

# СУЧАСНІ ГЕОГРАФІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ДОВКІЛЛЯ

УДК 556.51+004.9

**С. В. КОСТРИКОВ**, д-р геогр. наук, проф.  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Пл. Свободи, 4, Харків, 61022  
[sergiy.kostrikov@geocloud.com.ua](mailto:sergiy.kostrikov@geocloud.com.ua)

## ПРО ДЕЯКІ КЛЮЧОВІ ПРИНЦИПИ ГІДРОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ РОБОТІ ІЗ ГЕОПРОСТОРОВИМИ ДАНИМИ

Подается загальна концепція розподіленого гідрологічного моделювання через ГІС-засоби. Обговорюються деякі особливості геоінформаційних моделей, які використовуються для відтворення гідрологічного компоненту середовища водозбірних басейнів. Подаються окремі ключові принципи розподіленого моделювання, яке відтворює гідрологічний режим водозборів геопросторові дані. Окремо обговорюється поняття геопросторових даних як первинної інформації для ГІС-моделювання. Наводяться релевантні приклади як з відомих ГІС-платформ, так і з посиланням на графічний інтерфейс користувача авторського програмного забезпечення.

**Ключові слова:** гідрологічна модель, геопросторові дані, гідрологічний режим водозбору, водозбірний басейн, паводок, повень, цифрова модель, рельєф, місцевість, геоінформаційна модель

### **Kostrikov S. V. ON SOME KEY PRINCIPLES HYDROLOGICAL SIMULATION TO WORK WITH GEOSPATIAL INFORMATION**

The paper represents the general concept of the watershed distributed models. Some fundamental peculiarities of the GIS-models for watershed hydrology have been discussed as well as key issues relevant to the distributed hydrological modeling done. In addition the geospatial data concept has been outlined in details, since this data accepted as the initial data sources for the GIS-modeling in the relevant domain. The paper has given some relevant examples from both well-known GIS, and author's original software.

**Key words:** a distributed hydrological model, geospatial data, watershed hydrology, watershed, spring and summer floods, digital elevation model, geoinformation model of a watershed

### **Костриков С. В. О НЕКОТОРЫХ КЛЮЧЕВЫЕ ПРИНЦИПАХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ С ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ**

Представлена общая концепция распределенного гидрологического моделирования через средства ГИС. Обсуждаются некоторые особенности тех геоинформационных моделей, которые используются для моделирования гидрологического компонента среды водосборных бассейнов. Также представлены отдельные фундаментальные принципы распределенного моделирования, которое воссоздает гидрологический режим водосборов через геопространственные данные. Отдельно обсуждается дефиниция геопространственных данных как первичной информации для моделирования в ГИС. Приводятся соответствующие как и из известных ГИС-платформ, так и со ссылкой на графический интерфейс пользователя авторского программного обеспечения.

**Ключевые слова:** гидрологическая модель, геопространственные данные, гидрологический режим водосборов, водосборный бассейн, паводок, наводнения, цифровая модель рельефа, цифровая модель местности, геоинформационная модель водосбора

### **Вступ**

Гідрологічне моделювання режиму яружно-балкових і річкових систем може бути значно полегшено через засоби геоінформаційних платформ і технологій, однак, зрозуміло, лише за умовою їх адекватного застосування [1, 2]. Перш за все, йдеться про обробку первинних даних, інтерпретацію результатів роботи модулів моделювання, заключно

візуалізацію отриманої територіальної структури розподілу особливостей гідрологічного режиму. Графічний інтерфейс користувача (ГІК) відповідних ГІС-платформи та модуля гідрологічного моделювання має забезпечувати фахівцю-гідрологу обмежений, однак логічний доступ до усіх функціональних можливостей даного програмного забезпечення, тобто дозволити такому фахівцю бути скон-

центрованим саме на впровадженні стандартних або оригінально сконструйованих гідрологічних моделей, а не на застосуванні наявних ГІС-засобів взагалі.

Вже доводилося, яким чином сучасний прогрес в галузі обчислювальної техніки і зростаюча доступність відповідних даних уможливили досить точний опис практично всіх характеристик водозбірної басейну при моделюванні гідролого-геоморфологічного відгуку останнього на такі екстремальні метеорологічні явища як весняне повіддя або літній дощовий паводок низькопроцентного ступеня забезпеченості [3].

