

В. І. Мокрий¹, Е. М. Арустамян², В. І. Бондарь³

¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-5814-5160> ;

²Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, м. Київ, Україна;

³Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-8737-3568> .

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СОЗОЛОГІЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ БІОЛОГІЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ НПП «ПІВНІЧНЕ ПОДІЛЛЯ»

Геоінформаційними технологіями відібрано та узагальнено дані, необхідні для моніторингу стану рослинного покриву НПП «Північне Поділля» та прилеглих територій. Результати геоінформаційного аналізу, виконаного способом порівняння індексів NDVI та FAPAR, дозволяють отримати інформацію про стійкість екосистем парку. Розроблено концепцію використання модельного потенціалу геоінформаційних систем на основі баз геопросторових даних у середовищі універсальних систем керування базами даних для созологічної оцінки НПП «Північне Поділля» в контексті міжнародних конвенцій.

Ключові слова: бази даних, геоінформаційний моніторинг, парк.

Інформатизація природничих досліджень забезпечує моніторинг стану, збереження та трансформації біорізноманіття екосистем Національного природного парку (НПП) «Північне Поділля». Созологічна оцінка біотопів здійснюється для деталізації стану рослинності на основі геоботанічних досліджень угруповань у різних кліматичних і ґрунтово-геологічних умовах їх зростання. Розробка ефективних методів збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, а також управління природоохоронними територіями неможливе без інвентаризації та оцінки стану екосистем. Для управління природоохоронними територіями, організації системи моніторингу необхідно мати зібрану воедино і в зручній для аналізу формі інформацію про біологічне різноманіття, адміністративний, господарський, ландшафтний, геоморфологічний устрій територій. Широкий інструментарій прийняття управлінських рішень надають географічні інформаційні системи (ГІС) [1]. Вітчизняний [2] та зарубіжний досвід створення баз даних доволі значний, в мережі присутня велика кількість глобальних баз даних, наприклад Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<http://www.gbif.org>), National Biodiversity Network's Species Dictionary (<http://nbn.nhm.ac.uk/nhm>) та багато інших.

Об'єктом дослідження є рослинні угруповання у різних кліматичних і ґрунтово-геологічних умовах їх зростання на території НПП «Північне Поділля».

Мета – вирішення прикладної задачі розроблення концептуальної моделі созологічної бази даних для геоінформаційного забезпечення моніторингу біологічного різноманіття НПП «Північне Поділля» на основі базо-орієнтованого підходу. Завдання – розроблення методології геоінформаційного аналізу рослинного покриву та лісових ресурсів парку.

Методи геоінформаційного аналізу лісових ресурсів включають використання програмного забезпечення QuantumGIS – QGIS 3.36.0 RC, KML файли з географічною прив'язкою меж НПП «Північне Поділля» та набір даних із супутника Sentinel-2 L2A, станом на 2023 р., завантажених через середовище Copernicus Browser [3] та TerraScope Viewer [4]. Моніторинг ділянок рослинного покриву в Copernicus Browser за допомогою нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) дає змогу виокремити ділянки з рослинністю, шляхом визначення їхньої вегетаційної активності та морфологічного стану. Використання NDVI дозволяє

розрізняти місця з високою та низькою концентрацією рослинності та виявляти зміни стану рослинних угруповань.

Результати виконаного геоінформаційного моніторингу лісових екосистем [5] полягають у відпрацьовані алгоритмів, методів і технологій інформаційного забезпечення формування бази даних рослинності для проектування ГІС «НПП «Північне Поділля»». Проектована ГІС парку призначена для вирішення задач геоінформаційного забезпечення та підтримки управлінських рішень [6].

НПП «Північне Поділля» створено (2010 р.) для збереження цінних природних та історико-культурних комплексів і об'єктів Гологоро-Вороняцького кряжу, розміщеного у середній частині Гологоро-Кременецького структурно-ерозійного кряжу на північному уступі Подільської височини [7]. У системі національної екологічної мережі парк є складовою Галицько-Слобожанського екологічного коридору, забезпечує функціонування Північноподільсько-Опільського макроекокоридору регіональної екомережі. Важливе значення парк має для охорони верхів'їв басейну р. Західний Буг. Основним орогідрографічним елементом НПП є лінія Головного Європейського вододілу, яка розділяє периферійні області стоку Балтійського і Чорного морів. Територія парку має кластерну структуру, що знижує природоохоронну ефективність його функціонування. В кластерах заповідної зони, оточених господарськими територіями, внаслідок постійного антропогенного впливу підвищується загроза зниження біологічного та ландшафтного різноманіття.

Згідно з фізико-географічним районуванням України (Екологічна енциклопедія, 2006), територія парку знаходиться в межах Широколистолисової зони, Західноукраїнського краю, Розтоцько-Опільської горбогірної області та Західноподільської височинної області, з такими фізико-географічними областями і районами: Миколаївсько-Бережанського та Гологірського районів Розтоцько-Опільської височинної області; Вороняцького і Зборівсько-Теребовлянського районів Західноподільської височинної області; Радехівсько-Бродівського і Куликівсько-Бузького районів області Малого Полісся. За геоботанічним районуванням (Національний атлас України, 2007) парк знаходиться в межах Європейської широколистянолісової області, Центральноєвропейської провінції, Південнопольсько-Західноподільської підпровінції, Опільсько-Кременецького округу букових, грабово-дубових лісів, справжніх та остепнених лук і лучних степів та евтрофних боліт.

