

УДК 556.51+ 004.9

С. В. КОСТРИКОВ, д-р геогр. наук, проф.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

пл. Свободи 4, м. Харків, 61022

sergiy.kostrikov@geocloud.com.ua

ГІС-ІНТЕРФЕЙС РОЗПОДІЛЕНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Викладаються теоретичні засади та окремі аспекти практичної реалізації через авторське програмне забезпечення ГІС-моделювання розрахунку, аналізу і візуалізації пікових руслових витрат від весняних повеней, та коротко характеризуються особливості моделі щодо літніх дощових паводків. Обговорюються поняття «розподілена гідрологічна модель», «максимальна руслова витрата від сніготанення», «максимальна руслова витрата від зливи», «інтерфейс модуля розподіленого гідрологічного моделювання». Описуються процедури розподіленого моделювання гідрологічного режиму водозбору в середовищі ГІС, і детально характеризується відповідний графічний інтерфейс користувача спеціалізованого програмного забезпечення.

Ключові слова: розподілена гідрологічна модель, водозбірний басейн, весняні повені, літні дощові паводки, ГІС-моделювання пікових руслових витрат, флювіальний рельєф, інтерфейс модуля розподіленого гідрологічного моделювання

Kostrikov S. V. DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODELING GIS-INTERFACE

The paper introduces some GIS-modeling theoretical basics and applied software implementation through author's software for processing, analysis and visualization of the extreme channel discharges upon spring floods and shortly discusses model peculiarities for summer rainfall. The following definitions have been discussed: "a distributed hydrological model", "and extreme channel discharge from spring flood", "the extreme channel discharge from summer rainfall", "the distributed hydrological modeling GIS-module interface". The procedures of the watershed hydrological regime distributed modeling have been described in details, as well as the original software user's interface for the GIS-module elaborated.

Key words: distributed hydrologic model, watershed, spring floods, summer rainfall, GIS-modeling of channel extreme, fluvial topography, the module interface for distributed hydrological modeling

Костриков С. В. ГИС-ИНТЕРФЕЙС РАСПРЕДЕЛЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье излагаются теоретические основы и отдельные аспекты практической реализации в авторском программном обеспечении ГИС-моделирования расчета, анализа и визуализации пиковых русловых расходов от весенних половодий, и коротко характеризуются особенности модели для летних дождевых паводков. Обсуждаются понятия "распределенная гидрологическая модель", "максимальные русловые расходы от снеготаяния", "максимальные русловые расходы от ливней", "интерфейс модуля распределенного гидрологического моделирования". Описываются процедуры распределенного моделирования гидрологического режима водосбора в среде ГИС, и детально характеризуется соответствующий графический интерфейс пользователя специализированного программного обеспечения.

Ключевые слова: распределенная гидрологическая модель, водосборный бассейн, весенние наводнения, летние дождевые паводки, ГИС-моделирование пиковых русловых расходов, флювиальный рельеф, интерфейс модуля распределенного гидрологического моделирования

Вступ

Дослідницька проблема. Останні досягнення в предметній галузі геоінформаційних систем (ГІС) і ГІС-технологій пропонують інженерам-гідрологам, фахівцям із ерозіознавства та особам, які займаються природоохоронним та територіальним менеджментом водозбірних басейнів, потужні

засоби з обробки та аналізу значних обсягів релевантних даних. Ці засоби у подальшому стають запорукою прийняття ефективних дослідницьких та управлінських рішень.

Гідрологічне моделювання яружно-балкових і річкових систем може бути значно полегшено через ГІС-засоби, однак, зрозуміло, лише за умовою їх адекватного застосування. Перш за все, йдеться про об-

робку первинних даних, інтерпретацію результатів роботи модулів моделювання, заключну візуалізацію отриманої територіальної структури розподілу особливостей гідрологічного режиму. Графічний інтерфейс користувача (ГІК) відповідних ГІС-платформи та вбудованого модуля гідрологічного моделювання має забезпечувати фахівцю-гідрологу обмежений, однак, логічний доступ до усіх функціональних можливостей даного програмного забезпечення, тобто дозволити такому фахівцю бути сконцентрованим саме на впровадженні стандартних або оригінально сконструйованих гідрологічних моделей, а не на застосуванні наявних ГІС-засобів взагалі.

В наших декількох попередніх публікаціях вже згадувалося про те, що 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 гідрометеорологічні явища як весняне повіддя або літній дощовий паводок низькопроцентного ступеня забезпеченості [1-4].

Викладення основного матеріалу

Деякі засади ГІС-моделювання максимальних руслових витрат. Вказаний модуль-аплікація є програмним алгоритмом (чи їх групою) + інтерфейс користувача, які генерують введення інформації, що необхідна для моделювання, але не виконують таке моделювання безпосередньо. Додатковим ГІС-компонентом, що реалізовує гідрологічне моделювання, є вбудована в середовище модуля *розподілена гідрологічна модель (РГМ)*, яка може бути визначена як набір тих програмних алгоритмів, котрі виконують гідрологічне моделювання на підставі розгляду водозбору як сукупності суводозборів.

Подання РГМ у варіантах щодо екстремальних гідрологічних явищ весняних повеней і літніх дощових паводків та характеристика програмного забезпечення гідрологічного модуля-аплікації ГІС – є двома складовими досягнення цілі цієї статті.

Взагалі більшість методів розрахунку й прогнозу екстремального яружно-балкового та річкового стоку ґрунтується на наступних припущеннях щодо механізмів його формування, із яких і треба виходити при моделюванні гідрографа стоку [5, 6]: 1) го-

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 наступних 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.

Ціллю цієї статті є подання прикладного аспекту застосування деяких із вказаних вище теоретичних посилань. Таке подання впливає із багатьох положень, раніше вже доведених в наших попередніх публікаціях, а його результатом є створення інтерфейсу гідрологічного моделювання та певної функціональності *модуля-аплікації геоінформаційної системи* (ГІС).

