

**Рис.7** Функція розподілення обlačности для ситуації, приведенної на рис.5. Последовательная стадія інтегрування системи ВВГКУ.

#### **Выводы**

Функції розподілення обlačности складають основу формування конкретної кліматическої епохи. С їх допомогою для кліматическої епохи зональної циркуляції виділені положення основних кліматических фронтів - арктического і полярного. Тот же результат получен и для епохи с меридіональною формою циркуляції. Само же географіческое положення кліматических фронтів определяє основную суцність конкретної кліматическої епохи.

Для расчёта функцій розподілення обlačности было целесообразным применение методов физической кинетики, в которых отдельное облако в планетарном атмосферном процессе уподобляется молекуле находящейся в тепловом движении и имеющей координаты своего положения в пространстве и дополнительно координаты в виде проекций вектора скорости своего теплового движения. Для облаков скорости теплового движения заменены скоростями вовлечения. В целом обlačный ансамбль рассматривается в 6-мерном фазовом пространстве, что и позволило рассчитать функции распределения облаков, соответствующие конкретным климатическим термобарическим полям.

#### **Источники и литература**

1. Адем Х. О физических основах численного прогноза среднемесячных и среднесезонных температур в системе тропосфера-океан-материк / В кн. Теория климата. Сб. перев. статей. Под редакцией Л.С.Гандина, А.С.Дубова, М.Е. Швеца. Л.: Гидрометеоздат, 1967. – С. 258–292.
2. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – С. 280.
3. Блинова Е.Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы. – Докл. АН СССР, 1943. – Т.39. – № 7. – С. 284–287.
4. Ефимов В.А., Ивус Г.П. О физике антициклогенеза современной климатической эпохи // Труды УкрНИГМИ, вып. 250. – К. 2002. – С. 78–91.
5. Ефимов В.А., Ивус Г.П., Белодонова Л.В. Динамика подинверсионных струй в течениях Куэтта и Пуазейля // Метеорология, климатология и гидрология, 1999. – Вып.38. – С.214–218.

#### **Костріков С.В.**

### **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ФІЗИЧНІЙ ГЕОГРАФІЇ – ПЕРЕДВІСНИК І ПЕРЕДУМОВА ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**

*Актуальність проблеми.* Сучасне впровадження геоінформаційних технологій та систем (ГІС), перш за все, пов'язане із зручністю їх використання у багатьох сферах практичної діяльності людини - виробничій, освітній, дослідницькій, або у будь-якій іншій. Подібна обставина змушує фахівців, які діють, наприклад, у різноманітних предметних галузях географії, геоєкології та охорони довкілля, змінювати звичайну методіку теоретичних та особливо прикладних досліджень, а ГІС-засоби надають користувачам цього програмного забезпечення можливість ефективного збирання, обробки, аналізу і візуалізації географічних даних та загалом тих, які мають просторове посилання.

Серед багатьох класів ГІС-об'єктів, які мають бути присутні в базі даних геоінформаційної системи (БД ГІС) [1-3], особливо місце посідають ті класи, які описують *ведучі процеси, явища та об'єкти природного довкілля*. Щодо останніх, то, наприклад, сучасна морфологія флювіального рельєфу обґрунтовано розглядається домінуючим фактором ландшафтних (геоєкологічних) процесів [4]. Являючись чинником руслового і поверхневого стоку, вона, на нашу думку, може виступати критерієм як гідрологічного, так і геоєкологічного районування. Оскільки русловий стік забруднювачів (продукти життєдіяльності техносфери, важкі метали, живильні речовини антропогенного походження та інші) рішуче впливають на всі екосистеми, вивчення географічного ландшафту в геоморфологічному і гідрологічному аспектах означає

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ФІЗИЧНІЙ ГЕОГРАФІЇ – ПЕРЕДВІСНИК І ПЕРЕДУМОВА  
ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**

вивчення *екології ландшафту* або, використовуючи спеціальний термін - *геоекології*. Недарма певні дослідники безпосередньо пов'язують досягнення максимальної еколого-економічної ефективності природоохоронних заходів на водозборах малих річок із впровадженням в межах цих територій саме геоecологічного аналізу [5].

Методологія геоecологічних досліджень при їх виконанні через ГІС-засоби має обумовлювати вибір 1) *алгоритмів моделювання*; 2) *інтерфейсу відповідного програмного модуля* і, в решті решт – 3) *оболонки ГІС*, в яку цей модуль буде або безпосередньо вбудовуватися, або здійснювати експорт результатів моделювання. Вказана методологія історично розвивалася, перш за все, на підставі різних дослідницьких підходів, які впроваджувалися переважно у фізичній географії. У цьому зв'язку, на нашу думку, було би доцільно проаналізувати перші спроби розробки комп'ютерних моделей у фізичній географії, які мали місце ще до безпосереднього впровадження ГІС-технологій і систем у їх сучасному розумінні. Особливо підкреслимо, що зараз будь-яку комп'ютерну модель географічного змісту уявити окремо від структури-архітектури та інтерфейсу користувача ГІС майже неможливо.

