

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Левченко Олександр Миколайович

УДК 528.92

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ
ТА ПОВ'ЯЗАНИХ З НИМ ПРИРОДНИХ ПРОЦЕСІВ
НА ТЕРИТОРІЇ ЛЬВІВЩИНИ**

05.24.02 – фотограмметрія та картографія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних систем Львівського національного університету імені Івана Франка Міністерства освіти і науки України.

- Науковий керівник:** **Шинкаренко Георгій Андрійович**,
доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри інформаційних систем,
Львівський національний університет імені
Івана Франка.
- Офіційні опоненти:** **Бурштинська Христина Василівна**,
доктор технічних наук, професор, Національний
університет “Львівська політехніка”, м. Львів;
Карпінський Юрій Олександрович,
доктор технічних наук, Науково-дослідний
інститут геодезії і картографії, м. Київ.
- Провідна установа:** Івано-Франківський Національний технічний
університет нафти і газу Міністерства освіти і
науки України, м. Івано-Франківськ.

Захист відбудеться “ 12 ” листопада 2004 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої
Вченої ради Д 35.052.13 в Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою:
79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 518 II навчального корпусу.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного
університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, Львів-13, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий “ 5 ” жовтня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради Д 35.052.13
кандидат технічних наук

С.Г. Савчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність наукової проблематики. У сучасній прикладній науці важливу роль відіграють дослідження природних процесів, які відбуваються на реальній місцевості і пов'язані з її рельєфом. Можливість одержання просторових характеристик (висоти, нахилу, експозиції тощо) у довільній точці місцевості має велике значення для сільського господарства, будівництва доріг, розвитку сучасних методів зв'язку та багатьох інших галузей економіки. Визначення траєкторій водних потоків та їх повноти, територій водозбору у поєднанні з аналізом інших характеристик земної поверхні дає змогу своєчасно виявляти місця можливої ерозії, напрями розповсюдження забруднень, розв'язувати інші завдання, пов'язані з охороною довкілля. Для розв'язання багатьох проблем сільського господарства, зокрема такої його галузі, як рослинництво, необхідно знати кількість сонячної енергії, яку отримують протягом певного часу конкретні ділянки земної поверхні. Надзвичайно актуальним є також дослідження процесів водної ерозії ґрунтів, яка впливає на стан сільського, лісового та водного господарства, без врахування якої неможливо обійтись під час будівництва каналів і доріг, рекультивації ландшафтів, вирішення задач рекреаційного використання земель тощо.

На сучасному етапі розвитку науки та техніки, за тотального впровадження комп'ютерних технологій в усі сфери життя основним методом дослідження згаданих процесів та розв'язання породжених ними проблем стає математичне моделювання. Однак для його проведення потрібно мати адекватну модель рельєфу реальної місцевості у вигляді суцільної поверхні та володіти методами її дослідження. Така модель повинна давати змогу не лише швидко отримати необхідні числові дані, але й наочно зображати місцевість у вигляді плоскої чи об'ємної карти для перегляду, а також надавати інструментарій для дослідження цієї моделі та аналізу результатів.

У цьому контексті дисертаційна праця, присвячена питанням побудови цифрової моделі рельєфу реальної місцевості та розробки й апробації схем комплексного дослідження природних процесів, які пов'язані з рельєфом, а саме: числового дослідження гідрологічних процесів; виділення структурних ліній рельєфу та локальних вершин; обчислення кількості сонячної енергії, яку одержують ділянки земної поверхні; числового аналізу процесів поверхнево-схилової ерозії ґрунтів, – є актуальною і важливою.

Зв'язок роботи з науковими темами. Тема роботи тісно пов'язана з науковою роботою кафедри інформаційних систем Львівського національного університету імені Івана Франка. Основні результати були одержані під час виконання госпдоговірної дослідно-конструкторської роботи “Розробка інформаційної системи ведення моніторингу земельних ресурсів Львівської області”, № держреєстрації 0195U021870 (1995-1997 рр.), яка проводилась на замовлення Львівського регіонального центру моніторингу земельних ресурсів обласної Державної адміністрації, держбюджетної науково-дослідної роботи “Математичне і програмне забезпечення геоінформаційних та кадастрових систем”, № держреєстрації 0197U018071 (1997-1999 рр.), та держбюджетної науково-дослідної роботи “Математичне моделювання та інформаційні технології в проблемно-орієнтованих системах”, № держреєстрації 0100U001426 (2000-2002 рр.). Зараз дослідження продовжуються в рамках держбюджетної науково-дослідної теми “Адаптивні та стабілізовані апроксимації методу скінченних елементів для еволюційних проблем механіки, біофізики та охорони довкілля”, № держреєстрації 0103U001926 (2003-2005 рр.).

Мета дослідження. Основною метою дисертаційної роботи є розробка методики побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР) реальної місцевості у вигляді grid-поверхні та схем комплексного дослідження природних процесів, що відбуваються на рельєфі й пов'язані з ним. Для підтвердження ефективності одержаних результатів передбачені практична побудова ЦМР Львівської області та проведення числового аналізу процесів, що відбуваються на її території.

У ході виконання роботи досліджено задачі:

- одержання оцінок точності апроксимації рельєфу grid-поверхнями для різних методів та параметрів інтерполяції;
- побудови цифрової моделі рельєфу реальної місцевості на рівні регіону (області) у вигляді grid-поверхні та аналізу її морфометричних характеристик;
- числового дослідження гідрологічних процесів на побудованій ЦМР;
- виділення структурних ліній рельєфу та локальних вершин за допомогою гідрологічних методів;
- обчислення кількості сонячної енергії, одержуваної ділянками земної поверхні, з використанням цифрової моделі рельєфу;
- числового аналізу процесів поверхнево-схилової ерозії ґрунтів на ЦМР у вигляді grid-поверхні;
- швидкого переведення географічних карт із паперових носіїв у цифровий формат без використання спеціального програмного забезпечення.

Об'єктом дослідження є рельєф реальної місцевості та природні процеси, які відбуваються на ньому та пов'язані з ним: рух водних потоків, поглинання сонячної енергії земною поверхнею, поверхнево-схилова ерозія ґрунтів.