Рух води крізь водозбір здійснюється через поверхневий стік, рух у насичених та ненасичених ґрунтах та течію вниз по руслах річок та балок. Русловий стік, переважним чином, є функцією трьох таких факторів: наявного обсягу води, величини схилу і показника шорсткості підстильної поверхні. Геоінформаційні моделі щодо відтворення гідрологічного компонента середовища водозборів мають прогнозувати:

- 1) регулярні витрати води у руслах та пікові витрати від весняних повеней та літніх дощових паводків;
- 2) глибини у зонах затоплення від повеней та паводків;
- 3) здатність руслового потоку до розмиву поверхні, що підстилає;
- 4) транспортуючу здатність руслового потоку щодо твердого матеріалу.

Взагалі більшість методів розрахунку й прогнозу екстремального яружно-балкового та річкового стоку ґрунтується на наступних припущеннях щодо механізмів його формування [4], із яких і треба виходити при моделюванні гідрографа стоку:

- 1) головна маса води надходить у річкове русло з поверхні водозбору;
- 2) схиловий стік починається лише після того, як інтенсивність опадів (надходження води на поверхню водозбору) перевищить інтенсивність поверхневої інфільтрації;
- 3) схиловий стік охоплює всю поверхню водозбору, і рух води відбувається суцільним шаром.

Однак, також вже неодноразово доводилося, що час релаксації геоморфологічного

компонента системи водозбірної басейну (морфології поверхні водозбору і мережі рельєфу) буде значно більшим, ніж відповідний період релаксації її гідрологічного компонента (поверхневого та руслового стоку) [5, 6]. Останнє є правомірним, перш за все, для флювіальних регіонів з розвинутою водноерозійною морфоскульптурою рельєфу. Таким чином, результат матриці гідрологічного стоку – мережа рельєфу буде відображати скоріше особливості взаємодії морфології і гідрологічного режиму водозбору у минулому, аніж тепер.

На підставі всього цього можливо створення особливо точних корегувальних коефіцієнтів для розподілених гідрологічних моделей річкових басейнів. У такому разі розподілені гідрологічні моделі (РГМ) дозволятимуть робити опис просторової варіації в характеристиках водозбору і, наприклад, в характеристиках весняного або зливого стоку в залежності від визначеного шаблону моделі та її конфігурації. Також не існуватиме ніякого розходження між рівнем інтеграції параметрів моделі та типу комп'ютерного інтерфейсу, необхідного для реалізації її специфічного варіанта. Деякі РГМ-моделі використовують спеціалізовані бази даних, у той час як інші звертаються до стандартизованих баз. В останні десятиріччя супроти застосування громіздких емпіричних моделей, що включали дані по детальних гідрологічних вимірах крізь всю площу водозбору, але були прив'язані тільки до одного, хоч і масштабного процесу чи явища, все більша перевага стала віддаватися тим моделям, що базуються на просторово розподілених даних, які, в свою чергу, відбивають взаємозв'язок багатьох, але у певних випадках – незначного масштабу, процесів [7; 8].

**Метою роботи** є подання деяких ключових принципів розподіленого моделювання, яке відтворює різномасштабні процеси та явища гідрологічного режиму водозборів, причому відтворює їх – саме через геопросторові дані. Останні ж складають основу вхідного інформаційного забезпечення ГІС-платформ.

### *Головні типи розподілених гідрологічних моделей*

Першим кроком в комплексній процедурі впровадження розподіленого гідрологічного моделювання має бути створення проєк-

ту функціональності та інтерфейсу модуля-аплікації геоінформаційної системи. Подібний модуль-аплікація є програмним алгорит-

мом (чи групою алгоритмів) + інтерфейс, які генерують введення інформації, що необхідна для моделювання, але не виконують таке моделювання безпосередньо. Додатковим ГІС-компонентом, що реалізує гідрологічне моделювання, і є власно розподілена гідрологічна модель, яка може бути визначена як набір тих програмних алгоритмів, котрі виконують гідрологічне моделювання на підставі розгляду водозбору як сукупності субводозборів.

Розробка РГМ у варіантах щодо екстремальних гідрологічних явищ весняних повеней і літніх дощових паводків та створення проекту гідрологічного модуля-аплікації ГІС – є двома складовими вказаної вище комплексної процедури впровадження розподіленого гідрологічного моделювання.

