

КАРТОГРАФІЧНЕ І ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНО-ГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

1. Актуальність поставленої проблеми. Все частіше у географічних дослідженнях використовують картографічне і геоінформаційне моделювання не лише як засіб візуалізації просторово-часової інформації, а й як механізм її аналізу та оцінювання. Особливо актуальним і перспективним є використання моделей, спрямованих на вирішення актуальних екологічних проблем, зокрема трансформації і забруднення природного середовища, розвитку морфодинамічних процесів тощо. Варто також зазначити, що сьогодні в Україні накопичено вагомий досвід як картографічного, так і геоінформаційного моделювання стану складових навколишнього природного середовища [наприклад, 20]. Однак залишилося ще багато “білих плям” у питанні створення таких ГІС-моделей та їх методичного обґрунтування. На пошуки шляхів вирішення цих проблем спрямовані наші дослідження.

У навчальній лабораторії геоінформаційного моделювання і картографування Львівського національного університету імені Івана Франка отримані як кінцеві, так і проміжні результати моделювання екологічного стану різномасштабних і функціонально неоднорідних природно-господарських систем Західного регіону України. У роботі лабораторії участь беруть молоді вчені, аспіранти і студенти цієї кафедри.

2. Алгоритм дослідження. Не дивлячись на різні мету і завдання, які ставилися перед дослідниками, усі вони вимагали побудови ГІС-моделей і вирішувалися за розробленим нами алгоритмом [11, 13], який поєднував:

1) *збір інформації*. Він включав підбір карт і відповідного ГІС-програмного забезпечення, сканування, підготовку (зшивання окремих листів, налаштування якості зображення тощо) і геокодування картографічного зображення;

2) *векторизацію інформації* з використанням технологій перетворення растрового зображення у векторне;

3) *обробку векторних даних* для перевірки і виправлення топологічних характеристик об'єктів, створення атрибутивної бази даних;

4) *створення цифрової моделі рельєфу* з обранням оптимального способу відображення форм рельєфу (TIN, GRID та ін.);

5) *побудову моделей*, які відображають основні морфометричні і морфологічні характеристики рельєфу та інших компонентів навколишнього природного середовища, створення тематичних карт (грунтової, гідрологічної, ландшафтної та ін.);

6) *опрацювання різночасових аеро- і космознімків* з метою визначення структури земле- і природокористування території;

7) *збір та опрацювання геоекологічної інформації*, створення бази даних, складання серії екологічних і природоохоронних карт;

8) *виділення водоохоронних, протиерозійних, санітарних та інших захисних зон* на основі опрацьованої геоекологічної інформації;

9) удосконалення системи геоecологічного моніторингу і раціонального використання природних ресурсів;

10) розроблення оптимізаційних заходів, спрямованих на покращання екологічної ситуації та удосконалення до схеми територіального планування.

3. Програмне забезпечення і методика дослідження. Для виконання картографічних робіт вибрані відомі ГІС-продукти компаній *Easy Trace Group*, *ESRI* і *ERDAS*. Основними робочими програмами під час моделювання відповідно були *Easy Trace* (для автоматичної векторизації топооснов), *ArcGIS 9.0* (для редакції векторних шарів аналізу) та *ERDAS Imagine* (для обробки растрового зображення знімків). Для виконання окремих, часом специфічних, завдань обиралися інше програмне забезпечення, зокрема такі відомі програми як *MapInfo* і *AutoCAD*. До оформлення картографічних моделей та виведення на друк проводилося з використанням графічного редактора *CorelDRAW*.

Геоінформаційне моделювання увібрало в себе останні досягнення картографічного і математичного моделювання просторових даних в географії та екології [5, 6, 18, 19, 23, 24, 26, 27, 33 та ін.]. На цій основі виник геоінформаційний підхід до екологічного картографування [31, 32]. У роботі нами використано організаційні засади і методичні прийоми створення ГІС-проектів, які розглянуті у низці вітчизняних і закордонних монографій і публікацій [3, 4, 7, 29, 30]. При цьому особлива увага була присвячена методиці роботи в середовищі *ArcGIS* [25, 36, 38, 39].

Водночас, доволі часто існуючі методичні розробки були непристосованими для вирішення поставлених завдань і потребували певного доопрацювання. Зокрема, нами окреслено спектр проблем [11, 14] та запропоновано науково-методологічні і методичні засади картографування і моделювання гірничопромислових територій [8–10, 12, 15, 22], паводкової небезпеки [14] тощо. Значні напрацювання є й у методиці геоінформаційного моделювання басейнових систем [1, 16] та інших природно-господарських систем [2, 37].

У роботі використано космоснімки *Landsat 7 ETM+*, *Spot*, “Салют” та аерознімки окремих досліджуваних територій. З метою прив’язки, перевірки та уточнення опрацьованих топографічних та інших тематичних карт, матеріалів аеро- і космозйомки паралельно з оцифруванням виконувалося польове знімання і географічна прив’язка досліджуваних об’єктів за допомогою геодезичних або GPS-приладів. Одночасно збиралася необхідна для створення бази даних і моделювання геоecологічна інформація, здійснювався відбір проб і зразків для лабораторного аналізу.

