

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Крижановський Євгеній Миколайович

УДК 004.9+504.06

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕГРУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ У
ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД**

Спеціальність 05.13.06 – Інформаційні технології

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Вінниця - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Мокін Віталій Борисович,

Вінницький національний технічний університет,

завідувач кафедри моделювання та моніторингу складних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Аверін Геннадій Вікторович,

Донецький національний технічний університет,

завідувач кафедри комп'ютерних систем моніторингу

доктор технічних наук, професор

Теленик Сергій Федорович,

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,

завідувач кафедри автоматизації і управління в технічних системах

Захист відбудеться " 26 " 03 2010 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГУК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий " 16 " 02 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Важливою задачею сьогодення є моделювання та прогнозування стану поверхневих вод, що дозволяє розробляти науково-обґрунтовані рекомендації щодо покращення стану поверхневих вод. Розв'язанню цієї задачі сприяють системи екологічного моніторингу та кадастри природних ресурсів, що створюються як геоінформаційні системи (ГІС) та бази даних. У той же час, сучасний рівень досягнень теорії математичного моделювання, математичної фізики та теорії управління в реальних природних екосистемах є таким значним, що дає можливість моделювати та прогнозувати практично будь-які процеси у них. Для роботи з такими моделями використовуються спеціальні математичні пакети MS Excel, Matlab, Maple, Mathcad, Mathematica, Statistica, та інші або ж дослідники розробляють власні програми. Для збереження, обробки екологічних даних та їх візуалізації на картах ГІС використовуються спеціальні універсальні пакети програм (ГІС-пакети) ArcGIS, Mapinfo, ГІС «Панорама», Digitals, GeoDraw тощо або ж розробники створюють власне програмне забезпечення з використанням інструментарію цих ГІС-пакетів. При цьому, вбудований інструментарій обробки даних у ГІС-пакетах значно поступається можливостям спеціальних математичних пакетів. Для використання даних ГІС під час ідентифікації математичної моделі, як правило, або вручну роблять вибірку даних, яку потім підключають як вхідні дані в пакети Matlab, Maple, Mathcad тощо, або розробляють свою програму на основі ГІС-інструментарію, яка реалізовує математичні алгоритми та працює з даними ГІС. Кожна нова модель, кожна нова ГІС — окремий підхід, окремі програми, додатковий час.

В Україні існують спеціалізовані геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод з можливостями аналітичної обробки, розроблені в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (В. Осадчий та інші), Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституті прикладного системного аналізу НАН України і Міністерстві науки України, Українському НДІ екологічних проблем Мінприроди (О. Васенко, Є. Варламов та ін.), Донецькому національному технічному університеті (Г. Аверін та інші), Вінницькому національному технічному університеті (В. Мокін, А. Ящолт та інші), Інституті космічних досліджень НАН і НКА України (А. Колодяжний та інші). Є аналогічні розробки закордонних колективів: Vieux B., Bedient P., Jonathan J., Rodda J. та ін. - системи TUFLOW, GIS Hydro, Vflo, AQUASEA, LakeWatch, Surface Water Modeling System та інші. Безпосередньо автоматизацією інтеграції математичних моделей та ГІС екологічного моніторингу займаються вчені Інституту проблем математичних машин і систем НАН України (М. Железняк та ін.). Інтеграція базується на описі ієрархії даних у системах за допомогою класів авторської мови програмування LIANA (Д. Гофман). Однак, більш актуальним є розробка технології інтегрування математичних моделей екологічних процесів у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод, яка передбачає формалізацію та здійснення розрахунків за моделями у спеціалізованих математичних пакетах MS Excel, Matlab, Maple, Mathcad, Mathematica, тощо з подальшою візуалізацією результатів у ГІС. Можливість використання таких пакетів суттєво розширить коло можливих користувачів інформаційної технології, за рахунок тих, хто професійно займаються математичним моделюванням процесів у водних екосистемах, але недостатньо володіють засобами ГІС.

Таким чином, розробка нової інформаційної технології інтегрування математичних моделей екологічних процесів у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод, яка дозволить поєднати обчислювальні можливості спеціалізованих математичних пакетів та можливості збереження і візуалізації інформації за допомогою геоінформаційних технологій та систем управління базами даних, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Вибраний напрямок досліджень співпадає з напрямком досліджень за такими науково-дослідними роботами (НДР) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), де здобувач брав участь як виконавець:

1) «Розробка методів інтеграції математичних моделей природних процесів з геоінформаційними системами природних екосистем», яка виконується на замовлення Міністерства освіти та науки України (2008-2010 рр.) (№ ДР 0108U000654);

2) «Система прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій», виконана на замовлення Державного комітету України по водному господарству (2005–2006 рр.) (№ ДР 0105U006684);

3) «Супровід упровадження та удосконалення єдиної автоматизованої системи Державної екологічної інспекції та підрозділів аналітичного контролю територіальних органів Міністерства охорони навколишнього природного середовища України із отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та аналізування», виконана на замовлення Державної екологічної інспекції Мінприроди України (2007 р.) (№ ДР 0107U008338);

4) «Створення системи підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Сіверський Донець з використанням геоінформаційних технологій», виконана на замовлення Державного комітету України по водному господарству (2007 р.) (№ ДР 0107U005997);

5) «Створення геоінформаційної системи моніторингу стану вод басейну річки Прип'ять» (2007 р.) (№ ДР 0107U011807), виконана на замовлення Міністерства охорони навколишнього природного середовища України за участю Державного комітету України по водному господарству та НВП „Водооблік”.