Процедура маршрутизації стоку є базовим кроком розробки розподіленої моделі максимальних руслових витрат. Ця процедура безпосередньо генерує три шари даних:

1) топографічну поверхню із штучно заповненими зниженнями – «порожжинами», які відбивають, насамперед, помилки у первинних даних;

2) шар даних, який відображує напрямки поверхневого стоку для кожної чарунки регулярної матриці висот, яка подає топографічну поверхню;

3) шар даних щодо значення акумуляції стоку для кожної чарунки. Далі використовуються поняття «моментального геоморфологічного гідрографа» (МГГ) [9], яке характеризує миттєвий розподіл рельєфоутворюючих (низької забезпеченості) витрат води по поверхні водозбору. Оскільки найбільш значущий вплив гідрологічного режиму на геоморфологічні процеси спостерігається протягом водопілля, то головні характеристики гідрографа водопілля (величини максимальних витрат у період підняття води –  $Q_{MB}$  та тривалість цього періоду –  $T_{MB}$ ) повинні розглядатися як сукупність характеристик МГГ. Обидві характеристики ( $Q_{MB}$ ,  $T_{MB}$ ) і використовуються при маршрутизації стоку по топографічному шару геоінформаційної моделі водозбору.

При розрахунку екстремального стоку модуль-аплікація ГІС має оперувати не тільки із даними про максимальні витрати від потаплих вод, але і із даними про зливові максимуми, оскільки на значних територіях України максимальні витрати формуються саме від злив і дощів. У кожному із двох вказаних випадків має використовуватися окрема РГМ. Вхідні параметри РГМ максимумів від пота-

плих вод фізично визначаються групою метеорологічних факторів. Однак, приймається до уваги посилення на те, що морфометричні характеристики басейну і русла, зокрема, розвиток мережі рельєфу реально впливають на весняні максимуми [10, 11].

Головним вихідним параметром другої комп'ютерної РГМ – максимумів від літніх паводків – є показник руслових витрат ( $Q$ ,  $m^3/сек$ ) 1-2% забезпеченості ( $p$ ) для певної точки поперечного перерізу (створу) річища. Тобто, саме такий параметр, як і в РГМ витрат від весняних повеней. В РГМ руслових витрат від дощових злив таким засобом враховуються параметри тієї складової системи водозбору, яка відображається морфолого-морфометричними характеристиками рельєфу. Після вирішення алгоритмічних задач моделювання за суттю, для реалізації обох РГМ має бути запропоноване середовище багаторівневого інтерфейсу програмного забезпечення для розрахунків безпосередньо по субводозборах річкового басейну. Такий інтерфейс має передбачати введення всіх необхідних вхідних параметрів кожної із розподілених гідрологічних моделей.

Із широким застосуванням ГІС-технологій в гідрологічному моделюванні виникло достатньо гостре питання: будь-які або лише деякі із, так би мовити, «ортодоксальних» гідрологічних моделей мають та можуть бути впроваджені через ГІС-засоби? При спробі відповіді на подібне питання, поперше, виявляється, що саме моделювання гідрологічного компоненту географічного ландшафту може у порівнянні статися найбільш громіздким і таким, яке потребує значних обчислювальних ресурсів, а, по-друге – далеко не всі із класичних теоретичних моделей гідрологічного режиму водозбірних басейнів можуть бути переведені у практичну площину для впровадження через певну геоінформаційну платформу. Обидві вказані обставини вкрай необхідно приймати до уваги при впровадженні ключових принципів гідрологічного моделювання при роботі із геопросторовими даними.

В попередніх публікаціях автором доводилося, що одними із найбільш ефективних модельних конструкцій щодо впровадження їх через геоінформаційне моделювання можуть бути вже згадані вище РГМ [3, 12]. Також вже підкреслювали вище, що в рамках подібної моделі припускається, що рух води крізь водозбірний басейн здійснюється через

поверхневий стік, рух у насичених та ненасичених ґрунтах та течію вниз по руслах річок та балок, а русловий стік, переважним чином, приймається функцією трьох наступних факторів: наявного обсягу води, величини схилу і показника шорсткості поверхні, що підстилає.

Відповідно вказаного, серед вхідних параметрів розподілених моделей мають бути: шорсткість поверхні, яка підстилає, і гідравлічний показник відносного опору потоку; фізичний показник кількості руху води; показник градієнта схилів по території водозбору; глибини постійних і тимчасових русел; характеристики ґрунтів.