4. Напрями досліджень. Робота виконувалася в рамках вивчення спектру геоecологічних проблем Західного регіону України. Більшість картографічних і геоінформаційних моделей створено для вирішення актуальних проблем трансформації природно-господарських систем, зокрема:

➤ *аналізу структури поселенського навантаження та стану окремих урбоecосистем.* Нами побудована серія різночасових ізолінійних карт поселенського навантаження Західного регіону України масштабу 1 : 50 000. Детальніші геоecологічні дослідження проведено в межах урбоecосистем Львова зі створенням ГІС-моделей екологічного змісту. Це карти трансформації рельєфу і геологічного середовища, ризику прояву карстових процесів, забруднення ґрунтового покриву, поверхневих, ґрунтових і підземних вод та ін.;

➤ *територій та об’єктів сільсько- і лісogосподарської діяльності.* Для багатьох районів західного регіону України оцінено рівень трансформації структури землекористування у XIX–XX ст. з виокремленням лісів, луків, ріллі, пасовищ, сіножатей, інших угідь, проаналізовано їхній стан, запропоновано заходи щодо покращання екологічної ситуації в цих об’єктах;

➤ *водотоків та їхніх басейнових систем.* З використанням ГІС-технологій проаналізовано гідроекологічний стан сточища верхньої частини Дністра та водозборів його допливів – малих річок Коропець, Бережниця, Зубра, Луга, Щирка та багатьох інших. При цьому особлива увага приділялася створенню карт та обґрунтуванню водоохоронних

зон і прибережних смуг, покращанню екологічної ситуації у водозборах річок. Цікавими є динамічні моделі розвитку повеней і паводків, "демонстраційні польоти" із перспективним відображенням трансформаційних змін лісового покриву, інших угідь вздовж басейну;

➤ *гірничопромислових територій та об'єктів.* Розроблено нові підходи до геоecологічного картографування гірничопромислових територій. На основі побудованих ГІС-моделей проаналізовано стан антропогенної трансформації ландшафтних систем Червоноградського кам'яновугільного, Яворівського сірконосного, Бориславського нафтогазоносного і Стебницького соленосного районів. Створені великомасштабні (1 : 5 000) цифрові моделі ключових ділянок "Межиріччя" і "Яворівське озеро" дозволили розробити рекомендації щодо оптимізації стану природно-господарських систем в їхніх межах;

➤ *територій та об'єктів природоохоронної діяльності.* На основі серії картографічних моделей запропоновано заходи, спрямовані на покращання ландшафтно-ecологічної ситуації в межах національних природних парків "Яворівський" і "Сколівські Бескиди", збереження пам'яток природи на антропогенно трансформованих територіях;

➤ *об'єктів (пам'яток) історико-культурної спадщини, рекреаційної або бальнеологічної діяльності.* З метою збереження історико-культурної пам'ятки місцевого значення "Стільське" нами проведено ґрунтовні геоecологічні дослідження та складено серію ГІС-моделей, які дозволили розробити рекомендації щодо зменшення ризику прояву ерозійних і карстових процесів в її межах.

5. Результати досліджень: Приклади геоінформаційних моделей. Таке різноманіття напрямів у моделюванні природно-господарських систем Західного регіону України не дозволяє розглянути їх всі, тому зупинимося лише на найцікавіших ГІС-моделях. Створені моделі мають різну ступінь генералізації, що зумовлено різними завданнями і масштабами досліджень (1 : 5 000–1 : 200 000).

5.1. *ГІС-моделі гірничопромислових територій.* З метою обґрунтування заходів з оптимізації гірничопромислових територій, які зазнали інтенсивного впливу екологічно небезпечних процесів деформації земної поверхні, затоплення, підтоплення і геохімічного забруднення, ми провели еколого-ландшафтні дослідження на двох ключових ділянках:

- "Межиріччя" в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну;
- "Яворівське озеро" у районі Яворівського ДГХП "Сірка".

Ключова ділянка охоплює територію Червоноградської збагачувальної фабрики, шахт "Візейська", "Великомостівська", "Межирічанська" та фрагменти полів інших шахт. Ділянка займає територію неправильної, наближеної до прямокутної, форми, розмір якої 3,5 × 6,5 км, а площа – понад 28 км². Попри це, на такій невеликій за площею території функціонує багато гірничопромислових геосистем, що виникли на основі гігантського відвалу відходів флотації, двох хвостосховищ і ставів-відстійників збагачувальної фабрики, а також двох териконів вищезазначених шахт. Район дослідження є густо заселеним (понад 160 осіб/км²), тут функціонує багато населених пунктів: частини міст Червоноград і Соснівка, селища Гірник, сіл Сілець, Межиріччя і Городище, сільськогосподарські угіддя, присадибні ділянки тощо.

Досліджувана територія зазнає інтенсивного впливу спектру небезпечних природно-техногенних процесів та явищ. Серед них особливе місце посідають процеси просідання поверхні унаслідок активного підземного розроблення вугілля без закладення вільного простору та осідання, яке викликане статичним навантаженням териконів, хвостосховищ і ставів-відстійників.

Такі деформаційні процеси простежуються по всій площі ключової ділянки, що значно впливає на функціонування і стан природних та природно-техногенних систем, особливо в межах місцевості плоских заплав. Глибина просідань коливається в середньому від 0,6 до 3,0 м, а максимальні значення досягають 3,0–3,5 м [8]. Процес просідання площ має односпрямований вплив на літогенну основу верхніх шарів земної кори, однак екологічні

наслідки в межах природних комплексів різні і залежать від сучасної ландшафтної структури району.