Предметом дослідження є моделювання рельєфу реальної місцевості, методика проведення комплексного аналізу природних процесів, пов'язаних з рельєфом, методи гідрологічного моделювання, аналіз процесів поглинання сонячної енергії ділянками земної поверхні та поверхнево-схилової ерозії ґрунтів.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено методику практичної побудови цифрової моделі рельєфу місцевості у вигляді grid-поверхні та створено таку модель для території Львівської області.
2. Сформульовано загальну схему проведення гідрологічних досліджень та запропоновано спосіб її використання для виділення структурних ліній рельєфу і локальних вершин на побудованій ЦМР.
3. Створено методику числового аналізу процесів поглинання сонячної енергії ділянками земної поверхні.
4. Запропоновано підхід до розв'язування задач дослідження поверхнево-схилової ерозії ґрунтів з використанням механізму grid-поверхонь.
5. Здійснено програмну реалізацію всіх запропонованих схем у картографічній системі ArcView та проведено їхнє експериментальне дослідження на території Львівщини.
6. Розроблено методику векторизації растрових зображень географічних карт засобами програм Photoshop і ArcView.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені автором загальні схеми та практичні рекомендації щодо побудови ЦМР у вигляді grid-поверхні та її використання для числового аналізу залежних від рельєфу процесів дають змогу проводити високоефективні комплексні дослідження території для потреб різних галузей економіки та охорони довкілля. Всі теоретичні напрацювання практично реалізовані у формі програмних модулів для картографічної системи ArcView і можуть бути використані для числових досліджень відповідних природних процесів на будь-яких адміністративно-територіальних утвореннях держави – від окремих сілрад до регіонів та історичних областей.

Одержані результати були впроваджені у Львівському регіональному центрі моніторингу земельних ресурсів.

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Методика побудови цифрової моделі рельєфу території регіону у вигляді grid-поверхні та створена на її основі ЦМР Львівщини.
2. Схема числового дослідження гідрологічних процесів, виділення структурних ліній рельєфу та локальних вершин з використанням ЦМР.
3. Методика числового аналізу процесів поглинання сонячної енергії ділянками земної поверхні на ЦМР.

4. Числове моделювання процесів поверхнево-схилової ерозії ґрунтів, що базується на використанні механізму grid-поверхонь.

5. Методика векторизації растрових зображень географічних карт засобами програм Photoshop і ArcView.

Особистий внесок здобувача. Розробка методики побудови цифрової моделі рельєфу у вигляді grid-поверхні та схем числового моделювання природних процесів, що залежать від рельєфу, за допомогою механізму grid-поверхонь, а також всі практичні результати роботи, зокрема програмна реалізація, побудова базової grid-поверхні рельєфу Львівщини, числові дослідження та аналіз результатів, виконані автором самостійно.

Основні положення дисертації викладені в 11 публікаціях у наукових виданнях, з яких 4 статті опубліковано в журналах, що входять до переліків фахових видань ВАК України з технічних наук [1-4], 4 статті – у Вісниках університетів [5-8], 3 тези доповідей – у збірниках тез Всеукраїнських конференцій ([9-11]), а також у 2 звітах про виконану дослідно-конструкторську роботу [12-13].

З 13 наукових праць за темою дисертації 7 опубліковані автором самостійно. У 3 працях, написаних у співавторстві з Г.А.Шинкаренком, автору належить розробка методики проведення числових досліджень, програмна реалізація, числові експерименти та аналіз результатів. У решті 3 працях автору належить все, що пов'язане з числовими дослідженнями рельєфу.

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень, виконаних у рамках дисертаційної роботи, доповідались та обговорювались на Науково-технічній конференції “Сучасні досягнення геодезії, геодинаміки та геодезичного виробництва”, Львів, 1999 р.; Сьомій Всеукраїнській науковій конференції “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”, Львів, 2000; Восьмій Всеукраїнській науковій конференції “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”, Львів, 2001; 7-й Міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”, Львів, 2002; Дев'ятій Всеукраїнській науковій конференції “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”, Львів, 2002; 4-й Міжнародній конференції “Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку”, Львів, 2003.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, семи розділів, підсумкових висновків, списку використаних джерел із 148 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 163 сторінки, робота містить 62 рисунки та 7 таблиць. Додатки на 47 сторінках містять тексти програмних модулів (скриптів), використаних у процесі числових досліджень і написаних автором на **Avenue** – мові середовища розробки ArcView.

Основний зміст роботи

У **вступі** описано актуальність досліджуваної наукової проблематики, показано зв'язок роботи з науковими темами, які виконувалися на кафедрі інформаційних систем Львівського національного університету імені Івана Франка, сформульовано мету проведених досліджень та наукову новизну одержаних результатів, визначено особистий внесок здобувача, дано інформацію про апробацію результатів роботи, а також подано структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** зроблено огляд наукової літератури з даної тематики. Зазначено, що проблема числового дослідження рельєфу та моделювання процесів, які залежать від нього, віддавна є актуальною для сучасної науки. Для створення адекватних математичних моделей рельєфу місцевості різні автори намагалися використовувати різні методи апроксимації поверхонь: метод скінченних елементів (М.Д.Горбик, С.В.Сомов, Н.Ebner, P.Reiss, H.Mann, F.Steidler та ін.); математичний апарат сплайнів (А.Г.Воротинцев, В.Н.Гуров, В.В.Зіборов, І.Г.Журкін, В.С.Коркін, R.Detering, В.А.Eckstrein, R.Franke, L.Mitas, H.Mitasova та ін.); мультиквадриковий метод (Л.Я.Лимонтов, М.В.Шульмін, Є.Я.Мітельман, М.Vencovsky та ін.); розклад функції висоти в ряди Фур'є (І.Г.Вовк, Ю.Г.Костина, К.Tempfli, В.Makarovic та ін.); метод середнього вагового та інші методи (С.Н.Сербенюк, С.М.Кошель, О.Р.Мусін,

G.M.Philip, D.F.Watson та ін.). Дуже поширеним методом побудови цифрових моделей рельєфу є інтерполяційний метод Кріге, який у літературі зустрічається також під назвами кригінг або крайгінг (kriging). Його досліджували та використовували у практичних задачах, зокрема, В.І.Аронов, Б.І.Малюк, М.Давид, В.І.Щеглов, М.Armstrong, A.Dermanis, A.B.McBratney, R.Webster, M.A.Oliver, A.G.Royle, F.L.Clausen, P.Frederiksen, G.S.Watson та ін. Особливо слід виділити праці проф. Х.В.Бурштинської та співавторів, у яких для цього використано різні методи, зроблено порівняння їхньої ефективності у вирішенні саме таких задач, проведено аналіз точності та залежності від параметрів дискретизації.

