

# ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 528

КОВАЛЬЧУК І.П., ІВАНОВ Є.А., АНДРЕЙЧУК Ю.М.

Львівський національний університет імені Івана Франка

## МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

© Ковальчук І.П., Іванов Є.А., Андрейчук Ю.М., 2004

*В статті охарактеризовані головні напрямлення використання ГІС-технологій для оцінки стану навколишньої природної середовища. Приведена загальна методика створення геоінформаційних моделей природно-антропогенних систем. Представлені результати моделювання стану басейнових систем і гірничопромислових геокомплексів.*

*Characterize main directions of the use of GIS-technologies are described for estimation of the state of natural environment for territories with a different types of the antropogenic loading. A general method of creation of geoinformational models of the nature-antropogenic systems was resulted. A result of modeling of the state of the basin systems and mining geocomplexes was presented.*

### Вступ

Більша частина вчених-екологів вважає, що вивчаючи стан навколишнього природного середовища, науковці мають справу зі складно побудованою ієрархією взаємно підпорядкованих природно-антропогенних систем [1]. При цьому їхній екологічний стан визначається складною взаємодією абіотичної, біотичної, техногенної і соціальної підсистем. Щоб проаналізувати стан природно-антропогенних систем, дати прогноз їхнього розвитку, запобігти негативним наслідкам впливу на суспільство, необхідно створювати систему екологічного моніторингу на основі дієвої схеми моделювання стану і динаміки ландшафтів та їх компонентів.

На сьогодні накопичений значний досвід математичного і геоінформаційного моделювання стану навколишнього середовища [8–11, 13]. Поряд з цим, ще недостатньо розкриті можливості дослідження стану природно-антропогенних систем з використанням ГІС-технологій. Однією із важливих переваг геоінформаційного моделювання є можливість візуального відображення процесів та явищ як у статистиці, так і в динаміці, внесення інтерактивних змін у створювану модель та отримання миттєвих результатів, що характеризують стан окремих елементів складних природно-антропогенних систем.

В основу пропонованої статті лягла лише частина результатів існуючого на кафедрі конструктивної географії і картографії та у лабораторії геоінформаційного моделювання і картографування Львівського національного університету імені Івана Франка досвіду моделювання стану природно-антропогенних систем Західного регіону України, інша частина викладена у серії публікацій [2, 3, 7].

Основною метою нашого дослідження є аналіз стану різноманітних видів природно-антропогенних систем. Саме тому на прикладі басейнової системи річки Коропець ми детальніше зупинимось на характеристиці стану землекористування цієї території та загальній методиці опрацювання інформації, яка базується на використанні даних дистанційного зондування Землі та інструментальних засобів геоінформаційних програмних пакетів. Дещо інші завдання вирішувалися під час геоекологічного вивчення гірничопромислових геосистем. Основна увага приділена антропогенним формам рельєфу, що утворилися внаслідок інтенсивної розробки родовищ корисних копалин, способам їхнього аналізу і відображення, а також проблемам малих річок (на прикладі басейнової системи Коропця).

### Моделювання стану землекористування в межах басейнової системи

Для виконання поставленого завдання побудовано великомасштабну гідрологічно коректну цифрову модель рельєфу басейну річки Коропець та на основі дешифрування космознімка Landsat 7 (1989 р.) з роздільною здатністю 30 м створено карту землекористування. Аналізуючи наявні дані ДЗЗ, серед яких були



знімки з супутників Spot і Landsat, ми дійшли висновку, що для побудови карти землекористування та похідних від неї карт найпридатнішим є знімок Landsat, бо певні комбінації його каналів найкраще відображають елементи структури землекористування досліджуваної території.

У нашому випадку для виділення типів землекористування використовувався комбінований спосіб інтерпретації зображення, який крім комбінації каналів зображення включав у себе прямі і непрямі ознаки дешифрування. Зокрема, ця методика застосовувалася для виділення ареалів таких типів угідь, як пасовища, луки і сіножаті, лісосмуги і смуги чагарників вздовж меж полів та річок, болотисті місцевості тощо.