Таким чином, *ціллю статті* є ретроспективний аналіз і узагальнення існуючих класифікацій комп'ютерних моделей для фізико-географічних досліджень, подання оригінального опису загальної процедури розробки такої комп'ютерної моделі, а також – приведення в якості результату розробки прикладу реалізації геоінформаційного програмного забезпечення (ПЗ), яке базується на викладених теоретичних підвалинах комп'ютерного моделювання в географії. Усе це має сприяти розумінню місця і значення класичних комп'ютерних моделей в географії для геоecологічної науки сьогодення.

*Становлення і розвиток комп'ютерного моделювання в географії*. Вважається, що більш-менш повне комп'ютерне моделювання в географії почало розвиватися у 60-ті рр. минулого сторіччя [6]. Воно починалася, ще не маючи чітких орієнтирів для майбутнього, а що виникне в результаті, не було відоме нікому. В ті роки перед іншими країнами виявилися Канада і Швеція, і цікаво, що тут географічні комп'ютерні моделі розроблялися паралельно становленню нової предметної галузі – геоінформатики. Так, в Швеції велися роботи зі створення земельного банку даних, у якому автоматизувався облік землеволодінь і нерухомості, а автоматизована система обліку (АСО) уключала “комп'ютерні моделі метеорологічних умов та сільськогосподарських угідь” [7]. Основною метою цієї АСО було упорядкувати зібраний матеріал і полегшити до нього доступ. Карти, що у цей час будували комп'ютер, являли собою грубі алфавітно-цифрові роздруковані зображення, що складалися з букв і цифр. Завдяки різній щільності цих знаків створювався примітивний ефект тонових і напівтонових зображень. Вже у середині 70-х рр. стало очевидно, що у комп'ютерного моделювання в географії значне майбутнє, хоча до кінця ще важко було уявити його сучасну форму – геоінформаційні системи і технології. З'явилися перші приклади ефективного застосування відповідних комп'ютерних моделей у певних предметних галузях фізичної географії [8–10], однак вартість техніки, програмного забезпечення й обслуговування була дуже висока і недоступна для багатьох фахівців. Це був час певного застою в розвитку.

Новий прогрес в області комп'ютерного моделювання в географії намітився із початку 80-х рр., коли широко поширилися відносно дешеві персональні комп'ютери, які стали основним робочим місцем розробника програмного забезпечення замість так званих «великих ЕОМ», які грали цю роль до того часу. Відкривалися принципово нові можливості для роботи з інформацією, причому не тільки для фахівців-одинаків, але і для масового споживача.

Нарешті, епоха, так би мовити, зрілості настає в середині 80-і рр., коли окремі комп'ютерні програми по обробці даних, по підготовці текстів або карт поєднуються в систему, здатну допомогти фахівцю, досліднику, або керівнику приймати відповідальні рішення. Можна вважати, що саме із цього часу *новітня ГІС-технологія почала витісняти «ортодоксальну» комп'ютерну модель*, що для фізико-географічних досліджень. У той же час створюються комп'ютерні мережі, завдяки яким стали легко доступні численні бази географічних і екологічних даних. Вже у 90-і рр. з'явилися інтелектуальні комп'ютерні системи і технології, що впливають одночасно на різні органи почуттів людини і знаходяться на порозі генерації властивостей і функцій штучного інтелекту, які відповідним чином можуть впроваджуватися в рамках функціональних можливостей ГІС.

*Моделі і моделювання – загальні положення*. Взагалі модель відтворює ефект дії сукупності реальних або гіпотетичних процесів, і має передбачати можливий результат цього ефекту. *Процедура моделювання* – це вже відтворення на одному об'єкті властивостей іншого, який і називається моделлю цього об'єкту. У загальному сенсі під *моделлю* можна розуміти такий матеріальний, або той, що представляється думкою людини, об'єкт, який у процесі дослідження заміщає *об'єкт-оригінал* (природний аналог) так, що його безпосереднє вивчення дає нові знання про об'єкт-оригінал. Модель повинна будуватися так, щоб вона найбільше повно відтворювала ті якості об'єкта, які необхідно вивчити відповідно до поставленої мети дослідження. В усіх відношеннях *модель*, як правило, *повинна бути простіше об'єкта* і зручніше його для вивчення. Таким чином, для того самого об'єкта, у тому числі і об'єкта географічного можуть існувати різні моделі, класи моделей, які відповідають різним цілям його вивчення. Необхідною умовою моделювання є *подоба об'єкта і його моделі*.

