

## ПОТЕНЦІАЛ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

*О.М.Трофимчук, чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф.;*  
*В.М. Триснюк, канд. геогр. наук*  
*(Інститут телекомунікацій і глобального*  
*інформаційного простору НАН України)*

*Актуальність проблеми екологічної безпеки природних і антропогенних геосистем зумовлена посиленням антропогенезу, розширенням спектру та ростом інтенсивності розвитку небезпечних процесів, а також зниженням стійкості геосистем. Перспективи застосування ГІС зумовлені можливостями їх використання як середовища розгортання статичних та динамічних моделей, що ілюструють різноманітні природні та соціоекономічні процеси і функціональні зв'язки.*

*Актуальность проблемы экологической безопасности природных и антропогенных геосистем обусловлена усилением антропогенеза, расширением спектра и ростом интенсивности развития опасных процессов, а также снижением устойчивости геосистем. Перспективы применения ГИС обусловлены возможностями их использования в качестве среды развертывания статических и динамических моделей, иллюстрирующих различные природные и социальноэкономические процессы и функциональные связи.*

*Urgency of the problem of ecological safety of natural and man-caused increase in geosystems antropogenesis, expanding the range and increasing intensity of dangerous processes and decrease the stability of geosystems. Advanced Application of GIS due to their possible use as a deployment environment of static and dynamic models that illustrate a variety of natural and socioeconomic processes and functional relationships.*

**Постановка проблеми.** Важливе місце у вирішенні конструктивних проблем екологічної безпеки займає геоінформаційний підхід. Він пов'язаний із широким впровадженням у практику досліджень сучасних ГІС-технологій. Вони стали революцією у картографічному методі досліджень, піднісши можливості геопросторо-

рового аналізу на принципово новий рівень. Основним взаємопов'язаними сферами застосування цих технологій є управління географічними даними, їх візуалізація та геоінформаційне моделювання. Геоінформаційні технології забезпечують швидку інтеграцію різноманітних даних, зокрема даних дистанційного знімання, корекцію та поновлення інформації у процесі моніторингу, контроль логічної узгодженості різних даних, перетворення систем координат, автоматичну генералізацію тощо.

У сфері візуалізації сучасні ГІС пропонують широкий спектр можливостей та функцій, націлених на інтерактивний аналіз географічних даних, продуктивну інтеграцію обчислювальних можливостей сучасних комп'ютерів та здатностей людини сприймати й аналізувати цілісні просторові образи, зі зручним та інтуїтивно зрозумілим представленням кінцевої інформації споживачеві.

**Мета дослідження** полягає у аналізі потенціалу сучасних геоінформаційних технологій як інструменту досліджень. Завданням є огляд, короткий аналіз та систематизація актуальних і перспективних напрямків застосування геоінформаційних технологій у практиці конструктивних досліджень екологічної безпеки із більш детальним розглядом окремих прикладів.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз взаємного розміщення на земній поверхні об'єктів, поширення природних і техногенних явищ та процесів має винятково важливе значення для раціональної просторової організації природокористування і планування природоохоронної діяльності.

Традиційний картографічний аналіз і моделювання, попри значні можливості та здобутки, має ряд фундаментальних і технічних обмежень. Так, графічні обмеження щодо кількості та детальності інформації, поряд із складністю сумісного просторового аналізу різних карт, є суттєвими перешкодами для дослідження просторових поєднань і зв'язків різних явищ та процесів. Статичність картографічних зображень робить неможливим динамічне просторове моделювання та інтерактивний аналіз інформації.

Найбільш важливою та революційною за своїми можливостями сферою застосування геоінформаційних технологій є геоінформаційне моделювання, яке зводиться до трансформації первинних даних з метою одержання нової інформації. Це може бути інформація про актуальний або майбутній стан геосистем (описове моделювання) або співвіднесення даних про властивості об'єктів та параметри процесів із суб'єктивно заданою цільовою функцією (оціночне моделювання), включаючи оцінку придатності території для тих чи інших видів господарської діяльності, характеру змін стану об'єктів та ходу процесів за різних сценаріїв техногенних впливів, ступеня екологічних ризиків тощо. Така інформація дозволяє вирішувати задачі нормування та оптимізації природокористування[1].