Дослідження побудованих математичних моделей рельєфу також привертає значну увагу науковців. Обчисленню крутизни та експозиції ділянок місцевості присвятили свої праці, зокрема, Х.В.Бурштинська, П.М.Зазуляк, В.Н.Петракова, В.Л.Глезер, Я.В.Голда, А.Н.Євсюков, Е.М.Бороденко, P.Divényi, B.Markus, H.B.Паро, E.Gelbman, P.A.Бабаєв, J.R.Carter, A.Górecki, G.W.Thomas, C.K.Sasowsky, D.L.Rick та ін. Проблема визначення освітленості території не так широко описана в літературі (В.А.Кузьмиचенок), а питання обчислення кількості сонячної енергії на ділянках земної поверхні до останнього часу розглядалися переважно в теоретичній площині. Важливість дослідження гідрологічних процесів на місцевості підтверджують численні наукові публікації на цю тематику (В.Л.Глезер, Я.В.Голда, Х.В.Бурштинська, І.Д.Ковальчук, М.Г.Кіт, А.А.Лопатьєв, С.П.Позняк, Г.Н.Тимушев, F.Ammaimati, B.Betti, L.Mussio, W.T.Chisholm, R.L.Collin, J.D.Flach, T.R.E.Chidley, R.Kaczynski, B.Markus та ін.). Дослідженням процесів водної ерозії ґрунтів також присвячено багато публікацій, хоча переважно теоретичних (Н.Гудзон, Н.І.Маккавєєв, Ц.Є.Мірцхулава, А.М.Трофімов, Г.І.Швебс та ін.); числовий же аналіз водної ерозії з використанням ЦМР здебільшого обмежується спрощеними частковими випадками (Я.В.Голда, П.П.Вагін, Ф.І.Хакімов, В.Н. Went та ін.).

Щодо класифікації цифрових моделей рельєфу, то з літератури їх відомо кілька. Наприклад, М.А.Овчинников поділяє ЦМР на три групи: регулярні, структурні та нерегулярні. Ю.О.Карпінський наводить дещо іншу класифікацію ЦМР, особливо наголошуючи на перевагах орографічно-триангуляційної моделі. За типом використовуваних цифрових картографічних даних усі наявні ЦМР можна класифікувати як векторні, растрові або векторно-растрові (Ю.О.Карпінський), а залежно від конкретної реалізації поділити на регулярні або нерегулярні сіткові моделі даних, мережі триангуляції, суцільні об'ємні тіла, регулярні решітки і блоки (П.В.Васильєв).

Таким чином, огляд літератури свідчить, що загальна проблематика дисертаційної роботи знаходить достатньо широке відображення у наукових публікаціях. Однак орієнтація переважної більшості праць на розв'язання окремих задач без їх комплексного аналізу робить продовження досліджень у цій галузі актуальним та практично необхідним.

У **другому розділі** розглянуто питання створення цифрової моделі рельєфу земної поверхні регіону у картографічній системі ArcView. Така модель повинна давати змогу не лише швидко отримати необхідні числові дані, але й наочно зображати місцевість у вигляді плоскої чи об'ємної карти для перегляду, а також надавати інструментарій для дослідження цієї моделі та аналізу результатів. Спеціальний додаток (розширення) Spatial Analyst програмного комплексу ArcView дає змогу використати як модель рельєфу так звані grid-поверхні, що є наборами квадратних комірок заданої величини. Grid-поверхні візуалізуються на комп'ютерній карті у вигляді тематичних шарів (тем), що дає можливість отримати наочне та інформативне зображення різнорідних картографічних даних, зокрема рельєфу та всіх його необхідних характеристик. Крім цього, у вигляді grid-поверхонь можна зображати й інші характеристики місцевості, як просторові (крутизну, експозицію, профіль тощо), так і спеціалізовані будь-якого призначення (освітленість території, ділянки водозборів, плями забруднень та інше).

Створення grid-поверхонь в ArcView відбувається шляхом інтерполяції за допомогою кількох вбудованих методів: середнього вагового (IDW), інтерполяційного методу Кріге (кригінгу), методу сплайнів та методу Trend. Аналіз результатів використання різних методів

інтерполяції на тестовій ділянці показує, що найкращі результати дає універсальний кригінг. У цій роботі використано лінійний варіант універсального кригінгу, який порівняно з квадратичним допускає менш різкі перегини рельєфу.

Для дослідження точності побудови ЦМР у вигляді grid-поверхонь з використанням лінійного універсального кригінгу було взято 3 ділянки: на рівнинній місцевості (розміри grid-поверхні – 693×755 комірок, площа – 1308 км²; кількість вхідних точок ~ 10000); на височині (493×537 комірок, 661,9 км², ~ 12000 вхідних точок); у гірській місцевості (280×305 комірок, 213,5 км², ~ 17600 вхідних точок). Розміри комірок – 50×50 м. Як вхідні дані використано оцифровані горизонталі у формі share-файлів. Переріз рельєфу становить: на пологих ділянках 10 м, в районі височини – 20 м, у горах – 40 м; середній крок сканування горизонталей – 4 мм (80 м на місцевості). Було проаналізовано лінійний універсальний кригінг з використанням для інтерполяції кожної комірки 12, 25 та 50 точок із вхідного набору, а також комбінований метод на базі триангуляції.

На підставі результатів проведених досліджень точності побудови ЦМР у вигляді grid-поверхонь зроблено висновок, що для створення grid-поверхні рельєфу на рівнинних ділянках потрібно застосовувати кригінг з використанням для інтерполяції кожної комірки 50 точок; у височинних та гірських районах достатньо брати 25 точок. Такі параметри на згаданих вхідних даних забезпечують середньоквадратичну точність ЦМР не нижче 5,5 м, в тому числі: на рівнині – 1 м ($1/10$ перерізу рельєфу), на височині – 6 м ($1/3$), та у горах – 7 м ($1/6$ перерізу висот). Дослідження також показують, що на дуже пологих рівнинних ділянках для забезпечення адекватності ЦМР реальному рельєфу необхідно використовувати додаткову вхідну інформацію у вигляді допоміжних горизонталей та характерних точок рельєфу.

Для практичної побудови ЦМР Львівської області на основі одержаних результатів було використано три тематичні шари векторного формату (у вигляді share-файлів): територія Львівщини (полігон), горизонталі (полілінії) та характерні точки. Величину комірок взято рівною 50×50 м, що відповідає точності тієї карти (масштабу 1:200000), з якої були одержані горизонталі, а також забезпечує достатньо високу точність апроксимації. Загальні розміри grid-поверхні рельєфу Львівщини становлять 4449 рядків і 4186 стовпців або 18 623 514 комірок, з яких 8 732 738 складають власне територію області, а решта участі в обчисленнях не беруть.