Практично на всіх етапах автоматизації географічних досліджень, яка стала можливою за часів впровадження ГІС-технологій, при збереженні, обробці і аналізі географічної інформації, а також при синтезі даних, безпосередньо вивчається не сам об'єкт, але його *модель*. Остання, у додаток до зробленого вище визначення, може подаватися як *штучний умовний образ*, або *штучний фізичний предмет*, що спрощено відбиває визначені параметри досліджуваного об'єкта і знаходиться із ним у певних співвідношеннях. Умовою наявності останніх можна вважати географічну *подобу* (ця дефініція вже згадувалася вище відповідно моделювання у загальному випадку) між моделлю та її об'єктом за аналогією із необхідністю існу-

вання подоби між моделлю і об'єктом у випадку моделювання будь-якої природної системи, коли вказана подоба є умовою адекватного моделювання такої системи [11, 12]. Модельна подоба може полягати або в подібності *фізичних характеристик* моделі і географічного об'єкта, або в подібності *функцій*, здійснюваних моделлю й об'єктом, або в тотожності математичного опису поведінки, тобто функціонування, географічного об'єкта і його моделі. У кожному конкретному випадку модель може виконати свою роль (тобто бути адекватною) тоді, коли ступінь відповідності моделі із об'єктом визначається достатньо строго.

*Комп'ютерні моделі для фізико-географічних досліджень.* На початку розвитку і у період становлення комп'ютерного моделювання у фізичній географії всі відповідні моделі класифікувалися на підставі загальної теорії моделювання та у залежності від природи моделі і тих сторін географічного об'єкта, що у ній втілювався [6, 9, 12–15]. Таким чином, наприклад, в географії розрізняли і розрізняють *моделі фізичні і математичні*. У свою чергу, і одні і інші можуть бути *повними* або *частковими*, подавати певні властивості географічного об'єкта або виконувати його певну функцію – у випадку *функціональної моделі*. Достатньо поширеним є також розподіл математичних моделей на *детерміністські* і *стохастичні*. Щодо останніх, то для них можлива значно більша кількість вихідних результатів, ніж для випадку застосування детерміністських моделей. Однак, треба мати на увазі, що границі, проведені між різними типами моделей, є достатньо умовними. У географічних дослідженнях майже не використовувалися і не використовуються тільки виключно детерміністські, або навпаки – тільки виключно стохастичні моделі, а впроваджуються *комплексні процедури моделювання*. Взагалі ж, математична, модель, на відміну від фізичної, є за визначенням більш універсальною і, таким чином, може бути застосована для характеристик географічних об'єктів різної фізичної природи.

При розробці і застосуванні саме *фізичних моделей* при фізико-географічних дослідженнях треба враховувати, що виконання умови фізичної подоби зовсім не обов'язково передбачає наявність зовнішньої фізичної схожості, але потребує виконання подібних фізичних законів для функціонування моделі і її природного аналогу. Так, наприклад, відомо, що швидкість ламінарної течії води у насиченому водоносному горизонті є прямо пропорційною градієнту гідравлічної напруги і значенню гідравлічної питомої провідності (так званий *закон Дарсі* [16]). Схожим чином, електричний струм є прямо пропорційним електричній напрузі (вимірюється у вольтах) та електропровідності (величина, зворотна електричному опору). Таким чином, течія води крізь водоносний горизонт може бути змодельована через вимірювання електричного струму, що рухається крізь електропровідний матеріал фізичної форми, схожій на форму вказаного водоносного горизонту, і така *аналогова модель* має подаватися наступним математичним виразом [16]:

$$Q=K \cdot G, \quad (1)$$

де  $Q$  – витрата води через кожний  $m^2$  поперечного сечения водоносного горизонту;  $K$  – гідравлічна питома провідність горизонту;  $G$  – градієнт гідравлічної напруги.

У виразі (1) рух води у горизонті може бути розрахований, тобто можуть бути змодельовані гідрогеологічні умови. Свого часу це напевно було би зроблено за допомогою будь-яких традиційних обчислювальних засобів (наприклад, примітивного калькулятора), але у сучасний час, скоріше за все, буде виконуватися за допомогою комп'ютера із подальшою візуалізацією результатів, тобто буде розраховуватися саме *комп'ютерна модель* водоносного горизонту. Така модель відбиватиме реальний природний об'єкт, зовсім не зважаючи на те, що комп'ютер, на якому вона створюється навіть і близько не нагадує водоносний горизонт з точки зору фізичної схожості.

*Картографічне і математичне моделювання* у фізичній географії протягом тривалого часу по праву відносять до числа як найбільш універсальних, так і найбільш ефективних засобів [17]. Коли методологія цих двох підходів почала реалізовуватися через створення саме *комп'ютерних моделей*, тоді адекватне відображення природного довкілля отримало якісного стрибка – стало можливим узагальнення різних видів моделювання з метою створення більш гнучкого дослідницького методу вивчення тих фізико-географічних комплексів, які є дуже складними за структурою, з численними взаємозв'язками їхніх структурних елементів, динамічних і громіздких по масштабах своєї будови. Подальший розвиток комп'ютерного моделювання, зокрема у фізичній географії, обумовив можливість говорити про окрему методологію такого моделювання, яка вже може вважатися незалежною від методологічних підвалин моделювання фізичного, евристичного, чи суто математичного (як у прикладі із «математико-картографічною моделлю» [17]).