Вирішення зазначених завдань на сучасному науковому рівні передбачає

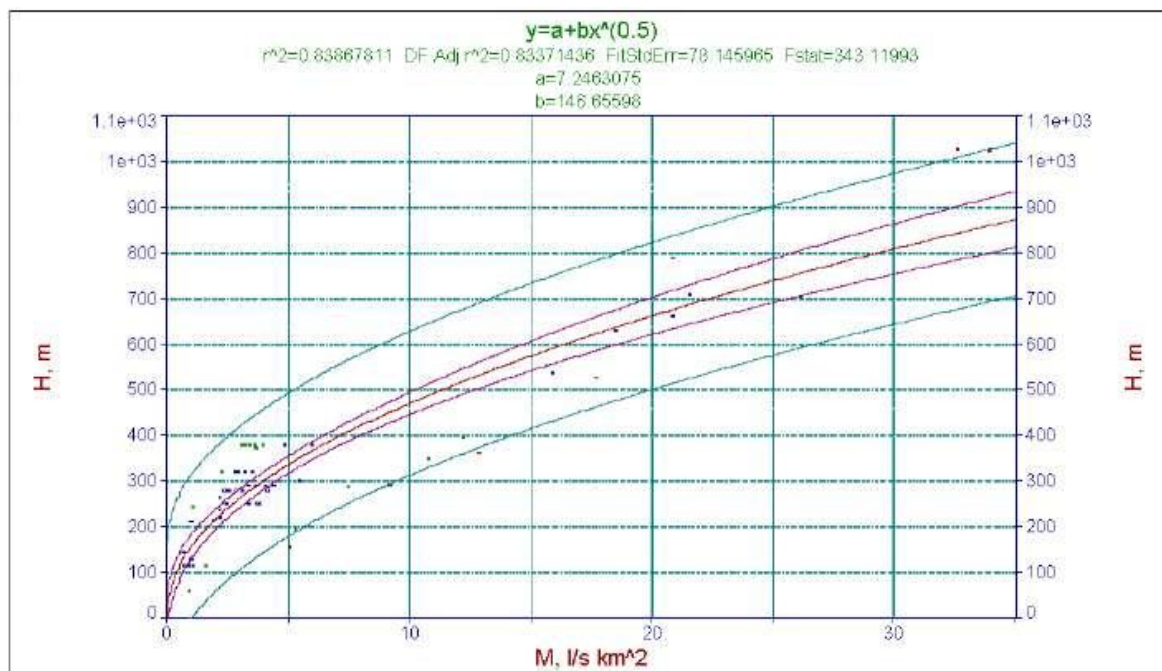
## Розділ 1. Екологічна безпека

широке використання кількісного моделювання та чітко визначених і теоретично обґрунтованих критеріїв. При цьому ГІС набагато розширили можливості традиційних картографічних методів, значно спростивши та збільшивши точність ряду картометричних операцій (вимірювання довжин ліній та площ ареалів, визначення крутизни схилів) і зробивши простими та доступними операції, які практично неможливо виконати старими картометричними методами (наприклад, кількісне моделювання руху наносів або забруднень по поверхні рельєфу).