Вибраний напрямок досліджень співпадає з госпдоговірними НДР ВНТУ, у яких здобувач був відповідальним виконавцем:

1) «Створення геоінформаційної аналітичної системи моніторингу якості і використання водних ресурсів та стану водогосподарських об'єктів Закарпатської області», виконана на замовлення Державного комітету України по водному господарству (2008 р.) (№ ДР 0108U008125);

2) «Розробка геоінформаційної системи водних ресурсів Львівської області з базою даних про водокористування та даними спостережень за станом поверхневих вод області», виконана на замовлення Державного комітету України по водному господарству (2008 р.) (№ ДР 0108U009138);

3) «Створення геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень з моніторингу та управління станом вод басейну річки Дністер», виконана на замовлення «ГРІД-Арендаль» (GRID-Arendal UNEP – підрозділ ООН у Норвегії) за участю Державного комітету України по водному господарству та ТОВ «Компанія «Ліана» (2008 р.) (№ ДР 0108U009137);

4) «Створення бази даних геоінформаційної системи каталогу-класифікатору з паспортними даними водних об'єктів басейну р. Кальміус та геоінформаційного забезпечення каталогу-класифікатору з паспортними даними водних об'єктів», виконана на замовлення Донецької філії Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (2008 р.) (№ ДР 0108U011046).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у розширенні аналітичних можливостей та прискоренні обробки екологічних даних у геоінформаційних системах моніторингу поверхневих вод.

У результаті проведеного аналізу для досягнення поставленої мети сформульовано задачі дослідження:

- Здійснити аналіз проблем та підходів до автоматизації процесу інтегрування математичних моделей екологічних процесів у функціонуючі в Україні геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод для розширення їх можливостей в обробці даних.

- Розробити новий підхід до систематизації параметрів математичних моделей, інформації баз даних та даних ГІС за єдиним підходом та розробити перехідні моделі від математичного до геоінформаційного представлення.

- Запропонувати метод та алгоритм автоматизованого синтезу баз даних та просторових об'єктів ГІС для збереження параметрів математичної моделі процесів зміни стану цих об'єктів під час інтеграції математичних моделей у ГІС.

- Розробити інформаційну технологію інтегрування математичних моделей у ГІС моніторингу поверхневих вод для розширення аналітичних можливостей та прискорення обробки екологічних даних у цих ГІС.

- Розробити, апробувати та впровадити басейнові та регіональні ГІС моніторингу поверхневих вод, які забезпечать можливість використання розробленої інформаційної технології на практиці.

Об'єктом дослідження є процес автоматизації інтегрування математичних моделей екологічних процесів та методів обробки екологічних даних у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації та реалізації процесу ідентифікації математичних моделей екологічних процесів за даними геоінформаційних систем моніторингу поверхневих вод.

Методи дослідження. У дослідженнях використовувались такі методи: під час вибору оптимальних формалізованих описів вхідних та вихідних даних та описів моделей складових систем – методи математичного моделювання, методи теорії реляційних баз даних та інтерполяційні методи ГІС-технологій; для автоматизації формування запитів у базах даних – метод формалізації даних на основі секвенціального апарату для систем управління; під час розробки програмного коду інформаційних систем – методи об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено інформаційну технологію інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи (ГІС) моніторингу поверхневих вод, яка на відміну від існуючих, використовує нові підходи щодо проведення аналогії між формалізованим описом математичних моделей та описом просторових об'єктів і баз даних ГІС, що дозволяє прискорити їх інтегрування та розширити аналітичні можливості ГІС за рахунок спеціалізованих обчислювальних пакетів, куди автоматизовано передаються дані ГІС та обробляються згідно відповідних математичних моделей.

2. Дістала подальший розвиток систематизація параметрів математичних моделей, інформації баз даних та даних ГІС за єдиним підходом, що дозволило встановити відповідність між цими видами даних і розробити перехідні моделі від математичного до геоінформаційного представлення.

3. Запропоновано новий метод автоматизованого синтезу баз даних та просторових об'єктів геоінформаційної системи для збереження параметрів математичної моделі процесів зміни стану цих об'єктів, оснований на формалізації математичних моделей відповідно до понять та операцій, прийнятих в інформаційних системах, який відрізняється від існуючих більшим рівнем автоматизації та дозволяє прискорити інтеграцію математичних моделей у ГІС.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена інформаційна технологія може широко застосовуватися в інформаційних системах моніторингу стану та підтримки прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами. Також можливе використання даної технології організаціями, які проводять розрахунки гранично-допустимих скидів (ГДС) і розробку проектів тимчасово погоджених скидів (ТПС) для підприємств та установ.

Розроблена інформаційна технологія забезпечує розширення аналітичних можливостей геоінформаційних систем шляхом автоматизації інтегрування апарату математичних моделей у ГІС моніторингу поверхневих вод.

Найбільшу практичну цінність мають такі одержані результати:

1. Розроблена технологія дозволить розширити можливості та прискорити процес ідентифікації та апробації математичних моделей процесів у водних екосистемах за реальними даними систем державного моніторингу поверхневих вод та підвищити наочність візуалізації результатів математичного моделювання на картах ГІС.

2. З урахуванням розроблених рекомендацій та вимог, котрі забезпечують можливість використання розробленої технології, розроблено інформаційні аналітичні системи моніторингу стану та підтримки прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами:

- басейнів річок Південний Буг, Дністер, Тиса, Сіверський Донець, Кальміус, Прип'ять, які впроваджено у відповідних басейнових управліннях водними ресурсами та облводгоспах України;

- водних ресурсів Вінницької та Львівської областей, які впроваджено у Держуправлінні охорони навколишнього природного середовища у Вінницькій області та інших суб'єктах обласного державного моніторингу Вінницької області та у Львівському облводгоспі, відповідно.

Впровадження систем в управліннях підтверджується відповідними актами.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри "Моделювання та моніторингу складних систем" ВНТУ.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі результати: [1-4, 8] – розробка моделей, методів, алгоритмів та програмних модулів автоматизації інтегрування математичних моделей у ГІС моніторингу поверхневих вод; [5-7, 9-16] – розробка типових моделей складових інформаційних систем, створення структури баз даних та карт ГІС моніторингу стану поверхневих вод для зберігання та обробки інформації.

Апробація результатів дисертації. Результати, одержані в дисертаційній роботі, пройшли апробацію на 9-ти наукових конференціях: X Міжнародна науково-технічна конференція «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, НТУУ «КПІ», Інститут прикладного системного аналізу, 2008); 1-й Всеукраїнський з'їзд екологів (Вінниця, 2006); 8-а та 9-а Міжнародні науково-технічні конференції "Контроль і управління в складних системах" (КУСС) (Вінниця, 2005-2007); Науково-технічна конференція «Проблеми екології» (Житомир, 2006); V науково-практична конференція «Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності», м. Яремче Івано-Франківської області, 2009, чотири науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ за участю інженерно-технічних працівників підприємств міста Вінниці і області (Вінниця, 2005–2008 рр.).