Дослідження проводилося за таким алгоритмом:

1. *Підготовка космознімка.* Включала в себе коригування яскравості і контрасту, підбір набору каналів для кращої візуалізації й інтерпретації одиниць землекористування. Після проведеного аналізу та опрацювання літератури було виявлено, що найкращою комбінацією каналів для автоматизованого виділення типів землекористування є набір каналів 3, 5, 4, а для кращого візуального виділення меж типів землекористування є набір каналів 3, 2, 1.

2. *Використання автоматичних методів контрольованої та неконтрольованої класифікації зображення з метою автоматичного виділення типів землекористування.* Перший крок передбачав використання модуля „unsupervised classification” програмного продукту ERDAS Imagine. Цей метод базується на виділенні набору пікселів однакового спектрального діапазону до межі подібності між ними та об'єднанні груп подібних спектральних характеристик, що характеризують у нашому випадку тип землекористування. Наступним був метод контрольованої класифікації, що полягає у виділенні ідентифікаційних полів пікселів відповідного типу землекористування, дані яких зіставлялися з відповідним набором пікселів інших ділянок зображення. Реалізація цього методу проводилася за допомогою модуля “supervised classification” вищезгаданого програмного продукту з використанням змінних параметрів класифікації. Аналізуючи отримані зображення, ми дійшли висновку, що при обох методах класифікації найкраще виділяються площинні гідрографічні об'єкти, розмір яких є більшим за роздільну здатність зображення (наприклад, такі об'єкти як русла річок, ставки та озера). При другому методі добре виділяється ліс, а при візуальному врахуванні текстури зображення – і його тип. Недоліком цих методів є некоректність виділення трав'янистого покриття луків, сіножатей і пасовищ та неможливість виділення чітких меж населених пунктів.

3. *Векторизація контурів меж типів землекористування.* Цей крок передбачав створення (на основі отриманих результатів автоматичної класифікації) векторного шару меж типів землекористування та відповідної атрибутивної бази даних. При виконанні цих робіт крім результатів автоматичної класифікації використовувалися прямі (форма, розмір, колір об'єктів, тон зображення, його структура і текстура, які обумовлені взаємним закономірним поширенням тонових неоднорідностей зображення) та непрямі ознаки дешифрування (наприклад, характерне положення типів землекористування у рельєфі).

4. *Створення карти земель, пропонованих для ґрунтозахисних заходів у межах басейнової системи р. Коропець.* Даний крок передбачав визначення ділянок ріллі, що розміщені на схилах крутизною  $10^\circ$  і більше. При цьому використовувалися два тематичні покриття: крутизна схилів (створений з шару цифрової моделі рельєфу за допомогою модуля ArcGIS 8.1 Spatial Analyst) та шар типів землекористування басейну річки Коропець. Крім приуроченості типів землекористування (зокрема, пасовищ та сіножатей до днів долин), було також враховано відсоток площ полів, що розміщені на схилах з крутизною більше  $10^\circ$  від їхньої загальної площі. Для уникнення ситуації тотального вилучення земельних угідь з господарського використання було застосовано статистичний метод класифікації Дженка [2, 12, 15], суть якого полягає у мінімізації дисперсії в межах кожного класу та максимізації дисперсії між класами. Власне цей метод дозволив розділити земельні угіддя на три класи: 1 – для впровадження оптимального типу землекористування; 2 – для проведення ґрунтозахисних заходів; 3 – для вилучення угідь з активного землекористування і переведення в категорію земель екостабілізаційного фонду.

Основними використовуваними програмними продуктами були розробки ESRI та ERDAS відповідно ArcGIS 8.1 з модулем Spatial Analyst (для редакції векторного площинного шару типів землекористування і проведення операцій обробки цифрової моделі рельєфу) та ERDAS Imagine (для безпосередньої обробки растрового зображення космознімка).