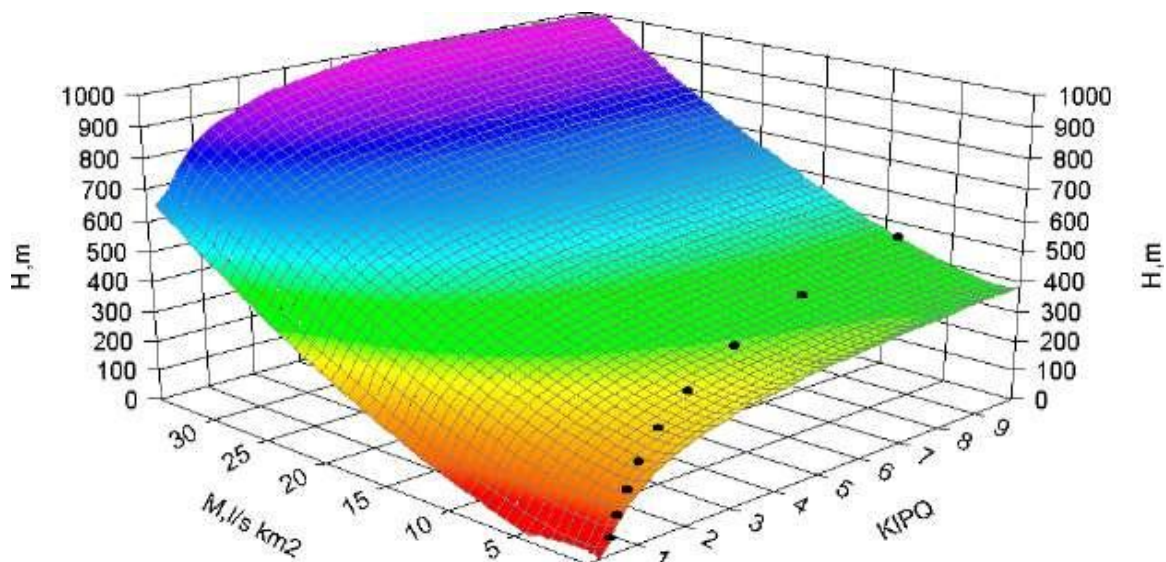
Вирішення проблем екологічної безпеки може потребувати застосування статичних чи динамічних моделей. Перші дозволяють визначати невідомі властивості природних і природно-технічних систем на основі використання емпірично або теоретично визначених залежностей між цими властивостями та їх чинниками, просторовий розподіл яких є задокументованим у формі цифрових шарів. Основними функціями, які реалізують статичні моделі в ГІС, є картографічна алгебра, статистичний та геостатистичний аналіз геопросторових даних. Так, визначення кількісних залежностей між врожайністю та її основними чинниками (характеристиками ґрунту, мікроклімату, особливостями агротехніки тощо) дозволяє спрогнозувати значення врожайності в тому чи іншому місці та визначити оптимальну просторову структуру угідь, агротехніку, норми внесення добрив. Сучасні кількісні моделі ерозійних процесів (наприклад, модель RUSLE) дозволяють одержати детальні карти розподілу інтенсивності змиву, використовуючи значення головних чинників ерозії, пов'язаних із властивостями різних геокомпонентів (клімату, рельєфу, ґрунту, рослинного і техногенного покриву), скомбіновані методом картографічної алгебри. Варіюючи значення змінних моделі, можна визначити максимально ефективно використання землі із мінімальними втратами ґрунту, обґрунтувати доцільність застосування спеціальних ґрунтоохоронних заходів та ґрунтозахисних технологій [2]. Аналогічний підхід використовується при оптимізації розміщення промислових, транспортних, рекреаційних та інших об'єктів, особливо таких, що висувають специфічні вимоги до характеристик середовища або суттєво впливають на довкілля.

Геоінформаційне моделювання може використовуватись для визначення детального розподілу чинників, які використовуються "на вході" у вищезгаданих моделях прикладного та екологічного спрямування. Значна кількість різних за призначенням моделей використовує в якості індикатора морфометричні характеристики - крутизну та експозицію схилів, абсолютну висоту тощо. Основною формою представлення такої інформації у сучасних ГІС є цифрові моделі рельєфу (ЦМР), які можна одержати шляхом інтерполяції за певними алгоритмами оцифрованих шарів топографічних карт та планів [3]. Можливості ГІС дозволяють швидко перетворити ЦМР у шари похідних морфометричних характеристик, обрахувати розподіл ряду гідрографічних параметрів (довжин ліній

стоку, площ водозборів тощо) (рис.1,2).