Публікації. Всього за тематикою дослідження опубліковано 16 наукових праць, в тому числі 5 статей у наукових журналах, що входять до переліку ВАК України, отримано 10 свідоцтв про реєстрацію авторських прав на програмні твори та бази даних у Державному департаменті інтелектуальної власності України. Опубліковано 8 методичних посібників.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (171 найменування) та 4 додатків. Основний зміст викладено на 101 сторінці друкованого тексту, містить 44 рисунки, 7 таблиць. Загальний обсяг дисертації 178 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність і стан досліджень науково-прикладної задачі, підстави і вихідні дані для проведення дослідження. Також викладено: актуальність теми дисертації,

мету, задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації і публікації здобувача.

У першому розділі здійснено аналіз проблем та підходів до інтегрування математичних моделей екологічних процесів у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод.

Здійснено аналіз найбільш поширених детермінованих математичних моделей зміни якості поверхневих вод, котрий показав, що існує достатня кількість математичних моделей, які можуть бути успішно застосовані для моделювання за даними геоінформаційних систем моніторингу поверхневих вод.

Проаналізовано спеціалізовані математичні обчислювальні пакети, сучасні пакети для роботи з геоінформаційними системами екосистем та функціонуючих в Україні інформаційних систем екологічного моніторингу загальнодержавного та міжрегіонального рівня та виявлено, що існує чимало математичних обчислювальних пакетів, котрі можуть бути використані для формалізації математичних моделей екологічних процесів у поверхневих водах та здійснення розрахунків за ними, але більшість з них не має власних можливостей для інтеграції з ГІС. У свою чергу, у проаналізованих найпоширеніших ГІС-пакетах обмежений інструментарій для математичного моделювання у порівнянні з можливостями математичних обчислювальних пакетів.

Проаналізовано функціонуючі в Україні основні інформаційні системи екологічного моніторингу загальнодержавного та регіонального рівнів, котрі можуть бути використані для розв'язання задач моніторингу поверхневих вод України. В цих системах зберігається та накопичується велика кількість даних, які можуть бути використані для ідентифікації математичних моделей та для моделювання екологічних процесів у поверхневих водах. Деякі з них мають прив'язку інформації до ГІС, але їх можливості для здійснення математичного моделювання досить обмежені.

Також, проаналізовано відомі підходи до застосування математичного моделювання стану поверхневих вод у геоінформаційних екологічних системах та доведено, що ці підходи мають суттєві обмеження для автоматизації процесу інтеграції різних математичних моделей екологічних процесів у ГІС поверхневих вод.

Викладене визначило зміст наукових досліджень, вказаний в задачах досліджень.

У другому розділі розроблено теоретичні основи формалізації математичних моделей та геоінформаційних систем моніторингу поверхневих вод та методів їх інтегрування.

Проведено систематизацію та формалізацію основних складових, величин та змінних математичних моделей процесів, геоінформаційних моделей (ГІС-моделей) систем та моделей баз даних.

Проведено аналогію між типами даних математичних моделей і моделей баз даних (табл. 1).

Таблиця 1

Аналоги типів даних в математичних моделях і моделях баз даних




В математичних моделях	В моделях баз даних
Значення параметра x	Таблиця з 1 полем та 1 записом
Вектор-рядок значень m параметрів, наприклад вектор K параметрів моделі	Таблиця з m полями та 1 записом
Вектор-стовпець значень одного параметра, наприклад дискретні значення показника $X[m]$, виміряні з однаковим інтервалом у моменти часу $m = 1, 2, \dots$	Таблиця з 1 полем та m записами
Матриця $[m \times n]$; значення показника $X(t, z)$ в точках річки з координатами z у різні моменти часу t	Таблиця з n полями та m записами

Таблиця 1 охоплює усі можливі види співвідношень між математичними моделями даних і варіантами структур таблиць баз даних. Отже, інші види математичних понять повинні зводитись саме до них.

Також проведено аналогію між способами представлення даних у математичних та геоінформаційних моделях (табл. 2).

Таблиця 2

Аналоги способів представлення даних в математичних та геоінформаційних моделях

В математичних моделях	В ГІС-моделях
Характеристики об'єкта не змінюються або змінюються тільки в часі t , наприклад концентрація хлоридів $C(t)$ на пості спостереження якості води	Точковий об'єкт: 
Характеристики об'єкта змінюються в часі та по одній просторовій координаті, наприклад концентрація хлоридів $C(t, x)$ у фарватері річки вздовж її течії	Лінійний об'єкт: 
Характеристики об'єкта змінюються в часі та по двох просторових координатах, наприклад розподіл концентрації хлоридів $C(t, x, y)$ у фарватері річки вздовж її течії та по глибині, або вздовж течії і по ширині.	Площинний об'єкт: 

Усі види ГІС-моделей просторових об'єктів зводяться до точкової, лінійної та площинної моделей (до так званих „примітивів”). Відповідно, слід і в математичних моделях робити такі перетворення, щоб функції зводились до наведених у табл. 2.

Розроблено теоретичний апарат формування перехідних моделей та їх відповідності типовим в математиці, теорії баз даних та ГІС-технологіях.

Будь-яка математична модель містить вхідні та вихідні (результуючі) змінні, іншими словами математична модель є перетворенням вхідних даних у вихідну інформацію з урахуванням певних закономірностей. Аналогом цього є:

- для баз даних: вибір вхідних даних із БД (Select) та збереження результату у БД (Insert);

- для ГІС: пошук на карті потрібних даних (Find) та нанесення на карту результуючих даних (Draw). Запропоновано формалізований опис цих процесів у ГІС та БД.