Отриманий з горизонталей масив вхідних точок налічує близько 750 000 об'єктів, до яких додано 490 характерних точок, що разом із розмірами grid-поверхні рельєфу потребує колосальних обчислювальних ресурсів. Тому потрібно розділити територію Львівщини на підобласті з перекриттям, створити на них окремі grid-поверхні рельєфу і лише тоді об'єднати їх в одну. Для усунення похибок апроксимації, які найбільше проявляються у місцях поєднання схилів з дуже пологими ділянками, а також для проведення у подальшому гідрологічних досліджень потрібно додатково виконати процедуру заповнення стоків. Одержану в підсумку безстокову grid-поверхню рельєфу (рис. 1) вже можна використовувати для моделювання природних процесів, що відбуваються на території Львівської області, а також для показу на комп'ютерній карті у вигляді grid-шару.

Grid-поверхню рельєфу можна використати і для побудови тривимірної моделі місцевості з потужними засобами візуалізації та аналізу даних ArcView.

У **третьому розділі** показано, як модель рельєфу у вигляді grid-поверхні дає змогу отримувати поряд із значеннями висоти у довільній точці місцевості інші просторові характеристики: крутизну, кривину, експозицію та освітленість, які відіграють важливу роль у проведенні числових досліджень багатьох задач економіки та екології.

Крутизну обчислюють на базі grid-поверхню рельєфу з використанням різницевих співвідношень. Застосувавши таку процедуру до ЦМР Львівщини, одержимо grid-поверхню крутизни, яка демонструє розподіл території області за цим параметром, який і сам становить значний інтерес для різних галузей людської діяльності, зокрема для сільського господарства. У дисертації (табл. 3.1) показані співвідношення (у %) між сумарними площами ділянок різної крутизни, одержані в результаті дослідження grid-поверхні крутизни території Львівської

області. Звідти видно, що районами з найбільшою крутизною поверхні є Сколівський та Турківський, а з найменшою – Буський та Кам'яно-Бузький.

Grid-поверхня крутизни, показуючи для кожної комірки максимальне значення нахилу, нічого не говорить про його напрям. Таку інформацію дає grid-поверхня експозиції, сформована на базі grid-поверхні рельєфу. Її значення – це напрям “найкрутішого спуску” від розглядуваної комірки, який вимірюють у градусах від півночі (північ – 0°, схід – 90°, південь – 180°, захід – 270°; якщо ж значення крутизни для якоїсь комірки рівне 0, то відповідне значення експозиції для неї буде рівне –1). Ця характеристика місцевості є досить важливою для сільського господарства, зокрема для такої його галузі, як рослинництво, оскільки дає змогу зробити оцінку кількості сонячної енергії, яку можуть отримувати земельні ділянки під угіддями. Проте цю величину можна набагато точніше оцінити за допомогою grid-поверхні освітленості, яку обчислюють на базі grid-поверхні рельєфу; аргументами тут є азимут Сонця та його висота над горизонтом, а результатом – цілочислова grid-поверхня, комірки якої мають значення $\cos \beta$, де β – кут між нормаллю до комірки та напрямком на Сонце, помножене на коефіцієнт 255. Крім того, можливість одержання цього параметра дає змогу перейти від якісних оцінок величини сонячної енергії, яку отримують ділянки реальної місцевості, до кількісних, про що йдеться у розділі 5.

Інструментарій Spatial Analyst дає змогу обчислювати також кривину поверхні, що зображає рельєф. Для цього використовують процедуру, що базується на відповідних різницевих формулах, результатом роботи якої є grid-поверхня кривини та її специфічних складових: кривини у профілі (profile curvature) та кривини у плані (planform curvature). Особливий інтерес для числових досліджень залежних від рельєфу процесів становить профільна кривина, яка фактично є (з коефіцієнтом –0.01) другою похідною від поверхні у напрямку потоку води і вказує на його прискорення або сповільнення у відповідній точці місцевості. Ця величина має велике значення для числового аналізу процесів водної ерозії ґрунтів, про що йтиметься у розділі 6.

Четвертий розділ присвячено числовим дослідженням гідрологічних процесів на місцевості. Ключову роль у цьому відіграє спеціальна grid-поверхня напрямку потоку (flow direction), яку отримують із grid-поверхні рельєфу, аналізуючи спрямування градієнта висоти. Напрямок потоку – це цілочислова grid-поверхня із значеннями комірок від 1 до 255, які вказують на напрямок найкрутішого спуску від розглядуваної комірки. Відповідність між значеннями та напрямками показана на рис. 2: наприклад, якщо найкрутіше зниження від центральної комірки grid-поверхні рельєфу йде праворуч, то значення аналогічної комірки у grid-поверхні напрямку потоку буде рівне 1, ліворуч – 16, вниз – 4 і т.д. Grid-поверхня напрямку потоку однозначно визначає траєкторію водного потоку з будь-якої комірки grid-поверхні рельєфу. Вона не є візуально інформативною, тобто її відображення на комп'ютерній карті не дає уявлення про реальні гідрологічні процеси на місцевості, однак вона є базою для проведення подальших досліджень.

Наступним кроком на цьому шляху є створення grid-поверхні акумуляції потоку (flow accumulation). Процес її генерації базується на підрахунку кількості комірок, вода з яких тече у кожен окрему комірку grid-поверхні рельєфу, з використанням для цього grid-поверхні напрямку потоку. В результаті отримують grid-поверхню, яка відображає кількість води, що протікає через кожен комірку. Її вже можна відображати у вигляді grid-шару на комп'ютерній карті для ідентифікації русел водних потоків, однак доцільніше спочатку виділити русла потрібної інтенсивності (тобто комірки, в яких акумуляція потоку більша за деяку порогову величину), перетворити їх у зручні для перегляду полілінії і лише тоді відобразити на карті. Засобами Spatial Analyst можна також визначати траєкторію руху води, починаючи з довільної точки на місцевості, що демонструє рис. 3, де світлими широкими лініями зображені обчислені траєкторії водних потоків, що йдуть з верхів'їв основних рік Львівщини, а тонкими лініями темного кольору – реальні ріки.

Аналіз показує добре накладання реальних та змодельованих потоків у гірській (південно-західна частина карти) та височинній (смуга території на південному сході)

місцевості, де рельєф має яскраво виражений характер. Потоки у районах середніх та низовинних (у межах області) течій річок Дністер і Західний Буг хоча подекуди й доволі суттєво відхиляються від реальних русел, однак загалом їх напрями і траєкторії узгоджуються. Найгірша ситуація складається у районі між річками Верещиця, Вишня та Дністер, виділеному трикутником: тут змодельовані потоки подекуди кардинально розходяться з реальними ріками. Тому у подібних місцях, де водорозділи проходять по територіях зі слабо вираженим рельєфом, для проведення гідрологічних досліджень потрібно точніше моделювати рельєф, беручи набір вхідних точок з меншим перерізом висот, аніж на інших ділянках місцевості.