ловна 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, 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) [3, 4]. Останнє є правомірним, перш за все, для флювіальних регіонів з розвинутою водно-ерозійною морфоскульптурою рельєфу (регіони поширення флювіального 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 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 детальних гідрологічних вимірів 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].

Процедура *маршрутизації стоку* є базовим кроком розробки розподіленої моделі максимальних руслових витрат [8]. Ця процедура безпосередньо генерує три шари даних:

1) топографічну поверхню із штучно заповненими зниженнями – «порожнинами», 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 використовується поняття «моментального геоморфологічного гідрографа» (МГГ), який ми вже згадували у шостому розділі щодо фрактальних гідрологічних досліджень.

Тут нагадаємо, що останній 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 поталих вод*, але також 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 поталих 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 [9, 10].

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. Для реалізації обох РГМ має бути запропоноване середовище багаторівневого інтерфейсу програмного забезпечення для розрахунків безпосередньо по субводозборах річкового басейну. Цей інтерфейс передбачає введення всіх необхідних вхідних параметрів кожної із розподілених гідрологічних моделей.

В наших декількох попередніх публікаціях вже викладалися дослідження і аналіз ролі основних факторів формування руслових витрат від поталих вод під час весняних повеней та руслових витрат від літніх зливових паводків у яружно-балкових та річкових водозбірних басейнах [1, 3, 11, 12]. Вказані дослідження передували розробці новітніх методів комп'ютерної реалізації розподілених гідрологічних моделей руслових витрат від поталих вод та дощових паводків через створення програмного забезпечення відповідного модуля гідрологічного моделювання для ГІС-платформи.

Розподілене моделювання гідрологічного режиму водозборів в середовищі ГІС. Вибираючи найбільш важливі механізми формування річкового стоку для їх

формалізованого опису, необхідно зазначити, що через обмаль знань щирої внутрішньої їх природи, інтерпретація цих механізмів значною мірою може бути здійснена тільки через схематизацію останніх за допомогою *емпіричних моделей*. Очевидно, що однієї з задач геоінформаційного моделювання є з'ясування того, наскільки змістову схематизацію ці моделі підтримують і відповідають реальним спостереженням щодо, наприклад, розмірів територій, що покриваються весняними повенями та дощовими паводками.

Наступним кроком може бути *просторова структуризація* даної території на предмет гідрологічного моделювання або *поверхневого*, або *руслового* стоку за наступною схемою (**рис. 1**). На ілюстрації відокремлена площа так званого безпосереднього водозбору у головне русло, яким є річкова заплава. У залежності від умов формування стоку на цій території він може бути *поверхневим площинним*, або формувати первинні *струмкові русла*.

За останні 25-30 років у світі було розроблено декілька інтерфейсів між оболонками ГІС і певними гідрологічними моделями. В переважній більшості випадків для моделювання застосовувалася вказана вище парадигма *просторової структуризації*.

Посилаючись на існуючий досвід вказаної розробки можна розглядати *два альтернативних підходи* застосування гідрологічних моделей в оболонках геоінформаційних ситсем.

По-перше, чисельне вирішення громіздких рівнянь засобами математичної фізики щодо розрахунку, наприклад, динаміки води в розгалуженої мережі русел або каналів. У межах цього підходу, який передбачає дуже складні розрахунки й у той самий час, як правило, може бути застосований лише до вельми обмеженої площі, на яку зовсім немає емпіричних даних, знаходяться, наприклад, роботи С. С. Маханова [13].

По-друге, може бути запропонована, так звана, методика розрахунків базових гідрологічних характеристик водозбірних басейнів для цілей геоінформаційного моделювання, що базується на емпіричних моделях максимумів від талих та дощових вод *при відсутності спостережень*. У другому підході окрім емпіричних методик також певним чином застосовуються елемен-

ти імовірнісних розрахунків при гідрологічному моделюванні [14, 15].

Саме методологія другого підходу подається як базова в нашому дослідженні. Її можна вважати найбільш доцільною для вирішення задач ГІС-моделювання екстремальних витрат за допомогою відповідного програмного забезпечення. Інтерфейс такого програмного забезпечення надасть користувачу широкий набір можливостей для вибору засобів моделювання гідрологічних процесів і явищ, калібрування певної моделі й розрахунку безлічі варіантів гідрологічного режиму. Її можна вважати найбільш доцільною для вирішення задач ГІС-моделювання екстремальних витрат за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Інтерфейс такого ПЗ надасть користувачу широкий набір можливостей для вибору засобів моделювання гідрологічних процесів і явищ, калібрування певної моделі й розрахунку безлічі варіантів гідрологічного режиму. Зрозуміло, що обумовлюється введення даних у режимі інтерактивної графіки, розрахунок буде впроваджуватися у режимі монітора з індикатором виконання процедури. Мається також на увазі отримання результатів у виді електронної карти, табличному (текстовий файл) і графічному вигляді на екрані, підтримка принтера і вихідних файлів. Перспективна комп'ютерна система моделювання дозволить також одержувати тверду копію екрана.

Однак, повернемося до загального обґрунтування РГМ. Співвідношення між величинами максимумів від талих і від зливових вод є дуже складними і, як відомо, залежать від співвідношень середньої інтенсивності танення снігу і інтенсивності дощових опадів на площах їх одночасного поширення. Вже ця обставина обумовлює суттєву складність майбутнього комплексного моделювання, коли у певних випадках мають послідовно застосовуватися РГМ обох типів.

