

## КОМПОНЕНТНЕ ГІС-МОДЕЛЮВАННЯ СЕРЕДОВИЩА ВОДОЗБІРНИХ БАСЕЙНІВ

**Вступ.** Стаття присвячена методології й методиці геоінформаційного моделювання певних складових природного середовища водозбірних басейнів. На відміну від деяких попередніх публікацій [1–4], за ці компоненти взято не лише рельєф і гідрологічний режим. Можна стверджувати, що предмет моделювання складається з достатньо повного ряду складових докільля водозборів, а відповідна сукупність дослідницьких процедур подає *компонентне геоінформаційне моделювання середовища водозбірних басейнів*. У статті деталізовано результати дослідження, яке стосується становлення новітньої предметної галузі – *геоморфологічної інформатики*. Поступовий аналіз через геоінформаційне моделювання сукупності водозборів, які, у свою чергу, подають певну флювіальну територію як цілісну гідролого-геоморфологічну систему більшого рангу, сприятиме досягненню цілей не лише гідролого-геоморфологічних, а й, наприклад, *геоекологічних досліджень*. Припустимо, що якісь малі водозбори (субводозбори), що входять до більшої річкової системи, можуть бути в критичному чи навіть катастрофічному стані. У той самий час антропогенний вплив на інші водозбори може бути мінімальним, а трансформація їх природного середовища – незначною. Тому дуже важливо мати об'єктивну оцінку геоекологічного стану того чи іншого водозбору (субводозбору), який знаходиться в басейні більшої водної системи, і на основі цієї оцінки можна виявити ті частини басейну, де потрібно першочергове, невідкладне проведення водо- і природоохоронних заходів щодо антропогенного впливу і несприятливих екзогенних явищ. Подання поверхні водозбору в геоінформаційних моделях рельєфу і процесів на цій поверхні в моделях гідрологічного режиму спрямоване на отримання вказаної оцінки, а характеристика флювіальної території (*рельєф + гідрологічний режим + інші складові докільля водозборів*) є як змістом геоінформаційної моделі, так й *предметом компонентного моделювання водозбору*.

Мета статті – подання концепції компонентного моделювання складових докільля водозборів (насамперед його *структурно-геологічного середовища*), яка обов'язково встановлює гносеологічний зв'язок об'єкта

дослідження – гідролого-геоморфологічної системи водозбору – із предметом дослідження – флювіальною геоморфосистемою.

**Компонентне моделювання водозбірних басейнів.** Під час створення і реалізації *геоінформаційної моделі водозбору* (ГІМВ) треба враховувати, що гідролого-геоморфологічний аналіз найімовірніше продемонструє безперспективність пошуку малих водозборів, репрезентативних стосовно великого. Водночас мережа флювіального рельєфу цілком доступна для безпосереднього спостереження і завжди репрезентативна стосовно середовища свого водозбору [5]. Під час перетинання меж зони аерації потоки вологи переборюють певні бар'єри, тобто зазнають трансформації, контрольованої різними процесами. Саме складність формування як поверхневого і підповерхневого, так і руслового стоку передбачає два ступеня побудови–реалізації розподіленої гідрологічної моделі: подання, по-перше, поверхні водозбору в моделях рельєфу, по-друге – процесів на цій поверхні в моделях гідрологічного режиму басейну, наприклад, у моделях водно-балансових об'єктів. На основі низки посилань [5–8] можна стверджувати, що для виконання *повних прогнозів* розвитку несприятливих екзогенних явищ у межах ГІМВ має передбачатися комп'ютерне моделювання таких процесів: 1) поверхневий і русловий стік; 2) перехоплення опадів рослинним покривом (інтерцепція); 3) інфільтрація води в ґрунт; 4) підповерхневий і ґрунтовий стік; 5) ерозія ґрунту, перенесення і осадження суспензій поверхневим стоком; 6) перенесення з водою і подальша трансформація добрив, пестицидів і різних забруднень; 7) теплообмін ґрунту і снігового покриву з атмосферою, поширення тепла в сніговому покриві й ґрунті, замерзання і відтавання води в ґрунті, перенесення снігу заметілями, танення снігу, стік води в снігу; 8) випаровування вологи з поверхнею водою і ґрунту, поглинання вологи, поживних речовин і забруднень кореннями рослин.

