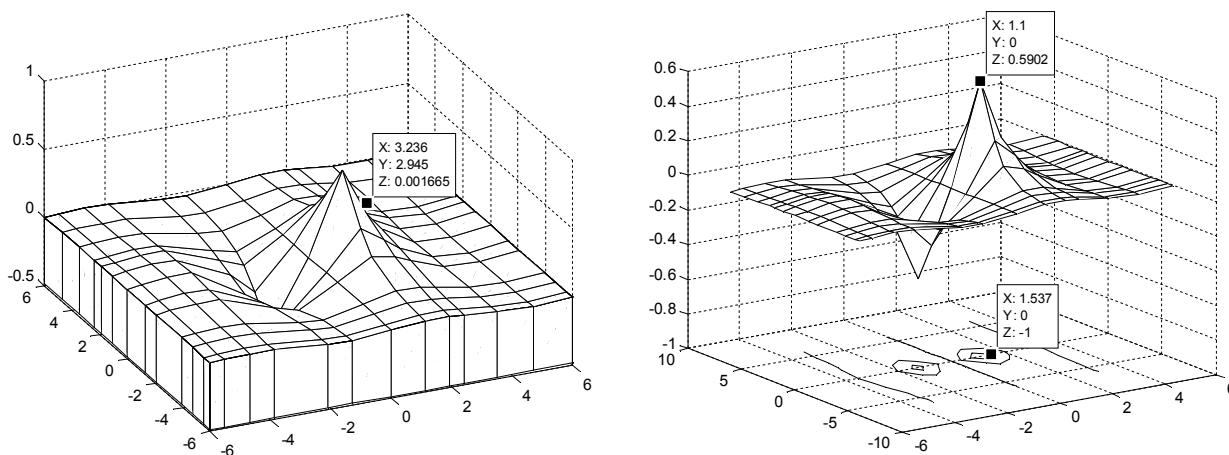


Рис. 6. Варіанти реалізації трьохвимірної моделі ландшафтної поверхні з кольоровою індикацією рівня висот і проекції перетинів та точковою індикацією координат

Отже, комплексування простих та не громіздких script-файлів MATLAB із відповідними m-файлами, що за суттю є функціями користувача (розробника) ландшафтної моделі, в цілому дає змогу моделювати геофізичні сфери Землі з урахуванням динаміки розвитку у часі.

Наприклад, script- та m-файл MATLAB-сценарію для п'яти-крокової нелінійної трансформації рельєфної моделі, наведеної на рис. 6, має достатньо економічний обсяг щодо необхідних об'ємів електронної пам'яті для зберігання та процесорних ресурсів для обчислювання:

#### Script-file for Command Window

```
>> [X,Y]=meshgrid([-6,-5.55,-4.7,-3.9,-2.1,-1.3,0,1.1,1.9,2.4,3.5,4.7,6]);
>> Z=sin(X)./(X.^2+Y.^2+0.3)
Z = 0.0039 0.0100 0.0171 0.0134 -0.0212 -0.0254 0
0.0238 0.0237 0.0161 -0.0072 -0.0171 ...
>> [Z1,Z2,Z3,Z4,Z5]=sinoptic_2_2s(Z,5)
Z1 = 9.9614 9.9003 9.8288 9.8665 10.2120 10.2536
10.0000 9.7624 9.7629 9.8394 10.0723 10.0386 ...
Z2 = 3.9807 3.9501 3.9144 3.9332 4.1060 4.1268
4.0000 3.8812 3.8814 3.9197 4.0361 4.0856 ...
Z3 = 26.9807 26.9501 26.9144 26.9332 27.1060 27.1268
27.0000 26.8812 26.8814 26.9197 27.0361 ...
Z4 = 255.9807 255.9501 255.9144 255.9332 256.1060
256.1268 256.0000 255.8812 255.8814 255.9197 ...
Z5 =
1.0e+003 *
3.1250 3.1250 3.1249 3.1249 3.1251 3.1251
3.1250 3.1249 3.1249 3.1249 3.1250 3.1251 ...
>> mesh(X,Y,Z)
>> hold on
>> mesh(X,Y,Z2)
m-file
function [Z1,Z2,Z3,Z4,Z5]=sinoptic_2_2s(X,n)
q=n;
for i=1:q-(q-1) zz1=-10.*X+10.*i.^i; end;
for i=1:q-(q-2) zz2=-5.*X+i.^i; end;
for i=1:q-(q-3) zz3=-5.*X+i.^i; end;
for i=1:q-(q-4) zz4=-5.*X+i.^i; end;
for i=1:q-(q-5) zz5=-5.*X+i.^i; end;
Z1=zz1;Z2=zz2;Z3=zz3;Z4=zz4;Z5=zz5 .
```

На рис. 7 наведено графічне відображення значених зразкових (найпростіших нелінійних п'яти-крокових) функціональних трансформацій. При цьому засоби візуалізації обчислень MATLAB до-

зволяють відтворювати іконічне зображення змінювання модельованої ландшафтної поверхні у трьох-вимірних конструкціях з контурних ліній та поверхневих площинних елементів.

## Висновки

Зрозуміло, що у разі завдання в m-файлі MATLAB відповідно складної функціональної моделі рельєфних змінювань завданого фрагменту літосфери, складність програмного коду, що визначається вимогами користувача саме до m-файлу, значно зростає і природно висуватимуться більш критичні вимоги до продуктивності обчислювальних засобів.

Тим не менш, запропонований підхід використання сучасних систем комп'ютерної математики (зокрема, MATLAB) для впровадження регулярних прямокутних структур з метою моделювання геофізичних сфер Землі завдяки простоті програмних рішень при створенні script-кодів є цілком конкурентоздатним у порівнянні із триангуляцією [6] і може використовуватись у якості платформи для створення прогностичних моделей планетарних ландшафтів і адаптивних цифрових карт геофізичних сфер.

