

УДК 911.2

ГЕОЕКОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНИХ МОРФОГЕННИХ ГЕОЕКОСИСТЕМ БАСЕЙНУ ВИТОКІВ РІЧКИ ЛІМНИЦЯ: ДЕЛІМІТАЦІЯ ПРОСТОРОВОГО КАРКАСУ*Кулачковський Р.**Львівський національний університет імені Івана Франка*

Для великомасштабного моделювання у середовищі географічної інформаційної системи (ГІС) використали концепцію природної морфогенної геоекосистеми (ПМГЕС) як геопросторової моделі відношень форм рельєфу з іншими природними ландшафтними компонентами. Форми рельєфу виділили на підставі цифрової моделі рельєфу (ЦМР) і доповнили інформацією про геологічні відклади.

Ключові слова: морфогенна геоекосистема; цифрова модель рельєфу; макроморфохора; мікроморфохора; Карпати.

Постановка проблеми. Басейн витоків річки Лімниця (БВЛ) є частиною гірської країни Карпат, які згідно із Карпатською конвенцією визнані унікальним природним скарбом визначної краси та екологічної цінності, важливим центром біорізноманіття, головним водозбором великих річок, необхідним середовищем існування та притулком для багатьох видів рослин і тварин, які знаходяться під загрозою зникнення та найбільшою у Європі територією з незайманими лісами [21]. На жаль, сучасне господарське використання гірської території, що виражається, здебільшого, через заготівлю лісу, негативно впливає на ландшафти та призводить до зміни їхньої вертикальної та горизонтальної структури. Оскільки реалізація Карпатської Конвенції в Україні [16] передбачає збереження ландшафтного різноманіття та збалансоване ведення лісового господарства Українських Карпат (надалі УК), то постає потреба у створенні та аналізі ландшафтних карт, що відображають природні ландшафтні одиниці (наприклад, природні територіальні комплекси – ПТК [13], геосистеми [17], геоекосистеми – ГЕС [4]). Відомо, що під час укладання таких карт (ПТК, ГЕС) можуть спостерігатися відмінності у проведенні меж, пов'язані з суб'єктивним баченням картувальника. Зазвичай, така ситуація спостерігається при виділенні форм рельєфу, на підставі яких виокремлюють природні морфогенні ГЕС (ПМГЕС) [4].

Отож впровадження автоматизованих методів класифікації рельєфу та, відповідно, виділення ГЕС у середовищі географічних інформаційних систем (ГІС) можуть зарадити виникненню подібних ситуацій та значно полегшити процес картування.

Аналіз останніх публікацій. На початку ХХІ століття з'являється багато публікацій [23, 27, 18, 4, 22, 28], присвячених виділенню ландшафтних (геоекологічних) одиниць за допомогою методів геоматики та даних дистанційного зондування земної поверхні. Зокрема, наголошується важливість урахування параметрів увігнутості-випуклості рельєфу [18, 4]. Так, Т. Бляшке на прикладі Альп

показав як за допомогою цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та даних про наземні покриття здійснювати подібне моделювання [23, 24]. У 2003 році дослідники І. Шьоц і М. Петі із Роскілдського університету (Данія) запропонували методику виділення моренних ландшафтних одиниць за допомогою ЦМР [27]. У цьому ж році В. Сисуєв опубліковує працю [18], присвячену фізико-математичним основам ландшафтознавства, в якій теж за основу ставить ЦМР та описує можливості її застосування у разі виділення ландшафтів та моделювання геоморфологічних процесів.