Задачу нашої статті не є виконати детальний огляд основного змісту і головних прикладів комп'ютерного моделювання у фізичній географії, для чого було б необхідним зробити щонайменш кілька сотень посилань, але визначити лише ті деякі риси такого дослідницького підходу, які обумовили його одночасну роль підвалини і провісника *геоінформаційного моделювання в геоecології*.

У найбільш повних оглядах вже безпосередньо комп'ютерних моделей у фізичній географії частіше за все можна відокремити наступні групи: 1) *моделі “чорної шухляди”*, 2) *моделі процесу*, 3) *моделі балансу мас* і 4) *стохастичні моделі* [6-9, 12-16, 18].

Моделі *першої групи* вважаються в різних галузях природознавства, у тому числі в географії, найпростішими. Приймається, що в моделях «чорної шухляди» має місце внутрішня процедура відтворення властивостей об'єкта, що моделюється, і ця процедура невидима для користувача програмного забезпечення, яке реалізує таку комп'ютерну модель. Користувач, у його чергу, має лише піклуватися про виведення інформації і відповідне отримання результатів. Інакше такі моделі називають моделями «вводу/виводу». Зрозуміло, що вказана внутрішня процедура моделювання в моделях «чорної шухляди» зовсім не обов'язково повинна відповідати (навіть на абстрактному математичному рівні!) будь-яким реальним процесам, пов'язаним із об'єктом, властивості якого відтворюються, а вхідні дані можуть відповідати наступним результатам моделювання навіть статистичними залежностями. Скоріше за все, ця група моделей має впроваджуватися, коли процеси, які визначають властивості модельованого об'єкту, не є достатньо вивченими і глибоко зрозумілими. Також треба мати на увазі, що на відміну від моделей другої та третьої

груп моделі «чорної шухляди» залишаються адекватними тільки за умовою майже стовідсоткової оригінальності і вірогідності вхідних тестових даних [15].

Моделі процесу і балансу мас (друга і третя групи) хоч і частково, але вже роблять зміст «чорної шухляди» відомим розробнику моделі. Однак, зрозуміло, що вони не повинні впадати у крайність, і подавати замість моделі першої групи якусь «модель білої шухляди», оскільки всі наявні зв'язки і взаємозалежності зроблять таку модель занадто складною і громіздкою і нездатною до використання вже через цю причину. Моделі процесу намагаються прямо передавати зміст природних феноменів, що існують у реальному світі. Наприклад, модель «чорної шухляди» ерозії ґрунту скоріше за все буде оцінювати це природне явище через низку емпіричних рівнянь, що уключають параметри зливи, довжини схилу і градієнта схилу. В моделі процесу ерозія буде, очевидно, розподілятися на дощово-краплинну і ерозію площинного змиву. Дощово-краплинна буде оцінюватися на підставі характеристик інтенсивності зливи і властивостей ґрунту, у той час коли ерозія площинного змиву – походючи із показників обсягів поверхневого стоку і його здатності до транспортування наносів. Тобто кажучи, модель процесу будується із компонентів, які подають фізичний зміст перенесення-акумуляції речовин та енергії в дійсності. Скоріше за все неможливо побудувати певну «ідеальну модель процесу», яка б достатньо повно відбивала природні феномени і не була занадто складною, але у своїх намаганнях прямо відобразити реальну дійсність концептуальна складова моделі процесу йде значно далі, ніж модель «чорної шухляди».

Приймаючи до уваги усе викладено, що стосується моделі процесу, легко припустити – така загальна модель повинна складатися певною сукупністю під-моделей, кожна із яких окремо подає конкретний процес, або ряд процесів. Кожна під-модель подає певні рівень і комірку енерго-масообміну в природній системі, яка моделюється, кожна відбиває функціонування цієї системи в межах певних координат часу та простору. Наприклад, легко погодитися з думкою, що достатньо проблематично поєднати разом модель циркуляції атмосфери на території, яка покривається регулярною сіткою чарунок  $100 \times 100$  км при розмірі чарунки  $1 \times 1$  км із гідрологічною моделлю, яка працює із сукупністю невеличких водозбірних басейнів, кожний нерегулярної форми і площею приблизно  $1 \text{ км}^2$  [15].

Остільки оскільки саме баланс матеріалу частіше використовується при моделюванні природних процесів енерго-масообміну у порівнянні із розрахунком енергетичного балансу, в рамках третьої групи, перш за все, розглядаються моделі балансу мас. Подібна перевага може пояснюватися тією обставиною, що взагалі в механістичних системах втрати великих обсягів енергії є досить звичайні і не є добре зрозумілими, а багато критичних складових дуже ускладнених рівнянь енергетичного балансу є занадто мілкими [19]. Зрозуміло, тут мають місце певні виключення, коли йдеться, наприклад, про моделювання випаровування вологи із земної поверхні у залежності від градієнту її температур. Енергетичний баланс у цьому випадку має дуже велике значення, щоб ним знехатати, і до того ж у вказаній термодинамічній системі втрати енергії є відносно малі.