Значні деформаційні процеси зумовили поширення в межах ключової ділянки процесів затоплення, підтоплення і заболочення. В окремих місцях утворилися антропогенні аквальні комплекси – овальної чи округлої форми заповнені водою пониження діаметром 50–100 м. В долині р. Західний Буг поряд зі ставами-відстійниками розміщена найбільша зона затоплення розміром 700 × 1900 м, через що річка спрямувала свої води в її сторону. Процеси просідання і затоплення охопили місцевості плоских поверхонь заплави і надзаплавних терас, а також місцевість слабодренованих озерно-льодовикових межиріч. Частина аквальних систем виникла на місці колишніх заболочених площ, інші з’явилися в тих урочищах, де раніше заболочення не простежувалося і які були зайняті ріллею, луками та лісами. Затоплені і підтоплені ділянки існують на окремих територіях сіл Сілець, Межиріччя і Городище [10].

Для ГІС-моделювання ключової ділянки “Межиріччя” використано детальні плани-схеми гірничих робіт масштабу 1 : 5 000, що відображають початкову стадію розроблення покладів кам’яного вугілля. Надалі підготовлено топооснови до процесу створення ГІС-моделі. Зокрема, проведено пошарове опрацювання інформації на світлопульті, виправлено технічні недоліки і невідповідності планів, здійснено сканування і зшивання сканованих листів та прив’язку карти до ректифікованого панхроматичного космоснімку *Spot DOI-10* з роздільною здатністю 10 м [12].

Підготовка основи дала змогу створити цифрову модель рельєфу та окремі перспективні плани на ключову ділянку. На основі ЦМР створено карти крутизни та експозиції схилів. Одночасно зроблено обходи кількома різними маршрутами та GPS-вимірювання з метою уточнення прив’язки території, проведено підготовче польове знімання ключової ділянки, яке дало змогу уточнити сучасну географічну ситуацію, а саме. Найбільшу увагу приділено формуванню блоку ландшафтно-екологічної інформації, в якому відображена структура гірничопромислових геокомплексів, ступінь їхньої антропогенної трансформованості, рівень хімічного і радіоактивного забруднення.

Проаналізуємо ґрунтовніше особливості геоінформаційного моделювання процесів просідання, затоплення і підтоплення району дослідження та створення відповідних моделей (рис. 1). Створення ГІС-моделі відбувалося поетапно. На першому етапі була оцифрована та за допомогою функції *Topo To Raster* програми *ArcGIS 9.0* згенерована ЦМР, яка відображала форми рельєфу до початку ведення гірничих робіт. Потім, згідно з даними ДП “Львіввугілля”, від змодельованої поверхні методом картографічної алгебри відняті абсолютні значення просідань у кожній точці ключової ділянки та отримана нова ЦМР, яка враховує інтенсивність прояву просадочних процесів [12, 22].

Другий етап передбачав моделювання техногенних форм рельєфу, які утворилися на літогенній основі гірничопромислових об’єктів: відвалу, хвостосховищ, ставів-відстійників збагачувальної фабрики і териконів шахт. Для цього методом картографічної алгебри до ЦМР додано абсолютні висоти цих форм рельєфу та отримано удосконалену ГІС-модель, яка повністю відображає особливості сучасної земної поверхні досліджуваної території [8].

Під час третього етапу за допомогою віддешифрованих космоснімків *Spot* і *Landsat* з роздільною здатністю 10 і 30 м визначено площі постійного і тимчасового затоплення, підтоплення та вторинного заболочення. Результати дешифрування уточнено під час власних польових геоекологічних досліджень, які від 1997 р. щосезону проводяться. Усі підтоплені зони станом на 1991, 1998 і 2005 рр. нанесені на карту. Це дало змогу тут виявити суттєві розбіжності у площах підтоплення і заболочення. За цей час до 15–20 % зон затоплення зникли, а на їхньому місці утворилися великі пустирі з лучно-болотною рослинністю. Водночас, у межах досліджуваної ділянки зафіксовано нові “озера” діаметром до 400 м і глибиною 1,5–2 м.

На останньому, четвертому, етапі методом вибірки за допомогою модуля-розширення *Buffer By Rise* розраховано зони тимчасового затоплення під час повеней і паводків для двох ЦМР, які відображають рівні земної поверхні до початку розроблення кам'яного вугілля та з врахуванням її просідання на сучасному етапі. Паралельно виокремлені площі тимчасового затоплення, що займають понад 15–25 % площі ключової ділянки. Таке тимчасове затоплення повторюється щороку і зумовлене інтенсивним таненням снігового покриву та наявністю замкнутих ділянок земної поверхні, наслідки якого зникають лише до червня–серпня поточного року. Проте цілий рік зберігаються ознаки заболочення і переважання болотної рослинності [10].

Інша ключова ділянка – “Яворівське озеро” – повністю або частково охоплює площі дирекції і технологічного комплексу Яворівського ДГХП “Сірка”, Язівського сірчаного кар'єру, трьох відвалів, гідровідвалу, тимчасового хвостосховища і ставів-відстійників. У південно-західній частині досліджуваної території розміщений військовий санаторій “Шкло”. Ділянка прямокутної форми має площу близько 28 км².

З метою припинення розвитку карстових, абразійних та ерозійних процесів, забруднення поверхневих вод, розв'язання інших екологічних та економічних проблем регіону у 2000 р. розроблено альтернативний варіант ліквідації сірчаного рудника, що передбачав використання природних сил і процесів для перетворення кар'єрної виїмки в озеро [28]. Від 2001 р. розпочато затоплення Язівського кар'єру та проведення різних рекультиваційних робіт (організація стоку вод, виположення й укріплення берегів тощо), спрямованих на створення рекреаційної зони навколо новоствореного озера. Складність поставлених проблем потребує створення дієвої ГІС-моделі ключової ділянки “Яворівське озеро” з метою отримання достовірної інформації про розвиток процесів та обґрунтування шляхів поліпшення ландшафтно-екологічної ситуації.

