УДК 574:59
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.12

Н. Лазоренко-Гевель[1], канд. техн. наук, доц.,
E-mail: nadiialg@gmail.com;
І. Галіус[2], інженер-дослідник,
E-mail: 2014gis96@gmail.com;
В. Зацерковний[3], д-р техн. наук, проф.,
E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;
Б. Денисюк[1], ст. викл.,
E-mail: gis-knuba@ukr.net;
Н. Шудра[1], ст. викл.,
E-mail: shudra_n@ukr.net;
[1]Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна;
[2]ПрАТ "Науково-виробничий комплекс "Курс",
вул. Бориспільська, 9, м. Київ, 02099, Україна;
[3]Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Досліджено стан та перспективи застосування геоінформаційних систем (ГІС) для вирішення моніторингових завдань природоохоронних територій України. Представлено результати вперше виконаного в Україні проєкту геоінформаційного забезпечення території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника (ЧРЕБЗ) для ведення моніторингу, основою якого слугує база геопросторових даних території заповідника, створена із застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу на основі національних стандартів України ДСТУ 8774:2018 "Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних" та ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація. Методологія для каталогізації об'єктів".

Створений інформаційно-довідковий геопортал території та об'єктів Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника дає можливість надання широкому колу користувачів публічного доступу до актуальної моніторингової інформації ЧРЕБЗ на основі платформи ArcGISOnline. Запропоновано використання розроблених спеціалізованих алгоритмів геоінформаційного аналізу та моделювання для моніторингу стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ.

Особливостями геоінформаційного забезпечення території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника для ведення геоінформаційного моніторингу є підтримка в актуальному стані та уніфікація різних за типом і походженням даних на єдиній цифровій топографічній основі, забезпечення потрібного рівня взаємодії різних підрозділів органів місцевого управління, інших підприємств та установ, що забезпечують життєдіяльність заповідника.

За допомогою ГІС ЧРЕБЗ забезпечено вирішення завдань зі створення та підтримання в актуальному стані геопросторових даних: меж заповідника; сучасного стану використання території, природних ландшафтів; рослинного покриву; місць поширення рідкісних та зникаючих видів флори, фауни, рослинних угруповань; функціонального зонування території; лісонасадження заповідника; розміщення історико-культурних та рекреаційних об'єктів, екологічних стежок і туристичних маршрутів; протипожежного впорядкування території, проєктного плану; планування природно-заповідної території; організацію ефективного економіко-соціально та екологічно управління заповідником; розробку заходів для здійснення моніторингу довкілля; прийняття управлінських рішень, видачу даних на тверді носії; проєктування туристичних маршрутів та можливих наслідків катастроф; надання геоінформаційної підтримки під час ліквідації лісових пожеж; розроблення заходів щодо здійснення природоохоронних, протиерозійних, протизсувних та протипожежних робіт, відновлення порушених природних комплексів; комплексної оцінки території заповідника, його господарського використання та запасів природних ресурсів, ландшафтного різноманіття, історико-культурних об'єктів, стану інженерно-транспортної інфраструктури; проведення науково обґрунтованого функціонального зонування території заповідника; розроблення пропозицій щодо будівництва та реконструкції об'єктів, необхідних для забезпечення діяльності заповідника тощо.

Ключові слова: база геопросторових даних, ГІС, геоінформаційне забезпечення, геоінформаційний моніторинг, Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, ГИС ЧРЕБЗ, геоінформаційний аналіз.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших завдань природоохоронної діяльності є збереження та збільшення природно-заповідного фонду та охорона генофонду рослинного і тваринного світу, рідкісних видів рослин і тварин, ландшафтів.

Після створення природоохоронної території одразу постає проблема забезпечення управління цією територією. Найефективнішим практичним методом вирішення цієї проблеми є використання геоінформаційних систем (ГІС) та геоінформаційних технологій (ГІТ), які допомагають ефективно управляти природно-заповідними територіями, аналізувати та моделювати різні процеси та явища на цих територіях та їх картографування. Використання геоінформаційного забезпечення якісно підвищує ефективність територіального аналізу під час встановлення меж нових об'єктів, проведення процедури вилучення земель, розроблення попереднього функціонального зонування території тощо.