При розвитку моделей першої групи («моделі чорної шухляди») до стану моделей другої та третьої груп, коли процедури моделювання стають більш-менш ясними, опис балансу мас або енергетичного балансу може стати тією підвалиною, яка дає уявлення вже про загальну структуру моделі фізичного процесу. Достатньо повно обидва енергетичний і баланс мас можна подавати на підставі так званого «рівняння накопичення-втрати мас і енергії», яке спрощено можна виразити через математичний апарат із першої частини («Основи термодинаміки») роботи Г. Ніколіса і І. Пригожина [19] як:

$$IME - OME = SLME, \quad (2)$$

де  $IME$  – подача (input – *англ.*) масо-енергопоток на відкриту термодинамічну систему;  $OME$  – вихід (output – *англ.*) масо-енергопоток із відкритої термодинамічної системи;  $SME$  – сумарне накопичення-акумуляція (storage – *англ.*) мас і енергії в системі, або втрата із неї (loss – *англ.*).

На підставі навіть загальних міркувань можна припустити, що вираз (2) буде адекватний змісту масо-енергообміну обсягів води та твердого матеріалу на земній поверхні, але його уживання для розрахунку, наприклад, радіаційного балансу, або руху мас та енергії в біологічних системах (в популяціях) є достатньо проблематичним. Взагалі ж, значною перевагою підходу, який базується на «рівняннях накопичення-втрати мас і енергії», є те, що такий підхід буде завжди мати значно краще фізичне обґрунтування процедур моделювання, аніж будь-який інший із підходів, що впроваджує будь-яку «модель процесу», котра належить до другої групи.

Стохастичні моделі відносяться до визначеної четвертої групи комп'ютерних моделей у фізичній географії, яка розглядається тут останньою. Стохастичний елемент безумовно присутній в усіх інших групах, хоча вважається, що найпростіші моделі (наприклад, «моделі чорної шухляди») його, як правило, не мають [9, 15, 18]. Дійсно, коли ми намагаємося моделювати природне довкілля у першому наближенні, і маємо вважати його строго детерміністським, ми не можемо описувати в моделі чинник кожного процесу, а саме це ми б мали робити, будуючи суто детерміністську модель. Таким чином, в моделі об'єктивно з'являється імовірнісний елемент, а ті процеси, для яких чинники такі мають бути описані, повинні відбитися, скажімо, застосовуючи серії випадкових чисел.

Як практичні моделі навряд чи доцільно застосовувати або «чисто стохастичні», або «чисто детерміністські». Наприклад, модель перетворення зливи в поверхневий стік є за суттю детерміністською. Однак, очевидно, що прогнозувати гідрологічний режим певної території (у тому числі і поверхневий стік) ми будемо на підставі, скажімо, багаторічного статистичного ряду злив для вказаного регіону, використовуючи як стохастичні характеристики центру угруповань значень варіант цього ряду, так і характеристики розсіювання вказаних значень.

Треба мати на увазі, що використання серій випадкових чисел зовсім не означає, що показники гідрологічного ряду, або морфометричні характеристики мікро-форм можуть приймати значення із дуже широ-

кого діапазону чисельних параметрів, тобто – будь-яке значення. Як підкреслюється у відповідних роботах по екологічному моделюванню, випадкові числа у подібних прикладах мають братися із достатньо вузької області чисельного ряду, який описується певною функцією розподілу ймовірностей [16]. Випадкове число може бути взято із статистичної сукупності, яка підкоряється закону нормального розподілу, як у прикладі А. Уілсона і М. Кіркбі, коли із середньою в 100 одиниць і стандартним відхиленням в 1 одиницю більшість значень випадкових чисел, якими б описувався стохастичний компонент певного географічного феномену, лежатиме між 98 та 102 [15]. Взагалі ж, треба приймати, що стохастичне моделювання зовсім не має на увазі повну відсутність регулярної складової у змодельованих результатах, воно лише підкреслює, що ці результати можуть бути багатоваріантними.

Можна навести достатньо прикладів застосування вже через ГІС-технології в різних предметних галузях фізичної географії тих груп комп'ютерних моделей, що були систематизовані в нашій статті. Відносно майже кожного із переважної більшості посилань, які були би зроблені, не можна вважати, що використовувався якийсь тільки певний приклад комп'ютерної моделі, який може бути легко кваліфікований за наведеною тут схемою. Навпроти, як правило, вимоги практичної реалізації такого програмного забезпечення потребують від його розробників комплексного і різноманітного підходу до побудови певної комп'ютерної моделі, яка приймає форму *моделі геоінформаційної*.