Звичайно, при застосуванні тієї чи іншої моделі треба притримуватися певних правил, як і приймати до уваги певні предметні обставини. Наприклад, що стосується РГМ від дощових паводків, необхідно вважувати, що із збільшенням площі одночасного поширення інтенсивність дощів звичайно зменшується. Тому для різних природних районів існують різні *граничні*

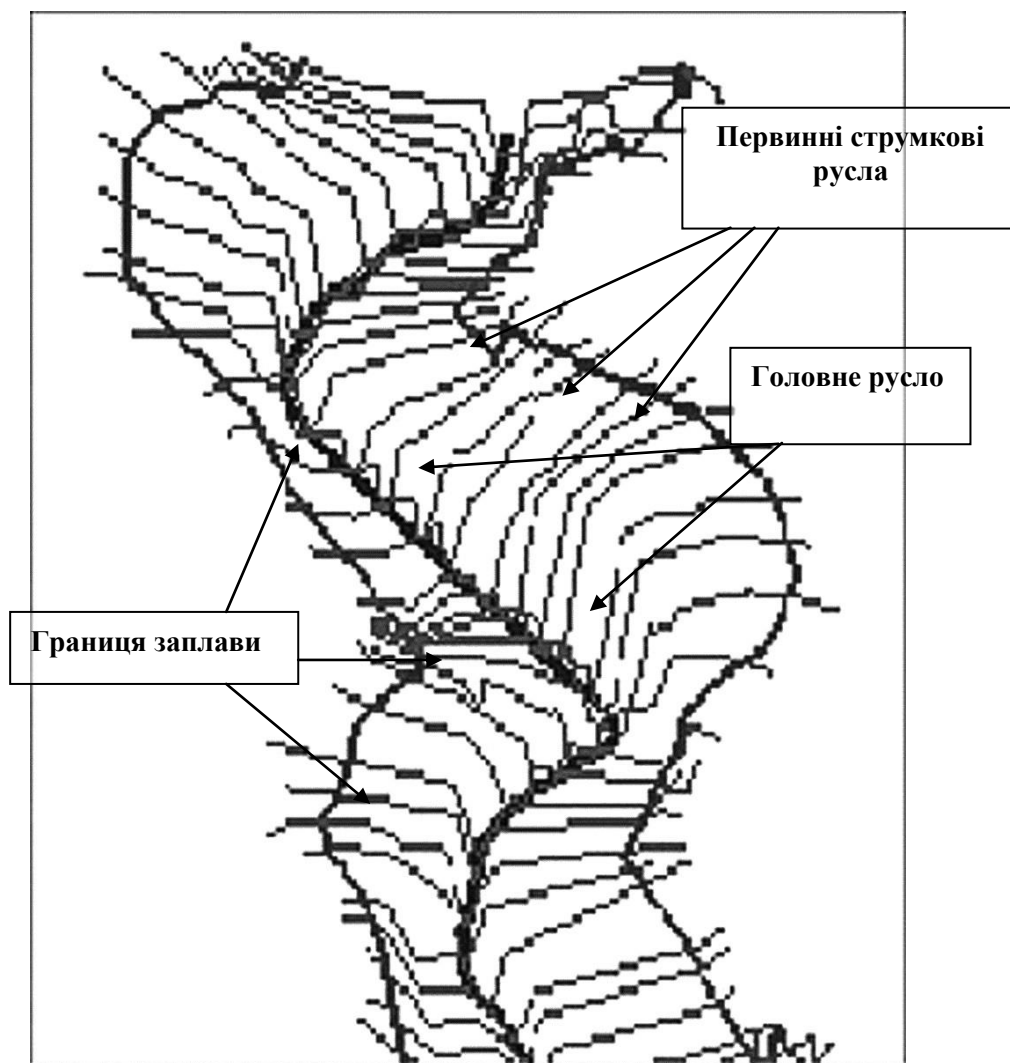


Рис. 1 – Просторова структуризація обраної території вздовж русла на предмет моделювання або поверхневого, або руслового стоку

площі басейнів, починаючи з яких максимальні витрати формуються від весняних талих вод, а не від дощів і злив. Ці граничні площі можуть бути вказані в рамках моделі тільки приблизно, бо зрозуміло, що на величини максимальних витрат, крім інтенсивності злив і танення снігу, впливають місцеві фізико-географічні характеристики басейнів і особливості їх гідрографії. Тому необхідно для басейнів з площами, близькими до граничних (у вказаному розумінні), розрахунки максимальних витрат провадити за моделями і для талих, і для зливових вод, та як *остаточну розрахункову величину приймати найбільшу*.

Необхідно особливо підкреслити, що більш точне визначення, якого саме походження максимуми повинні бути найбільшими для умов даного конкретного річко-

вого водозбору – від талих чи від зливових вод – можна виконати тільки шляхом безпосередніх обчислень за моделями для обох випадків. Для побудови моделей у кожному із двох варіантів треба знати основні фактори формування та впливу на максимуми від дощових та талих вод. Цим факторам треба зіставити певні параметри моделей [11, 12].

Структура гідрологічного інтерфейсу програмного пакета моделювання та приклад розрахунку максимальних руслових витрат під час весняної повені. Величини максимальних витрат від талих вод в основному фізично визначаються групою метеорологічних факторів: сумарною кількістю снігових опадів на початку весни і тривалістю та режимом сніготанення, які залежать головню від ходу температур пові-

тря. При цьому, за даними А. В. Огієвського [16], реально впливають на максимуми, що формуються, *геометричні характеристики басейну, його руслової мережі і безпосередньо – русла річки*. Ці свідчення підтверджуються і значно більш пізнішими публікаціями [17].

Зрозуміло, що порівнювальні характеристики значення факторів максимальних руслових витрат потрібні для вибору модельних компонентів, а першим кроком подібного вибору має бути означення однорідного району (який не обов'язково є окремим водозбором) з однаковими гідрометеорологічними й іншими ландшафтними характеристиками. Досить імовірно, що варіації величин максимумів для басейнів з однаковою площею, але з різними топографічними і характеристиками мережі флювіального рельєфу, цілком визначались би, *по-перше, тривалістю і, по-друге, формою хвилі повені*, що до речі добре підтверджується рядом фундаментальних публікацій, які вийшли у світ ще за радянських часів [18-20].