Раніше ми зазначали, що метою впровадження методології просторового гідролого-геоморфологічного аналізу (ПГГА) є комплексне відтворення на ГІМВ рельєфу водозбору й особливостей гідрологічного режиму [4]. В межах компонентного моделювання водозборів, як вже підкреслювалося, має йтися також про інші компоненти природно-антропогенного середовища водозборів, а також про моделювання зв'язків між цими компонентами. Такі зв'язки об'єктивно відбиваються у процесах рельєфоутворення, розвитку ґрунтового покриву, ерозії та акумуляції твердого матеріалу, перенесенні забруднювачів. Треба особливо підкреслити, що всі ці процеси мають місце на певній *геолого-тектонічній будові* водозбору, яка, за певних обставин, також має бути предметом моделювання [9]. Моделювання інших, ніж рельєф і гідрорежим, компонентів природного середовища водозбору необхідно вважати, поряд із побудовою цифрової моделі місцевості (ЦММ)

і її доповненням масивом гідрологічних даних, суттєвими передумовами досягнення кінцевої мети розробки геоінформаційної моделі водозбору.

**Приклади моделювання геологічного середовища водозборів.** Першим із таких прикладів є розробка програмного забезпечення для моделювання так званої регіональної мережі розломів, або мережі лінеаментної тектоніки [9; 10], тобто йдеться про моделювання елементів геолого-тектонічної основи територій поширення флювіального рельєфу. Поняття регіональної мережі розломів (РМР) об'єднує сукупність розташованих з певним інтервалом на певній території мереж розломів дрібнішого рангу і різного геометричного малюнка (наприклад, пірамідальних, призматичних). Така мережа утворилася, як правило, у специфічних, регіонально обмежених умовах і, незважаючи на відмінності в характерному малюнку менших мереж (назвемо їх "локальними"), які її складають, має деяку єдину геометрично впорядковану безліч елементів – відповідну структуру. На цій підставі і під час моделювання геолого-тектонічної основи водозборів можна застосовувати методи й алгоритми структурно-геологічного аналізу.

Підґрунтям постановки задачі розробки алгоритмів і програм є такі припущення: 1) раніше розломи загалом невдало відображали як дискретні структури за двовимірними сейсмічними даними; це зумовлювало громіздкий і трудомісткий процес обробки; фактично розломи розглядали як пропуски в даних сейсмозвідки, що належать до певного стратиграфічного горизонту; 2) особливості двовимірного зображення елементів сейсмічної тектоніки не дають змоги уникати перетину розломів, і тому двовимірне їх картографування неможливе, оскільки веде до грубих помилок в інтерпретації даних; 3) через вказані причини доцільно використовувати для побудови карт стратиграфічних горизонтів тривимірні дані сейсмічного зондування після їх відповідної обробки; 4) вихідним файлом початкового введення, в якому зберігається інформація відразу після введення або безпосередньо перед пересиланням на пристрій введення має бути файл 3D (тривимірних) координат  $X, Y, Z$  виду стандартного текстового формату; цей файл можна конвертувати в інші формати (наприклад, формат бази даних якої-небудь ГІС).