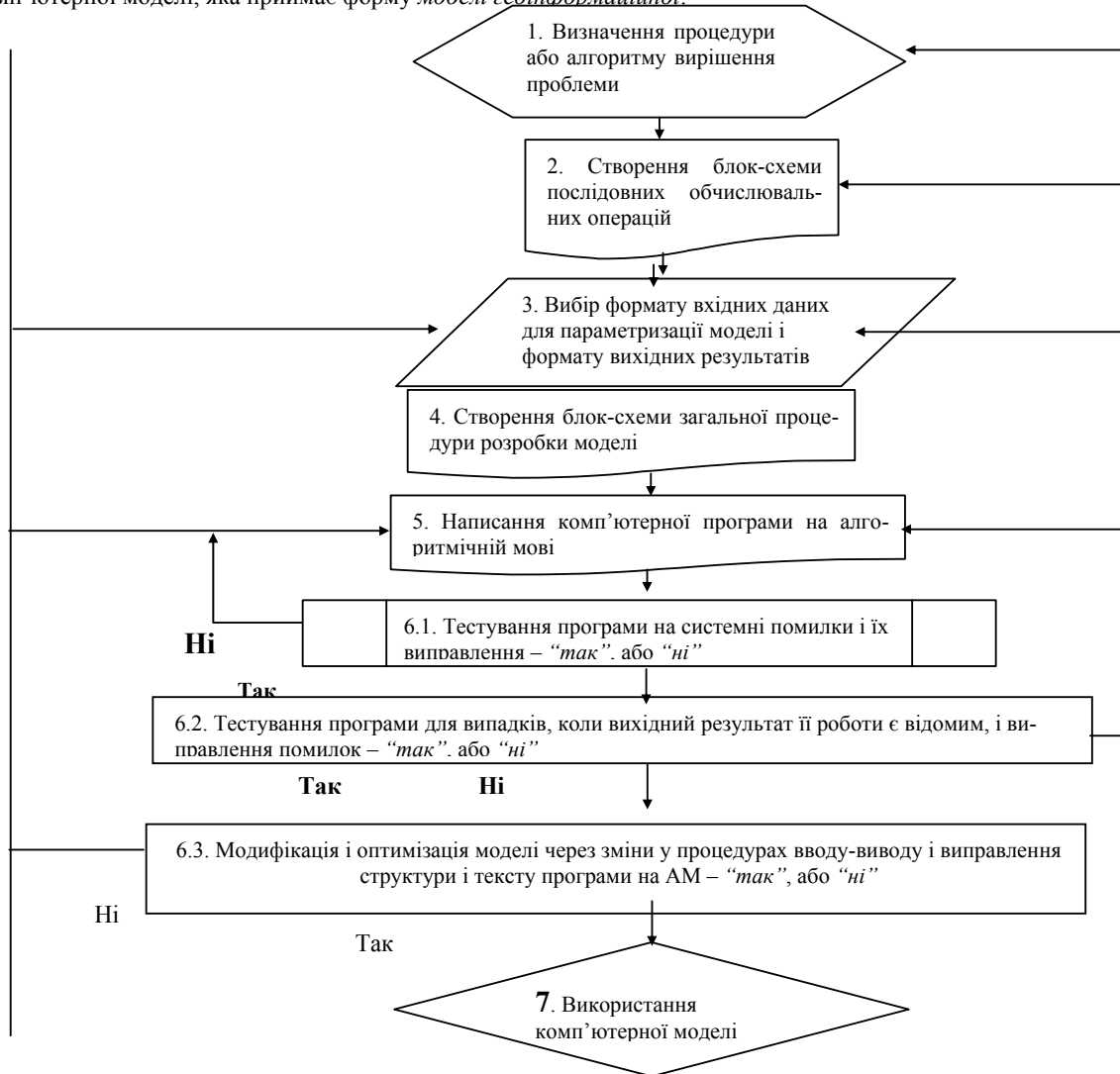


Рис. 1. Загальний опис розробки комп'ютерної моделі у вигляді блок-схеми

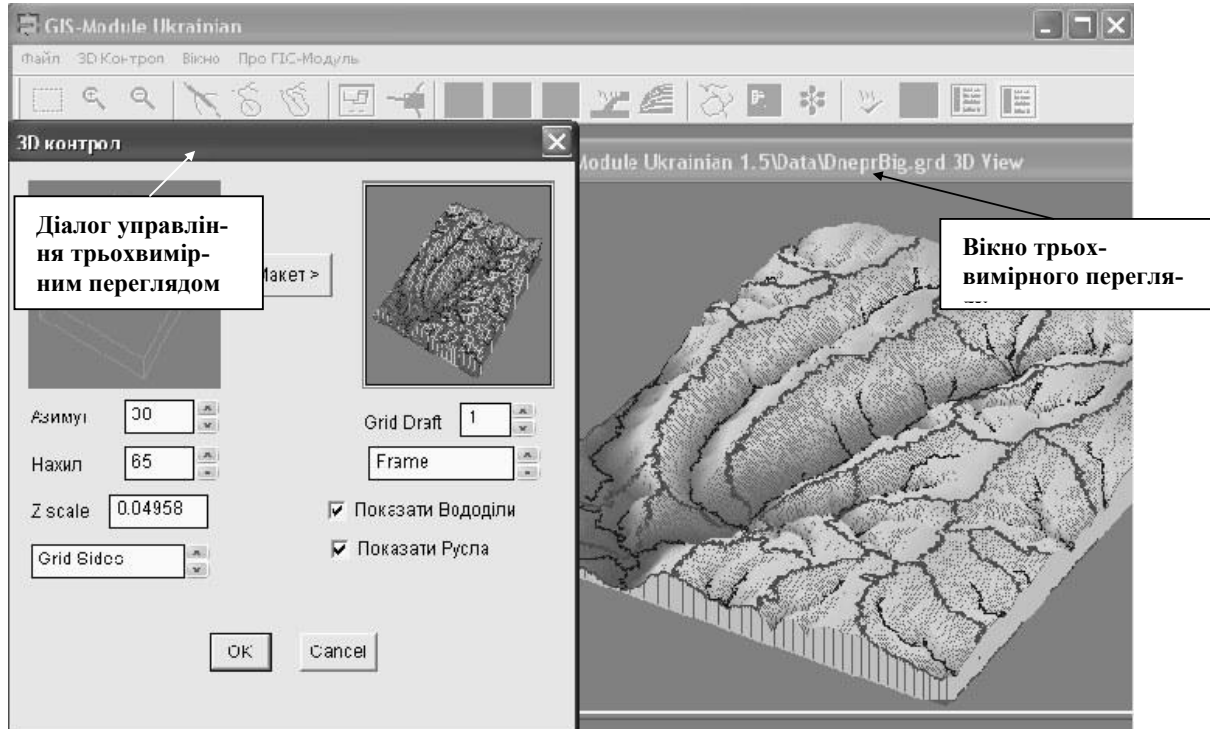
*Опис розробки комп'ютерної моделі.* Загальний опис розробки комп'ютерної моделі для вирішення певної дослідницької проблеми щодо природного довкілля подається на рис. 1 у алгоритмічній формі. На першому кроці (1-й блок - підготовка, рис. 1) необхідно визначити процедуру (або алгоритм) створення ефективного прогнозу розвитку процесів та явищ у довкіллі на підставі існуючого розуміння вказаної дослідницької проблеми. Ця процедура, як правило, уключає моделі, які відносяться до однієї чи багатьох груп моделей, що розглянуті вище і, в решті решт, повинна подаватися у чисельній формі або у формі логічного опису. Коли процедура або алгоритм визначені, розглядається і призначається ряд послідовних операцій, котрі через обчислення на ЕОМ реалізують цю процедуру (алгоритм) (2-й блок - документ). Незважаючи на те, що процеси у природному довкіллі, які відповідають вказаним операціям, протікають,