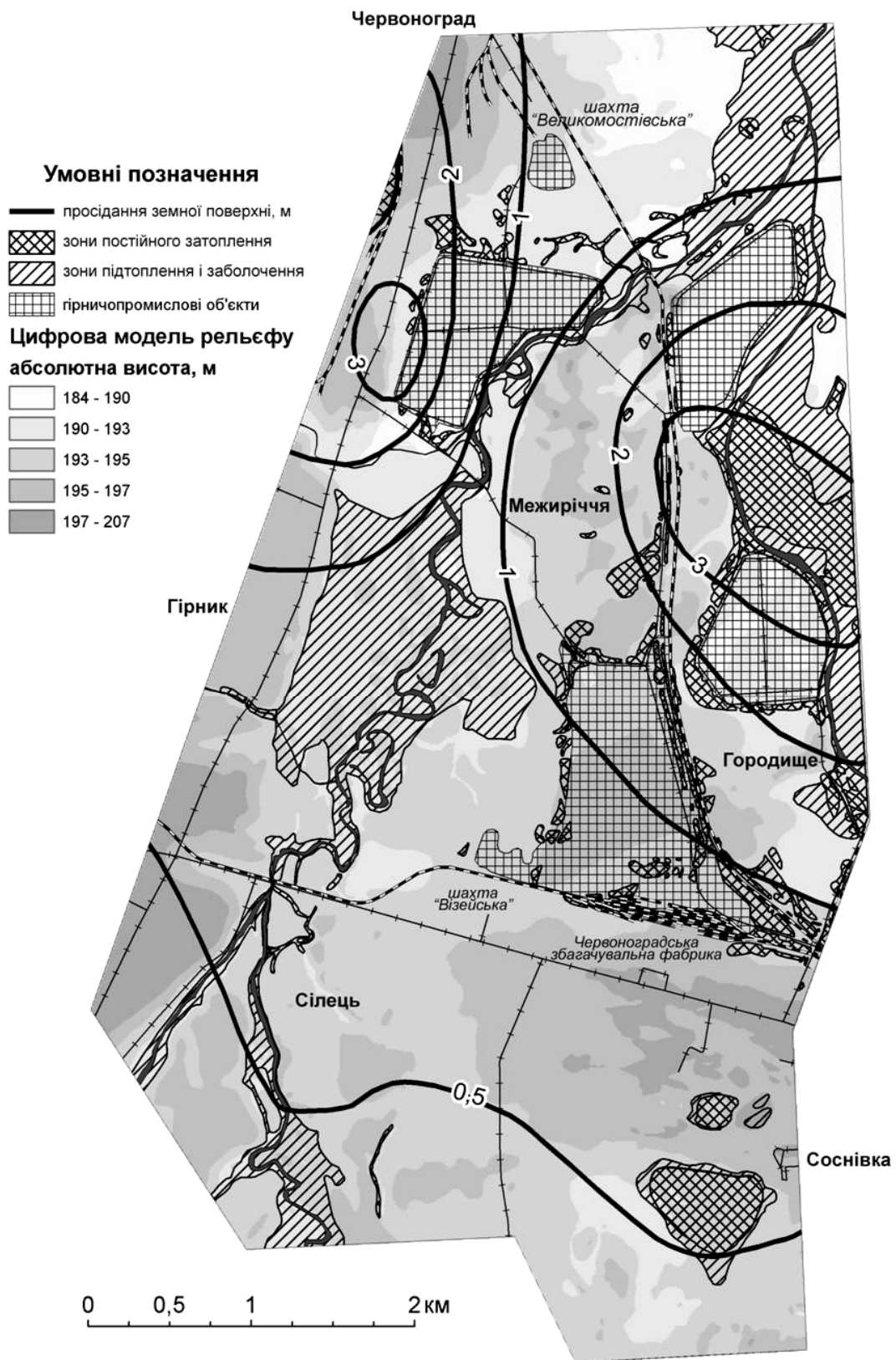


Рис. 1. Модель розвитку процесів просідання, затоплення і заболочення в межах ключової ділянки "Межиріччя" (побудована з використанням даних ДП "Львіввугілля")

Для геоінформаційного моделювання ключової ділянки “Яворівське озеро” взяті плани-схеми гірничих робіт масштабу 1 : 5 000. Як і для тестової ділянки “Межиріччя”, на ділянку “Яворівське озеро” підготовлено топооснови з їхньою прив’язкою до панхроматичного космознімку *Spot*. Одночасно здійснено уточнення ландшафтно-екологічної ситуації із GPS-вимірюваннями, визначено ступінь антропогенної трансформації ландшафтних комплексів, особливості розвитку природно-антропогенних процесів, розташування ареалів забруднення тощо.