Унаслідок багатодисциплінарних досліджень, у рамках німецько-українського проекту “Трансформаційні процеси у Дністровському регіоні”, виходить низка статей І. Круглова [1, 5, 7], в яких описано методику напівавтоматизованого виділення ПМГЕС [5] та способи моделювання біоклімату й біотичних компонентів басейну верхнього Дністра [7]. За результатами проекту виходить колективна праця [26], в додатках якої на цифровому носії є середньомасштабний (1:250 000) геопросторовий шар (ГПШ) ПМГЕС басейну верхнього Дністра [5]. Застосовуючи метод напівавтоматизованого виділення ПМГЕС, Р. Кулачковський та І. Круглов змоделивали ГПШ ПМГЕС для басейну верхнього Прута (1:50 000) [9] та басейну верхнього Сяну (1:100 000) [11]. Поряд з іншими дослідниками [18] у цих роботах наголошується на важливості урахування параметрів увігнутості-випуклості рельєфу для делімітації ГЕС. Російський геоморфолог А.Н.Ласточкін теж наголошує на важливості згаданих параметрів, а також вважає рельєф інваріантом геосистеми [11].

Мета дослідження полягає у напівавтоматизованій класифікації форм рельєфу у середовищі ГІС як основи для виділення ПМГЕС рангу мікроморфохора [8] на територію басейну витоків річки Лімниця за методикою, адаптованою для великомасштабного моделювання [9, 10]. Точність отриманого ГПШ визначаємо масштабом від 1:75 000 до 1:100 000, оскільки топографічна основа

[19] використана для генерування ЦМР та деякі листи геологічних карт [2], що застосовані в дослідженні, мають масштаб 1:50 000.

Теоретичні засади. Природні ландшафти розуміємо як реально існуючі матеріально-енергетичні утворення, які є об'єктом вивчення ландшафтознавства, геоекології, ландшафтно-екології та ін. Тлумачення ландшафту як системи та визнання безлічі структур цієї системи вплинули на використання, при науковому пізнанні, різних моделей ландшафту таких як геосистема [17], екосистема [25], геоекосистема [4] та багатьох інших. Ці моделі є ідеальними об'єктами дослідження [4], так як насправді існують лише в нашій уяві. У наших дослідженнях використовуємо модель ландшафту як ГЕС.

Під ПМГЕС розуміємо геопросторові екологічні моделі ландшафтів, які відображають взаємозв'язки форм рельєфу (як системо-формульовального компонента) з іншими властивостями (компонентами) ландшафту [4]. Отже, ПМГЕС розглядаємо як синоніми ПТК, виділені на основі генетичних форм рельєфу (фацій, урочищ та місцевостей) [13].

Територія дослідження. Басейн витоків річки Лімниця (БВЛ) знаходиться на північно-східному макросхилі УК та визначається вододільною лінією, що замикається на злитті з річкою Молода (див. рис. 1). Площа басейну становить 203,0 км². Абсолютні висоти коливаються від 710 м до 1836 м (г. Сивуля).

БВЛ складений флішем (алевроліти, аргіліти, пісковики), має різноманітний рельєф (флювіальний, гравітаційний, нівальний) та складний біоценотичний покрив (букові, смерекові, ялицеві ліси, субальпійські чагарники та фрагменти альпійських лук) [12, 15, 14, 20, 3].

Згідно з найновішою регіоналізацією УК [6] БВЛ знаходиться у трьох мезоекорегіонах (ландшафтах): Центральні Горгани (D2), Горганська Верховина (E3) та Внутрішні Горгани (F2) (див. рис. 1). Деяку характеристику мезоекорегіонів, що складають БВЛ, наводимо у табл. 1 (у чисельнику подано дані про мезоекорегіон у межах басейну, у знаменнику – в межах УК).

Матеріали. У роботі використали векторні ГПШ, отримані з паперових карт: топографічної (М 1:50 000) [19] та геологічної (М 1:100 000 та 1:50 000) [2], а також цифрова модель рельєфу (розмір комірки 15x15 м), яка генерована з векторних ГПШ (ізопіси, відмітки висот, річкова мережа, межа басейну) топографічної карти. Додаткові дані про хімізм ґрунтоутворних відкладів, клімат та інші природні умови отримані з літературних джерел [12, 15, 14, 20, 3]. Для калібрування моделей та верифікації результатів