Останнім етапом у наведеній узагальненій схемі гідрологічних досліджень є визначення зон водозбору (басейнів) для окремих водозбірників, у ролі яких можна використати, наприклад, grid-поверхні потоків заданої інтенсивності або русел наявних річок.

В результаті буде отримана grid-поверхня із басейнами для кожного водозбірника. Таким способом було визначено головні басейни на території Львівщини (для річок Дністер, Західний Буг, Вишня та Стир). Однак внаслідок недостатньої щільності горизонталей на рівнинній місцевості обчислений напрямок потоку на деяких ділянках (зокрема, у верхній і середній течії Верещиці та деяких інших річок) розходиться з реальним, і тому частини обчислених водозборів цих річок виявляються приналежними до інших басейнів. Найкоректнішим способом усунення подібних похибок було б, звичайно, точніше моделювання рельєфу з використання щільнішої мережі горизонталей, однак отримати додаткову вхідну інформацію не завжди можливо. Тому в ситуації, коли про мережу основних приток є картографічні дані, доцільно вчинити інакше: узяти за водозбірники не самі головні річки, а їхні об'єднання з усіма наявними притоками і визначати зони водозборів уже для них. Результати такої корекції приведені на рис. 4, причому межа між Бузьким та Дністровським басейнами проходить (як це і є насправді) через Львів.

Крім свого прямого призначення, методи гідрологічних досліджень можна використати також для глибшого дослідження рельєфу, зокрема для виділення структурних ліній, оскільки в термінах гідрології лінії тальвегів – це русла потоків, а лінії вододілів – межі басейнів водозбору. Ще одна задача, для розв'язання якої можна використати гідрологічні методи, – виділення локальних вершин рельєфу. Для цього запропоновано такий підхід: grid-поверхню рельєфу треба інвертувати, помноживши значення висоти на -1 , і одержати таку модель місцевості, де низинам відповідатимуть підвищення, руслам – хребти, а хребтам – лощовини. Локальним вершинам тут відповідатимуть внутрішні стоки, а вже виділити їх не становить особливих труднощів засобами Spatial Analyst. Однак внаслідок виконання такої процедури кількість отриманих стоків може бути надто великою (на ЦМР Львівщини вона перевищила 10 тисяч), оскільки сюди включаються всі локальні заглибини, що на реальному рельєфі відповідає місцям, які хоч трішки вивисуються над навколишньою місцевістю. Тому для одержання прийняттого результату потрібно провести певну фільтрацію, умови якої значною мірою залежать від конкретно поставленої задачі. Результати виконання однієї з багатьох можливих схем фільтрації наведені у дисертації.

У **п'ятому розділі** розглянуто задачу знаходження кількості сонячної енергії, яку отримує протягом певного часу ділянка земної поверхні. Загалом її можна розділити на кілька частин: 1) одержання аналітичних формул для визначення кількості сонячної енергії, яку отримує одинична площинка протягом дня; 2) створення grid-поверхні розподілу денної порції сонячної енергії на реальній місцевості; 3) визначення розподілу сонячної енергії протягом довшого терміну (декади, місяця); 4) обчислення кількості сонячної енергії, яку отримує конкретна ділянка місцевості протягом потрібного терміну (скажімо, вегетаційного періоду певного сорту рослин тощо).

Загальна формула для обчислення денної величини сонячної енергії одиничної площинки має вигляд:

$$E = 1800 (t_3 - t_C) s_{\Theta} \sum_{k=1}^n a_k \cos \beta(t(\theta_k)), \quad (1)$$

де s_{\odot} – сонячна постійна (енергія сонячного випромінювання за секунду на квадратний метр земної поверхні), β – кут між напрямом на джерело і нормаллю до площинки, t_c і t_3 – відповідно моменти сходу та заходу Сонця, a_k – вагові коефіцієнти, а θ_k – вузли квадратурної формули Гаусса, n – кількість вузлів, t – час між сходом та заходом Сонця.

За допомогою формул, наведених у дисертації, можна знайти всі величини із формули (1), за винятком $\cos \beta$. Задача відшукування цього значення для кожної одиничної площинки є достатньо складною, а для ділянок реальної місцевості її практично неможливо розв’язати без використання цифрової моделі рельєфу. У разі ж використання ЦМР у вигляді grid-поверхні з неї можна одержати grid-поверхню освітленості, яка фактично є дискретним (для кожної комірки) розподілом величини $\cos \beta$, помноженою на коефіцієнт 255 (про це вже йшлося у розділі 3). Для цього потрібно в будь-який момент часу знати два параметри, пов’язані із Сонцем, – його азимут та висоту над горизонтом (схилення); їх можна обчислити за допомогою формул, наведених у дисертації.

Тоді, переходячи від одиничних площинок до комірок grid-поверхні і ставлячи перед собою задачу знаходження розподілу денної величини сонячної енергії на території Львівщини, ми можемо одержати grid-поверхню цього розподілу зі значеннями комірок

$$E_g(\tau) = 1800 \frac{t_3(\tau) - t_c(\tau)}{255} s_{\odot} \sum_{k=1}^n a_k H_g(t(\theta_k)), \quad (2)$$

де H_g – значення комірок grid-поверхні освітленості, τ – день року.

Однак для практичних задач головний інтерес становить не розподіл сонячної енергії за конкретний день на всій території регіону, а кількість енергії, яку отримує певна ділянка місцевості протягом деякого часу. Для цього запропоновано такий підхід: спочатку обчислити grid-поверхню розподілу енергії за весь термін, а потім визначати кількість енергії для конкретної ділянки. Однак, якщо заданий часовий діапазон містить багато днів, прямий спосіб (порахувати розподіл енергії за кожен день потрібного терміну та просумувати одержані значення) нераціональний, і тому розглянемо іншу схему. Оскільки всі параметри, пов’язані із уявним рухом Сонця, змінюються день від дня гладко і повільно, можемо припустити, що протягом кожної декади ці зміни мають лінійний характер. Тоді для будь-якої декади будь-якого місяця достатньо двічі порахувати розподіл сонячної енергії – за третій та восьмий день (з математичного погляду це – інтерполяційні точки Гаусса для декади), а для решти днів визначати його, виходячи із згаданої лінійної залежності. Розподіл же енергії для довільного діапазону днів у декаді можна обчислити за формулою:

$$E_g^{(m-n)} = \frac{n-m+1}{5} \left(\left(8 - \frac{m+n}{2}\right) E_g^{(3)} + \left(\frac{m+n}{2} - 3\right) E_g^{(8)} \right), \quad (3)$$

де $E_g^{(3)}$ та $E_g^{(8)}$ – значення grid-поверхонь розподілу сонячної енергії за третій та восьмий день.