Більшість сучасних РГМ фактично є лише спрощеними моделями осередненого руслового стоку, і останні в повній мірі не враховують складні динамічні характеристики проходження як повеней так і паводків. У

### ***Деякі принципи і загальні проблеми гідрологічного моделювання при роботі із геопросторовими даними***

Розподілені гідрологічні моделі в останні два десятиріччя як правило впроваджуються саме через *геопросторові дані* в рамках або цифрових моделей рельєфу (ЦМР), або цифрових моделей місцевості (ЦММ які є не одно і те ж, що ЦМР), або в рамках геоінформаційних моделей рельєфу водозбору (ГІМВ). Через відповідно ЦМР, ЦММ або через ГІМВ попередньо впроваджується дискретизація розподіленої гідрологічної моделі від *топорівня – рівня великого водозбору* до *мезорівня – рівня малих субводозборів*, і далі до *мікрорівня – схилів* або навіть до *рівня окремого русла*. Таким чином, геопросторові дані в гідрологічному моделюванні не можуть впроваджуватися інакше, а ніж через *модельну послідовність ЦМР ⇔ ЦММ ⇔ ГІМВ*. Це складає *перший ключовий принцип гідрологічного моделювання* при роботі із геопросторовими даними.

*Другим таким принципом* є впровадження гідрологічного моделювання саме через *гідрологічні інформаційні системи (ГідІС)*, дефініцію яких автор статті тут вводить вперше у вітчизняних наукових публікаціях. З точки зору традиційної оцінки водних ресурсів визначення «дані щодо водних ресурсів» (ДВР) завжди переважно означало інформацію про ряди гідрологічних спостережень, які мали обов'язкову прив'язку до певної часової шкали виміру. Певні предметні дані у цьому відношенні належали до спостережень, на-

загальному випадку такі характеристики приблизно враховуються відомим рівнянням Сен-Венана, відповідно якому відкрите русло завжди впроваджує таку швидкість розповсюдження хвилі повені (паводку), що є пропорційною квадратному кореню із глибини. Однак, все більш свідочть наводиться щодо того, що так звані крайові ефекти, які мають місце у гідрологічному середовищі русла, переважають ефект послаблення певних хвиль повені по мірі проходження часу, що і описується рівнянням Сен-Венана. Екстремальні руслові витрати які формують такі хвилі, саме і призводять до прориву дамб водосховищ або до розвитку зсувних процесів у річкових долинах. Зрозуміло, руслові витрати, що відповідають формуванню саме таких хвиль мають у першу чергу вивчатися через РГМ.

приклад, руслових витрат, шару опадів, якості води, певних кліматичних феноменів. По мірі використання геоінформаційних систем предметний зміст ДВР дещо змінився – сама концепція таких даних стала значно більш ширшою, перш за все, за рахунок того, що ДВР зараз включають ті ж саме геопросторові дані, які описують гідрологічні і гідрографічні риси природно-антропогенного ландшафту.

У вказаному відношенні ГідІС можна описувати як *програмно-апаратний комплекс, який обробляє певну синтетичну сукупність гідрологічних даних*. Остання складається як із серій часових даних гідрологічних спостережень, так і з геопросторових даних, при цьому обидва цих типи даних підтримують гідрологічний аналіз, моделювання й прийняття рішень. Доцільно вважати, що існує певний синергетичний зв'язок між геопросторовими даними і часовими серіями гідрологічних спостережень, яку до останнього часу – до часу застосування ГІС-платформ – було достатньо важко виявити, оскільки, як правило, геопросторові дані і часові серії гідрологічних спостережень (наприклад, екстремальні руслові витрати) зберігалися в різних форматах та в різних архівних середовищах.

Тут слід окремо відмітити, що перше оптимальне рішення щодо гармонічного поєднання двох вказаних типів даних було, на нашу думку, запропоновано найбільш відо-

мою компанією із розробки програмного забезпечення ГІС – фірмою ESRI. Йдеться про зовні простий, однак системно структурований засіб поєднання часових серій гідрологічних спостережень із геопросторовими даними, які прив'язані до місцеположень, де вказані спостереження були зроблені. Це було зроблено в рамках єдиної інформаційної системи *ArcHydro*, що, будучи частиною повноформатної ГІС-платформи *ArcGIS*, фактично складає прообраз ГідІС, про яку йдеться вище. Структура ГідІС *ArcGIS+ArcHydro* полягає у системному поєднанні геопросторових даних із даними часових серій гідрологічних спостережень з подальшою побудовою карт послідовної зміни у часі гідрологічних подій та явищ [13]. Між іншим, гідрологічна інформаційна система *ArcGIS+ArcHydro* була імплементована для всієї континентальної частини Сполучених Штатів Америки як ГідІС *Arc Hydro USA*. База геоданих для гідрологічного моделювання щодо будь-якої частини США включає більше 8 тисяч гідрологічних

постів спостережень, з яких щоденні пікові та середні значення руслових витрат щоденно записуються в єдину базу гідрологічних геоданих (рис. 1) [13].