Наслідком проведених досліджень стала карта типів землекористування басейну річки Коропець, побудована на основі дешифрування даних дистанційного зондування. З аналізу даної карти бачимо, що



переважаючим типом використання угідь є рільництво (59,74 %). В основному рілля приурочена до вододільних ділянок, верхів'їв та середньої частини басейну річки Коропець (до с. Голгоча).

Частка лісів у середньому становить 9%. Нижче за течією спостерігається зміна відсоткового співвідношення лісу, що пояснюється збільшенням крутизни схилів та вертикального розчленування, непридатністю цих земель для землеробства. Переважаючими деревними породами є граб, хоча подекуди зустрічаються і мішані ліси з домішками хвойних порід. Як приклад трансформаційних змін природно-антропогенних систем нами розглянуті зміни у поширенні лісового покриву території басейну р. Коропець (рис. 1).

Чагарники та рідколісся розподілені по території нерівномірно і їхня частка складає 11,20%. Луки, пасовища і сіножаті (7,78%) розташовані в основному вздовж долин річок та в місцях колишніх вирубок. На території розташовано ряд озер та ставів. Переважна більшість їх знаходиться поблизу м. Підгайці і являє собою мережу ставів з укріпленими берегами. Ще один водний об'єкт подібного типу розташований між с. Козівка та м. Козова. Інші озера і ставки розподілені по території нерівномірно. Частка цього класу типу землекористування складає 0,5% від усієї площі басейнової системи. Болота поширені в основному в долинах річок вздовж русел і складають 0,33% від усієї території. В межах басейну, поблизу м. Козова, розташований відстійник з площею 0,22 км<sup>2</sup>.

Досить велику частку займають поселення різних типів (11,36 %). Розподілені вони в основному вздовж річки Коропець та її допливів на відстані від 0–1 000 м від річища. Близьке розташування від русла негативно впливає на стан екосистеми річки Коропець та її допливів. Серед причин негативного впливу слід перед усім відзначити відсутність впорядкованих систем відведення та очищення побутових, сільськогосподарських та промислових стічних вод, наявність стихійних звалищ побутових відходів у безпосередній близькості до водних об'єктів, інші порушення водоохоронного законодавства.

#### Моделювання стану гірничопромислових геосистем

Моделювання стану таких складних природно-антропогенних геосистем, якими є гірничопромислові (ГПГ), а також взаємозв'язків між їхніми складовими – природними компонентами та антропогенними елементами, інтенсивності екзогенних процесів вимагає передусім визначення завдань, принципів та вибору відповідної методики дослідження. Оскільки досліджувані об'єкти за своїми розмірами є порівняно невеликими, то відповідно постає питання щодо чіткого окреслення модельованих масштабів та ступеня деталізації при відображенні цих об'єктів на карті. Таким чином, перед дослідниками постає ряд важливих завдань, зв'язаних з моделюванням та аналізом отриманих даних, які можна поділити на кілька функціональних груп.

*Перша група* завдань орієнтована на побудову цифрової моделі рельєфу (ЦМР) і первинної моделі стану гірничопромислових об'єктів. До неї входить: 1) аналіз існуючих картосхем, схем і планів гірничих розробок, ступеня їхньої придатності для подальшого використання в якості основи для моделювання; 2) створення цифрової основи з нанесенням на неї існуючих форм рельєфу та коректне їх відображення, яке б враховувало можливості активізації природно-антропогенних процесів і стану ГПГ.

*Друга група* завдань несе відповідальність за аналіз і корекцію створених динамічних моделей. Вона включає: 3) визначення ступеня відповідності моделі реальним (сучасним чи ретроспективним) умовам ділянки дослідження; 4) аналіз придатності створеної моделі для подальшого проведення морфометричних і геоecологічних досліджень, пов'язаних з формами рельєфу та екзогенними процесами; 5) оцінка інтенсивності негативних природно-антропогенних явищ і процесів та прогноз їхнього поширення у просторі і часі.