Практика впровадження геоінформаційного забезпечення для управління природно-заповідними територіями в існуючі геоінформаційні проєкти (*Природно-заповідний фонд України, н.д.; НПП "Подільські Товтри", н.д.; Природні умови НПП "Пирятинський", н.д.; Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, н.д.*), які призначені для забезпечення діяльності окремих об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) свідчить, що вони відрізняються підходами та використовуваними методами. Головною особливістю зазначених вище проєктів є те, що вони виконані як геоінформаційні шари даних і представлені цифровими картами, для вирішення конкретної проблеми. Використання картографічного підходу до вирішення подібних завдань, на думку авторів, не є прогресивним і суперечить принципам сучасного геоінформаційного підходу виробництва геопросторових даних. При картографічному підході цифрова карта є "зрізом місцевості" на певний час і не враховує зміни місцевості, не забезпечує можливість інтеграції даних, зібраних з різних джерел для оновлення карт, виготовлення цифрової карти відбувається в середовищі конкретної ГІС, що не забезпечує інтероперабельність геопросторових даних, зібраних в інших ГІС, і спричиняє проблеми зі створення, оновлення, обміну

© Лазоренко-Гевель Н., Галіус І., Зацерковний В., Денисюк Б., Шудра Н., 2021

та поширення таких даних між різними виробниками та користувачами. Крім того, авторські цифрові геопросторові дані подібних проєктів залишаються недоступними для широкого кола користувачів, а в деяких випадках навіть для адміністрації природоохоронної території та місцевих органів влади.

Актуальним завданням сьогодення є обґрунтування єдиних вимог до технології геоінформаційного забезпечення заповідних територій під час їх створення, проєктування та експлуатації.

Геоінформаційне забезпечення повинно бути орієнтоване на ефективне виконання всіх функцій природоохоронної території. Як свідчить світовий досвід, наприклад проєкти *Protected areas, Protected planet*, більшість таких територій має схожий, регламентований нормативною базою, перелік функцій з пріоритетним переважанням певних із них. Загалом, завдання діяльності природоохоронних територій можна звести до кількох основних функцій: природоохоронної, науково-дослідної, туристично-рекреаційної, освітньо-виховної тощо.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (далі – ЧРЕБЗ) був заснований до 30-ї річниці аварії на Чорнобильській АЕС 26 квітня 2016 р. У 2016 р. заповіднику також було надано міжнародний статус та включено до Всесвітньої мережі біосферних резерватів у рамках програми Юнеско "Людина і біосфера".

Площа заповідника, розташованого в межах Іванківського та Поліського районів Київської області, займає зону відчуження Чорнобильської АЕС, за винятком 10-кілометрової охоронної зони території Чорнобильської АЕС, і становить 226964,7 га (*Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, н.д.; Про затвердження Положень…, 2005; Про створення Чорнобильського…, 2016*).

Метою створення заповідника є збереження природного середовища, проведення наукових досліджень тощо.

Метою даного дослідження є обґрунтування особливостей створення геоінформаційного забезпечення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника для геоінформаційного моніторингу, яке базується на теорії баз даних і використовує принципи функціонально-орієнтованого моделювання для створення бази даних геопросторових даних ГІС ЧРЕБЗ як ядра геоінформаційної підтримки для моніторингу заповідних територій.

Виклад основного матеріалу. Необхідність такої масштабної структури, як ЧРЕБЗ, з'явилася задовго до 26 квітня 2016 року. Вже через 15–20 років після аварії на ЧАЕС стало зрозуміло: природа набагато потужніша навіть за такий страшний антропогенний фактор, як Чорнобильська катастрофа. Територія в кілька сотень тисяч гектарів сама по собі стала заповідною: там знайшли прихисток і комфортні умови для розмноження сотні видів не тільки типових, а й рідкісних червонокнижних тварин.

З 2018 р. ЧРЕБЗ активно включається в міжнародні проєкти, а науковим підрозділом організовуються перші наукові експедиції з вивчення флори і фауни території зони відчуження.

Створений у межах 30-кілометрової зони відчуження найбільший за територією в Україні заповідник є базисом для надзвичайно важливого унікального природного експерименту не тільки в нашій країні, але й у всьому світі.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник створено за Указом Президента України від 26 квітня 2016 року – №174/2016 "Про створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника". Цей документ визначає "створення в Іванківському та Поліському районах Київської області в межах зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення території, радіоактивно забрудненої внаслідок Чорнобильської катастрофи, Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника" (рис. 1).

Існує два шляхи створення геоінформаційного забезпечення для природоохоронних територій:

1) при проєктуванні та створенні природоохоронних територій;

2) для забезпечення ефективної діяльності (функціонування) створеної природоохоронної одиниці.