Незважаючи на всі успіхи застосування в сучасному гідрологічному моделюванні геопросторових даних та ГідІС і створення ефективних національних, регіональних та локальних сховищ даних, у вказаному відношенні залишається достатньо багато проблем, певну частину яких можна вирішити саме через розподілене гідрологічне моделювання.

Вважається доцільним перелічити тут вказані проблеми у тезовому вигляді:

- найбільш суттєвим для гідролога є визначити особливості середовища водного потоку та його течію через географічний ландшафт у просторі та часі; тоді яким часові серії гідрологічних спостережень за, наприклад, величиною руслових витрат та якістю води мають бути інтегровані із геопросторовими даними і, відповідно, адекватно описувати гідрологі-

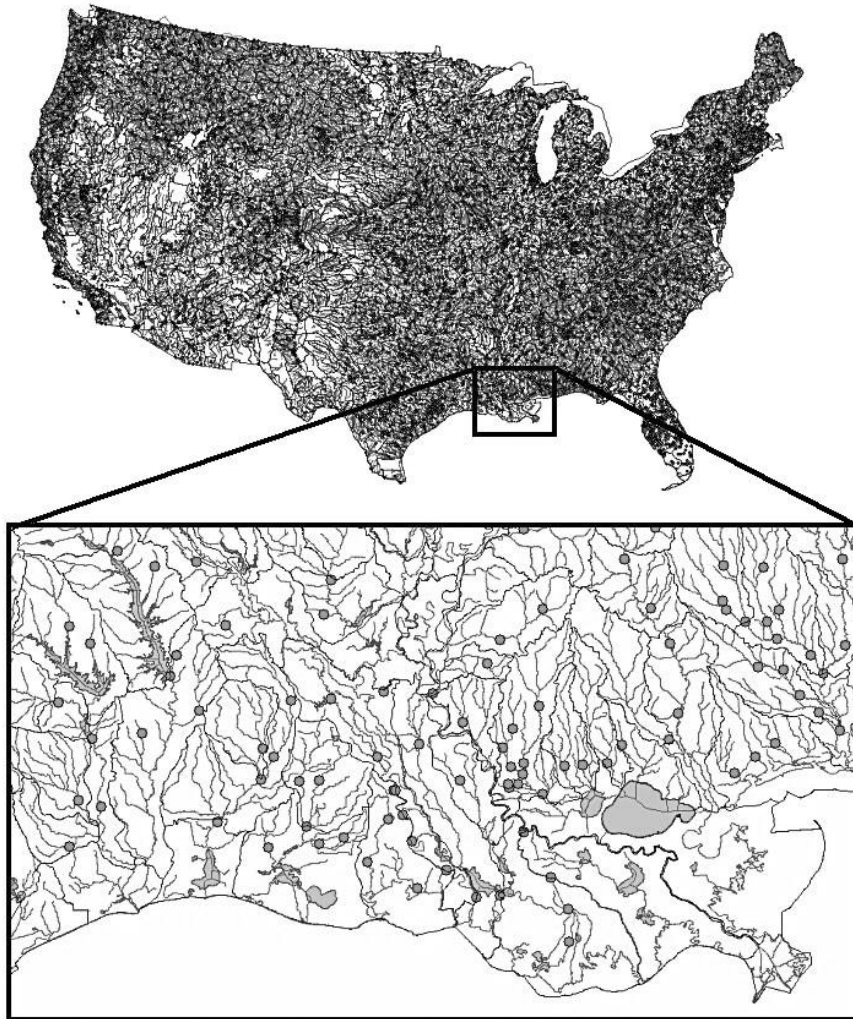


Рис. 1 – Два рівня – національний і локальний бази гідрологічних даних *Arc Hydro* для США (із [13])

чний компонент ландшафту в даному вибраному регіональному перерізі?

- відповідні установи, які є причетними до менеджменту водних ресурсів частіше за все складають свої власні бази гідрологічних даних, які використовуються в певній ГІС-платформі, що придбала дана установа; яким чином тоді можна створити будь-яку більш-менш адекватну інфраструктурну сутність гідрологічних даних, що була би уніфікованою для використання хоча б кількома відповідними установами, які досліджують водне середовище на відносно значній території?