Тепер для визначення кількості сонячної енергії, отримуваної ділянками реальної місцевості протягом довільного терміну, необхідно: а) розділити досліджуваний проміжок часу на “стандартні” складові (місяці, декади) та “неповні” декади; б) для кожного 3 і 8 числа кожної декади сформувані grid-поверхні розподілу денної кількості сонячної енергії; в) на базі даних за 3 і 8 числа кожної декади створити grid-поверхні розподілу сонячної енергії за всі повні декади та місяці із досліджуваного проміжку, а також за “неповні” декади; в) одержати grid-поверхню розподілу кількості сонячної енергії за весь необхідний період, просумувавши значення всіх потрібних складових.

Щоб остаточно розв’язати основну задачу, тобто знайти кількість сонячної енергії, яку отримує протягом певного часу конкретна ділянка земної поверхні, достатньо виділити комірки, які належать цій ділянці, просумувати їх значення і помножити на площу комірки (оскільки всі комірки мають однакові розміри). Створені grid-поверхні розподілу сонячної енергії за “стандартні” проміжки часу можна використати для розв’язування цієї ж задачі для інших часових інтервалів.

З використанням цієї методики розв'язана конкретна задача, описана в дисертації. Рис. 5 демонструє остаточні числові дані.

Шостий розділ дисертації присвячено числовому дослідженню процесів поверхнево-схилової ерозії ґрунтів за допомогою механізму grid-поверхонь. Для демонстрації було взято одну з логіко-математичних моделей, обґрунтованих Г.І.Швебсом, яка базується (у припущенні, що схил прямокутний) на рівнянні

$$W_L = a \left((p+1)L^p I^n(L) + nL^{p+1} I^{n-1} \frac{dI(L)}{dL} \right), \quad (4)$$

де W_L – величина змиву ґрунту у поперечнику схилу на віддалі L від вододілу, I – крутизна схилу, dI/dL – профіль схилу; коефіцієнт a враховує фактори, що не залежать від рельєфу: динаміку опадів, інфільтрацію тощо; n – коефіцієнт, що залежить від породи ґрунту та використання земель; p – константа ($p \approx 0,5$).

Числове розв'язування такої задачі полягає у поділі схилу на смуги, по яких змив відбувається незалежно. Якщо ж за модель рельєфу взяти grid-поверхню, то виокремлення таких смуг зводиться до моделювання траєкторій потоків води, які фактично є сукупністю послідовних комірок. Звичайно, таке застосування формули (4) до потоків на ЦМР у вигляді grid-поверхні видається небездоганим, однак тут основне завдання полягає не стільки у практичному розв'язанні задачі ерозії, як у демонстрації переваг підходу, котрий базується на використанні механізму grid-поверхонь.

Складність числового розв'язування задачі (4) у загальній постановці для реальної місцевості очевидна. Однак усе значно спрощується, якщо скористатись механізмом grid-поверхонь: крутизну схилу в будь-якій точці місцевості одержують з grid-поверхні крутизни, а профіль схилу dI/dL – з grid-поверхні профільної кривини (див. розділ 3); довжину схилу (або відстань від вододілу) L обчислюють на базі grid-поверхні напрямку потоку (розділ 4). Величини a , p та n також неважко оформити у вигляді grid-поверхонь. Остаточна grid-поверхня ерозії $\{W_g\}$ матиме комірки зі значеннями

$$W_g = A_g \left((p+1)(L_g)^p (I_g)^{N_g} + N_g (L_g)^{p+1} (I_g)^{N_g-1} (P_g) \right), \quad (5)$$

де L_g, I_g, P_g – значення комірок grid-поверхонь довжини, крутизни та профілю схилу, відповідно, а A_g, N_g – значення комірок grid-поверхонь, які відображають розподіл величин a та n .

В останньому, **сьомому розділі** розглянуто питання перетворення географічних карт на паперових носіях у цифровий формат без спеціального програмного забезпечення. Для цього можна використати такі популярні засоби, як графічний редактор Photoshop і програмний комплекс для роботи з геоінформаційними системами ArcView.

Першим етапом у проведенні роботи з оцифрування традиційних географічних карт є сканування – переведення зображення з твердого носія в електронний образ. Параметри сканування потрібно вибирати так, щоб забезпечити достатню точність знімання, швидкість та зручність подальшої обробки зображення, і при цьому не породжувати файлів надто великих розмірів. Щодо роздільної здатності сканування, то “стандартне” значення 300 dpi дещо надмірне; як показує практика, для більшості випадків достатньо й 150 dpi. Отримані електронні зображення планшетів доцільно зберігати у форматі JPEG, який забезпечує компактні файли за достатньо високої якості.

Наступний етап – обробка планшетів графічним редактором Photoshop. Оскільки можливості ArcView як векторизатора досить обмежені, вхідними даними найкраще можуть слугувати лінії чорного кольору, що є лінійними об'єктами карти або межами потрібних областей. Тому обробка полягатиме в очищенні зображення від зайвих деталей і з'єднанні розірваних ліній. В дисертації наведена схема очищення з використанням специфічних можливостей програми Photoshop, яка дає змогу швидко та ефективно впоратися з цим завданням. Далі потрібно звести всі електронні планшети у єдине зображення карти і записати у форматі, доступному для використання в ArcView. Для цього найкраще підходить

чорно-білий TIFF-формат, який сприймається усіма версіями стандартної конфігурації ArcView.

На останньому етапі потрібно розмістити одержане зображення у потрібному місці електронної карти як растровий шар, конвертувати його у grid-шар і, нарешті, векторизувати лінійні об'єкти або обмежені ними області, використовуючи алгоритми, описані в дисертації. Таким способом була отримана електронна карта ґрунтів Львівської області, яка може бути використана для відпрацювання методики досліджень, пов'язаних з моніторингом земельних ресурсів регіону.

ВИСНОВКИ

Аналіз результатів проведених досліджень дає підстави для таких висновків.

1. Для того, щоб мати змогу проводити комплексні числові дослідження природних процесів, що відбуваються на реальній місцевості й пов'язані з її рельєфом, доцільно вибрати цифрову модель рельєфу у вигляді grid-поверхні. Проведений аналіз використання для побудови такої моделі різних методів інтерполяції показує, що найкращі результати дає лінійний універсальний кригінг.

2. Для досягнення оптимальних з точки зору точності, надійності та швидкості результатів побудови grid-поверхонь рельєфу потрібно на рівнинних ділянках застосовувати кригінг із використанням для інтерполяції кожної комірки 50 точок, а у височинних та гірських районах – кригінг на 25 точках. На наявних вхідних даних, одержаних скануванням горизонталей з карти масштабу 1:200000 з середнім кроком 4 м, ці методи забезпечують середньоквадратичну точність ЦМР у вигляді grid-поверхні з розмірами комірки 50×50 м не нижче 5,5 м, в тому числі: на рівнині – 1 м ($1/10$ перерізу рельєфу), на височині – 6 м ($1/3$), та у горах – 7 м ($1/6$). Разом з тим на дуже пологих рівнинних ділянках для забезпечення адекватності ЦМР реальному рельєфу необхідно використовувати додаткову вхідну інформацію у вигляді допоміжних горизонталей та характерних точок рельєфу.