Комп’ютерне моделювання затоплення Язівського сірчаного кар’єру та розвитку абразійних, ерозійних і карстопровальних процесів, що з ним пов’язані, має певну специфіку. Для створення повноцінної ЦМР ключової ділянки “Яворівське озеро” довелося додатково уточнити висоти поверхні кар’єру і відвалів. Далі за допомогою модуля просторового аналізу *Spatial Analyst* розраховані початковий (156 м), станом на 2005 р. (216 м) і максимальний (230 м) рівні затоплення кар’єрної виїмки (рис. 2). Кореляційні зв’язки між ухилом берегів, літологією гірських порід і максимально можливою розрахунковою висотою хвиль на кожному з рівнів озера дали змогу визначити зони активізації абразії берегів.

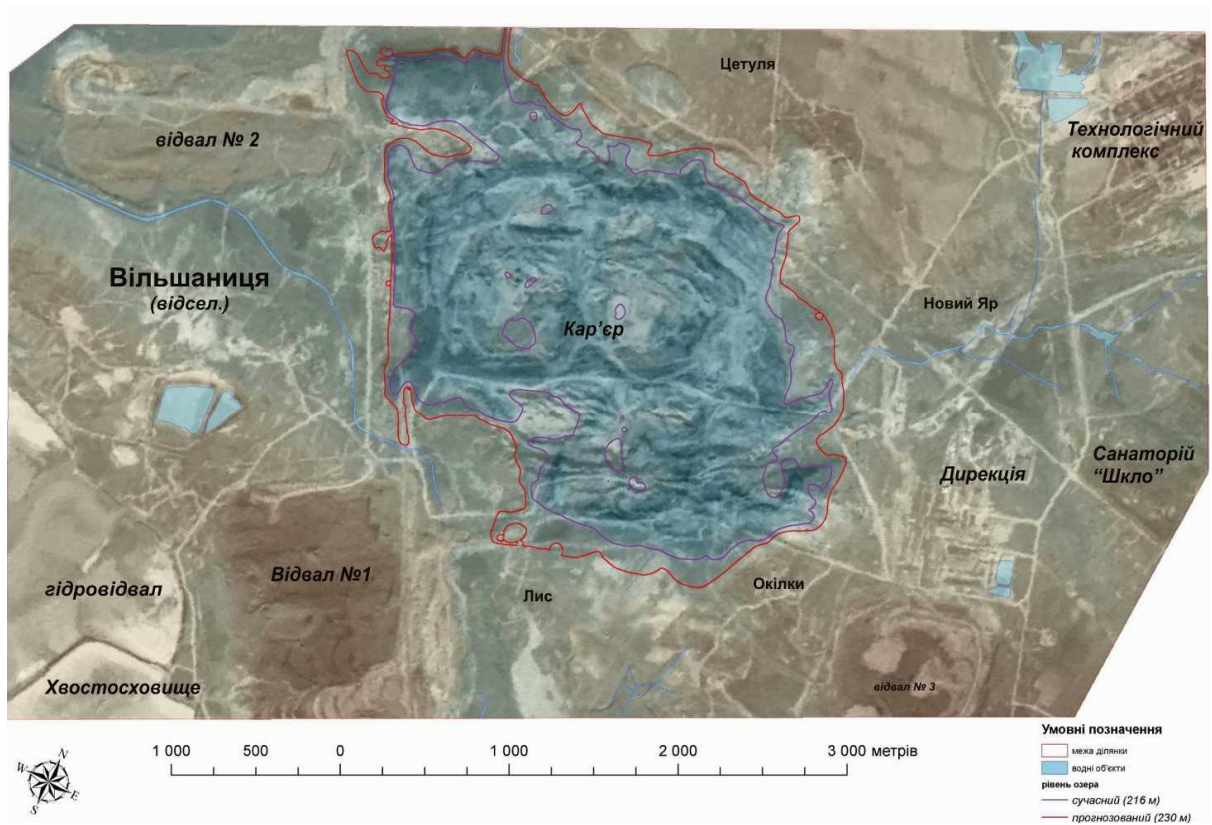


Рис. 2. Рівні затоплення Яворівського озера, змодельовані за допомогою ArcGIS

Водночас, для двох ключових ділянок проаналізовано особливості геологічної будови і генетичний тип ландшафтів, крутизну та експозицію схилів. За допомогою функцій *Flow Direction* і *Flow Accumulation* також отримано такі важливі гідрологічні характеристики, як напрямок та акумуляція поверхневого стоку, що дало змогу визначити шар зливого стоку для окремих водозборів та виокремити зони активізації лінійної ерозії і площинного змиву [15].

5.2. 3-D моделювання басейнових систем. Дедалі частіше в географічній науці звучать питання про застосування багатовимірного аналізу того чи іншого об’єкту, процесу чи явища. В якості даних виступають різноманітні характеристики навколишнього природного середовища – просторові, часові, кількісні та якісні. З урахуванням виду і характеру інформації, яка використовується в моделюванні,

застосовують різні методи побудови моделей, кінцевою метою яких є адекватний аналіз та відображення просторово-часових змін екологічного стану території. Результатом проведених операцій є віртуальна модель місцевості (ВММ), що являє собою математичну модель, яка містить в собі інформацію про рельєф земної поверхні, його спектральні яскравості, об'єкти розташовані на даній території. ВММ призначена для інтерактивної візуалізації і володіє ефектом присутності на місцевості [4].

З появою ГІС-технологій зросли можливості для подібних робіт. Про це свідчать чисельні публікації як вітчизняних, так і закордонних авторів [3, 4, 29]. В свою чергу, основи тривимірного моделювання місцевості розглянуті у багатьох Інтернет-публікаціях [17, 34].