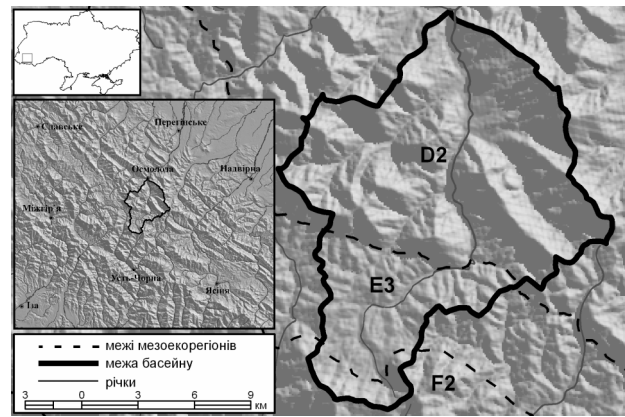


Рис. 1. Географічне положення БВЛ

моделювання проведені польові геоекологічні дослідження (взаємозв'язків рельєфу, фітоценозів і ґрунтів) – 72 описи площадок зроблені протягом літніх сезонів 2003–2006 років.

Методи. Увесь процес моделювання ПМГЕС складається з чотирьох послідовних етапів: 1) напівавтоматизованого виділення форм рельєфу, що формують просторовий каркас ПМГЕС, на підставі ЦМР; 2) моделювання топооб'єкту клімату; 3) виділення біотичних компонентів; 4) верифікація результатів дослідження.

У цій статті описуємо реалізацію першого етапу моделювання та верифікацію точності виділених форм рельєфу. Схему виділення ГПШ форм рельєфу, як просторового каркасу ПМГЕС подано у попередніх публікаціях [наприклад 10].

Етап напівавтоматизованого виділення форм рельєфу передбачає векторизацію паперових карт, генерування ЦМР і похідних від неї поверхонь (ухилів, увігнутості/випуклості поверхні, гідромережі, привододільних поверхонь), “ручне” картування макроморфохор – поєднань мезоформ рельєфу, сформованих єдиним домінуючим комплексом екзогенних процесів [8]. Також, на підставі геологічної карти та деяких публікацій Л. І. Мілкіної [12] щодо впливу хімізму геологічного субстрату на розподіл корінної рослинності, створили ГПШ ґрунтоутворних відкладів. Після проведення низки оверлейних операцій, фільтрування і генералізації [4], на завершенні цього етапу отримуємо початковий інтегрований ГПШ форм рельєфу та ґрунтоутворних відкладів. ЦМР калібрували за морфометричними даними польових досліджень.

Для визначення точності проведеного моделювання провели верифікацію створеного ГПШ ПМГЕС. Для цього застосували ті дані польових спостережень, в яких є інформація про величину ухилу та увігнутість/випуклість за планом. При цьому вибрали половину точок (36) із наявної бази даних та проаналізували за таким алгоритмом:

Деякі морфометричні характеристики мезоекорегіонів [6]

мезо-еко-регіон	площа, км ²	середня висота, м	мін. висота, м	макс. висота, м	середній ухил, °	мін. ухил, °	макс. ухил, °
D2	$\frac{148,6}{955}$	$\frac{1191,6}{1126}$	710	1836	$\frac{22,7}{20}$	0	52,7
E3	$\frac{48,4}{339}$	$\frac{1113,9}{1054}$	906	1328	$\frac{15,1}{14}$	0	46,1
F2	$\frac{6}{799}$	$\frac{1426,1}{1085}$	1240	1691	$\frac{23,6}{22}$	0,7	40,9

якщо значення ухилу вимірюного в польових умовах потрапляло в межі визначеної для мікроморфофор категорії ухилу, то присвоювали позитивне співпадіння та позначали "1". Якщо значення відхилилось на 2° (в будь-яку сторону), то співпадіння позначали як "0,5", а в разі більшого відхилення – "0". Подібно перевірили увігнутість/випуклість за планом. Лише для точок, які знаходились на відстані, меншій ніж 25 м від межі сусіднього полігону, позначали співпадіння "0,5". Також застосували спосіб верифікації за топографічними картами детальнішого масштабу, ніж того, в якому створена модель [10]. У цьому випадку використали топографічні карти масштабу 1:25 000.