3. В процесі створення grid-поверхонь рельєфу реальної місцевості, зокрема великих територій рівня регіону (області), потрібно опрацювати значний обсяг вхідної картографічної інформації. Тому доцільно розділити досліджувану територію на частини з перекриттям і створити для них grid-поверхні менших розмірів, з яких потім скомпонувати загальну. Для усунення похибок апроксимації, які найбільше проявляються у місцях поєднання схилів з дуже пологими ділянками, а також для проведення у подальшому гідрологічних досліджень потрібно скористатись алгоритмом заповнення стоків та формування безстокової моделі рельєфу.

4. З ЦМР у вигляді grid-поверхні можна одержати у вигляді тих же grid-поверхонь такі характеристики рельєфу, як крутизна, експозиція, освітленість, кривина тощо, та проаналізувати їх розподіл по досліджуваній території.

5. Запропонована схема гідрологічних досліджень на ЦМР у вигляді grid-поверхні дає змогу моделювати траєкторії водних потоків, обчислювати їхню інтенсивність, визначати зони водозбору для окремих потоків, їхніх фрагментів чи об'єднань. Крім цього, застосування гідрологічних методів дозволяє виділяти на моделі місцевості структурні елементи рельєфу – лінії тальвегів та вододілів, а також одержувати точки локальних вершин.

6. Використання описаної схеми знаходження кількості сонячної енергії, яку одержують ділянки земної поверхні, дає змогу проводити відповідні числові дослідження на реальній місцевості. Володіючи технікою одержання grid-поверхонь розподілу кількості сонячної енергії по всій досліджуваній області за будь-який день року, можна розв'язувати задачі про визначення сумарної енергії, яку отримує конкретна ділянка місцевості протягом довільного проміжку часу.

7. За допомогою запропонованого загального підходу, який базується на цифровій моделі рельєфу у вигляді grid-поверхні та методах її аналізу, можна проводити на наявних математичних моделях процесів водної ерозії ґрунтів числові дослідження, отримуючи з ЦМР

такі характеристики реальної місцевості (крутизну, довжину, профіль схилу тощо), які важко одержати іншим способом.

8. Описана методика векторизації зображень за допомогою графічного редактора Photoshop та програмного комплексу ArcView з розширенням Spatial Analyst дає змогу оцифровувати географічні карти, що містяться на твердих носіях, без використання спеціальних програмних засобів. Одержані таким способом електронні карти можна використовувати для відпрацювання методик проведення числових досліджень на місцевості.

Наведені схеми та методики були використані автором для проведення комплексних числових досліджень природних процесів, пов'язаних з рельєфом, на території Львівської області.

Запропоновані у цій праці методи та схеми не можуть бути реалізовані стандартними засобами ArcView – цього можна досягти лише за допомогою спеціальних програмних модулів (скриптів), написаних у середовищі ArcView з використанням мови Avenue. Такі програмні модулі були розроблені та відлагоджені автором і оформлені у вигляді розширень (extensions), що дає змогу використовувати їх для подальших числових досліджень у цій галузі.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Вагін П.П., Левченко О.М., Пука Є.О., Шинкаренко Г.А. Застосування ІС “РЕСУРС” для ґрунтових досліджень та ведення кадастру // В кн.: Сучасні досягнення геодезії, геодинаміки та геодезичного виробництва. – Львів, 1999. – С. 107-111.
2. Левченко О. Векторизація растрових зображень географічних карт засобами програм PhotoShop і ArcView // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвід. наук.-тех. збір. – Львів, 2002. – Вип. 62. – С. 116-124.
3. Левченко О., Шинкаренко Г. Знаходження розподілу денної порції сонячної енергії на території Львівщини // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Збір. наук. праць. – Львів: Ліґа-Прес, 2002. – С. 317-322.
4. Левченко О., Шинкаренко Г. Моделювання процесів поглинання сонячної енергії ділянками реальної місцевості // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвід. наук.-тех. збір. – Львів, 2003. – Вип. 63. – С. 241-245.
5. Левченко О. Створення неперервних поверхонь рельєфу у картографічній системі ArcView // Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикл. мат. та інф. – Львів, 2000. – Вип. 2. – С. 191-196.
6. Левченко О.М. Шинкаренко Г.А. Визначення величини денного накопичення сонячної енергії на ділянках реальної місцевості // Волинський математичний вісник. 2000. Вип. 7. С. 101-106.
7. Левченко О. Апроксимація рельєфу Львівщини у картографічній системі ArcView // Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикл. мат. та інф. – Львів, 2002. – Вип. 4. – С. 173-178.
8. Левченко О. Математичне моделювання гідрологічних процесів на території Львівщини // Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикл. мат. та інф. – Львів, 2002. – Вип. 5. – С. 165-173.
9. Левченко О.М. Апроксимація рельєфу Львівщини у картографічній системі Arcview // Сьома Всеукраїнська наукова конференція “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”. – Львів, 2000. – С. 58-59.
10. Левченко О.М. Математичне моделювання гідрологічних процесів на території Львівщини // Восьма Всеукраїнська наукова конференція “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”. – Львів, 2001. – С. 41-42.
11. Левченко О.М. Векторизація растрових зображень географічних карт засобами програм Photoshop і ArcView // Дев'ята Всеукраїнська наукова конференція “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики”. – Львів, 2002. – С. 80-81.
12. Математичне і програмне забезпечення геоінформаційних і кадастрових систем. Звіт про ДКР; держ. реєстр. № 0197U018071; держ. облік. № 0200U004059. – Львів, ЛНУ, 2000. – 89 с.

13. Математичне моделювання та інформаційні технології в проблемно-орієнтованих системах. Звіт про ДКР; держ. реєстр. № 0100U001426; держ. облік. № 0203U002132. – Львів, ЛНУ, 2003. – 221 с.

АНОТАЦІЯ

Левченко О.М. Комп'ютерне моделювання рельєфу та пов'язаних з ним природних процесів на території Львівщини. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.02 – фотограмметрія та картографія. – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2004.

Дисертаційна праця присвячена розробці методики побудови цифрової моделі рельєфу реальної місцевості у вигляді grid-поверхні та схем комплексного дослідження природних процесів, що відбуваються на рельєфі й пов'язані з ним, а саме: числового дослідження гідрологічних процесів; виділення структурних ліній рельєфу та локальних вершин; обчислення кількості сонячної енергії, одержуваної ділянками земної поверхні; числового аналізу процесів поверхнево-схилової ерозії ґрунтів.