## Список літератури

1. Андреев С.М., Жилін В.А. Особливості цифрового сканування матеріалів дистанційного зондування Землі з аналогових носіїв / С.М. Андреев, В.А. Жилін // Збірник наукових праць VII Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях". – Київ-Харків-АР Крим, 2008. – С. 129-136.
2. Андреев С.М. Особливості застосування сучасних пристроїв сканування для перенесення геоінформації з галогеніосрібних носіїв на цифрові / С.М. Андреев, В.А. Жилін // Системи управління, навігації та зв'язку. К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2008. – Вип. 3(7). – С. 41-48.
3. Андреев С.М. Застосування сучасних комп'ютерних технологій для контролю відтворення оптичної

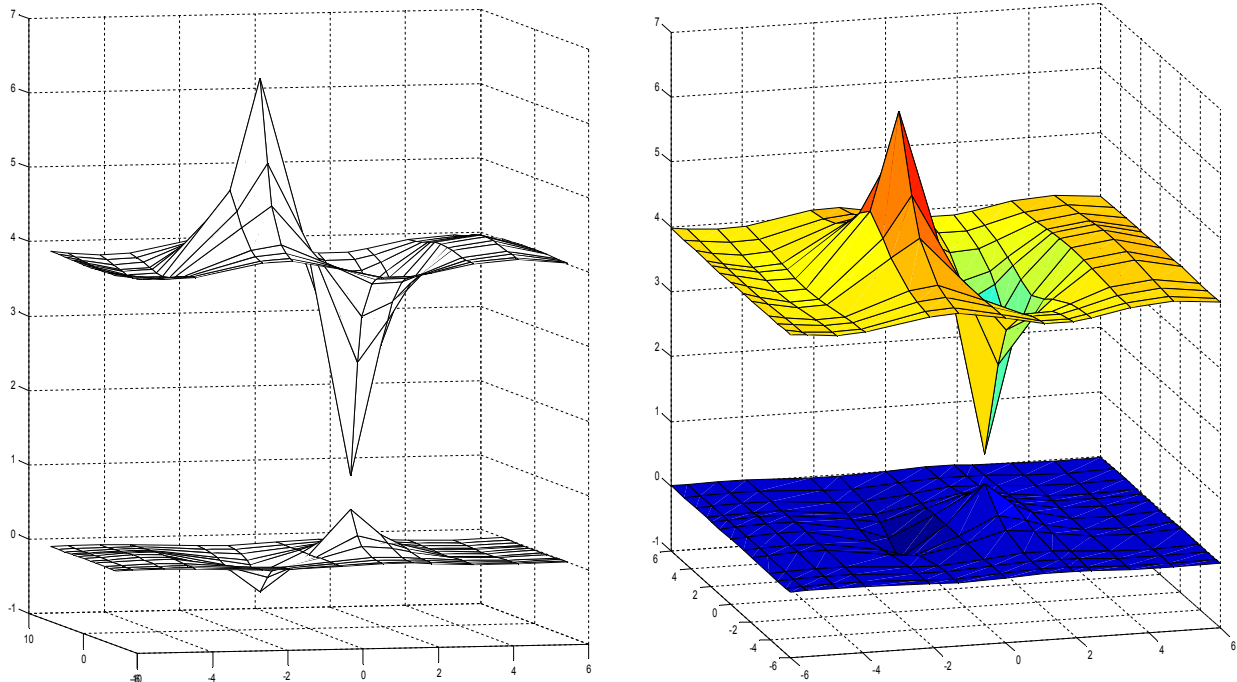


Рис. 7. Візуальна реалізація функціонально запрограмованого змінювання трьохвимірної моделі ландшафтної поверхні з кольоровою індикацією рівня висот

цільності при скануванні з галогенідосрібних носіїв даних дистанційного зондування Землі / С.М. Андреев, В.А. Жилін // Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях". – Київ-Харків-АР Крим, 2009. – С. 13-25.

4. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия "Библиотека профессионала" / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддингс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

6. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд.-во Том. ун.-та, 2002. – 128 с.

Надійшла до редколегії 30.06.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Я. Красовський, Національний аерокосмічний університет ім. М.Е. Жуковського "ХАІ", Харків.

#### СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАНДШАФТА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

С.М. Андреев, О.С. Бутенко, И.А. Романенко

Предложен подход к применению современных систем компьютерной математики для моделирования элементов ландшафта по координатам, получаемым на основе дистанционного зондирования Земли и картографирования. Обоснована возможность использования систем компьютерной математики для создания прогностических моделей ландшафта земной поверхности и адаптивных цифровых карт геофизических сфер.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, системы компьютерной математики, цифровое моделирование ландшафта земной поверхности, компьютерные технологии формирования карт геофизических сфер.

#### MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES OF DIGITAL DESIGN OF ELEMENTS OF LANDSCAPE SOFTWARE TO INFORMATION OF THE REMOTE SENSING OF EARTH

S.M. Andreev, O.S. Butenko, I.A. Romanenko

The approach to application of modern systems of computer mathematics for modelling of units of a landscape on the coordinates received on the basis of remote sounding of the Earth and mapping is offered. Possibility of usage of systems of computer mathematics for creation forecasting models of a landscape of an earth surface and adaptive digital cards of geophysical spheres is proved.

**Keywords:** remote sensing of Earth, systems of computer mathematics, digital design of landscape of earthly surface, computer technologies of forming of maps of geophysical spheres.