- у сучасний час дані про водні ресурси (ДВР) задіяні через геоінформаційні засоби вже в декількох гідрологічних моделях, що можуть бути використані в різних ГІС-платформах, при цьому кожна із моделей використовує, як правило, свою власну базу даних ГІС; у такому випадку яким чином може бути створена інфраструктура ДВР, яка би підтримувала кілька цих гідрологічних моделей відразу?

- інформація, що міститься у послідовності ЦМР⇔ЦММ⇔ГІМВ стає все більш, так би мовити, рафінованою, тобто величина чарунки гідрологічної матриці все зменшується, а кількість таких чарунок все збільшується;

саме тому кількість регіонів, обмежених визначеними природними границями, таких, що можуть вивчатися тільки через одну цифрову модель, об'єктивно зменшується; які тоді можуть бути обрані ефективні критерії для розподілу великої території (наприклад, великого водозбору) на її складові – так би мовити, субтериторії – що могли би бути окремо проаналізовані, а результати аналізу бути поєднані на виході в узагальнену інформаційну сукупність про великий водозбір?

- триангуляційна нерегулярна мережа (ТНМ, *triangulated irregular network – TIN*, англ.) використовується у першу чергу при ГІС-моделюванні русел річок та їхніх заплав; однак ступінь деталізації результатів ТНМ-моделювання також експоненційно зростає (як і у випадку послідовності ЦМР⇔ЦММ⇔ГІМВ) по мірі того, як збільшується довжина руслового сегменту, що вивчається; тут необхідно вирішувати питання: яким чином векторне відображення руслового сегменту може бути побудоване на підставі відповідної ТНМ-поверхні так, щоб у вихідних результатах моделювання адекватно відобразити форму головного русла водозбору у цілому, яке складається з кількох таких сегментів?

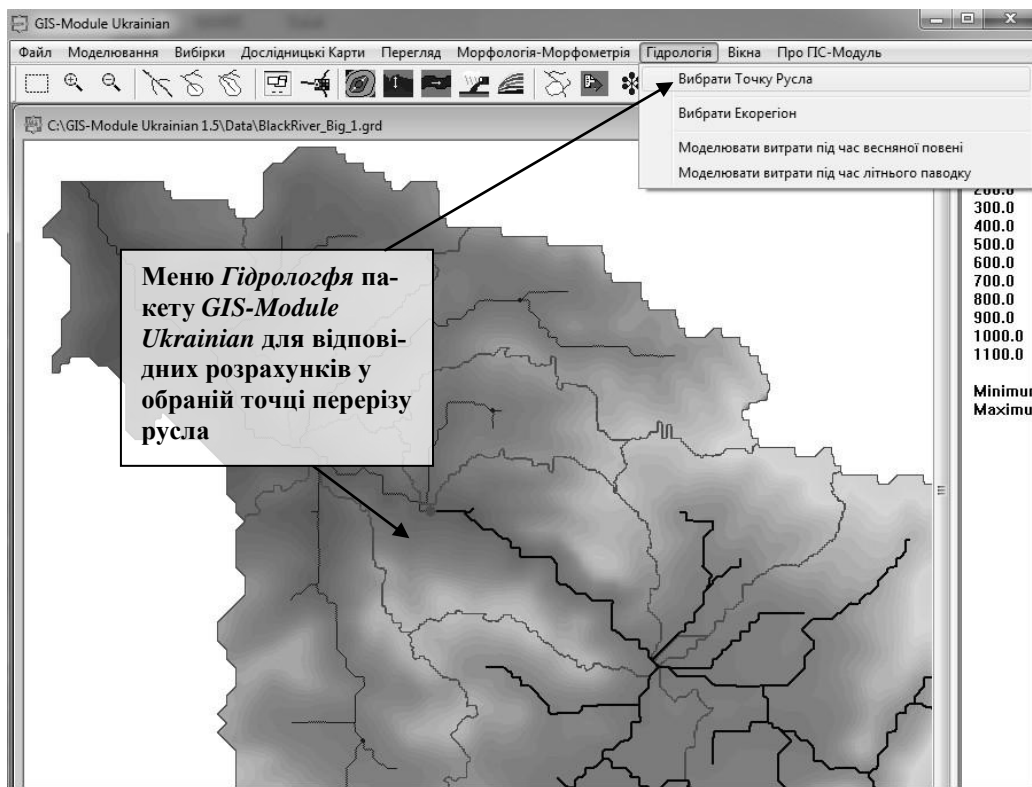


Рис. 2 – Графічний інтерфейс користувача програмного забезпечення *GIS-Module Ukrainian*