Для проведення комплексних числових досліджень природних процесів, що відбуваються на реальній місцевості, вибрано цифрову модель рельєфу у вигляді grid-поверхні. Розроблено методику практичної побудови ЦМР великого регіону, яка базується на поділі розглядуваної території на підобласті з перекриттям, використанням для інтерполяції grid-поверхонь рельєфу лінійного універсального кригінгу і застосуванням процедури формування безстокової моделі рельєфу. На основі цієї методики створено ЦМР Львівської області.

Сформульовано схему проведення гідрологічних досліджень, яка дає змогу моделювати траєкторії водних потоків на місцевості, обчислювати їхню інтенсивність, визначати зони водозбору. Крім цього, описані методи можуть бути використані для виділення структурних ліній рельєфу та знаходження локальних вершин на ЦМР.

Створено методику числового аналізу процесів поглинання сонячної енергії ділянками земної поверхні, за якою можна проводити числові дослідження, пов'язані зі знаходженням кількості сонячної енергії, яку одержують ділянки реальної місцевості.

Запропоновано підхід до розв'язування задач дослідження поверхнево-схилової ерозії ґрунтів з використанням механізму grid-поверхонь. Ключову роль у ньому відіграє ЦМР у вигляді grid-поверхні, яка разом з методами її аналізу дає змогу проводити числовий аналіз процесів водної ерозії ґрунтів, надаючи для цього такі дані (довжину, крутизну, профіль схилу тощо), які важко одержати іншим способом.

Ключові слова: рельєф, цифрова модель рельєфу, grid-поверхня, геоінформаційні системи, кригінг, гідрологічне моделювання, освітленість, сонячна енергія, ерозія, цифрування карт.

АННОТАЦИЯ

Левченко О.М. Компьютерное моделирование рельефа и связанных с ним природных процессов на территории Львовщины. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.02 – фотограмметрия и картография. – Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, 2004.

Диссертационная работа посвящена разработке методики построения цифровой модели рельефа реальной местности в виде grid-поверхности и схем комплексного исследования природных процессов, происходящих на рельефе и связанных с ним, а именно: численного исследования гидрологических процессов; выделения структурных линий рельефа и локальных вершин; вычисления количества солнечной энергии, получаемой участками земной поверхности; численного анализа процессов поверхностно-склоновой эрозии почв. Рассмотрен также вопрос перевода географических карт с бумажных носителей в цифровой формат без использования специального программного обеспечения.

Для проведения комплексных численных исследований природных процессов, происходящих на реальной местности, выбрана цифровая модель рельефа в виде grid-поверхности, а в качестве инструмента взят программный комплекс ArcView с расширением Spatial Analyst. Разработана методика практического построения ЦМР большого региона, базирующаяся на разбиении рассматриваемой территории на подобласти с перекрытием, использовании для интерполяции grid-поверхностей рельефа линейного универсального кригинга и применении процедуры формирования бессточной модели рельефа для устранения погрешностей аппроксимации и возможности проводить в дальнейшем гидрологические исследования. На основании этой методики создана ЦМР Львовской области.

Сформулирована схема проведения гидрологических исследований, которая позволяет моделировать траектории водных потоков по рельефу местности, вычислять их интенсивность, определять зоны водосбора. Кроме этого, описанные методы могут быть использованы для выделения структурных линий рельефа и нахождения локальных вершин на ЦМР.

Создана методика численного анализа процессов поглощения солнечной энергии участками земной поверхности, по которой можно проводить численные исследования, связанные с нахождением количества солнечной энергии, получаемой участками реальной местности. Приведенная методика дает возможность, создав один раз grid-поверхности распределения солнечной энергии за “стандартные” промежутки времени, использовать их для решения этой же задачи для любых временных интервалов.

Предложен подход к решению задач исследования поверхностно-склоновой эрозии почв с использованием механизма grid-поверхностей. Ключевую роль в нем играет ЦМР в виде grid-поверхности, которая вместе с методами ее анализа позволяет проводить численный анализ процессов водной эрозии почв, предоставляя для этого такие данные (длину, крутизну, профиль склона и т.п.), которые тяжело получить другим способом.

Осуществлена программная реализация всех предложенных схем в картографической системе ArcView и проведено их экспериментальное исследование на территории Львовщины. Полученные результаты были внедрены во Львовском региональном центре мониторинга земельных ресурсов.

Ключевые слова: рельеф, цифровая модель рельефа, grid-поверхность, геоинформационные системы, кригинг, гидрологическое моделирование, освещенность, солнечная энергия, эрозия, оцифровка карт.

ANNOTATION

Levchenko O.M. Computer simulation of relief and related natural processes on territory of Lviv region. – Manuscript.

Thesis for attaining academic degree of candidate of technical science on the speciality 05.24.02 – photogrammetry and cartography. – National university “Lviv Polytechnic”, Lviv, 2004.

The thesis is dedicated to technique development for construction of digital elevation model of real district as grid-surface and schemes for complex research of natural processes taking place on a relief and connected to it, namely: numerical research of hydrological processes; selections of structural lines of a relief and local tops; calculations of the solar energy quantity obtained by earth surface regions; the numerical analysis of surface-slant soil erosion.

To realize the complex numerical researches of natural processes taking place in real district, the digital elevation model as grid-surface is selected. The technique for practical construction DEM of the large territory is developed. It is based on splitting of the considered territory into overlapping subregions, using the grid-surfaces of a relief of linear universal kriging for interpolation and applying the procedure of creation drainless model of a relief for approximation errors elimination and possibility to carry out the hydrological researches in the further. On basis of this technique DEM of the Lviv district is created.

The scheme for realization of hydrological researches is formulated. It allows to simulate trajectories of water streams on a relief of district, to calculate their intensity, to determine the watersheds. Besides, the described methods can be used for selection of structural lines of a relief and finding the local tops on DEM.

The technique for numerical analysis of solar energy absorption processes on earth surface regions is created. Its usage makes it possible to carry out numerical researches connected to finding the solar energy quantity obtained on regions of real district.

The approach using the mechanism of grid-surfaces is introduced for solving research tasks of surface-slant soil erosion. A key role in it plays DEM as grid-surface, which together with methods of its analysis allows to implement numerical analysis of soil ablation, giving for this purpose such data (length, steepness, slope profile etc.), which are difficult to receive in another way.

Key words: relief, digital elevation model, grid-surface, geographic information systems, kriging, hydrological modeling, irradiance, solar radiation, erosion, digitization.