Для БД:

- вибір значень полів (Par1, Par2, ... Parr) з таблиці T, які відповідають заданим критеріям відбору Ω :

$$\text{SELECT Par1, Par2, ... Parr FROM T WHERE } \Omega; \quad (1)$$

- занесення значень X_1, X_2, \dots, X_r заданих полів (Par1, Par2, ... Parr) у таблицю T:

$$\text{INSERT INTO T(Par1, Par2, ... Parr) VALUES } X_1, X_2, \dots, X_r. \quad (2)$$

Важливо зазначити, що результатом операції SELECT є нова таблиця T1 з полями Par1, Par2, ... Parr, назви яких вказані між словами “SELECT” і “FROM” у (1).

Запропонуємо здійснити формалізацію цих операцій за аналогією із математичними функціями:

- для (1):

$$T_1 = \text{Select}(T, \text{Par1}, \text{Par2}, \dots, \text{Parr}, \Omega); \quad (3)$$

- для (2):

$$T = \text{Insert}(\text{Par1}, \text{Par2}, \dots, \text{Parr}; X_1, X_2, \dots, X_r). \quad (4)$$

Відповідно до аналогій табл. 1, моделі (3), (4) можна записати у такому вигляді:

$$M_{T_1} = \text{Select}(T, P, \Omega), \quad (5)$$

$$V_T = \text{Insert}(P, X), \quad (6)$$

$$P = [\text{Par1}, \text{Par2}, \dots, \text{Parr}], \quad X = [X1, X2, \dots, Xr], \quad (7)$$

де M_T — матриця розмірності $[n \times r]$ (n — кількість записів, які задовольняють множині критеріїв відбору Ω); V_T — вектор-рядок значень розмірності r ; P та X — вектор-рядок назв та значень, відповідно, параметрів (полів таблиці T) розмірності r .

Для ГІС:

- пошук на карті потрібних даних, які відповідають заданим критеріям пошуку ($\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$);
- нанесення на карту результуючих даних за координатами ($X_1, X_2, \dots, X_k; Y_1, Y_2, \dots, Y_k$).

Запропоновано здійснювати формалізацію цих операцій за аналогією із математичними функціями:

- для пошуку:

$$F = \text{Find}(\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m), \quad (8)$$

- для нанесення на карту:

$$D = \text{Draw} \left[\begin{array}{c} (Y_1) \\ (Y_2) \\ \vdots \\ (Y_k) \end{array}, \begin{array}{c} (X_1) \\ (X_2) \\ \vdots \\ (X_k) \end{array} \right], \quad (9)$$

де X_1, X_2, \dots, X_k — значення координат широти; Y_1, Y_2, \dots, Y_k — значення координат довготи.

Систематизовано підходи до автоматизованого синтезу моделей різного типу, в залежності від наявних даних про структуру та параметри цих моделей. Варіанти постановки задач наведено в таблиці 3.

Комплекс задач, поданий у таблиці 3, замінюється однією задачею інтегрування математичних моделей, ГІС та БД.

Таблиця 3

Варіанти постановки задач автоматизованого синтезу моделей різного типу, в залежності від наявних даних про структуру та параметри цих моделей

№ п/п	Ідентифіковані структура та введені дані або ідентифіковані параметри		Постановка задачі
	Бази даних (БД)	Математичної моделі (ММ)	
1	+	-	Ідентифікація параметрів та структури математичної моделі за даними ГІС та БД
2	-	+	Ідентифікація структури бази даних, яка відповідає даним ММ та об'єктам ГІС, та її наповнення даними
3	+	+	Візуалізація результатів моделювання
4	-	-	Не розглядається

Розроблено теоретичні основи методу інтегрування математичних моделей у ГІС, сутність якого полягає у використанні математичних пакетів прикладних програм для формалізації моделей та здійснення розрахунків за ними та автоматизації перенесення інформації з них до ГІС.

У **третьому розділі** розроблено наукові засади автоматизації ідентифікації параметрів та структури математичних моделей екологічних процесів за даними ГІС моніторингу поверхневих вод.

Розроблено комплекс алгоритмічного та програмного забезпечення для автоматизованого оцінювання просторових характеристик об'єктів моделювання за даними карт ГІС.

Наприклад звивистість річки визначається відношенням довжини прямої, що з'єднує витік та гирло річки, до загальної довжини річки (10) (рис. 1).

Визначення того, чи є річка лівою або правою притокою головної річки, запропоновано робити на основі порівняння кутів, що утворюються в місці впадіння притоки в головну річку, або за відомим співвідношенням лінійної алгебри на основі розрахунків за координатами (x_1, y_1) та (x_n, y_n) точок відрізків, які утворює об'єкт «Річка» на карті ГІС.

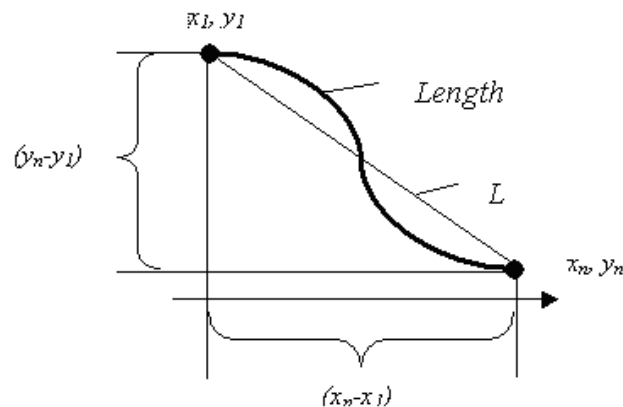


Рис. 1. Ілюстрація до методу визначення звивистості річки

$$Z_{vuv} = \frac{L}{Length}. \quad (10)$$

Також розроблено підходи до автоматизації ідентифікації параметрів та структури математичних моделей по ГІС.

Запропоновано метод та алгоритм автоматизованого синтезу баз даних та просторових об'єктів геоінформаційної системи для збереження параметрів математичної моделі процесів зміни стану цих об'єктів, оснований на формалізації математичних моделей відповідно до понять та операцій, прийнятих в інформаційних системах, який відрізняється від існуючих більшим рівнем автоматизації та дозволяє прискорити інтеграцію математичних моделей у ГІС. Практичні випробування методу та алгоритму на прикладі інтегрування моделі Л. М. Горєва для оперативного прогнозування змін якості поверхневих вод довели їх працездатність та ефективність, оскільки забезпечили майже удвічі швидший процес інтегрування.