При визначенні параметрів остаточної розрахункової РГМ весняних максимумів треба враховувати, що доведеться оперувати з деякими усередненими характеристиками для більш-менш значних водозбірних площ, причому ці усереднені характеристики, очевидно, можуть певним чином змінюватись залежно від довкілля окремих басейнів. Серед характеристик довкілля водозборів частіше за все виділяють наступні чотири величини, які, до речі, також приймаються як параметри відповідних емпіричних моделей для зовсім інших фізико-географічних регіонів [10]: 1) *параметр сповільнення сніготанення у вигляді коефіцієнта зменшення до загальної величини максимальної витрати*; звичайно цей коефіцієнт позначається через β , 2) *ступінь заболоченості басейну*, врахування якої треба здійснювати за допомогою коефіцієнта φ , 3) *ступінь штучної чи природної зарегульованості стоку в басейні* (озерами, водосховищами і ставами), врахування якої здійснюється через коефіцієнт τ , 4) *різну можливість повторюваність* видатних весняних максимумів – λ .

Тут зауважимо, що рядом дослідників в значній мірі незалежно один від одного була розроблена *методика розрахунків весняних руслових максимумів*, яка дещо відрізнялася лише наявними числовими коефіці-

ентами й константами в остаточних модельних формулах [16, 18, 19]. Відповідно до цієї методики нами збирався емпіричний матеріал (головним чином на підставі гідрологічних щорічників, що видавалися за часів СРСР).

Для безпосереднього уточнення в якості головного параметра емпіричної гідрологічної моделі і для її подальшої реалізації як РГМ обирався варіант модельної формули А. В. Огієвського для максимальних витрат від поталих вод [16]. Саме такий модельний розрахунок, включаючи необхідні регіональні модифікації, був реалізований в нашій моделі та у відповідному програмному забезпеченні в якості одного із двох можливих варіантів розрахунку весняних руслових максимумів:

$$Q_m = \frac{0,023 \cdot H_{ec} \cdot F \cdot m}{L} \beta \cdot \varphi \cdot \tau \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot (10^4 J + 30) + t \quad (1)$$

Для практичного використання виразу (1) в моделюванні весняних максимумів потрібне попереднє визначення декількох модельних параметрів, що входять до нього. Всі коефіцієнти (вони вже були означені вище), що знаходяться у правій частині виразу у вигляді співмножників, в нормальному випадку дорівнюють одиниці, інакше – застосовується додаткова методика їх обчислення [10, 16]; при $\lambda = 1$ величина максимальної витрати відповідає повторюваності, яка дорівнює приблизно 1 раз на 50 - 100 років, як за виконаною фізичною оцінкою максимумів, покладених в основу розрахунку, так і внаслідок того запасу в 10 - 20%, який вираз (1) загалом має на увазі в кінцевих результатах.

Інші величини, що входять у модельну формулу (1), визначаються наступним чином. Ми наводимо їх із власними коментаріями відповідно до можливості їх моделювання як характеристик гідрологічного компонента системи водозбору. Тут:

F – площа басейну в $км^2$, що безпосередньо розраховується по цифровій моделі рельєфу водозбору (ЦМРВ) відповідно загальному алгоритму, який наводився в наших попередніх публікаціях [3, 8];

H_{ec} – висота стоку за весняний період (в міліметрах): береться з емпіричної карти ізоліній для центра даного басейну, коли площа басейну достатньо мала; в против-

ному разі значення H_{ec} є середньозваженим на основі планіметрування площ, що лежать між сусідніми ізолініями, і треба передбачати таку розрахункову процедуру; якщо згідно із ЦМРВ, на цій площі наявний різко виявлений плоский рельєф у величину H_{ec} , взяту з емпіричної карти, слід вводити поправку, що дорівнює 0,70 - 0,75;

t – тривалість стоку від сніготанення (добы): також береться з емпіричної карти ізоліній цього параметра і також приводиться для центра басейну;

J – середній похил русла від витoku до розрахункового створу; при геоінформаційному моделюванні екстремальних витрат доцільно приймати відповідний розрахунковий показник по результатах побудови мережі рельєфу басейну (субводозбору), а у якості “розрахункового створу” приймати гирло головного русла цієї водозбірної площі;

m – коефіцієнт врахування особливостей процесів стоку на малих басейнах; при автоматизованому розрахунку у якості «малого басейну» треба брати будь-який субводозбір, що виділяється на даній ЦМРВ у межах площі, замкнутої вододілом вищого порядку;

L – довжина русла будь-якого постійного водотоку (річки); зрозуміло, що по результатах моделювання цю довжину слід брати уздовж «головної річки водозбору (субводозбору)», що визначається як русло найстаршого порядку за схемою порядкового бонітування Стралера в гідрографічній мережі, яка буде змодельована; у оптимальному випадку ця довжина в даному басейні має бути найбільша і складатися також і із довжини притоки молодшого порядку, що дає найбільшу довжину від витoku до точки злиття з іншою притокою – точки утворення даного найстаршого порядку головного русла;

α – характеристика річкової заплави: треба визначати по емпіричних таблицях, виходячи з переважних характеристик тієї частини русла річки (з найбільшими її притоками), довжина якої вводиться в розрахунок як L ; така інформація може міститися в спеціалізованих базах даних про ландшафтні умови басейну; відповідні розрахункові категорії річок можна брати за аналогією з даними про ці категорії.

Пошили річок для визначення параметру

J в будь-яких випадках мають визначатися з будь-яким можливим наближенням до дійсності по ЦМРВ. У такому випадку навіть можливо наводити аналогію із сусідніми річками, якщо на деяке русло дані по ЦМРВ відсутні. Характер річкових заплав визначався за наявним описом річок у базах гідрологічних даних і докладними картами, зробленими по результатам дистанційного зондування. Для визначення лісистості і заболоченості мають бути спеціально зібрані відповідні дані із існуючих електронних сховищ ландшафтної інформації. Після цього дана ландшафтна інформація, зокрема – із заболоченості та лісистості – у випадку ГІС-моделювання має зводитися до устя кожного водозбору, який виокремлюється по обраній ЦМРВ. Як правило, доцільно робити дворівневу оцінку – у більшості менш крупному масштабах.