- відомо, що окрім гідрологів детальні дослідження вдовж русел виконують екологи та геоморфологи, які можуть, наприклад, скласти звіти про ареал певних видів або про просторове розповсюдження типів пухких відкладень вздовж заплави русла; яким чином предметно-якісна інформація, що міститься в даних звітах, може бути структуровано поєднана із кількісно-геометричною інформацією щодо форми русел та характерного рисунку всієї руслової мережі?
- стандартні архіви саме *гідрографічних даних* є сховищами даних щодо «блакитних ліній» – *лінійних ГІС-об'єктів*, які відбивають струмки, тимчасові та постійні русла, озера та

прибережні водні об'єкти; яким чином така гідрографічна сукупність може бути адекватно поєднана із водозбірними площами, що визначаються через ЦМР ⇔ ЦММ ⇔ ГІМВ?

- значне число точкових ГІС-об'єктів асоціюється із русловими мережами; цими об'єктами відбиваються, наприклад, пости гідрологічних спостережень, гідравлічні споруди, точки забору води для водо забезпечення, водоочисні споруди та інше; яким чином така інформація може бути подана в ГІДС, щоб завжди можна було легко встановити, які з цих об'єктів знаходяться вище або нижче по течії вздовж даного русла?

### Висновки і перспективи

Головним напрямком вирішення вказаних проблем запропоновано вважати *інтеграцію та візуалізацію результатів обробки гідрологічних даних*, як це, зокрема, впроваджується в одноосібно розробленому нами пакеті гідролого-геоморфологічного моделювання під ОС *MS Windows* – програмному забезпеченні *GIS-Module Ukrainian*, приклад ГІК якого наводиться нижче (рис. 2). Меню *Гідрологія* цього модулю забезпечує користувача-гідролога універсальними засобами для першого наближення до вирішення деяких із цих проблем.

У наведеному прикладі авторського програмного забезпечення в першу чергу йдеться про наступні інтеграційні аспекти:

- ✓ інтеграція різних типів ГІС-платформ і ДВР,
- ✓ інтеграція власно даних і процедур моделювання,
- ✓ інтеграція даних вздовж різних просторових масштабів.

Тобто, ці цілі є достатньо зрозумілими, однак засоби їх досягнення треба деталізува-

ти. Подібна деталізація може бути визначена в рамках наступної *специфікації гідрологічної інформаційної системи*:

- всі гідрологічні дані для вказаної ГІДС мають бути утримані в єдиній системі географічних координат;
- переважне подання гідрологічного компоненту географічного ландшафту має здійснюватися через векторний формат даних (точкові, лінійні та полігональні об'єкти), однак доповнюватися, де необхідно, растровим форматом та ТНМ-поверхнями;
- відношення між ГІС-об'єктами із різних шарів даних мають бути встановлені і задіяні для визначення руху води через географічний ландшафт від одного такого об'єкту до іншого;
- критичним є гармонічне поєднання геопросторової інформації із даними щодо часових серій гідрологічних спостережень; таке поєднання сприятиме створенню повноформатної гідрологічної інформаційної системи.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Костріков С. В. Про можливість моделювання гідрологічного режиму водозбору через характеристики мережі рельєфу./ С. В. Костріков. // Вестн. ХНУ. – 2001. – № 521: Геологія, Географія, Екологія. – С. 175-179.
2. Костріков С. В. Моделювання гідролого-геоморфологічних характеристик водозбору / С. В. Костріков, Б. Н. Воробйов. // Український географічний журнал. – 2002. – № 2 – С. 43-48.
3. Костріков С. В. Реалізація розподіленої гідрологічної моделі руслових витрат від дощових паводків у річковому басейні./ С. В. Костріков. //

- Людина і довкілля. 2002. Вип. 4. – Х.: Видавництво ХНУ, 2003. – С. 77-81.
4. Виссмен У., Харбаф Т., Кнэпп Д. Введение в гидрологию. Пер. с англ – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 470 с.
5. Костріков С. В. Цифрові моделі місцевості і три напрямки в геоінформаційному моделюванні водозборів./ С. В. Костріков. // Людина і довкілля. 2002. Вип. 3. – Х.: Видавництво ХНУ, 2002. – С.49-54.
6. Костріков С. В., Воробйов Б. Н. Формалізована модель флювіального рельєфоутворення та її реалізація в програмному забезпеченні./ С. В. Кос-

тріков, Б. Н. Воробьов// Геоінформатика – GEOINFORMATIKA – 2005. – № 4. – С. 45-53.