В четвертому розділі охарактеризовано розроблену інформаційну технологію інтегрування математичних моделей з геоінформаційними системами моніторингу поверхневих вод та наведено приклади її застосування на практиці.

Запропоновано узагальнену архітектуру та принципи функціонування інформаційної програмної системи інтегрування математичних моделей з геоінформаційними системами моніторингу поверхневих вод (рис. 2).

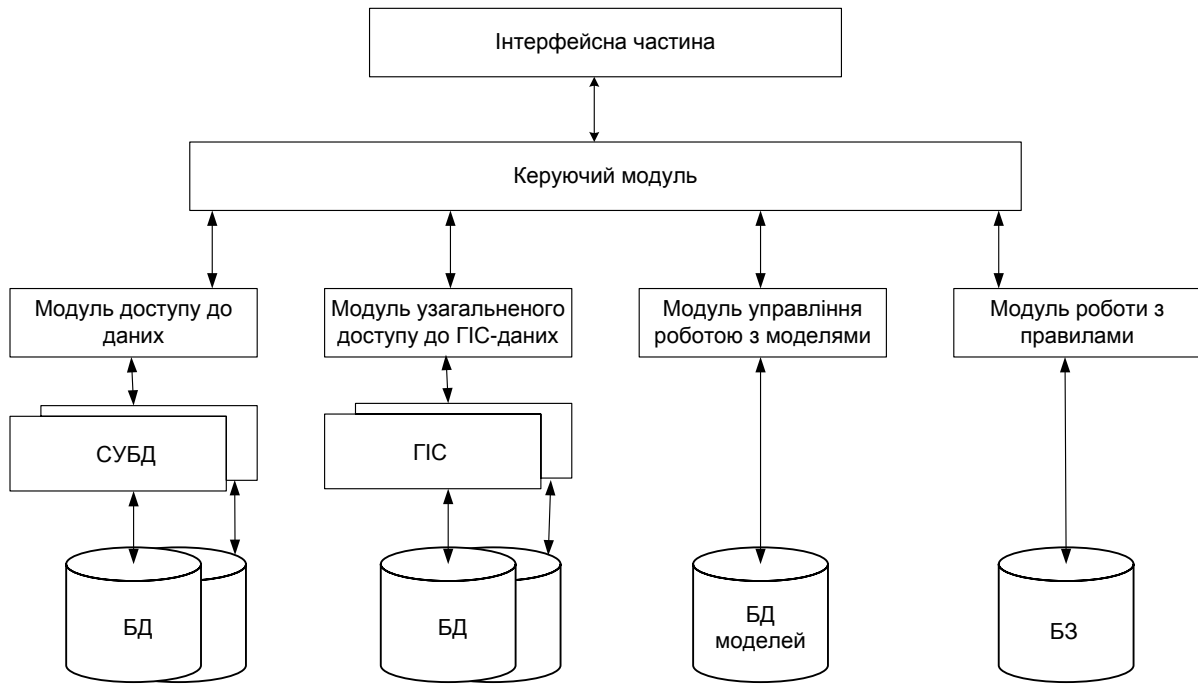


Рис. 2. Архітектура програмної системи
(СУБД – система управління базами даних, БЗ – база знань)

Наведено технологічні аспекти реалізації інформаційної технології інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод з використанням MS Excel та ГІС «Панорама 9». Запропоновано комплекс прийомів та рекомендацій щодо застосування розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення, яке містить такі складові:

- надбудова, призначена для формалізації моделі та проведення розрахунків MS Excel, а також для формування обмінного файлу;
- обмінний файл, що містить вихідні дані, отримані в результаті моделювання (просторові та атрибутивні);
- карта ГІС в пакеті «Панорама 9», на якій проводиться візуалізація результатів моделювання;
- база даних, де зберігаються чи вибираються параметри об'єктів моделювання для використання в процесі обчислень;
- програма-оболонка, котра зчитує дані з обмінного файлу та здійснює автоматизоване генерування просторових та атрибутивних даних ГІС за результатами моделювання.

Схема взаємодії цих складових представлена на рис. 3.

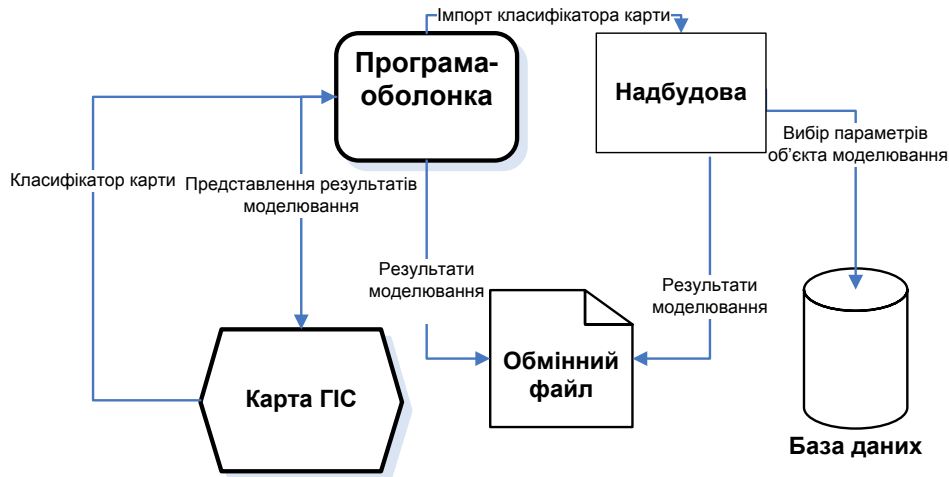


Рис. 3. Схема взаємодії складових моделюючої ГІС

З урахуванням розроблених рекомендацій та вимог, котрі забезпечують можливість використання розробленої технології, створено інформаційні аналітичні системи моніторингу стану та підтримки прийняття рішень для інтегрованого управління водними ресурсами: для басейнів річок Південний Буг, Дністер, Тиса, Сіверський Донець, Кальміус, Прип'ять, які впроваджено у відповідних басейнових управліннях водними ресурсами та облводгоспах України. Система річки Кальміус також впроваджена в Донецькій філії Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, а також для водних ресурсів Вінницької та Львівської областей, які впроваджено у Басейновому управлінні водними ресурсами річки Південний Буг та інших суб'єктах обласного державного моніторингу Вінницької області та у Львівському облводгоспі, відповідно.