На платформі нашого авторського програмного забезпечення [21], було реалізоване меню *Гідрологія* із таким змістом – **рис. 2.** Якщо вибрати *Гідрологія > Вибрати Точку Русла*, то відкриється наступний діалог-повідомлення, який стисло інструктує щодо необхідних процедур по розрахунку параметрів РГМ руслових витрат від весняної повені (**рис. 3**). Таким чином, перше, що треба зробити, це вибрати будь-яку точку на одному із русел даної флювіальної мережі, яка була змодельована раніше, ознайомитися із змістом діалогоповідомлення і потім виконувати процедуру гідрологічного моделювання відповідно до цього змісту.

Припустимо, треба визначити *максимальну весняну витрату* однієї із невеличких балкових (суха балка) приток р. Сейм у верхів'ях басейну цієї річки, у точці головного русла притоки для забезпеченостей в 1 – 2% і 3%. Моделювання для забезпеченості руслового стоку в 1-2% (повінь, що трапляється раз у 100-50 років) є базовим розрахунком в пакеті ПЗ *GIS-Module Ukrainian*, тобто воно виконується за замовченням відповідно певної структури гідрологічного інтерфейсу пакету моделювання (**рис. 4**). Дана структура відповідає модельному виразу (1). Для розрахунку забезпеченості стоку в 3% підключається окрема динамічна бібліотека (файл *.DLL). По топокартах побудована ЦМРВ на цю частину басейну р. Сейм, яка завантажується в модуль моде-