*Рис.1. Апроксимована функціональна залежність норми якісного стану водойм гідроекосистеми Дністра в межах Карпатського регіону з висотою місцевості*

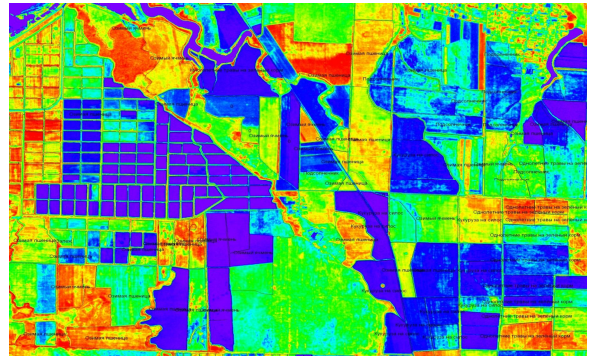


*Рис.2. Функціональна залежність норми кількісного стану водойм (середньобагаторічний модуль стоку) гідроекосистеми Дністра в межах Карпатського регіону з висотою місцевості (вісь ординат, м абс.)*

## Розділ 1. Екологічна безпека

ЦМР використовуються для визначення площ ймовірного затоплення під час паводків різного ступеня забезпеченості. За допомогою ЦМР та спеціальних формул можна обрахувати величину надходження на земну поверхню прямої сонячної радіації на будь-який момент часу або її інтегральне надходження на будь-який день, місяць чи інший період і скласти відповідну карту. М. Хатчінсон [9,10] розробив методику інтерполяції даних метеостанцій та створення детальних і точних карт розподілу кількості опадів, використовуючи цифровий шар перевищень та зв'язок між висотою і кількістю опадів.

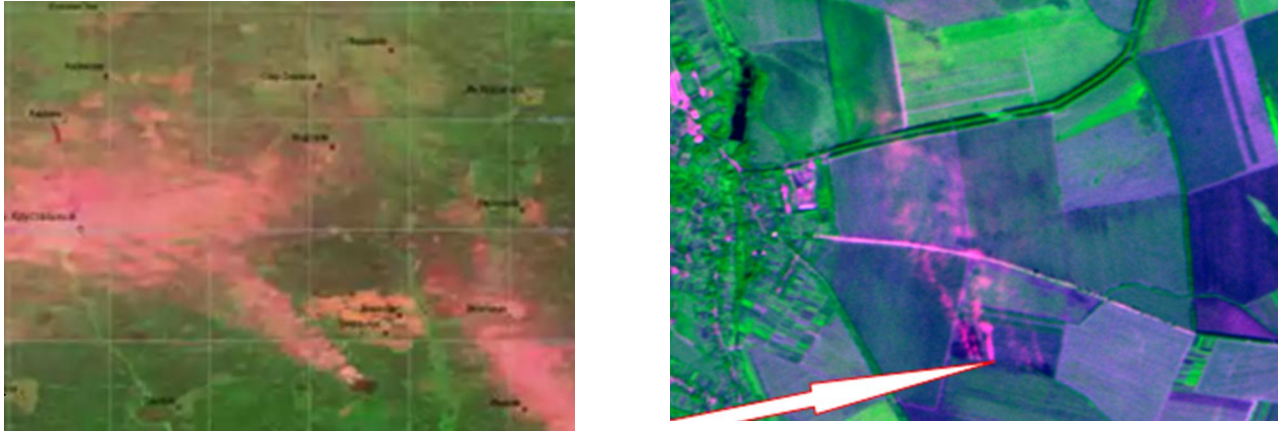
Важливим джерелом точної та оперативної інформації є дані дистанційного зондування земної поверхні. Сучасні ГІС та спеціалізовані програмні пакети включають ряд функцій, які дозволяють ефективно використовувати ці дані для різних цілей. Однією з найбільш важливих з них є автоматизовані, керовані та некеровані класифікації зображень, які дають можливість швидко одержувати детальні карти землекористування та рослинного покриву (рис.3). Застосування функцій картографічної алгебри до шарів мультиспектральних зображень дозволяє обраховувати вегетаційні індекси, які є кількісною мірою розвитку зеленої фітомаси. На основі цієї інформації картографують продуктивність фітоценозів, виявляють місця та визначають обсяги пошкодження лісових деревостанів і культурних рослин шкідниками та хворобами, визначають ступінь впливу забруднень на стан екосистем.



*Рис.3. Створення карти землекористування та рослинного покриву за допомогою даних ДЗЗ*

Дуже перспективним є використання дистанційного знімання в оперативному моніторингу шкідливих та стихійних природних явищ і техногенних катастроф (рис.4). Прикладами є визначення зон затоплення під час паводків [7], обсягів буреломів та вітровалів, моніторинг поширення нафтових плям при аваріях танкерів.