скоріше за все, паралельно, комп'ютеру повинні надаватися інструкції виконувати ці операції послідовно. Наступний крок (3-й блок - дані) має визначити особливості параметризації моделі через вхідні дані і форму, у якій було би бажано отримати вихідний результат і, нарешті, все зроблене до цього моменту покладатися у блок-схему (4-й блок - документ). Блоки 1–4 (рис. 1) складають *першу частину* опису розробки моделі.

*Друга частина* починається із написання комп'ютерної програми на певній *алгоритмічній мові (АМ)* із коментарями і своєю блок-діаграмою (5-й блок - документ).

Завершується друга частина розробки моделі *тестуванням* комп'ютерної програми на *трьох рівнях* (6-й блок). Перш за все, необхідно позбавитися найбільш грубих – системних – помилок у роботі програми (підблок 6.1 – *типовий процес*). Потім виправлення помилок здійснюється по шаблону вихідних результатів, які очікуються на підставі певних вхідних даних (підблок 6.2 – *процес*). По результатах третього рівня тестування має місце *оптимізація моделі*, яка може полягати у тому, щоб зробити модель більш зручною для користувача; такою, що точніше відбиває процес, що моделюється; або збільшити швидкість обчислень через відмову від непотрібних кроків у роботі алгоритму (підблок 6.3 – *процес*). Нарешті модель є готовою до користування через певний ГІС-засіб (7-й блок – *рішення*).