Виконання поставлених завдань вимагає залучення додаткових моделюючих засобів САД з можливістю імпорту відповідних форматів у середовище ГІС-програмних пакетів. Тому, на нашу думку, для моделювання стану ГПГ слід впроваджувати багатоступеневу обробку даних, яка повинна включати:

1. *Побудову коректної ЦМР без врахування існуючих антропогенних форм рельєфу і гірничопромислових об'єктів.* Для цього слід використовувати карти, картосхеми та аерознімки, складені ще до початку проведення гірничих робіт. Вивчення природних умов території до моменту техногенного впливу на неї має важливе значення для розуміння передумов виникнення негативних природно-антропогенних процесів та явищ, що відбуваються на сучасному етапі гірничої розробки. Передбачається векторизація картосхем відповідних масштабів (1 : 2 000 – 1 : 25 000), які найповніше відображають існуючу ситуацію з врахуванням історично закладеної гідрографічної мережі та природних особливостей рельєфу.



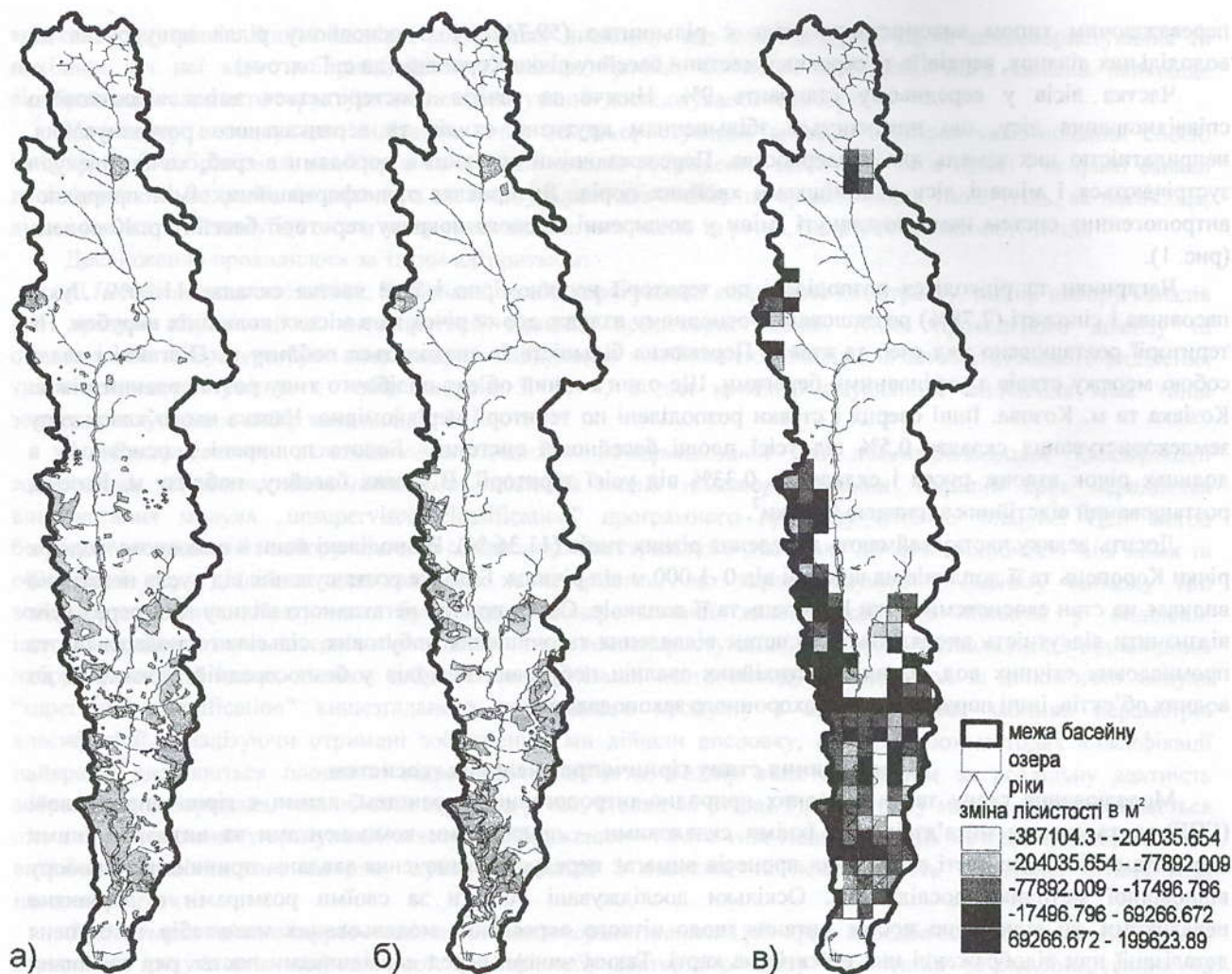


Рис. 1. Трансформаційні зміни лісового покриву в межах басейну р. Коронець:

а) поширення лісів станом на 1956 р.; б) поширення лісів станом на 1989 р.;

в) зміна заліснених площ за період 1956–1989 рр., в м².

2. Створення деталізованих планів антропогенних форм рельєфу та їхнє геокодування в реальних координатах. Власне цей крок передбачає застосування CAD-технологій із залученням додаткових засобів отримання геопросторової інформації (GPS та цифрової зйомки місцевості). Велике значення при цьому має коректна обробка отриманих даних з подальшим їх аналізом та співставленням.

3. Співставлення отриманих результатів з реальною ситуацією на місцевості. Для цього передбачається проведення польового геодезичного і-геоекологічного знімання, пов'язаного з візуальним визначенням відповідності створеної моделі реальним умовам, вирахуванням похибок та внесенням уточнень. Слід пам'ятати, що при надмірній деталізації може втратитися загальне сприйняття форм, а відповідно і відображення активності несприятливих природно-антропогенних явищ і процесів на них.