*Рис.4. Ідентифікація на космічних знімках пожеж*

Дистанційне знімання є зручним способом поновлення та уточнення ряду тематичних карт. Другим засобом досягти цього є накладання та співставлення у середовищі ГІС різних за змістом, масштабом та актуальністю карт на ту ж саму територію тих або інших явищ.

Потужним методом геопросторового аналізу, який став практично здійснимим лише з появою ГІС, є геостатистична інтерполяція (крігінг). Цей метод базується на математичному аналізі просторової варіації - визначенні та параметризації функції, яка пов'язує різницю між значеннями певної числової характеристики у різних пунктах із віддаллю між цими пунктами. Розширенням даного методу є кокрігінг, за допомогою якого враховують зв'язки між просторовим розподілом кількох характеристик [4-6].

Великим є потенціал геоінформаційних технологій у гідрологічних та гідроекологічних дослідженнях. Так, накладаючи в середовищі ГІС шар розподілу інтенсивності змиву та шари басейнової та річкової мережі, можна оцінити величину надходження наносів у водойми та водотоки. Використання ЦМР та даних про пористість, щільність та водопровідність відкладів дозволяє розрахувати поле швидкості руху ґрунтових вод та моделювати поширення забруднювачів з їх рухом.

Динамічні моделі відбивають розвиток процесів у часі і є, як правило, складнішими порівняно із статичними моделями. Стан системи в певний проміжок часу розглядається як функція її стану у попередній інтервал та чинників її динаміки. Так, модель WOFOST дозволяє передбачити врожайність культури із врахуванням динаміки таких чинників, як погодні умов, вміст у ґрунті вологи та поживних речовин, розвиток шкідників та бур'янів тощо протягом періоду вегетації. Такий підхід дозволяє спланувати у часі застосування агротехнічних прийомів, внесення добрив тощо. У системній екології поширені моделі динаміки популяцій, які базуються на диференційних рівняннях, що відбивають внутрішньо - та міжвидову конкуренцію. Ці моделі дозволяють спрогнозувати наслідки

## Розділ 1. Екологічна безпека

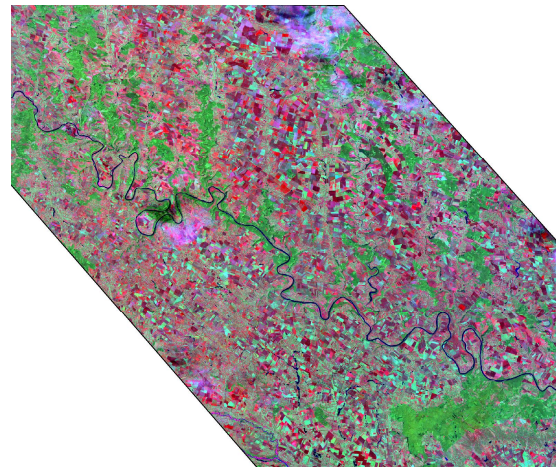
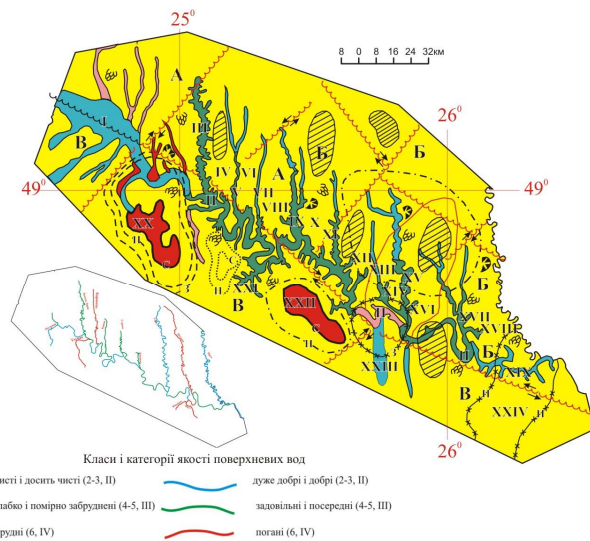
антропогенних втручань у структуру біоценозів, зокрема, знищення видів або їх інтродукції.