Созологічна оцінка рослинного покриву необхідна для збереження біотичного різноманіття Північного Поділля в контексті сталого розвитку регіону. У рослинному покриві парку переважає лісова рослинність [8]. Найбільші площі займають мезофітні неморально-лісові ценози з домінуванням бука звичайного, дуба звичайного, граба звичайного. Велике созологічне значення у регіоні мають кальцефільні букові ліси. У парку представлені також грабово-дубові ліси, переважно з домінуванням дуба звичайного. Порівняно незначні площі займають ліси сосни звичайної. На дуже обмеженій площі наявний фрагмент соснового деревостану з типом угруповань, характерним для дюн Середньої Європи. Також на території парку представлені фрагменти соснових лісів, які перебувають на різних стадіях демутаційних сукцесій, оскільки корінні ценози цього типу деградували протягом агрокультурного періоду. Невеликими фрагментами на території парку представлені грабово-дубово-соснові ліси. У Колтівській улоговині представлені угруповання сосново-дубових лісів. Трапляються у парку гігрофільні ліси вільхи чорної. Є також ліси берези пухнастої.

Лучно-степовий тип рослинності на території парку представлений ценозами з переважанням осоки низької. Угруповання мезофітних лук представлені ценозами двох типів, це ксеро-мезофітні луки і мезофітні лісові луки.

Особливу фітосозологічну цінність мають гігрофільні трав'яні ценози прибережно-водної, болотної та болотно-лучної рослинності. Найбільші за розмірами й найкраще збережені болотні масиви на території парку знаходяться у верхів'ях рр. Західний Буг, Золочівка, Стир. Для верхів'я р. Західний Буг у межах Колтівської улоговини характерні

карбонатні болота. Прибережно-водна й водна рослинність представлена лише фрагментарно угрупованнями, які трапляються у старицях Західного Бугу, ставах і меліоративних каналах. У Колтівській улоговині представлена унікальна рослинність незакріплених піщаних дюн.

Флора парку за попередніми даними нараховує близько 1100 видів, які належать до 470 родів, 113 родин, 6 класів та 5 відділів [8]. З цього числа 16 видів є ендеміками різного рангу, близько 240 видів ростуть на межах своїх ареалів, або в локалітетах, відірваних від основного ареалу. На територіях парку росте 82 види судинних рослин, які включені до Червоної книги України (2009 р.). Чотири види судинних рослин включені до Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи (МСОП). Чотири види занесені до Європейського Червоного списку. Вісім видів включені до Додатку I Бернської конвенції. Територія парку представлена кількома десятками розрізнених фрагментів. Тому, використання заснованого на базах даних підходу до зберігання просторової інформації соціологічного аналізу, необхідне для формування інформаційної основи обґрунтування природоохоронного влаштування території, шляхом оптимізації функціонального зонування парку.

За результатами геоінформаційного аналізу [5], виконаного шляхом порівняння супутникових знімків за травень 2023 р. у межах НПП «Північне Поділля» та прилеглих територій встановлено, що площа територій з індексом NDVI (0,6 – 1) є суттєво вищою ніж заповідна площа. Значення NDVI (0,6 – 1) вказує на високу продуктивність лісових угруповань, які за картою НПП «Північне Поділля», не є включеними до заповідної зони. В межах зони вирубок, на околицях заповідної території спостерігається індекс NDVI (0,8 - 0,4) що свідчить про різноманіття та стан угруповань, сформованих під час вторинної сукцесії. В зонах сільськогосподарської діяльності, агротехнологічна рослинність характеризується максимальним значенням індексу NDVI, близьким до 1.

Результати геоінформаційного аналізу, виконаного способом порівняння NDVI та частки поглинутої фотосинтетично активної радіації (Fraction Absorbed Photosynthetically Active Radiation – FAPAR) у TerraScope Viewer, дозволяють отримати інформацію про стійкість екосистем парку. Загальне порівняння цих показників вказує на те, що заповідні ділянки, в цілому, мають вищу фотосинтетичну активність на одиницю площі (вище 0,6). На відміну від показника NDVI, параметр FAPAR суттєво відрізняється в залежності від ярусності насаджень. Значення FAPAR у дерев значно вище ніж у чагарників. Пропонований підхід забезпечує оцінку процесів самозаростання деревною та чагарниковою рослинністю лучних і степових ділянок заповідної зони парку, а також інтенсивність сільватизаційних процесів у межах парку та прилеглих територіях. Враховуючи особливості кластерної організації НПП «Північне Поділля», розроблено алгоритм геоінформаційного проектування лісових екологічних коридорів [9] для збереження біорізноманіття та оптимізації функціонального зонування парку.