У першому наближенні згадана задача зводиться до двох груп питань. У першій групі вирішення питань пов'язано із використанням різних імітаційних моделей утворення і розвитку структурно-тектонічних комплексів як генетичної основи лінеаментів. Процес зіставлення лінеаментів імітують на основі обчислення характерної форми рельєфу по регулярній сітці висот за заданим просторово-часовим режимом еволюції флювіального рельєфу. Перевірка результатів цього моделювання показала, що режим чинника флювіального рельєфу складно і неоднозначно відображається в ево-

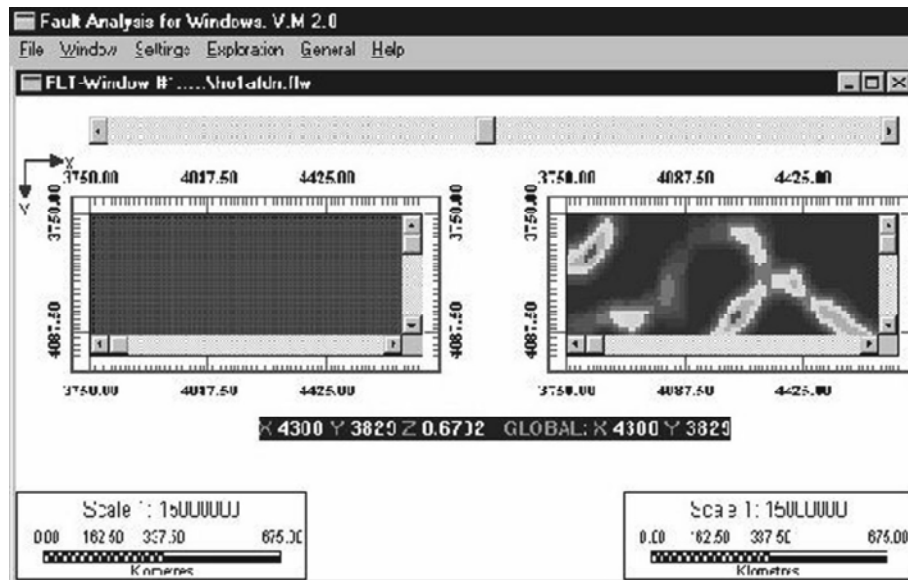


Рис. 1. Графічний інтерфейс користувача системи автоматизованого лінеаментного аналізу *M\_FAULTS*

люції і будові моделі лінеаментів. Друга група питань стосується організації збереження та обробки інформації і так чи інакше пов'язана з моделями даних – системами понять і правил подання структур даних, стану і динаміки вказаної проблемної ділянки в базі даних.

У рамках графічного інтерфейсу користувача (ГІК) розробленого пакета автоматизованого лінеаментного аналізу *M\_FAULTS* управління операціями й перегляд процедур моделювання передбачені у двох діалогових вікнах (рис. 1). Мережу розломів безпосередньо моделюють у другому модулі пакета, причому це робиться або повністю в автоматичному режимі, або в інтерактивному, коли користувач указує координати вузлів розломів на свій розсуд. Тут виділяють так званий скелет розломів – сукупність серединних ліній за тими площами, які відповідають “розривам” у сейсмічних даних, а за допомогою спеціальної опції меню *Редактор мережі розломів (Fault Editor)* користувач дістає можливість багатоваріантного моделювання як окремих груп розломів, так і всієї РМР у цілому (рис. 2).

Отже, головні етапи реалізації відповідної методики моделювання є такими: 1) введення і первинна обробка даних сейсмічного зондування; 2) створення “Бібліотеки розломів”; 3) безпосередня реалізація автоматизованого лінеаментного аналізу через визначення характеристик геолого-тектонічної основи території поширення флювіального рельєфу.

Подана методика *компонентного моделювання геолого-тектонічного середовища* була поглиблена й суттєво вдосконалена за безпосередньою участю автора у програмному забезпеченні *Dune Advisor*, розробленому на платформі САОП *Amber IQ* (див. Вступ). Вказане забезпечення використовують провідні гірничо-промислові компанії світу, а наступна ілюстрація (рис. 3) подає три