У роботі застосовано кілька програмних ГІС-пакетів: ArcInfo 7.1, ArcView 3.2 та Erdas IMAGINE 8.4.

Результати дослідження та їх верифікація. ГПШ каркасу ПМГЕС складається із 4874 індивідуальних полігонів, кожен з яких, по суті, відповідає рангу мікроморфофора [8] ("урочище" класичного таксономічного ряду гірських ПТК). За відмінностями ґрунтоутворних порід, ухилу поверхні, увігнутістю/випуклістю (за планом), та приналежності до конкретної макроморфофори вони згруповані у 53 категорії. Кожна з властивостей (компонентів) представлена кількома класами та може бути відображена як окремих ГПШ (див. рис.2).

Виділено чотири класи макроморфофор: 1) нівально-гравітаційні; 2) флювіально-гравітаційні та денудаційні; 3) флювіально-денудаційні та гравітаційні; 4) флювіально-аккумулятивні. Окремо виділені: 5) заплави більших водотоків; 6) гірські яри.

Оскільки ці категорії рельєфу, на підставі яких виділяємо макроморфофори, картуються мануально, то їх контурна частина не позбавлена суб'єктивізму картувальника. За генезисом та механічним складом/літологією, а також за вмістом вапнистих речовин, виділено сім категорій ґрунтоутворних відкладів. Форми рельєфу, за топографічним положенням, поки що налічують п'ять категорій: 1) привододільні поверхні;

2) увігнуті; 3) опуклі і рівні; 4) плоскі днища річок та потоків; 5) гірські яри. Згодом вони будуть деталізовані за положенням у макроморфофорах, що дасть змогу виділити генетичні типи форм рельєфу.

Порівняно із попередніми дослідженнями [9] саме при моделюванні ПМГЕС БВЛ вдалось точніше виділити привододільні поверхні і застосувати алгоритм у наступних дослідженнях [10]. Кожний полігон класифіковано за ухилом поверхні: 1) слабоспадисті 0–10є; 2) сильноспадисті 10–20є; 3) круті 20–30є; 4) дуже круті > 30є.

Верифікація за даними польових жосліджень показала точність створеного ГПШ каркасу ПМГЕС за формами рельєфу – 89,1%, а за ухилами – 65,6%. Застосування способу верифікації за топографічними картами детальнішого масштабу показало незначні відмінності в точності моделі: за формами рельєфу – 98,2%, за ухилами – 78,1%.

Висновки. Отже, у результаті дослідження створено ГПШ форм рельєфу, який є каркасом ПМГЕС. Плануємо доповнити створений початковий інтегрований ГПШ літоморфних характеристик даними про клімат, генетичний тип ґрунту, його потужність і скелетність, едафічні умови (трофотопи і гігротопи), а також потенційну природну рослинність (ППР), так само як у попередніх дослідженнях [7, 9]. Верифікація результатів дослідження засвідчила доволі високу точність проведеного моделювання. Сам спосіб верифікації зробили менш жорстким, взявши до уваги просторову похибку при цьому масштабі.

Подальша робота над удосконаленням методики моделювання полягає у розробленні вдосконаленого алгоритму виділення макроморфофор та оптимізації процедур генералізації. Внесені дані щодо ґрунтоутворних відкладів і їхній ступінь вапнистості, дадуть можливість перевірити зумовленість просторової диференціації ППР за останніми, на чому наголошує Л. І. Мілкіна [12]. Попередні проблеми, пов'язані із виділенням вершинних поверхонь [9], вирішені саме при опрацюванні даних БВЛ.