*Результати і висновки.* Автор статті є керівником розробки оригінального ПЗ для моделювання водозборів, перші версії якого вже подавалися нами раніше [3, 20, 21]. Однак, на відміну від суттєво обмежених можливостей попередніх версій, коли виконувався, перш за все, автоматизований морфометричний аналіз рельєфу [20] новітній реліз автономного ГІС-модуля підтримує моделювання для *просторового гідролого-геоморфологічного аналізу водозборів*. Ціллю останнього є комплексне відтворення на *геоінформаційній моделі водозбору* [21] морфології його флювіального рельєфу, особливостей гідрологічного режиму, а також інших компонентів геоморфосистеми басейну через досить складне моделювання прямих і зворотних зв'язків між цими компонентами, як, наприклад, заплутаних зв'язків між рельєфом та гідрологією водозбірного басейну, які відбиваються у процесах рельєфоутворення, розвитку ґрунтового покриву, ерозії та акумуляції твердого матеріалу. Зрозумілим чином, для подібної задачі, яка становить собою вже виражене *геоекологічне дослідження*, мають комплексно використовуватися всі групи комп'ютерних моделей, що були оглянуті в нашій статті. На *рис. 2* подається приклад інтерфейсу новітнього релізу ГІС-модуля із завантаженням у вікно трьохвимірного перегляду файлом повної геоінформаційної моделі водозбору великої балки, що у басейні річки Прип'яті (водозбір Дніпра):



**Рис. 2.** Вікно трьохвимірного перегляду із завантаженням файлом ГІС-моделі водозбору і Діалог управління переглядом

Підводячи підсумок викладеному у статті, доцільно зробити висновок, що ще безпосередньо не пов'язані із ГІС-технологіями ранні комп'ютерні моделі у фізичній географії були необхідними попередниками сучасних геоінформаційних моделей, оскільки вже *визначали головні стадії розробки і прийняття формалізованої моделі природної системи*: розробки концептуальної частини моделі, визначення галу-

зей використання моделі, розробки ПЗ для реалізації моделі, тестування і апробації моделі, а також - її калібрування.

#### Джерела та література

1. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Часть I. Теоретическая геоинформатика. Выпуск 1. – М.: Изд-во Дата+, 1998. – 127 с.
2. Де Мерс Майкл Н. Географические информационные системы. Основы. – М.: Изд-во Дата+, 1999. – 490 с.
3. Костріков С.В., Воробйов Б.Н. Практична геоінформатика для менеджменту охорони довкілля. Навчально-методичний посібник. – Харків: Вид-во ХНУ, 2003. – 102 с.
4. Черванев И.Г. Структура рельефа и ее влияние на структуру ландшафта // Физ. география и геоморфология. – 1983. – Вып. 30. – С. 104–107.
5. Ясинский С.В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек // Известия Академии наук. Серия географическая. – 2000. – № 4. – С. 74–82.
6. Davidson, D.A. Science for Physical Geographers. – London: Edward Arnold, 1978. – 408 p.
7. Coppock J., Rhind D. The History of GIS. \ In: Geographical Information Systems: Principles and Applications. D.J. Maguire, MS. Goodchild, D.W. Rhind (eds). - Essex: Longman, . – 1991. – Vol. 1. – P. 45–54.
8. Maynard Smith J. Models in Ecology. – Cambridge: Cambridge University Press, 1974. – 365 p.
9. Thomas, R. W., Huggett, R. J. Modelling in Geography: A Mathematical Approach. London: Harper and Row, 1980. – 415 p.
10. Morris, E.M., Woolhiser, D.A. Unsteady One-Dimensional Flow Over a Plane: Partial Equilibrium and Recession Hydrographs // Water Resources Research. –1980. – Vo. 16. – No. 2. – P. 355–360.
11. Хорафас Д.Н. Системы и моделирование. – М.: Мир, 1967. – 419 с.
12. Харвей Д. Модели развития пространственных систем в географии человека // Модели в географии. – М.: Прогресс, 1971. – С. 237–286.
13. Харрет П. Сетевые модели в географии // Модели в географии. – М.: Прогресс, 1971. – С. 287–343.
14. Maynard Smith, J. Models in Ecology. – Cambridge: Cambridge University Press, 1974. – 365 p.
15. Wilson, A. G., Kirkby, M. J. Mathematics for Geographers and Planners (2nd ed.). – Oxford: Oxford University Press, 1980. – 313 p.
16. Jeffers, J. N. Modelling. Outline Studies in Ecology. – Chapman and Hall, London, 1982. – 495 p.
17. Тикунов В.С. Моделирование в картографии. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 404 с.
18. Киркби М. Дж. Моделирование процессов водной эрозии // Эрозия почвы. Пер. с англ. – М.: Колос, 1984. – С. 268–295.
19. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
20. Костріков С.В. Просторово-статистичний аналіз в геоінформаційному моделюванні (на прикладі розрахунку морфометрії рельєфу водозборів) // Культура народів Причорномор'я. Географічні науки. – 2003. – № 43. – С.39–45.
21. Костріков С.В. Чисельне моделювання рівноважної мережі рельєфу річкового водозбору // Вісник ХНУ. – 2003. – № 604: Геологія – Географія – Екологія. – С. 35–43.