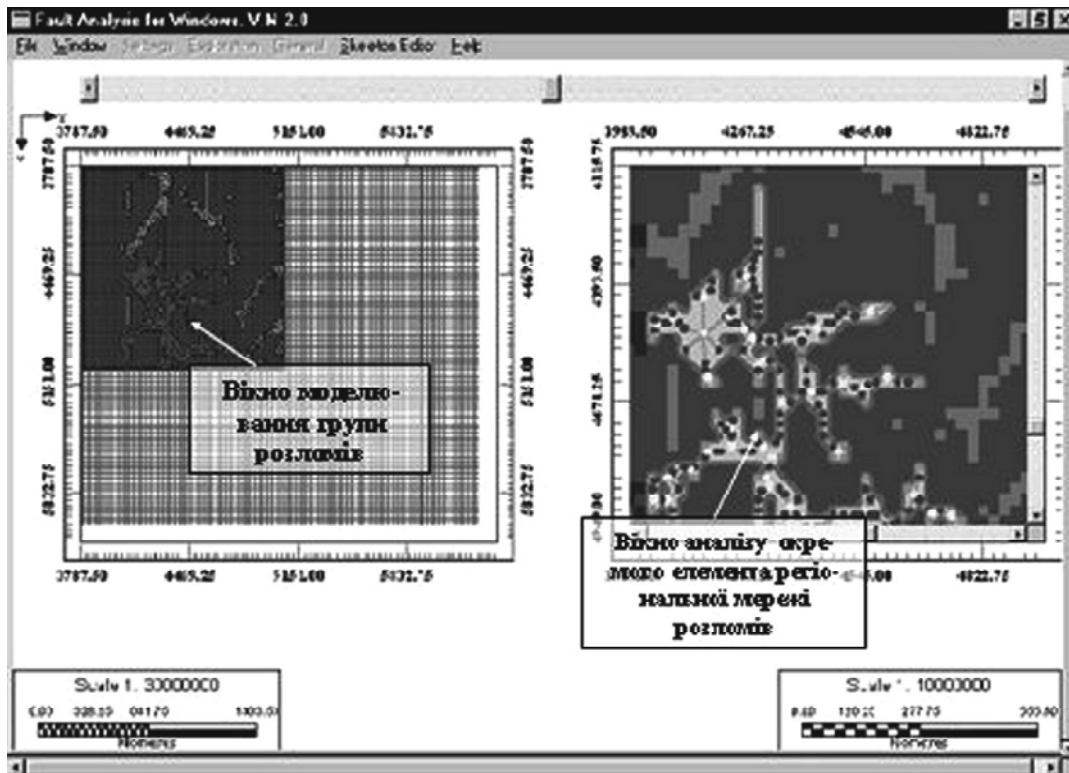


Рис. 2. Операції у вікнах, які викликають опцією меню *Редактор мережі розломів*

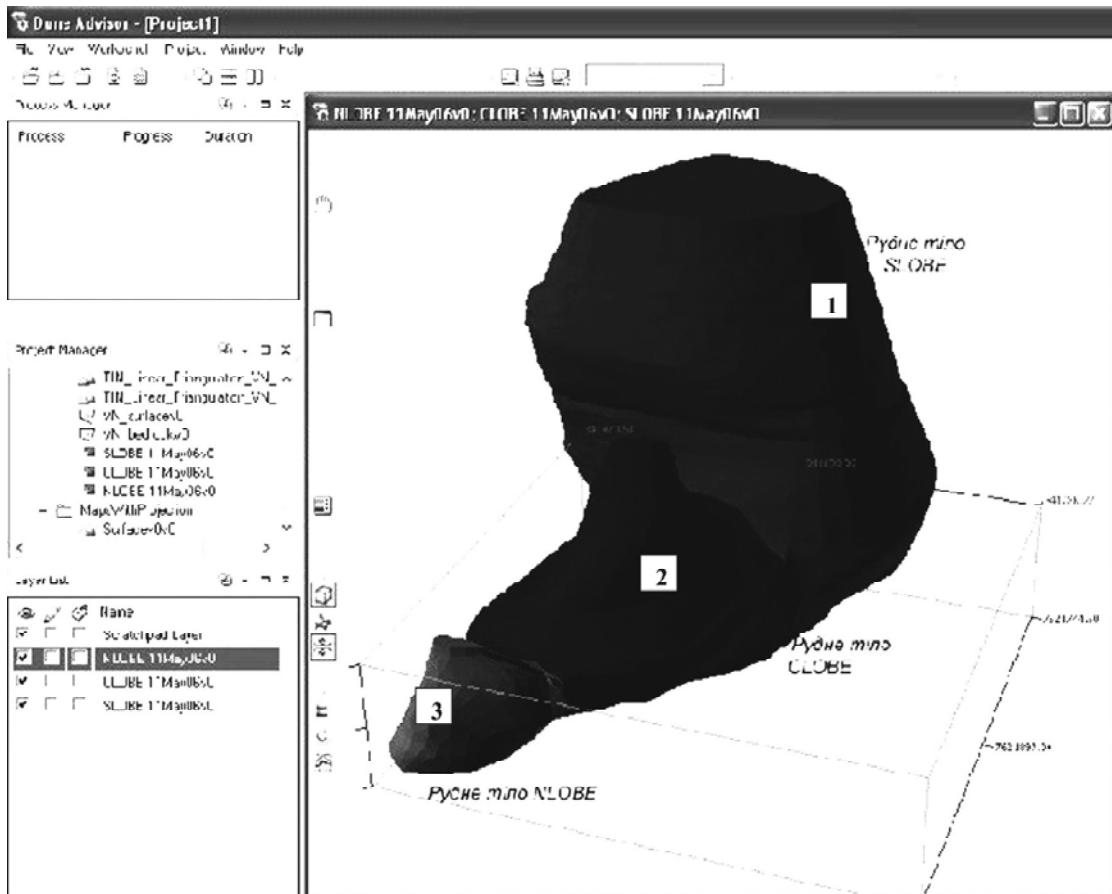


Рис. 3. Результати компонентного моделювання рудних тіл із вмістом алмазів у ПЗ *Dune Advisor*

оконтурені й змодельовані рудні тіла кімберліту (умовні імена – *NLOBE*, *CLOBE* та *SLOBE*), які принципово відрізняються питомим вмістом алмазів та вартістю їх добичі: рудне тіло 1 – найменший вміст алмазів, найбільша вартість; рудне тіло 2 – проміжні значення вмісту та вартості; рудне тіло 3 – найперспективніше, найбільший питомий вміст, найменша вартість добичі (рис. 3).

Для моделювання змін морфології викопної флювіальної поверхні ми приймали їх адекватними змінам безперервної функції з  $f(x, y, t_1)$  до  $f(x, y, t_2)$ , де часовим реперам  $t_1$  і  $t_2$  відповідали окремі часові відрізки із дискретної сукупності, які обробляв певний алгоритм. Застосовували запропонований нами *метод примітивних подій* (МПП), який вже детально викладено в одній з наших попередніх публікацій [11].