Залежно від ступеня детальності робіт пропонується використовувати різні типи моделей відображення поверхні: 1) метод триангуляційних іррегулярних мереж (TIN), який придатний для моделювання крутих схилів, обривів, прямовисних стінок та інших форм рельєфу, зв'язаних з інтенсивним антропогенним втручанням або гравітаційними процесами; 2) метод растрового відображення поверхні (grid), за допомогою якого добре фіксуються згладжені пологі форми рельєфу. Обидва методи мають свої переваги і недоліки. Наприклад, недоліком застосування першого методу можна назвати некоректне відображення виположених поверхонь та однорідних схилів, тоді як у другому випадку коректність зображення залежить від розміру роздільної комірки растрового зображення.



При інтерпретації даних, отриманих під час моделювання стану ГПГ, важливу роль відіграє геостатистичний аналіз, який дозволяє вираховувати розмір похибок, що виникли під час моделювання. Моделювання поверхні антропогенного рельєфу та створення тривимірної моделі є лише першим кроком до комплексного аналізу стану території і служить основою для проведення подальших геоecологічних досліджень ГПГ. Ще однією перевагою використання ГІС-технологій є можливість спостереження за станом і трансформаційними змінами навколишнього природного середовища як в статичному, так і динамічному аспектах, а відповідно і прогнозування розвитку небезпечних природно-антропогенних процесів та явищ в межах ГПГ.

Розглянемо особливості технології моделювання стану ГПГ. Складність ландшафтно-геокомплексу потребує особливого підходу до створення ЦМР як основи для подальшого геоecологічного моделювання і моніторингових досліджень. Питання щодо моделювання ГПГ та створення дієвої ландшафтно-екологічної інформаційної системи гірничопромислових територій висвітлені у низці наших публікацій [3–5], тому зупинимося лише на деяких проблемних питаннях.

Суттєві зміни в ландшафтній структурі ГПГ відбуваються практично щодня, тому вся картографічна інформація, зібрана під час чергової геодезичної зйомки, старіє дуже швидко і часом вже за рік є практично непридатною для використання. Недосконалість картографічних планів гірничовидобувних об'єктів потребує обов'язкового проведення спеціальних польових ландшафтних та геоecологічних досліджень в їхніх межах. Такі дослідження повинні супроводжуватися як окомірним, так і теодолітним зніманням території. Тільки після завершення цих робіт можливе створення коректної ЦМР.