Продемонстровано функціональність розробленої інформаційної технології на прикладі моделювання попусків каскаду водосховищ річки Південний Буг, моделювання поширення забруднення після скиду вздовж течії річки за моделлю А. В. Фролова – І. Д. Родзиллера для басейну річки Кальміус (рис. 4 а), поширення забруднюючої речовини за двовимірною просторовою моделлю А. В. Караушева та відомою моделлю в турбулентній зоні, побудованою згідно положень теорії Л. Прандтля, для басейну річки Дністер (рис. 4 б).

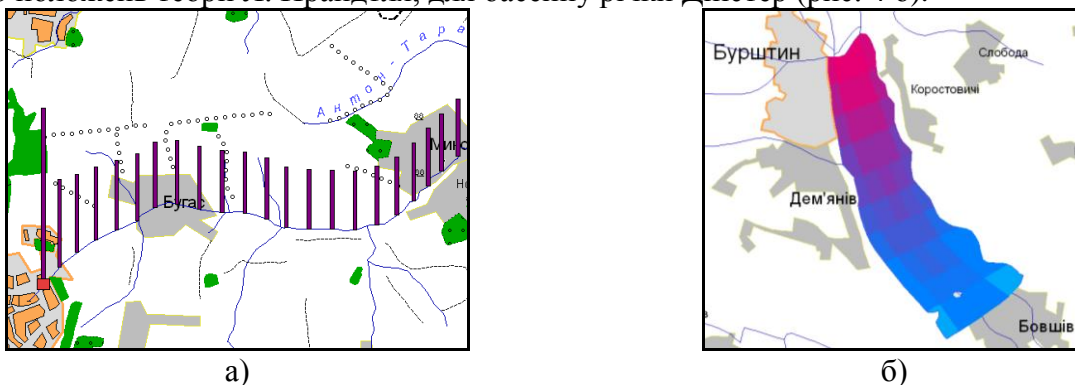


Рис. 4. Приклади візуалізації результатів моделювання

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У результаті виконання роботи розв'язано актуальну науково-прикладну задачу розширення аналітичних можливостей та прискорення обробки екологічних даних у геоінформаційних системах моніторингу поверхневих вод.

У ході розв'язання поставлених задач отримано такі наукові та практичні результати:

1. Здійснено аналіз проблем та підходів до автоматизації процесу інтегрування математичних моделей екологічних процесів у функціонуючі в Україні геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод для розширення їх можливостей в обробці даних. Проведено огляд детермінованих математичних моделей зміни якості поверхневих вод, який показав, що існує велика кількість математичних моделей, за рахунок яких можна суттєво розширити аналітичні можливості ГІС моніторингу поверхневих вод. У свою чергу, аналіз математичних обчислювальних пакетів показав, що існує чимало пакетів програм, котрі можуть бути використані для формалізації математичних моделей екологічних процесів у поверхневих водах та здійснення розрахунків за ними, але жоден із них не має власних можливостей для інтеграції в ГІС. Також, аналіз найпоширеніших ГІС-пакетів показав, що в цих пакетах обмежений інструментарій для математичного моделювання у порівнянні з можливостями математичних обчислювальних пакетів. Проаналізовано функціонуючі в Україні інформаційні системи екологічного моніторингу загальнодержавного та регіонального рівнів, в яких зберігається та накопичується велика кількість даних, котрі можуть бути використані для ідентифікації математичних моделей, а також для моделювання екологічних процесів у поверхневих водах. Деякі з них мають прив'язку інформації до ГІС, але їх можливості для здійснення математичного моделювання досить обмежені. Проведений аналіз відомих підходів до автоматизації застосування математичного моделювання стану поверхневих вод в геоінформаційних екологічних системах довів, що дані підходи мають суттєві обмеження для автоматизації процесу інтеграції різних математичних моделей екологічних процесів у ГІС поверхневих вод.

2. Дістала подальший розвиток систематизація параметрів математичних моделей, інформації баз даних та даних ГІС за єдиним підходом, що дозволило встановити відповідність між цими видами даних і розробити перехідні моделі від математичного до геоінформаційного представлення.

3. Запропоновано новий метод та алгоритм автоматизованого синтезу баз даних та просторових об'єктів геоінформаційної системи для збереження параметрів математичної моделі процесів зміни стану цих об'єктів, оснований на формалізації математичних моделей відповідно до понять та операцій, прийнятих в інформаційних системах, який відрізняється від існуючих більшим рівнем автоматизації та дозволяє прискорити інтеграцію математичних моделей у ГІС. Практичні випробування методу та алгоритму на прикладі інтегрування моделі Л. М. Горєва для оперативного прогнозування змін якості поверхневих вод довели їх працездатність та ефективність, оскільки забезпечили майже вдвічі швидший процес інтегрування.

4. Вперше розроблено інформаційну технологію інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи (ГІС) моніторингу поверхневих вод, яка на відміну від існуючих, використовує нові підходи щодо проведення аналогії між формалізованим описом математичних моделей та описом просторових об'єктів і баз даних ГІС, що дозволяє прискорити їх інтегрування та розширити аналітичні можливості ГІС за рахунок спеціалізованих обчислювальних пакетів, куди автоматизовано передаються та де обробляються, згідно відповідних математичних моделей, дані ГІС. Запропоновано архітектуру та принципи функціонування інформаційної програмної системи інтегрування математичних моделей з геоінформаційними системами моніторингу поверхневих вод. Охарактеризовано технологічні аспекти реалізації інформаційної технології інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод з використанням MS Excel та ГІС «Панорама 9». Запропоновано комплекс прийомів та рекомендацій щодо застосування розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення для реальних систем моніторингу поверхневих вод.