Якщо всі примітивні події між  $t_1$  і  $t_2$  записані в базі даних ГІС, зміни в морфології легко моделюють і візуалізують, оскільки зрозуміла *просторово-часова структура* поверхні  $r_t(0) = f(x, y, t)$ . Проте у переважній більшості випадків у вигляді  $f(x, y, t_1)$  і  $f(x, y, t_2)$  є лише дві “миттєві фотографії” морфології рельєфу викопної поверхні без будь-яких проміжних даних. Власне, саме це і передбачають результати роботи алгоритму, який подано у статті [11]. У такому разі необхідно навіть запроваджувати окремий блок моделювання для обчислення примітивних подій, що сталися у проміжок часу між  $t_1$  і  $t_2$ .

Метод примітивних подій застосований у наступному прикладі моделювання геологічного середовища. В нашому розпорядженні були матеріали Харківської геологорозвідувальної експедиції щодо геологічного розрізу, побудованого за результатами пошуку формувальних пісків у зоні зчленування Дніпрово-Донецької западини й Донецької складчастої споруди. Дискретний характер цих даних не давав змоги побудувати адекватну модель геологічного середовища у якийсь інший спосіб, ніж за допомогою викладеної методики моделювання кінематичних змін у рельєфі [11]. За такий рельєф можна взяти змодельовану за різними геостатистичними методами поверхню будь-якого геологічного горизонту.