Для ефективного застосування ГІС-технологій у системі моніторингу НПП «Північне Поділля», важливо повноцінно використовувати модельний потенціал ГІС на основі баз геопросторових даних у середовищі універсальних систем керування базами даних як у процесі формулювання теоретичних засад геоінформаційного моніторингу, так і в практиці його реалізації [10]. База даних (БД) являє собою сукупність даних, які організовані за визначеними правилами і зберігаються в пам'яті обчислювальної системи, відображаючи стан об'єктів і їх взаємозв'язки у розглядуваній предметній області. Звернення до бази даних виконується за допомогою спеціальних програмних комплексів – систем управління базами даних (СУБД). Однією з найпоширеніших СУБД є Microsoft Access. База даних Microsoft Access являє собою сукупність таблиць, що узгоджено зберігають взаємозв'язані дані та їх опис. Проектування бази даних об'єктів природно-заповідного фонду традиційно здійснюється у три етапи: концептуальний, логічний і фізичний.

Концептуальний етап проектування передбачає визначення і опис об'єктів ПЗФ в межах діяльності НПП «Північне Поділля». При цьому було встановлено належність об'єктів ПЗФ до тих чи інших категорій, взаємозв'язки між ними, типи даних. Одним із головних

завдань проектування БД є визначення основних об'єктів-сутностей предметної області й відносин між ними. На основі аналізу літературних джерел, реєстру природно-заповідного фонду України, було сформовано перелік об'єктів-сутностей: об'єкт ПЗФ (назва, категорія, значення, статус в екомережі, категорія охорони, підпорядкованість, площа, кількість видів флори, кількість видів фауни, користувач, дата створення, підстава створення, місце розташування, ступінь антропогенного перетворення, загальна характеристика); рослини (відділ, вид, рід, родина, порядок, клас); тварини (тип, вид, рід, родина, ряд, клас); рослинні угруповання (тип угруповання, видовий склад, ярусність); охоронний статус (Світовий Червоний список, Європейський червоний список, Бернська конвенція, Червона книга України, Зелена книга України, регіонально рідкі види).

На логічному етапі створення концептуальна модель відображається у модель даних «зрозумілу» СУБД. Моделлю даних називають логічну структуру даних, що зберігаються в БД. Сучасні СУБД зазвичай підтримують одну з моделей – ієрархічну, мережеву або реляційну. Microsoft Access є реляційною СУБД.

Фізичне проектування бази даних полягає у виборі способу організації даних у середовищі зберігання системи. Основними складовими проектування фізичної структури є розробка формату збереження записів та вибір методу доступу. Створення і зв'язування таблиць бази геопросторових даних виконується у середовищі СУБД Microsoft Access.

Інформаційні моделі лісів мають певні особливості. Тому доцільно виділити додаткові об'єкти-сутності: квартал; виділ; рекреаційна характеристика (естетична оцінка, стадія дигресії, пішохідна доступність, клас стійкості насаджень); підлісок; характеристика деревостану (вік, діаметр стовбура, висота); тип лісу. Розроблення структури баз даних лісових екосистем сприятиме збору, накопиченню, збереженню і систематизації відомостей в єдиній базі геопросторових даних, що забезпечить комплексний аналіз територій парку.

Висновки і перспективи подальших досліджень передбачають створення бази даних з просторовими та атрибутивними характеристиками для соціологічної оцінки територій і об'єктів, що дозволить проводити інвентаризацію біорізноманіття, здійснювати аналіз його цінності та збереженості, визначати перспективи розвитку НПП «Північне Поділля».

1. Гальченко Н.П., Козарь В.І. Структура бази даних для забезпечення геоінформаційного моніторингу земель природно-заповідного фонду // *Екологічна безпека: Вип. 1* (2019) – С. 32-37.

2. Стрямець С., Стрямець Г. Бази даних для моніторингу біорізноманіття природного заповідника «Розточчя» // *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології: № 650* (2009) – С. 200-204.

3. Copernicus Browser. Режим доступу: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>.

4. TerraScope Viewer. Режим доступу: <https://viewer.terrascope.be/>.

5. Мокрий В., Арустамян Е., Бондарь В., Мельник Ю., Сайкевич Н. Застосування ГІС-технологій для моніторингу лісових екосистем НПП «Північне Поділля» // *Інформаційні технології у сфері захисту довкілля: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції – Львів: Видавництво Львівської політехніки* (2024) – С.43-44.

6. Лященко А.А., Черін А.Г. Архітектура сучасних ГІС на основі баз геопросторових даних // *Вісник геодезії та картографії: № 5* (2011) – С. 45–50.

7. НПП «Північне Поділля». Режим доступу: <https://park-podillya.com.ua/>.

8. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.2. Національні природні парки / Колектив авторів під ред. В.А. Онищенко і Т.Л. Андрієнко. – Київ: Фітосоціоцентр (2012) – 580 с.

9. Мельник Ю.В., Арустамян Е.М., Мокрий В.І. Алгоритм проектування екологічних коридорів НПП «Північне Поділля» з використанням ГІС-технологій // *Збірник матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія – філософія існування людства – К. : НУБіП* (2024) – С. 194-196.

10. *Лященко А., Патракеєв І. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Вип. 1(29) (2015) – С.174–177.*