5. З використанням розробленої інформаційної технології створено інформаційні системи моніторингу стану та підтримки прийняття рішень для інтегрованого управління

водними ресурсами, які впроваджені у понад 20 суб'єктах державного моніторингу поверхневих вод України: для басейну річки Південний Буг – впроваджено в Басейновому управлінні водними ресурсами річки Південний Буг (БУВР ПБ), для басейну р. Дністер – в Дністровсько-Прутському басейновому управлінні водними ресурсами, для басейну р. Тиса – у Закарпатському облводгоспі та у 5-ти міжрайонних управліннях водного господарства (Мукачівському, Берегівському, Ужгородському, Виноградівському, Тячівському), для басейну р. Сіверський Донець – у Сіверсько-Донецькому басейновому управлінні водними ресурсами (СД БУВР), для басейну р. Кальміус – у СД БУВР та у Донецькій філії Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, для басейну р. Прип'ять – у Житомирському, Львівському, Рівненському, Тернопільському, Волинському, Львівському облводгоспах та у Дніпровському басейновому управлінні водними ресурсами, для водних ресурсів Вінницької та Львівської областей – у БУВР ПБ та інших суб'єктах системи моніторингу довкілля Вінницької області та у Львівському облводгоспі, відповідно.

Важливим є те, що дана інформаційна технологія може бути використана для геоінформаційних систем не тільки моніторингу поверхневих вод, а і, після певного доопрацювання, для моніторингу стану інших просторових об'єктів.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі під час викладання дисциплін "Моніторинг довкілля", "Основи комп'ютерних обчислень", "Геоінформаційні системи", "Моделювання та прогнозування стану довкілля" та виконання бакалаврських і дипломних робіт студентами спеціалізації "Комп'ютеризовані системи екологічного моніторингу" спеціальності 070801 – "Екологія та охорона навколишнього середовища" та спеціалізації "Інтелектуальні інформаційні технології обробки даних в системах моніторингу та контролю" спеціальності 080404 – "Інтелектуальні системи прийняття рішень" Вінницького національного технічного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Крижановський Є. М. Новий підхід до створення уніфікованої інформаційно-довідкової підсистеми ГІС моніторингу довкілля / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, Ю. М. Коновалюк, Д. Ю. Кульомін // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — 2007.— № 1. — Режим доступу до журн: <http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07mvbfem.pdf>.
2. Крижановський Є. М. Автоматизована ідентифікація геоінформаційних моделей об'єктів моніторингу поверхневих вод області / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, Ю. М. Коновалюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2005.— № 2. — С. 187–192.
3. Крижановський Є. М. Новий метод синтезу геоінформаційних моделей природних систем за математичними моделями процесів у них / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007.— № 4. — С. 40–47.
4. Крижановський Є. М. Автоматизація візуалізації результатів моделювання природних процесів у геоінформаційних системах / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008.— № 6. — С. 51–54.
5. Крижановський Є. М. Геоінформаційна система басейну річки Південний Буг та її роль у прийнятті управлінських рішень / О. В. Дезірон, В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський // Водне господарство України. – 2006.– № 4. – С. 10–15.
6. Крижановський Є. М. Інформаційна система для оптимального управління попусками каскаду водосховищ басейну Південний Буг / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, В. П. Лепеха // «Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності»: п'ята науково-практична конференція, 23-27 лютого 2009 р.: матер. конф. – м. Яремче Івано-Франківської обл., НППЦ „Екологія наука техніка”. – 2009. – С. 60–62.
7. Крижановський Є. М. Синтез геоінформаційних моделей природних систем по

математичних моделях процесів у них / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський // «Системний аналіз та інформаційні технології»: X Міжнародна науково-технічна конференція, 20-24.05.2008 р.: матеріали конференції. — К.: 2008. — С. 384.

8. Крижановський Є. М. Інформаційна технологія автоматизованого інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод / Є. М. Крижановський, В. Б. Мокін // Збірник наукових статей II Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. — 23-26.09.2009. — Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2009. — С. 154– 157.

9. Крижановський Є. М. Геоінформаційна аналітична система державного моніторингу довкілля Вінницької області. Ч.I. Моніторинг поверхневих вод. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, О. Г. Яворська, Є. М. Крижановський та ін. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2005. — 79 с.

10. Крижановський Є. М. Система підтримки прийняття рішень з моніторингу та управління станом вод басейну річки Дністер з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, М. Я. Бабич, О. Г. Лисюк, І. І. Лосік, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна : УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 252 с.

11. Крижановський Є. М. Система підтримки прийняття рішень з моніторингу та управління водними ресурсами Львівської області. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, Б. І. Мокін, В. А. Сташук, М. Я. Бабич, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 236 с.

12. Крижановський Є. М. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Прип'ять з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, В. А. Сташук, О. В. Дезірон, М. Я. Бабич, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 236 с.

13. Крижановський Є. М. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, В. А. Сташук, О. В. Дезірон, М. Я. Бабич, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 244 с.

14. Крижановський Є. М. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Сіверський Донець з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, М. Я. Бабич, В. Є. Антоненко, Н. О. Білоцерківська, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 352 с.

15. Крижановський Є. М. Геоінформаційна система каталогу-класифікатора з паспортними даними та даними моніторингу стану водних об'єктів р. Кальміус. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, С. В. Третяков, М. Г. Задорожна, В. Є. Антоненко, Н. О. Білоцерківська, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 284 с.

16. Крижановський Є. М. Геоінформаційна аналітична система моніторингу якості і використання водних ресурсів та стану водогосподарських об'єктів річки Тиса у Закарпатській області. — Методичний посібник / В. Б. Мокін, В. П. Чіпак, Р. Є. Федів, В. М. Дуркот, Є. М. Крижановський та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, — 2009. — 228 с.

АНОТАЦІЯ

Крижановський Є. М. Інформаційна технологія інтегрування математичних моделей у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 — Інформаційні технології. — Вінницький національний технічний університет, Вінниця – 2010.