Легенда до фрагменту ГПШ каркасу ПМГЕС

Індекс	Макроморфофора	Ґрунотворний відклад	Форма рельєфу	Ухил, °
1	Нівально-гравітаційні	ЕІ пісковиків	Привододільні поверхні	0-10
5		ЕІ-dsp пісковиків	Увігнуті схили	20-30
6				30-53
8		ЕІ-dfl пісковиків	Випуклі схили	10-20
9		ЕІ-dsp пісковиків		20-30
14	Флювіально-гравітаційні та денудаційні	ЕІ-dfl пісковиків	Увігнуті схили	10-20
15				20-30
16		ЕІ-dsp пісковиків		30-53
18		ЕІ-dfl пісковиків	Випуклі схили	10-20
19				20-30
20		ЕІ-dsp пісковиків		30-53
53			Al-pr	Гірські яри, звори
50	Флювіально-аккумулятивні	Al підстелений пісковиками	Заплави та нижні тераси	0-5
52		Al русловий та заплашний	Русла та заплави більших водотоків і річок	0-5

ЕІ – елювій, dfl – дефлюкцій, dsp – дисперсій, al-pr – алювій-пролювій

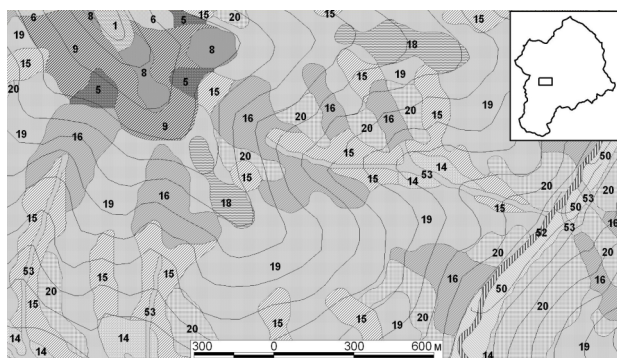


Рис. 2. Фрагмент ГПШ каркасу ПМГЕС (південно-східні схили г. Пергрос. Індеси розглянуто у таблиці 2)

Список літератури

1. Геоекологічна база даних басейну верхнього Дністра / Іван Круглов, Анатолій Мельник, Богдан Муха, Богдана Сенчина // Фізична географія та геоморфологія. – К.: ВГЛОбрії, 2004. – Вип. 46. – Т.1. – 274 с.
2. Гермак И.Ф., Кохалевич Р.И., Полонський Б.Т. Отчет о комплексных геологических исследованиях масштаба 1:50000, проведенных на площади Манява (листы М-35-121-А, М-35-121-Б, М-35-121-Г, М-35-122-В) Ивано-Франковской и Закарпатской областей УССР в 1966-1970 г.г. Том 3. Графика. Львов – 1971.
3. Койнов М.М. Природа Станіславської області / Койнов М.М. – Львів, 1960. – 103 с.
4. Круглов І.С. Ландшафт як геоекосистема / І.С. Круглов // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 2006. – Вип. 33. – С. 186–193.
5. Круглов І.С. Методика напівавтоматизованого створення геопросторового шару педоморфологічних одиниць Басейну Верхнього Дністра / І.С. Круглов // Вісн. Львів. ун-ту. Серія геогр. – 2004. – Вип. 31. – С. 312–320.
6. Круглов І.С. Делімітація, метризація та класифікація морфогенних екорегіонів Українських Карпат / І. Круглов // Укр. геогр. журн. — 2008. — № 3. — С. 59-68.
7. Круглов І.С. Моделювання біоклімату та біотичних компонентів морфогенних геоекосистем Басейну Верхнього Дністра / І.С. Круглов // Фізична географія та геоморфологія. – 2005. – Вип. 49. – С.29–36.
8. Круглов І.С. Поліструктурна інтерпретація “традиційної” системи ландшафтних морфологічних одиниць / І.С. Круглов // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 2000. – Вип. 27. – С. 67-71.
9. Кулачковський Р.І. Моделювання геоекосистем басейну витоків Прута / Р.І. Кулачковський, І.С. Круглов // Фіз. геогр. та геоморф. – 2008. – Вип. 54. – С. 169–176.
10. Кулачковський Р.І. Напівавтоматизована делімітація просторового каркасу природних морфогенних геоекосистем околиць біосферного резервату “Східні Карпати” / Р.І. Кулачковський, І.С. Круглов // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2008. – Вип. 70. – С. 51–57.
11. Ласточкин А.Н. Рельєф земної поверхності: (принципи і методи стат. геоморфології) / А.Н. Ласточкин. – Л.: Наука. Ленінгр. Отд-ние, 1991. – 339 с.
12. Милкіна Л.И. Мезоструктура коренного лесного покрива басейна р. Прут (Українські Карпати) і закономірності її формування / Л.И. Милкіна // Ботан. журн. - 1985. - 70, №9. - С. 1167-1176.
13. Миллер Г.П. Ландшафтні дослідження горних і передгорних територій / Г.П. Миллер. – Издательское объединение “Вища школа”, 1974. – С. 202.
14. Природа Івано-Франківської області / За ред. К.І. Геренчука. – Львів: Вища шк. Вид-во Львів. ун-ту, 1973. – 160 с.
15. Природа Українських Карпат / За ред. К.І. Геренчука. – Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1968. – 267 с.
16. Про схвалення Стратегії виконання Рамкової конвенції