Алгоритми ландшафтного і геоecологічного моделювання реалізовані в багатьох геоінформаційних системах: *Arc-Info*, *ArcView*, *ArcGIS* (*ESRI Inc.*); *MapInfo* (*MapInfo Corp.*); *Idrisi* (*Clark Labs*); *MicroStation* (*Bentley Systems Inc.*) та ін. Для оцінки якості побудованої за допомогою цих ГІС-пакетів DEM-моделі використано, по-перше, візуальне її зіставлення, в т.ч. порівняння зі створеною геодезистами схемою гірничих робіт і, по-друге, аналіз поширення похибок між результатами власної зйомки та розрахунком за ними ґридом. При зведенні до відповідних розмірів і форм, насичених точками з визначеними координатами, більшість поширених методів моделювання стану ГПГ дають практично однаковий результат.

Критерієм якості моделі може стати адекватність графічного представлення природних і техногенних елементів ГПГ. Однак, жодна з існуючих геоінформаційних систем, на жаль, не витримує поставлених критеріїв оцінки якості. А якщо до них додати високу динамічність ландшафтно-геокомплексу ГПГ, то найпоширеніші ГІС-пакети стають малоприслужними. Усі вони потребують чіткої топографічної основи з ізолініями і відмітками абсолютних висот, а це практично неможливо в цьому випадку.

В сучасній практиці створення ГІС-проектів геоінформаційне моделювання завершується, як правило, побудовою ізоліній та об'ємної тривимірної демонстративної моделі. Однак, для вирішення завдань моделювання стану ГПГ цього недостатньо насамперед тому, що не визначені питання відображення реальної ландшафтно-геоструктури. Структурні лінії трьохвимірної проекції служать реальними межами ГПГ і їхніх компонентів. Виділення лінійних і точкових елементів дискретної ландшафтно-гео моделі є важливою вимогою створення моделей стану геосистеми, передусім тому, що крутизна та експозиція схилів (уступів, поверхонь) ГПГ служать основними середовищотворювальними чинниками.

Особливу увагу в наших геоecологічних дослідженнях приділено питанням моделювання ландшафтно-гео структури ГПГ Львівської області різних типів: відвального, кар'єрного і відстійного (на прикладі ландшафтно-гео структури породного терикону шахти „Візейська” Червоноградського ГПР Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну).

Сучасну ландшафтно-гео структуру досліджуваного терикону виокремлено на основі попередньо побудованої TIN-моделі. До кожного ГПГ прив'язана геоінформаційна база даних, яка включає в себе два блоки:

- 1) *природний* із зазначенням експозиції і крутизни схилів, форми рельєфу, складу відкладів, потужності техноґрунтів, частка залісненості її території, активність екзогенних процесів тощо;
- 2) *техногенний* із інформацією про стан та ймовірність подальшого використання, інтенсивність ландшафтно-екологічних міграційних потоків, забруднення хімічними і радіоактивними елементами тощо.



Відібрана інформація щодо сучасного стану ГПГ дозволяє прогнозувати їх подальший розвиток і розробити рекомендації щодо рекультивації породного терикону.

### Висновки

Таким чином, проблема наукового обґрунтування шляхів оптимізації використання природних ресурсів є однією з головних проблем функціонування природно-антропогенних систем, вирішення якої потребує залучення не лише значних коштів та проведення великого обсягу робіт, але й використання новітніх прийомів і методів моделювання та прогнозування їхнього стану і розвитку. Обрані ділянки, як видно з представлених даних, можуть стати модельними, своєрідними демонстративними і випробувальними полігонами з метою впровадження передових дослідницьких та еколого-оптимізаційних технологій.