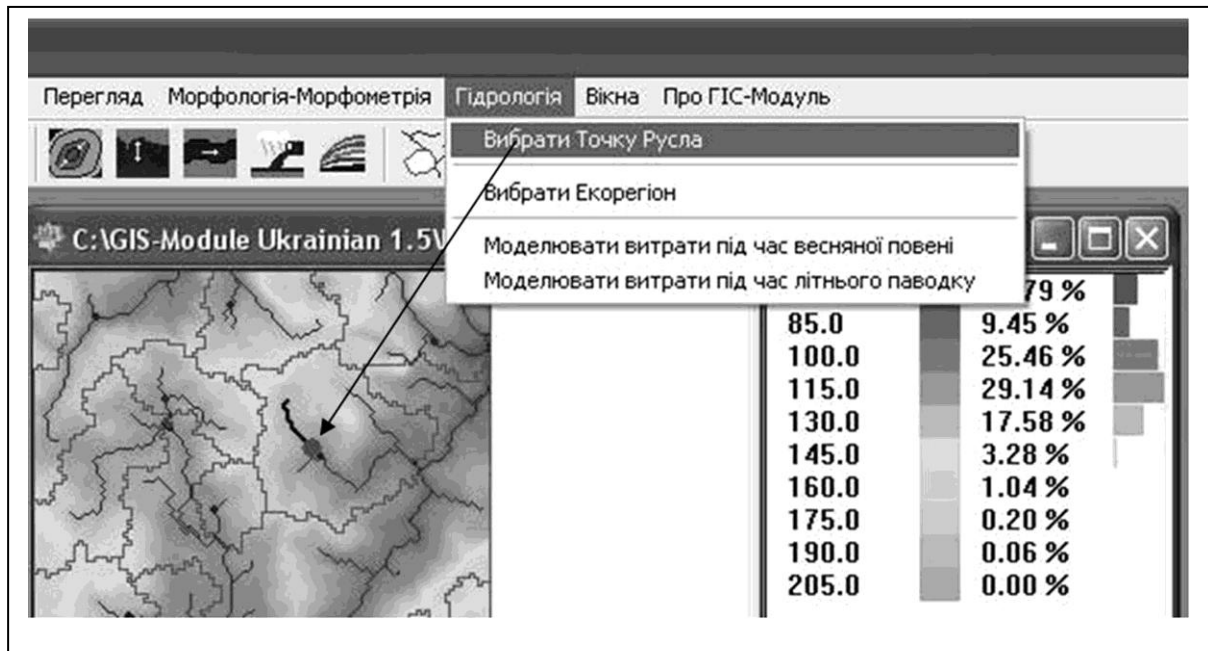


Рис. 2 – Зміст меню *Гідрологія*

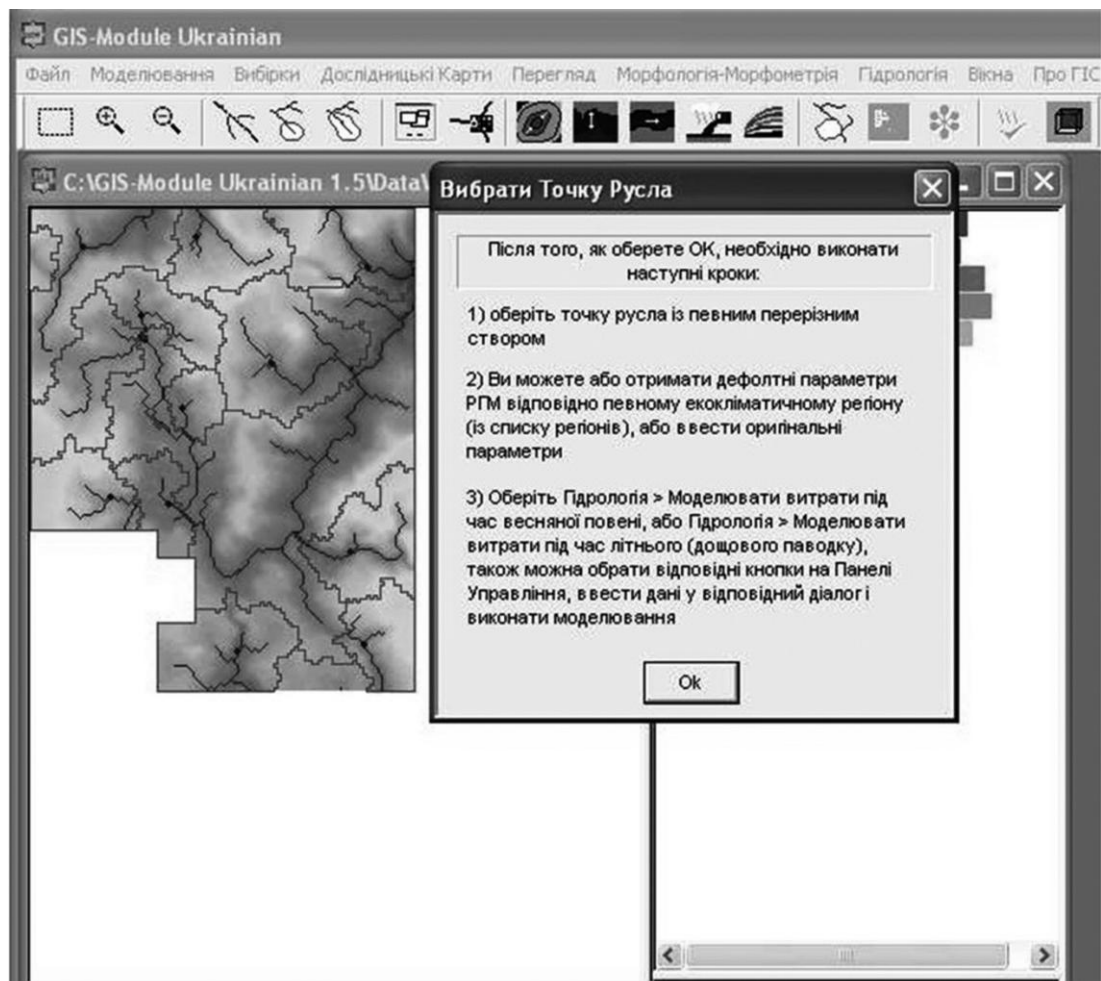


Рис. 3 - Діалог-повідомлення *Вибрати Точку Русла*, який передує гідроогічному моделюванню

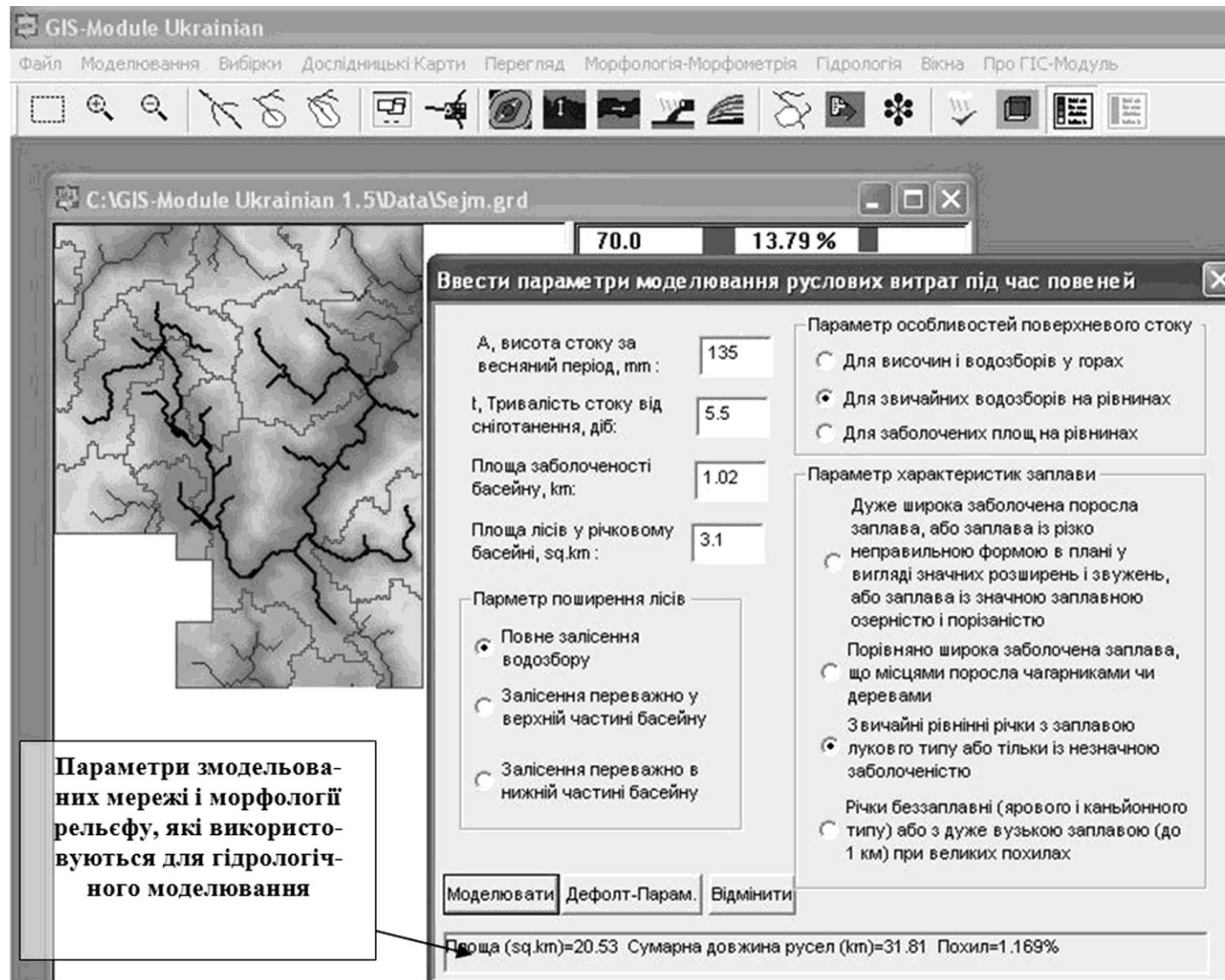


Рис. 4 – ГІС-інтерфейс розподіленої гідрологічної моделі руслових максимумів від сніготанення

лювання як файл *Sejm.GRD*, а потім, через дефолтні параметри, моделюється її мережа рельєфу. Координати центра басейну, що замикається на визначену точку як на гирло, встановлюємо засобами ГІС *MapInfo Professional* (спочатку зробивши імпорт ЦМРВ в середовище цієї ГІС).