Згідно з матеріалами, представленими Північною географічною компанією (Росія), актуальність застосування тривимірного геоінформаційного моделювання полягає у тому, що воно забезпечує велику наочність і можливість інтерпретувати дані, дає можливість відобразити інформацію про зміни об'єктів досліджуваної території, реалізувати ряд прикладних завдань, недоступних для вирішення іншими методами, використанням традиційних двовимірних даних. Крім того, застосування тривимірних моделей забезпечує: точніше визначення просторових координат об'єктів; комбінування тематичних шарів цифрових карт з даними дистанційного зондування; створення реалістичного відображення території та віртуальне переміщення дослідника по моделі; здійснення аналізу зон видимості та визначення ліній погляду спостерігача; інтерполювання за висотними пунктами, розрахунок площинних та об'ємних характеристик поверхонь, побудова профілів тощо.

В основу дослідження покладено тривимірне (3-D) моделювання басейнових систем, об'єктом якого виступала ліва подільська притока Дністра – річка Коропець.

Басейн є асиметричним та простягається з півночі на південь до 100 км, а заходу на схід до 15 км, з переважано малою густиною постійних водотоків (до 1 км/км²), структура яких є досить простою (4 порядок за схемою кодування, розробленою Філософовим-Страллером). Рельєф басейну характеризується домінуванням поверхонь з висотами від 360 до 400 м (75%) і крутизною схилів від 3° до 1° (північна частина) та 3°–10° (південна частина).

В ландшафтному відношенні територія басейну розташована в межах Подільських (північ) та Опільських (південь) груп ландшафтів Східноєвропейської рівнини. На півночі до м. Підгайці розташований Тернопільський ландшафт, що характеризується переважанням хвилястих межиріч, складених потужними товщами лесів і лесоподібних суглинків, на яких сформувалися сільськогосподарські угіддя та дубово-грабовими лісами на темно-сірих опідзолених і темно-сірих опідзолених оглеєних ґрунтах. На півдні від м. Підгайці до с. Голгоча простягається Бережанський ландшафт, що займає західну частину басейну та Монастириський ландшафт, який займає решту території. Вони характеризуються переважанням привершинних горбів і пасм (включаючи їх схили), складених крейдовими вапняками, пісковиками, конгломератами (верхня частина ділянки), чергуванням девонських пісковиків аргілітів та алевролітів (нижня частина ділянки) в долинах та неогенових пісковиків, вапняків і мергелів на привододільних ділянках, що перекриті лесами та лесоподібними суглинками з дубово-грабовими лісами, чагарниковою рослинністю на слабо- та сильнозмитих сірих опідзолених ґрунтах [35].

Така просторова диференціація складових природного навколишнього середовища стала передумовою плавності форм рельєфу, зумовила специфіку поширення процесів, об'єктів та явищ на території басейну. В свою чергу, ці обставини вимагають обґрунтованого вибору методів та параметрів побудови і відображення ВММ, а відповідно і програмних продуктів, які забезпечать виконання поставлених завдань.

Основним програмним забезпеченням став програмний комплекс *ArcGIS Desktop 9.0* у версії *ArcInfo* та зокрема його модуль *ArcScene*, який забезпечив можливість використання двох принципово відмінних між собою побудов 3-D моделі – *TIN*

(триангуляційна нерегулярна мережа) та *GRID* (растрова матриця висот). Про переваги та недоліки двох типів відображення рельєфу та основні принципи їх побудови ми вже згадували у публікаціях [1, 13], тому на цих питаннях не будемо зупинятися.

Розглянемо процес підготовки геопросторових даних для подібного виду робіт. Першим етапом є визначення просторових характеристик растрової матриці висот починаючи від системи координат і закінчуючи розміром комірки растру. Зазначимо лише, що систему координат бажано обрати таким чином, щоб в її основі були метрові одиниці лінійних вимірів. Це робиться з метою уникнення проблем перерахунку одиниць вимірів та введення додаткових коефіцієнтів переводу. Наступним кроком є додавання поверхні рельєфу до сцени та налагодження її відображення, що здійснюється за допомогою визначення властивостей відображення як самої модельованої поверхні, так і тривимірної її візуалізації. Для отримання згладженого відображення рельєфу вибирається метод повторної вибірки зображення зі зміною його роздільної здатності при відображенні на дисплеї з *Nearest Neighbor* (метод використовується для відображення дискретних поверхонь, рис. 3а) на *Cubic Convolution* (для континуальних поверхонь), а також збільшується роздільна здатність растру цифрової моделі рельєфу. З огляду на значення вертикального розчленування території, збільшено вертикальний масштабу відображення рельєфу з 1 : 1 на 1 : 3. Більшої реалістичності утвореній 3-D поверхні надає використання ефектів затінення поверхні в залежності від позиції джерела світла та згладжування тіней.

Ще одним аспектом застосованих методів є відображення об'єктів довкілля, реалізоване на прикладі лісового покриву території басейну. Основою для виконання поставленого завдання є векторний тематичний шар типів землекористування, отриманий шляхом дешифрування космознімку *Landsat ETM+*, з якого виокремлено лісовий покрив.

Для досягнення більшої реалістичності зображення полігональний шар лісів перетворений в крапковий шар дерев, що реалізується через застосування модуля до *ArcGIS Hawth's Analysis Tools*, автором якого є *Hawthorne Beyer* (www.spatial ecology.com). Застосувавши функцію генерування випадкових крапок з інструментів вибірки, визначаємо кількість крапкових об'єктів в залежності від площі лісового масиву та відстані між точками. Таким чином, отриманий крапковий шар, в якому кожній крапці відповідає 20 м² площі лісового масиву, а мінімальна відстань між ними – 40 м.