За допомогою координатної прив'язки даних буріння сукупності свердловин, геостатистичного моделювання відповідних геологічних горизонтів, реалізацією в програмному забезпеченні *Dune Advisor* методу примітивних подій й подальшою візуалізацією результатів у цьому забезпеченні ми отримали тривимірне зображення (рис. 4).

**Висновки.** Метою впровадження геоінформаційного моделювання для просторового гідролого-геоморфологічного аналізу є адекватне відтворення у відповідній моделі флювіальної геоморфосистеми водозбору, насамперед рельєфу і гідрологічного режиму, а також низки інших компонентів довкілля річкового басейну, в першу чергу його *геологічного середовища*. Відтво-

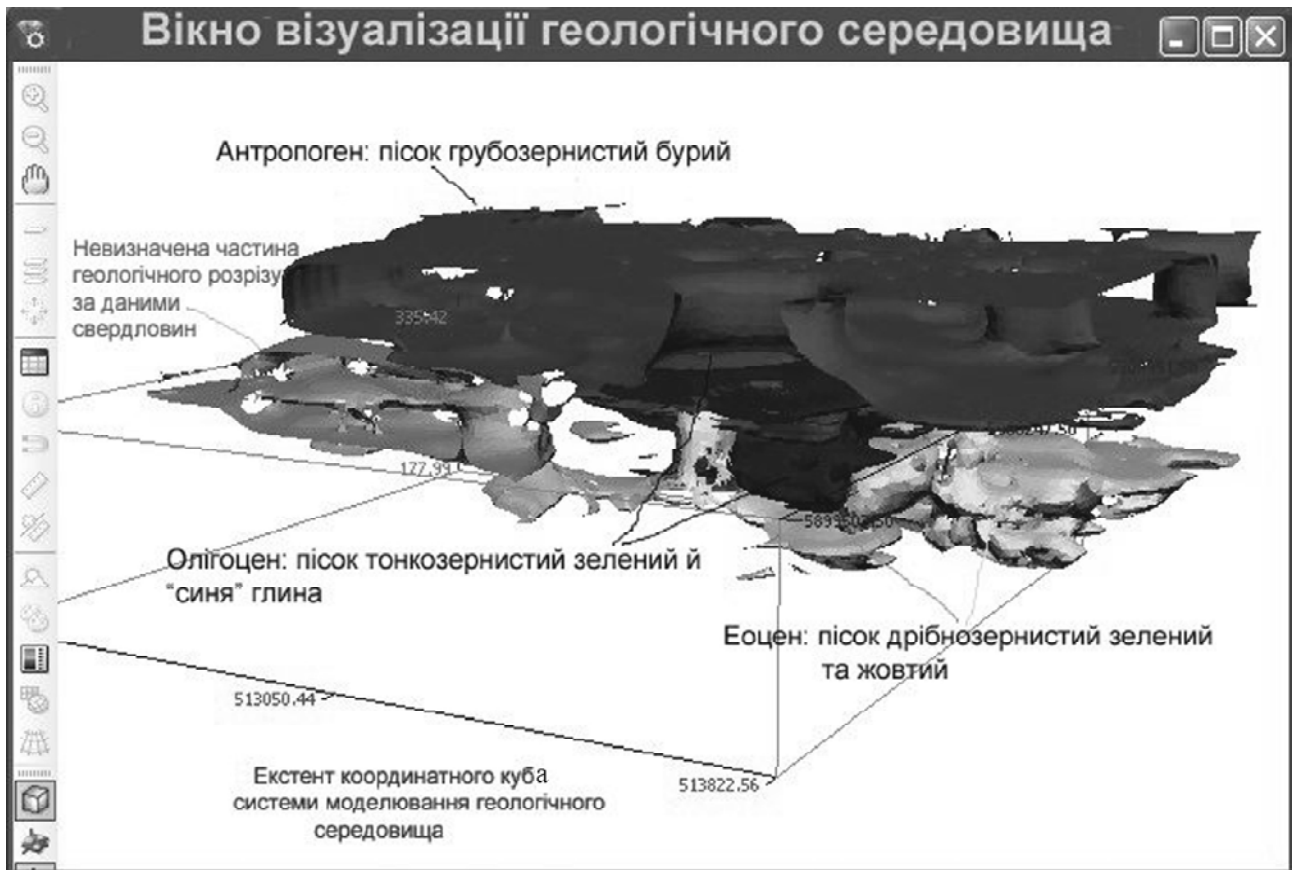


Рис. 4. Результати моделювання в програмному забезпеченні *Dune Advisor* геологічного середовища формувальних пісків у зоні зчленування Дніпрово-Донецької западини і Донецької складчастої споруди

рення цих компонентів поряд із побудовою цифрової моделі рельєфу і її доповненням гідрологічними даними є передумовою досягнення кінцевої мети розробки геоінформаційної моделі водозбору.

Візуалізація в середовищі ГІС змін морфології рельєфу викопної геологічної поверхні можна здійснювати на основі просторово-часового аналізу і визначення спочатку примітивів морфологічних елементів для певного варіанта “результуючої поверхні”, що прив’язується до часового репера відповідно одному проходженню циклу алгоритму, а потім – набору “примітивних подій”, які відбивають зміни у рельєфі поверхні палеоводозбору внаслідок процесів денудації, вивітрювання та урізання русел.

1. Костріков С.В. Про деякі особливості зв’язку флювіальних процесів на водозборах із змінами у природно-антропогенному доквіллі // Захист довкілля від антропогенного навантаження. – Харків; Кременчук, 2004. – Вип. 10 (12). – С. 57–69.