В нижній частині діалогу із структурою інтерфейсу відбиваються відповідні характеристики змодельованих мережі і морфології рельєфу щодо водозбірної площі, яка задіяна у розрахунках. Ця площа F дорівнює $20,53 \text{ км}^2$ (рис. 4).

Змодельована сумарна довжина яружно-балкової мережі від витoku до обраного поперечного створу притоки Сейму дорівнює $L=31,8 \text{ км}$, а середньозважений похил $J=0,01169$ (1,169%). Із відповідних інформаційних джерел маємо середні показники заболоченості для басейна Сейму – 5% і лісистості – 15%. Заліснення більш-менш рівномірно розподілено по цій площі. Є відомим і той факт, що хоч трохи значної зарегульованості ставами немає; заплава не широка, мало заболочена. Для точки з координатами центра басейну за емпіричними картами маємо: $H_{ec} = 135 \text{ мм}$ (в діалозі моде-

лювання цей показник визначається як A_{ec} відповідно до формули А. Огієвського), $t=5,5$ доби (див. рис. 4).

Результати порівняння даних, знятих з емпіричних карт параметрів H_{ec} і t на цю територію, із зробленим нами в цьому ж програмному забезпеченні статистичним розподілом морфолого-морфометричних показників флювіального рельєфу субводозборів ідтверджують вірогідність регіональних редуційних залежностей максимальних модулів гідрологічного стоку від площ субводозборів $q_{MAX} = f(F)$. Таким чином, розрахунок максимальної весняної витрати в руслі сухої балки, який ми здійснюємо, натиснувши *Моделювати* в діалозі *Ввести параметри моделювання руслових витрат під час повеней* (див. рис. 4), можна вважати коректним, витрата 1-2% забезпеченості дорівнює $18,1 \text{ м}^3/\text{сек}$ (рис. 5). Як додатковий розрахунок (через підключення відповідної *.DLL*) для забезпеченості в 3% обчислюємо *полегшену витрату*, чие значення через спрощений запис дорівнює: $Q_{3\%} = 18,1 \cdot 0,82 = 14,8 \text{ м}^3/\text{сек}$.

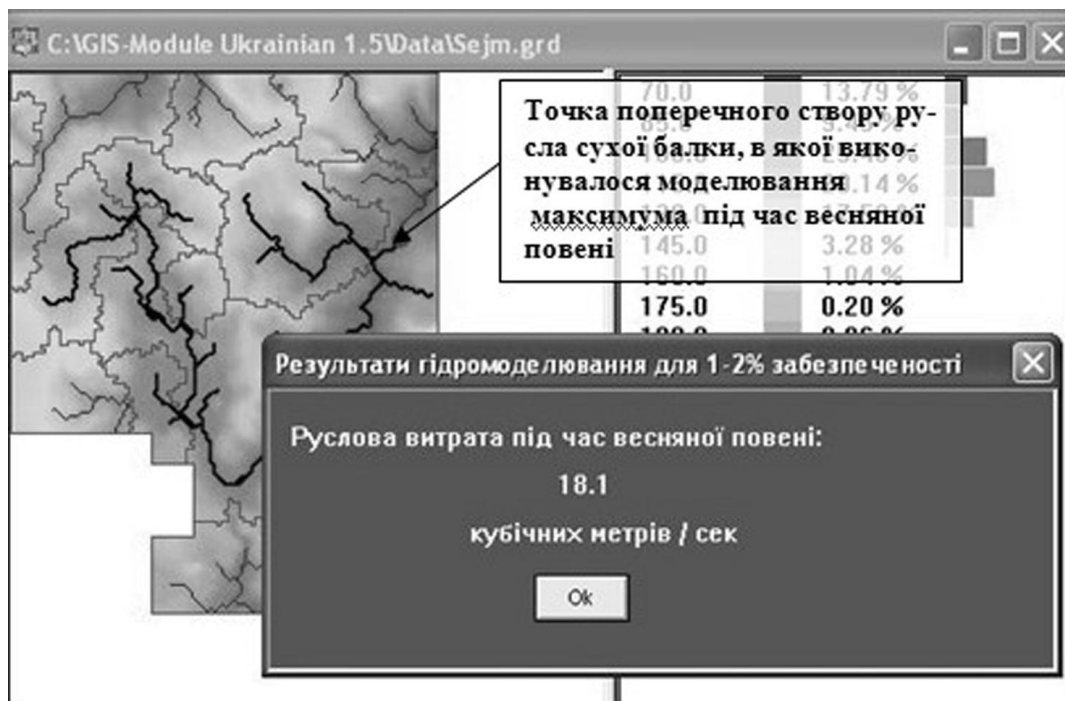


Рис. 5 – Діалог-повідомлення результатів моделювання

На жаль, жорсткі нормативні рамки статті не дозволяють детально розглянути також і РГМ максимальних руслових витрат від злив. Зазначимо лише, що ще 20-30 років тому при побудованні розподілених гідрологічних моделей для зливових вод робилися спроби врахувати, окрім величини площі басейну, деякі додаткові фактори тільки для випадку дуже малих площ. Для випадку ж значніших басейнів пропонувались моделі переважно з одним основним діючим параметром – величиною площі басейну. За аналогією з випадком формування максимумів від талих вод, такі параметри відповідають побудові верхньої огинаючої кривої $q=f(F)$ у співвідношеннях спостережених модулів максимальних витрат q і відповідних до них площ басейнів F , на що

вже вказували вище стосовно розпожіленої моделі весняних максимумів від сніготанення. В нашій оригінальній розподіленій гідрологічній моделі руслових витрат від дощових злив, яка розроблялася паралельно із РГМ витрат від весняних повеней (див. попередній пункт), таким саме чином враховуються параметри тієї складової гідролого-геоморфологічної системи водозбору, яка відбивається саме морфолого-морфометричними характеристиками рельєфу. Тобто, в нашій моделі, крім вказаної вище залежності від доміантного параметра – площі, також враховувався зв'язок максимальних дощових витрат q із сумарною довжиною ділянок русла (від витoku до точки визначення – поперечного створу) L і із середньозваженим похилом русла J .