- про охорону та сталий розвиток Карпат. [Електронний ресурс] – Кабінет міністрів України, – 2007. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=11-2007-%F0>.
17. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.
 18. Сысуев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения / В.В. Сысуев – Географический факультет МГУ, 2003. – 246 с.
 19. Топографические карты 1:50 000 [Електронний ресурс] / П.В. Власенко – Режим доступу: <http://maps.vlasenko.net/soviet-military-topographic-map/map50k> – Назва з екрану.
 20. Украинские Карпаты. Природа / Голубец М.А., Гаврусевич А.Н., Загайкевич И.К. и др. – Киев: Наук. Думка, 1988. – 208с.
 21. Carpathian Convention [Electronic resource] – 2003. – [Cited 2011, 10 Jan.]. – Available from : <http://www.carpathianconvention.org/index.htm>.
 22. Dragut L., Blaschke T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology* 81 – 2006. – pp. 330–344.
 23. Blaschke T. A multiscale GIS / image processing approach for landscape monitoring of mountainous areas // *Interdisciplinary Mountain Research*. Bozen, 2002. - pp. 44–57.
 24. Blaschke, T., Strobl, J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *Geo-Information-Systeme (GIS)* 6, 2001. pp. 12–17.
 25. Forman R. T. Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge, 1995. – 632 p.
 26. Kruhlov I. Natural geoecosystems / I. Kruhlov, B. Mukha, B. Senchyna // *Transformation processes in the Western Ukraine: Concepts for sustainable land use* / Edited by M. Roth, R. Nobis, V. Stetsuk, I. Kruhlov. – Berlin: Weissensee Verlag, 2008. – p. 81-97.
 27. Schiutz I., Piti M. 2003 : Rule Based Geoecological Mapping on a Local Scale. Res. Rep. № 125. Publications from Geography, Department of Geography and International Development Studies, Roskilde University, Denmark.
 28. Schneevoigt, N.J., Linden S. von, Thamm H-P., Schrott, L. Detecting Alpine landforms from remotely sensed imagery. A pilot study in the Bavarian Alps. *Geomorphology* 93 – 2008. – pp. 104–119.

Kulachkovsky R. Geology modeling of the natural morphogenic geoecosystem of the Limnytsia sources basin: delineation of spatial skeleton. The concept of the natural morphogenic geoecosystem as a geo-spatial model of relations between landforms and other natural landscape components was used in the GIS modelling. A digital elevation model was used to delineate landforms. They were supplemented with the parent rock.

Key words: morphogenic geoecosystem; digital elevation model; macromorphohor; micromorphohor; Carpathians.