У результаті проведених робіт отримана кінцева ВММ (рис. 3б), яка дозволяє здійснити віртуальний обліт території дослідження, охарактеризувати поширення морфологічних та морфометричних параметрів рельєфу у тривимірному просторі, оцінити передумови виникнення схилових і руслових процесів та явищ. Крім того, проаналізовано можливість застосування тривимірного моделювання для оцінки поширення та взаємодії компонентів навколишнього природного середовища (на прикладі лісового покриву в басейні річки Коропець).

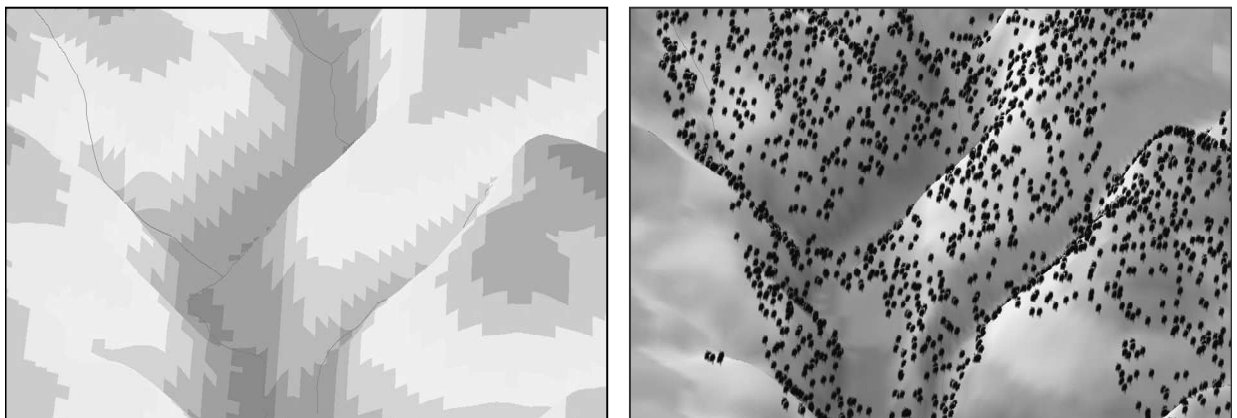


Рис. 3. Тривимірна модель частини басейну р. Коропець:
а) до налаштування; б) після налаштування

Основним напрямком застосування створеної моделі є обґрунтування схем оптимізації землекористування з метою стабілізації екологічної ситуації, оцінки природно-рекреаційного потенціалу території, проведення моніторингу компонентів довкілля, прогнозу розвитку небезпечних процесів та явищ на водозборі.

6. Висновки. Використання картографічного і геоінформаційного моделювання природно-господарських систем матиме широке практичне застосування у недалекому майбутньому. Поряд з цим, залишається ще багато складних, часом далеко неоднозначних, науково-методологічних і методичних питань на перетині класичної картографії і геоінформатики, які слід вирішувати вже сьогодні. Запропоновані нами підходи до моделювання різнофункціональних природно-господарських систем Західного регіону України є спробою рухатися вперед у цьому процесі. Вона дозволила розробити алгоритм та напрями досліджень, удосконалити методіку, створити низку ГІС-моделей та розробити рекомендації щодо покращання стану природного середовища досліджуваних територій.

Література

1. *Андрейчук Ю.М., Иванов Е.А., Ковальчук И.П.* Водоохранные исследования бассейнов малых рек с использованием ГИС-технологий // Двадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Ульяновск, 13–15 октября 2005 г.): Доклады и короткие сообщения. – Ульяновск, 2005. – С. 98–100.
2. *Андрейчук Ю.М., Иванов Е.А., Ковальчук И.П.* Возможности использования ГИС-технологий с целью рационального природопользования // Рациональное природопользование: Школа-конференция молодых ученых с участием стран СНГ: Тезисы докладов. – М.: Географический ф-т МГУ, 2005. – С. 28–33.
3. *Берлянт А.М.* Геоиконика. – М.: „Астрая”, 1996.
4. Геоинформатика: Учебник / Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издат. Центр “Академия”, 2005.
5. *Голиков А.П., Черванев И.Г.* Математическое моделирование пространственных исследований в географии. – Харьков, 1979.
6. *Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С.* Математико-картографическое моделирование в географии. – М.: Мысль, 1980.
7. *Зейлер М.* Моделирование нашего мира. Пособие ESRI по проектированию базы геоданных. – М.: ESRI Press, 2001.
8. *Иванов С.* Ландшафти гірничопромислових територій: Монографія. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.
9. *Иванов С.А., Андрейчук Ю.М., Лобанська Н.І.* Проблеми геоінформаційного моделювання гірничопромислових геосистем // Фізична географія та геоморфологія. – К.: ВГЛ Обрії, 2005. – Вип. 48. – С. 180–186.
10. *Иванов С.А., Ковальчук И.П.* Сучасний стан розвитку процесів підтоплення і заболочення в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності: Наук.-техн. журнал. – 2003. – № 6. – С. 79–84.
11. *Иванов С.А., Ковальчук И.П., Андрейчук Ю.М.* Теоретико-методологічні основи й методика геоікологічного картографування і моделювання гірничопромислових геокомплексів // Науковий вісник Волинського державного університету ім. Лесі Українки. Географічні науки. – 2006. – № 2. – С. 15–23.
12. *Иванов С.А., Лобанська Н.І.* Моделювання розвитку процесів просідання і затоплення в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну // Регіональні географічні дослідження України та суміжних територій: Збірник наукових праць. – Луганськ: Альма-матер, 2006. – С. 29–31.
13. *Ковальчук И.П., Иванов С.А., Андрейчук Ю.М.* Моделювання стану природно-антропогенних систем з використанням ГІС-технологій // Геодезія, картографія і

аерофотознімання: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: Вид-во НУ „Львівська політехніка”. – 2004. – Вип. 65. – С. 105–110.