Моделювання виносу, перенесення та відкладання речовини схилними і русловими потоками дозволяє досягнути закономірності розвитку та самоорганізації схилів, дренажної мережі, руслових систем та флювіальних ландшафтів у цілому [8]. Гідравлічні моделі руху паводкової хвилі є корисними при проектуванні гідротехнічних споруд. Моделювання руху води та розчинених у ній солей сприяє раціональному проектуванню зрошувальних та осушувальних систем. У біоекології при аналізі динаміки структури деревостанів набув поширення метод геп-аналізу, а при аналізі просторової динаміки біоценозів - метод коміркових автоматів. Менш розвинутим є моделювання динаміки ландшафтів як цілісних полікомпонентних систем; перешкодою для цього є великі відмінності у характерних часах різних геокомпонентів та пов'язаних з ними процесів.

Значне збільшення протягом останніх років обсягів досліджень із застосуванням геоінформаційних технологій не в останню чергу пов'язане із поширенням сучасних програмних пакетів ГІС, в яких потужні та різноманітні аналітичні функції поєднуються із зручним графічним інтерфейсом. Ще недавно комп'ютерне моделювання з метою вирішення теоретичних та прикладних проблем географії вимагало створення окремих вузькофункціональних програм для вирішення кожної конкретної задачі. Це потребувало великих затрат часу, глибокого володіння складним математичним апаратом та низькорівневими мовами програмування. Натомість сучасні програмні пакети ГІС, такі як ArcInfo, ENVI або Erdas Imagine, поряд із зручним графічним інтерфейсом та можливостями прозорого перетворення форматів даних, містять вбудовані аналітичні функції, які дозволяють вирішувати широке коло завдань, пов'язаних з аналізом растрових та векторних даних. Також наявні гнучкі можливості розширення базових функцій ГІС. З цією метою розроблено макромови (AML, Avenue, EML), які дозволяють створювати макропрограми (макриси) - визначені користувачем комбінації функцій та команд, орієнтовані на вирішення конкретного завдання у середовищі базової ГІС.

Зупинимось детальніше на характеристиці деяких результатів, отриманих за цими напрямками досліджень.

На основі узагальнень та синтезу отриманих результатів і створених ГІС-карт здійснене районування сточища Дністра за ступенем трансформованості режиму функціонування річок (рис.5,6).



*Рис. 5. Карта сучасної екологічної ситуації Дністровського каньйону*

*Рис. 6. Космічний мультиспектральний знімок Landsat -7*

Наклавши геоінформаційну модель сумарної трансформованості стану і функціонування річкових систем на створену раніше модель потенціалу прояву небезпечних процесів, методом бальних оцінок, створена геоінформаційна модель ризику прояву небезпечних процесів, яка відображає небезпеку реалізації певного процесоформуючого потенціалу (рис.7).

Іншим важливим напрямком досліджень з використанням геоінформаційних технологій було моделювання паводків у верхній частині долини Дністра.

Алгоритм аналізу та моделювання екстремальних паводків включає: побудову серії гідрографів найбільших паводків і графіків характерних рівнів води, оцінку особливостей проходження паводків, формування бази даних про морфометрію русла і стан протипаводкових об'єктів, створення гідрологічно коректної цифрової моделі рельєфу, оглядової ГІС-моделі, яка визначає межі зон ризику підтоплення при заданих рівнях води, побудову детальніших (великомасштабних) моделей ризику затоплення паводками для ключових ділянок річкової долини.

Основою методики збору та систематизації інформації є обробка картографічного матеріалу шляхом векторизації. При складанні бази даних враховувались характерні особливості природних об'єктів та їх взаємодія. Ще однією методикою отримання інформації, що використовувалася нами при побудові моделей басейнової системи, було опрацювання даних дистанційного зондування Землі, яке дозволило скласти карту землекористування досліджуваного басейну. Враховуючи важливе значення даних дистанційного зондування для визначення ступеня антропогенного впливу на довкілля, нами були використані різночасові космоснімки таких джерел, як „СІЧ-2“, LANDSAT.