7. Abbot, M. B. An introduction to the European Hydrologic System - Systeme Hydologique Europeen."SHE". 1: History and philosophy of a physically based, distributed modelling system./ M. B. Abbot, J. C. Bathurst, J. A. Cunge, P. E. O'Connell, J. Rasmussen // Journal of Hydrology. – 1990. - Vol. 87 – P. 45-59.

8. Beven K. J. TOPMODEL: a critique / K. J. Beven. // Hydrological Processes. – 1997. – Vol. 11. – P. 1069-1085.

9. Костріков С. В. Водозбірний басейн як об'єкт фрактального моделювання // Вісник Харківського університету./ С. В. Костріков. – 1999. - № 455. – Геологія, Географія, Екологія. – С. 109-113.

10. Соколовский Д. Л. Речной сток (Основы теории и методики расчетов)/ Д. Л. Соколовский – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 431 с.

11. Огиевский А. В. Гидрология суши (общая и инженерная). Учебн. для вузов. 4-е изд./ А. В. Огиевский. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 657 с.

12. Костріков С. В. Автоматизований розрахунок за допомогою модуля-додатка ГІС руслових максимумів від талих вод./ С. В. Костріков. // Вісник ХНУ. – 2002. – № 563: Геологія – Географія – Екологія. – С. 205-211.

13. Maidment D. R. GIS for Water Resources./ D. R. Maidment. – Redlands: ESRI Press, 2009. – 205 p.

Надійшла до редколегії 1.04.2012

УДК 911.504

**А. В. ХОЛОПЦЕВ**, д-р геогр. наук, доц., **Ю. М. МАЦУК**

*Севастопольский национальный технический университет*

ул. Университетская, 33, 99033, Севастополь, Украина

khloptsev@mail.ru

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВТОРЯЕМОСТИ ГРОЗОВЫХ ДНЕЙ В УКРАИНЕ**

Изучены особенности распределения тенденций временной изменчивости грозовой активности в мае – августе над различными регионами Украины, проявившиеся за период современного потепления климата. Как количественная мера тенденции, использовался угловой коэффициент линейного тренда соответствующих временных рядов. Установлено, что за указанный период над большинством областей Украины грозовая активность увеличивалась. Это отвечает представлениям о возможных последствиях глобального потепления, которое приводит к увеличению общего содержания водяного пара в земной атмосфере и изменению циклонической активности над регионами Украины.

**Ключевые слова:** повторяемость гроз, пространственное распределение, интерполяция, тренд, потепление, временный ряд

## **Холопцев О. В., Мацук Ю. М. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ ПОВТОРЮВАНОСТІ ГРОЗОВИХ ДНІВ В УКРАЇНІ**

Досліджені особливості розподілів по території України тенденцій часової мінливості повторюваності гроз з травня по серпень у її регіонах, що мали місце у період сучасного потепління клімату. Як кількісна міра тенденції використовувався кутовий коефіцієнт лінійного тренду відповідних часових рядів. Встановлено, що у зазначений період над більшістю регіонів України грозова активність зростала. Це відповідає уявленням про можливі наслідки глобального потепління, яке призводить до зростання загального змісту водяної пари у земній атмосфері та перерозподілу циклонічної активності понад територіями регіонів України.

**Ключові терміни:** повторюваність гроз, просторовий розподіл, інтерполяція, тренд, потепління, часовий ряд

## **Holoptsev A., Matsuk Y. ANALYSIS OF CONTEMPORARY TRENDS SPATIOTEMPORAL VARIABILITY RECURRENCE THUNDERSTORM DAYS IN UKRAINE**

The features of the distribution of temporal variability of the trends of thunderstorm activity in May - August on various regions of Ukraine, which appeared during the period of the modern global warming. As a quantitative measure of trends, we used the slope of the linear trend of the time series. Found that during this period over most regions of Ukraine thunderstorm activity has increased. This corresponds to the notions of the possible consequences of global warming, which leads to an increase in the total content of water vapor in the Earth's atmosphere and changes in cyclone activity over the regions of Ukraine.

**Keywords:** frequency of storm activity, interpolation, trend, warming, temporary range