Висновки

1. При ПС-моделюванні руслових максимумів відповідне програмне забезпечення має оперувати не тільки із даними щодо максимальних витрат від весняного сніготанення, але також із даними про максимуми від дощових злив, оскільки на значних територіях нашої держави максимальні витрати формуються саме від злив і дощів, більш того – саме цим гідрометеоявищем притаманна особлива небезпека завдяки їх раптовості та високої кінетики водних потоків. У кожному із двох вказаних випадків має використовуватися окрема РГМ.

2. Через ряд причин, які пояснюються в статті, в якості основного дослідницького підходу нами обрана методика розрахунків базових гідрологічних характеристик водо-

збірних басейнів для цілей геоінформаційного моделювання, що базується на «емпіричних моделях максимумів від талих та дощових вод при відсутності спостережень» (в лапках – назва класу моделей).

3. Просторова структуризація обраної території із флювіальним рельєфом на предмет гідрологічного моделювання або поверхневого, або руслового стоку – є передумовою впровадження розподіленого гідрологічного моделювання.

4. Взагалі розподілена гідрологічна модель може бути визначена як набір тих програмних алгоритмів, котрі виконують гідрологічне моделювання на підставі розгляду водозбору як сукупності субводозборів.

Література

1. Костріков С. В. Моделювання гідролого-геоморфологічних характеристик водозбору / С. В. Костріков, Б. Н. Воробйов // Український географічний журнал. – 2002. – № 2. – С. 43-48.
2. Костріков С. В. Гідролого-геоморфологічний підхід до дослідження водозбірної організації флювіального рельєфу / С. В. Костріков // Український географічний журнал. – 2006. – № 3 – С. 46-54.
3. Костріков С. В. Флювіальні геоморфосистеми: дослідження й розробки Харківської геоморфологічної школи / І. Г. Черваньов, С. В. Костріков, Б. Н. Воробйов // Під ред. І. Г. Черваньова. – Харків: Вид-во ХНУ, 2006. – 322 с.
4. Костріков С. В. Дослідження самоорганізації флювіального рельєфу: на засадах синергетичної парадигми сучасного природознавства. Наукова

монографія / С. В. Костріков, І. Г. Черваньов. – Х.: Вид-во, ХНУ, 2010. – 143 с.
5. Beven K. The Institute of Hydrology Distributed Model / K. Beven, A. Calver, E. M. Morris // IH report. – No. 98. Wallingford, England: Institute of Hydrology, 1987. – 71 p.
6. Виссмен У. Введение в гидрологию / У. Виссмен, Т. Харбаф, Д. Кнэпп: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 470 с.
7. Maidment D. R. Hydrologic and Hydraulic modeling support and GIS: ArcHydro case / D. R. Maidment. – Redlands Calif.: ESRI Press, 2009. – 127 p.
8. Костріков С. В. Морфологія рельєфу як керуюча ланка гідролого-геоморфологічного процесу на водозборі / С. В. Костріков, І. Г. Черваньов // Фізична географія та геоморфологія. Мі-

жвідомчий науковий збірник. – Київ, 2009. – С. 67-74.

9. Beven K. The Institute of Hydrology Distributed Model / K. Beven, A. Calver, E. M. Morris // IH report. – No. 98. Wallingford, England: Institute of Hydrology, 1987. – 71 p.

10. Acreman M. C. Classification of drainage basins according to their physical characteristics: an application for flood frequency analysis in Scotland / M. C. Acreman, C. D. Sinclair // Journal of Hydrology. – 1986. – Vol. 84. – P. 365-380.

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

12. Костріков С.В. Реалізація розподіленої гідрологічної моделі руслових витрат від дощових паводків у річковому басейні / С.В. Костріков // Людина і довкілля. 2003. Вип. 4. – Х.: Видавництво ХНУ, 2003. – С. 77-81.

13. Маханов С. С. Математическое моделирование динамики воды в речной или мелиоративной сети / С. С. Маханов // Водные ресурсы, 1994, т.21, № 3. – С. 311-317.

14. Картвелишвили Н. А. Стохастическая гидрология / Н. А. Картвелишвили. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 164 с.

15. Картвелишвили Н. А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулировании речного стока / Н. А. Картвелишвили. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 192 с.

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

17. Boni G. Flood probability analysis for ungauged watersheds by means of a simple distributed hydrologic model / G. Boni // Advances in Water Resources – 2009 – Vol. 33. – P. 2135-2145.

18. Виссмен У. Введение в гидрологию / У. Виссмен, Т. Харбаф, Д. Кнэпп: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 470 с.

19. Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты / Б. В. Поляков. – Л.: Гидрометеоздат, 1946. – 245 с.

20. Воскресенский К. П. Сток рек и временных водотоков на территории лесостепной и степной зоны Европейской части СССР / К. П. Воскресенский // Тр. ГГИ. – 1951. – Вып. 29 (83). – С. 11-46.

21. Kostrikov S. GIS-Module Ukrainian – Watershed Modeling Software for Environmental Research Purposes / С. В. Костріков // Часопис соціально-економічної географії. – Вип. 10 (1) – Х.: Видавництво ХНУ, 2011. – С. 58-64.

Надійшла до редколегії 10.09.2013