Дисертаційну роботу присвячено інтеграції математичних моделей екологічних процесів у геоінформаційні системи моніторингу поверхневих вод. У роботі розроблено нові

методи інтеграції математичних моделей екологічних процесів з геоінформаційними системами моніторингу поверхневих вод, які дозволять підвищити ефективність використання математичних моделей екологічних процесів за даними ГІС моніторингу поверхневих вод, розширити аналітичні можливості цих ГІС та покращити візуалізацію результатів математичних досліджень екологічних процесів у водних екосистемах. Для цього розроблено комплекс методів, прийомів, алгоритмів та програмного забезпечення, який був апробований та впроваджений на практиці для розв'язання важливих прикладних задач у галузі моніторингу поверхневих вод в Україні.

Результати даної роботи були використані під час розробки інформаційних систем підтримки прийняття рішень для управління водними ресурсами басейнів річок Південний Буг, Дністер, Тиса, Сіверський Донець, Кальміус, Прип'ять, інформаційних систем моніторингу поверхневих вод Вінницької та Львівської областей, які впроваджено у понад 20 державних установах, у тому числі у відповідних басейнових управліннях водними ресурсами та облводгоспах.

Ключові слова: геоінформаційна система, база даних, математична модель, автоматизована обробка даних моніторингу поверхневих вод, інформаційні технології.

АННОТАЦІЯ

Крижановский Е. Н. Информационная технология интегрирования математических моделей в геоинформационные системы мониторинга поверхностных вод. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 — Информационные технологии. — Винницкий национальный технический университет, Винница, — 2010.

Диссертационная работа посвящена интеграции математических моделей экологических процессов в геоинформационные системы мониторинга поверхностных вод.

Проведен обзор детерминированных математических моделей изменения качества поверхностных вод, который показал, что существует большое количество математических моделей, за счет которых можно существенно расширить аналитические возможности ГИС мониторинга поверхностных вод. В свою очередь, анализ математических вычислительных пакетов показал, что существует немало пакетов программ, которые могут быть использованы для формализации математических моделей экологических процессов в поверхностных водах и осуществления расчетов по ним, но ни один из них не имеет собственных возможностей для интеграции в ГИС. Также, анализ самых распространенных ГИС-пакетов показал, ограниченность инструментария этих пакетов для математического моделирования по сравнению с возможностями математических вычислительных пакетов. Проанализированы функционирующие в Украине информационные системы экологического мониторинга общегосударственного и регионального уровней, в которых хранится и накапливается большое количество данных, которые могут быть использованы для идентификации математических моделей, а также для моделирования экологических процессов в поверхностных водах. Некоторые из них имеют привязку информации к ГИС, но их возможности для осуществления математического моделирования достаточно ограничены. Проведенный анализ известных подходов к автоматизации применения математического моделирования состояния поверхностных вод в геоинформационных экологических системах доказал, что данные подходы имеют существенные ограничения для автоматизации процесса интеграции разных математических моделей экологических процессов в ГИС поверхностных вод.

Усовершенствована систематизация параметров математических моделей, информации баз данных и данных ГИС на основе единого подхода, что позволило установить соответствие между этими видами данных и разработать переходные модели от математического к геоинформационному представлению.

Предложен новый метод и алгоритм автоматизированного синтеза баз данных и

пространственных объектов геоинформационной системы для хранения параметров математической модели процессов изменения состояния этих объектов, основанный на формализации математических моделей в соответствии с понятиями и операциями, принятыми в информационных системах, который отличается от существующих высоким уровнем автоматизации и позволяет ускорить интеграцию математических моделей в ГИС. Практические испытания метода и алгоритма на примере интегрирования модели Л. М. Горева для оперативного прогнозирования изменений качества поверхностных вод доказали их работоспособность и эффективность, поскольку обеспечили почти вдвое более быстрый процесс интегрирования.

Разработана информационная технология интегрирования математических моделей в ГИС мониторинга поверхностных вод, которая позволяет ускорить их интегрирование и расширить аналитические возможности ГИС за счет специализированных вычислительных пакетов, куда автоматизировано передаются и где обрабатываются данные ГИС с использованием соответствующих математических моделей. Предложена архитектура и принципы функционирования информационной программной системы для интегрирования математических моделей с геоинформационными системами мониторинга поверхностных вод. Охарактеризованы технологические аспекты реализации созданной информационной технологии с использованием MS Excel и ГИС «Панорама 9». Предложен комплекс приемов и рекомендаций по применению разработанного обеспечения для реальных систем мониторинга поверхностных вод.

Результаты данной работы были использованы во время разработки информационных систем поддержки принятия решений для управления водными ресурсами бассейнов рек Южный Буг, Днестр, Тиса, Северский Донец, Кальмиус, Припять, информационных систем мониторинга и управления поверхностными водами Винницкой и Львовской областей, которые внедрены в более чем 20 государственных учреждений, в том числе в бассейновых управлениях водными ресурсами и облводхозах Украины.

Ключевые слова: геоинформационная система, база данных, математическая модель, автоматизированная обработка данных мониторинга поверхностных вод, информационные технологии.

ANNOTATION

Kryzhanovskyi E. M. Information technology of integration of mathematical models in the geographic information systems for monitoring of surface-water. — Manuscript.

Thesis for obtaining PhD scientific degree on the speciality 05.13.06 – Information technologies — Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia – 2010.

Thesis is dedicated to integration of mathematical models of ecological processes with the geoinformation systems of monitoring of surface-waters. New methods of integration of mathematical models of ecological processes with the geoinformation systems of monitoring of surface-water were developed. This will allow to promote efficiency of the use of mathematical models of ecological processes based on data of GIS of monitoring of surface-waters, to extend analytical possibilities of GIS and to improve the visualization of results of mathematical researches of ecological processes in water ecological systems. The complex of methods, procedures, algorithms and software had been developed, approved and introduced in practice for solution of the important tasks in the sphere of monitoring of surface-waters in Ukraine.

The results of this work were used during the development of the information systems for decision making support for water management in such river basins as Southern Boog, Dniester, Tisza, Seversky Donets, Kalmius, Pripyat, information systems for monitoring of surface-waters of the Vinnytsia and Lviv oblasts, which are introduced in more than 20 state institutions, including in the proper basin water resources managements and oblasts water management bodies of Ukraine.

Keywords: geographic information system, database, mathematical model, automated

processing of data of monitoring of surface-waters, information technologies.

Підписано до друку 05.02.2010 р. Формат 29,7×42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2010-023
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59