За результатами аналізу показників природної і техногенної складових пропонованих моделей можна зробити висновки про те, що досліджувані ділянки знаходяться на різних стадіях: у першому випадку – заміни природного комплексу природно-антропогенним, у другому – процесу створення нової природно-антропогенної системи. Така ландшафтно-екологічна ситуація вимагає проведення поглиблених комплексних геоecологічних досліджень та моделювання кожного окремого виду природно-антропогенних геосистем та їх компонентів і процесів, які відбуваються в них.

1. Адаменко О.М. Інформаційно-керуючі системи екологічного моніторингу на прикладі Карпатського регіону // *Укр. геогр. журнал.* – 1993. – № 3. – С. 8–13. 2. Андрейчук Ю.М., Ковальчук І.П. Комп'ютерне дешифрування космознімків для оцінки впливу структури землекористування на поширення ерозійних процесів у басейні р. Коронець // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. збірник / Відп. ред. В.К. Хільчевський.* – К.: ВГЛ „Обрії”, 2004. – Том 6. – С. 335–344. 3. Іванов Є.А. Ландшафтно-екологічна інформаційна система гірничопромислових територій // *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія.* – Вінниця, 2002. – Вип. 3. – С. 89–92. 4. Іванов Є. Технології ландшафтного моделювання в гірничовидобувній промисловості // *Геодезія, картографія і аерофотознімання: Матеріали 4-ої міжнародної конференції “Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку”* – 2003. – Вип. 63. – С. 215–219. 5. Іванов Є.А. Особливості ландшафтного знімання і кадастру в межах родовищ корисних копалин // *Геодезія, картографія і аерофотознімання: Матеріали науково-практичної конференції “Проблеми інженерної геодезії та кадастру”*. – 2002. – Вип. 62. – С. 110–115. 6. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / За ред. С.О. Довгого, В.І. Лялька. – К.: Наукова думка, 2001. – 606с. 7. Ковальчук І., Мкртчян О., Михнович А., Андрейчук Ю., Іванов Є. Потенціал геоінформаційних технологій у вирішенні конструктивно-географічних проблем // *Екологічна географія: історія, теорія, методи, практика: Матеріали II міжнародної конференції*. Тернопіль, 2004. – С. 49–59. 8. Кочетков М.В., Черемисина Е.Н., Митракова О.В., Любимова А.В. Моделирование состояния природных экосистем для экологического мониторинга территорий // *Геоинформатика.* – 2001. – № 3. – С. 90–94. 9. Мариняк Я.О. Основы моделирования стану довкілля: Навч. посібник. Частина I – Тернопіль: ТДПУ, 2000. – 132с. 10. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320с. 11. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології. – К.: Фітосоціоцентр, 1998. – С. 4–15. 12. Табачний Л.Я., Готинян В.С., Буйницький І.О., Мельник І.В., Добридінік Л.Д., Петренко О.О. Створення карт землекористування засобами ГІС/ДЗ-технологій // *Вісник геодезії та картографії.* – № 2(17). – Київ, 2000. – С. 15–18. 13. Ширяев Е.Е. Картографическое отображение, преобразование и анализ геоинформации. – М.: Недра. – 1984. – 248с. 14. Эльман Р.И., Боданский Е.Д. Автоматизированное картографирование земель по аэро- и космическим снимкам // *Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве / Отв. ред. Г.В. Добровольский, В. Л. Андронников.* – М.: Наука, 1990. – С. 232–236. 15. Bielecka E., Ciolkosz A. Zmiany uzytkowania ziemi w dorzeczu Odry w swietle zdjęć satelitarnych i archiwalnych materialow kartograficznych // *Fotointerpretacja w geografii. Problemy telegoinformacji.* – Warszawa, 2000. – S. 91–103. 16. Kardas P. Zastosowanie telegoinformacji w badaniach zmian pokrycia terenu Magurskiego Parku Narodowego w latach 1935–1999 // *Fotointerpretacja w geografii. Problemy telegoinformacji.* – Warszawa, 2000. – S. 82–91.