14. *Ковальчук И., Иванов Е., Андрейчук Ю.* Геоинформационное моделирование природно-антропогенных систем // Труды XII съезда Русского географического общества / Том 6. Картография, геоинформатика, дистанционные методы исследований. – Санкт-Петербург, 2005. – С. 173–179.

15. *Ковальчук И.П., Иванов Е.А., Андрейчук Ю.М., Лобанская Н.И., Клюйник В.В.* Компьютерное моделирование процессов затопления и подтопления горнопромышленных территорий // 21-ое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Чебоксары, 10–13 октября 2006 г.): Доклады и краткие сообщения. – Чебоксары, 2006. – С. 125–127.

16. *Ковальчук И.П., Андрейчук Ю.М., Иванов Е.А., Мыхнович А.В.* Создание моделей эколого-геоморфологического состояния малых рек и их бассейнов с помощью ГИС-технологий // Новые и традиционные идеи в геоморфологии. V Щукинские чтения: Труды. – М.: Географический факультет МГУ, 2005. – С. 615–619.

17. *Иванов В.* Три измерения ГИС // offline.computerra.ru.

18. *Козаченко Т.І., Пархоменко П.О., Молочко А.М.* Картографічне моделювання: Навч. посібник. – Вінниця: Антекс-У ЛТД, 1999.

19. *Лаврик В.І.* Методи математичного моделювання в екології. – К.: Фітосоціо-центр, 1998.

20. Ландшафтно-екологічна інформаційна система Західного регіону України: Звіт про НДР / Керівник роботи А.В. Мельник. – Львів, 1999.

21. *Ліценко Л.П., Рябоконеко С.О., Федоровський О.Д.* Використання нових функціональних можливостей ГІС-технологій для підвищення оцінки екологічного стану територій // Геоінформатика. – 2005. – № 1. – С. 86–90.

22. *Лобанська Н.І.* Модель розвитку просідання і підтоплення земної поверхні у межах ключової ділянки ”Межиріччя” // Сучасні проблеми екології: Тези IV міжнародної конференції студентів, магістрів та аспірантів (Житомир, 14–17 березня 2007 р.). – С. 221–223.

23. *Мариняк Я.О.* Основи моделювання стану довкілля: Навч. посібник. – Тернопіль: ТДПУ, 2000.

24. *Марчук Г.Н.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982.

25. *Митчелл Э.* Руководство по ГИС анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи. – К.: ЕССОМ Со, 2000.

26. *Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях: Учеб. пособие. – М.: Издат. центр „Академия”, 2004.

27. *Райхлин В.А.* Конструктивное моделирование систем. – Казань: Изд-во „Фен”, „Наука”, 2005.

28. Розробка документації на першочергові роботи по відновленню самоплинного стоку річок з врахуванням альтернативного варіанту ліквідації сірчаного рудника: Звіт по НТР / Керівник роботи І.І. Зозуля. – Львів: ІГХП; ВАТ “Гірхімпром”, 2000.

29. *Світличний О.О., Плотницький С.В.* Основи геоінформатики: Навчальний посібник / За заг. ред. О.О. Світличного. – Суми: ВТД „Університетська книга”, 2006.

30. *Светличный А.А., Андерсон В.Н., Плотницкий С.В.* Географические информационные системы: технология и приложения. – Одесса: Астро-принт, 1997.

31. *Стурман В.И.* Экологическое картографирование: Учеб. Пособие. – М.: АспектПресс, 2003.

32. *Суворов А.К.* Геоинформационные технологии и экологическое картографирование // Геоинформационное картографирование. – М., 1993. – С. 66–84.

33. *Тикунов В.С.* Моделирование в картографии: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997.

34. *Шаповалов С.* Использование модуля 3D Analyst для ArcView GIS // gis-lab.info.

35. *Штойко П.І.* Ландшафти // Навчально-краєзнавчий атлас Тернопільської області. – Львів: Вид-во „Афіша”, 2000. – С. 14.
36. *Johnston K., Kopp S., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K., Lucas N.* Using ArcGIS Geostatistical Analyst / ESRI Press, 2003.
37. *Kovalchuk I.P., Ivanov E.A., Andreychuk Y.M.* Geocological mapping and modeling of the different functional naturally-economic systems // Współczesne trendy w metodyce kartograficznej: XXXII Ogólnopolska Konferencja Kartograficzna: Abstrakty wystąpień (Nałęczów, 19–21 września 2007). – Lublin–Nałęczów, 2007. – S. 38–39.
38. *McCoy J., Johnston K., Kopp S., Borup B., Willison J., Payne B.* Using ArcGIS Spatial Analyst / ESRI Press, 2002.
39. *Vienneau A., Bailey J., Harlow M., Banning J., Woo S.* Using ArcCatalog / ESRI Press, 2005.

Надійшла до редакції 21.11.07