# Розділ 1. Екологічна безпека

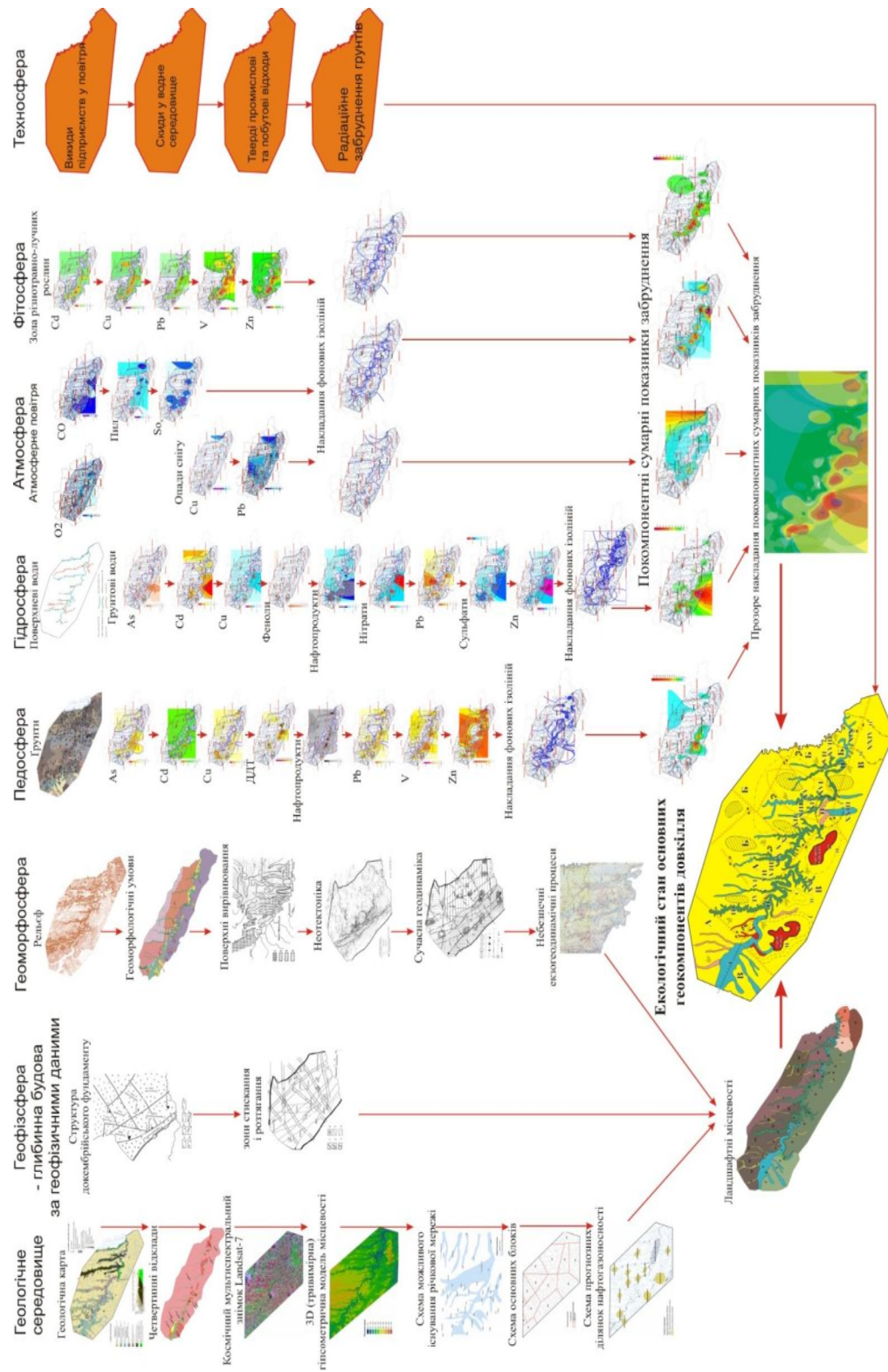


Рис. 7. Геоінформаційна постійно діюча багатоконпонентна комп'ютеризована система екологічної безпеки

Ще одним напрямком геоінформаційних досліджень є еколого-ландшафтний аналіз гірничопромислових регіонів, суть якого полягає у ландшафтному вивченні екологічних проблем, пов'язаних з гірничовидобувним використанням територій. Він ґрунтується на теоретико-методичних положеннях ландшафтознавства, екологічної географії, ландшафтної екології, геоекології і здійснюється за відповідною програмою та методикою.