2. Костріков С.В. Атрибутивні дані для ГІС і визначення морфолого-морфометричних атрибутів флювіального рельєфу // Геоінформатика – GEOINFORMATIKA. – 2004. – № 4. – С. 70–77.
3. Костріков С.В., Воробйов Б.Н. Формалізована модель флювіального рельєфоутворення та її реалізація в програмному забезпеченні // Геоінформатика – GEOINFORMATIKA. – 2005. – № 4. – С. 45–53.

4. Костриков С.В. Гідролого-геоморфологічний підхід до дослідження водозбірної організації флювіального рельєфу // Укр. геогр. журн. – 2006. – № 3. – С. 46–54.
5. Костриков С.В. Про можливість моделювання гідрологічного режиму водозбору через характеристики мережі рельєфу // Вестн. ХНУ. Геологія, Географія, Екологія. – 2001. – № 521. – С. 175–179.
6. Maidment D.R. (editor). Arc Hydro: GIS for Water Resources. – Redlands: ESRI, 2003. – 205 p.
7. Steyart L.T. A perspective on the state of environmental simulation modeling // Environmental Modeling with GIS. Goodchild, M.R. (eds.). – London; Oxford; New York Oxford University Press, 1993. – P. 16–30.
8. Moore I. D., Grayson R. B., Ladson A. R. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications // Hydrolog. Proces. – 1991. – 5, N. 1. – P. 3–30.
9. Воробьев Б.Н., Костриков С.В., Саксонов А.В., Петренко А.Л. Система автоматизированного анализа региональной сети разломов // Вісн. ХНУ. Геологія, Географія, Екологія. – 1998. – № 402. – С. 109–113.
10. Костриков С.В., Воробьев Б.Н. Автоматизированный линеаментный анализ // Сб. науч. тр. Нац. горн. академии Украины. – 2000. – 1, № 9. – С. 113–117.
11. Костриков С.В. Реалізація просторового гідролого-геоморфологічного аналізу через моделювання морфології рельєфу // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності: Наук.-техн. журн. – 2006. – №1. – С. 41–50.