**Висновки.** Отже, використання геоінформаційних технологій відкриває для екологічної безпеки широке коло нових можливостей. Проте слід зазначити і деякі проблеми та небезпеки, пов'язані з їх використанням. Так, сучасні ГІС-програми володіють потужним обчислювальним потенціалом, дозволяючи "одним натисненням клавіші" виконувати складні розрахунки та перетворення даних. Це, поряд із перевагами, містить і загрози, адже кожна модель має свої недоліки та обмеження, які не завжди є очевидними для необізнаного з тонкощами формул та алгоритмів користувача ГІС. Додаткова небезпека криється у засобах візуалізації ГІС: створені за допомогою сучасних програм бездоганні за дизайном карти та ілюстрації здатні створити ілюзію абсолютної точності та надійності даних у людей, не знайомих із методами їх одержання.

ГІС привчають спеціалістів до точності у формулюванні цілей дослідження, концептуальних моделей об'єктів та процесів, сприяючи тим самими формалізації теорій та методів екологічної безпеки, наближенню їх до точних стандартів. Перспективи застосування ГІС зумовлені можливостями їх використання як середовища розгортання статичних та динамічних моделей, що ілюструють різноманітні природні та соціоекономічні процеси і функціональні зв'язки. Інтерактивні зміни параметрів моделей роблять можливими евристичні експерименти з моделями, дають вміння аналізувати та впорядковувати дані, робити на їх основі корисні висновки та приймати ефективні та відповідальні рішення.

\*\*\*

1. Андрейчук Ю., Ковальчук І. Застосування ГІС для аналізу рельєфу басейнових систем (на прикладі р. Коропець) // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник . - 2003 - №63 - С.183 - 188.

2. Светличный А. А., Андерсон В. Н., Плотницкий С. В. Географические информационные системы: технология и приложения. - Одесса: Астропринт, 1997. - 196 с.

3. Ковальчук І., Михнович А. Геоінформаційні системи в еколого-географічних дослідженнях басейнів // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 58. Матеріали першої міжнародної науково-

## **Розділ 1. Екологічна безпека**

практичної конференції "Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика - сучасні технології та перспективи розвитку", Львів: ДУ "Львівська політехніка", 1997, с. 139-142

4.Круглов І., Мкртчян О. Конструктивістський підхід до викладання географії на основі ГІС-технологій // Мат-ли XII Міжнар. наук.-методичн. семінару «Модернізація і реформування середньої, вищої і післядипломної географічної та картографічної освіти в країнах СНД: досвід, проблеми, перспективи. - Хар., 2003. - С. 101-104.

5. Мкртчян О. Оцінка точності цифрової моделі рельєфу та її використання в моделюванні // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник. -2002.-№62.-С. 125-130.

6. Анпілова Є.С., Трофимчук О.М. Просторове моделювання якості басейну р. Сіверський Донець засобами ГІС/ДЗЗ технологій // Екологічна безпека і природокористування, вип.№7, Київ, 2011 – С.35-44.

7.Михнович А. Еколого-геоморфологічний аналіз верхньої частини сточища Дністра з використанням ГІС-технологій. - Дисертація на здобуття наук. ступ. Канд. геогр. наук. - Львів, 2003.-247 с.

8.Іванов Є. А. Технології ландшафтного моделювання в гірничовидобувній промисловості // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник. - 2003 -№63 -С. 215-220.

9. Hutchinson M. F. Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis // M. F. Goodchild et al (eds), Environmental Modeling with GIS. -New York: Oxford University Press, 1993 - p. 392-399.

10. Hutchinson M. F. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines // International Journal of Geographic Information Systems. -1995. -Vol. 9 (4). - p. 385-403.

**Отримано: 17.07.2012 р.**