Геоінформаційне забезпечення функціонування природоохоронних територій розглядається та реалізується у вигляді:

1) інтернет-сайту з картами та іншою довідковою інформацією про природоохоронну територію;

2) геоінформаційного проєкту, як сукупності взаємоприв'язаних геоінформаційних шарів даних, створених для природоохоронної території;

3) спеціалізованої ГІС, як окремого програмного комплексу, призначеного для виконання сукупності чітко визначених завдань згідно з функціями та специфікою діяльності природоохоронної одиниці.

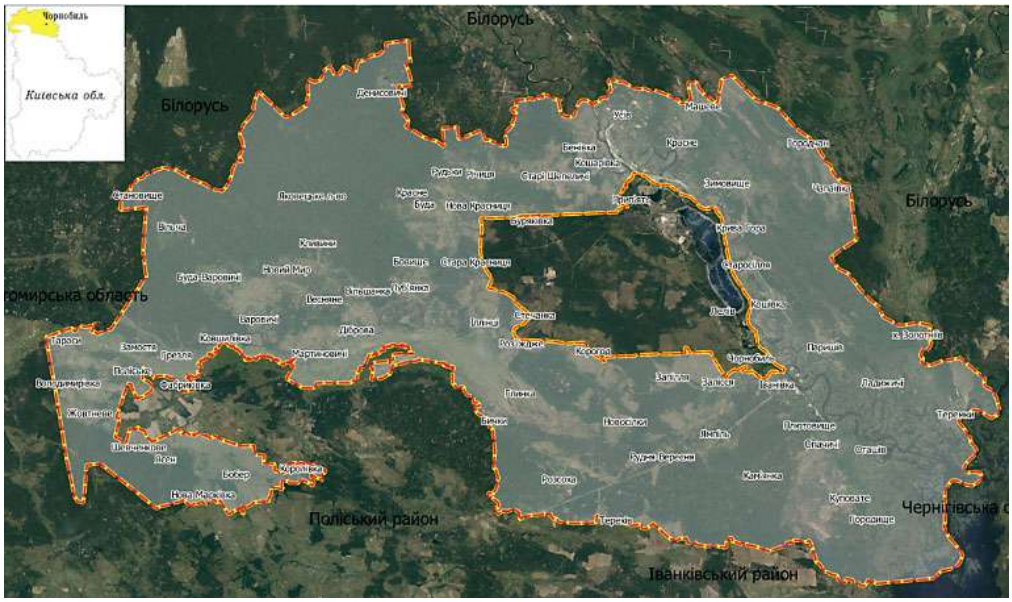


Рис. 1. Територія Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника

Інтернет-сайт з картами та іншою довідковою інформацією про природоохоронну територію найбільше відповідає завданням популярного змісту – забезпеченню інтересів туристів, а також виконанню завдань екологічної освіти та виховання, та забезпеченню виконання наукової та природоохоронної функцій.

Перевагами використання інтерактивного інтернет-сайту як напряму геоінформаційного забезпечення діяльності природоохоронної території є:

- доступність для широкого кола користувачів;
- популяризація природоохоронних територій, у тому числі для розвитку туризму та екологічної освіти і виховання;
- можливість оприлюднення наукових досліджень території у межах єдиного інформаційного джерела.

Основними недоліками інтернет-сайтів природоохоронних територій є:

- відсутність векторних шарів даних, що закономірно обмежує можливості використання даних для наукових цілей;
- те, що сайти логічно не передбачають автоматичного застосування геоінформаційних програмних засобів та функцій складного геопросторового аналізу даних.

Подолання цих недоліків можливе за рахунок створення і розвитку національної інфраструктури геопросторових даних, яка передбачає використання принципів геоінформаційного підходу для повного циклу виробництва геопросторових даних: від їх створення до обміну і поширення на основі єдиних стандартів і специфікацій у сфері "Географічна інформація / Геоматика", створення геопорталів природоохоронних територій, що є актуальним завданням сьогодення та активно розглядається науковцями *(Пересадько, 2012; Карпінський та Лазоренко-Гевель, 2020; Karpinskyi and Lazorenko-Hevel, 2020).*

Геоінформаційний проєкт – сукупність взаємоприв'язаних геоінформаційних шарів даних, створених для природоохоронної території. У межах даного підходу геоінформаційне забезпечення розглядається досить вузько спеціалізовано – як набір даних, підготовлених для роботи в ГІС. Геоінформаційний проєкт у даному випадку відповідає поняттю інформаційного забезпечення ГІС, тобто сукупності масивів інформації (баз даних, банків даних, інших структурованих наборів даних), систем кодування, класифікації та відповідної документації, що обслуговує систему обробки даних.

З погляду виконання функцій природоохоронних територій даний вид геоінформаційного забезпечення можна використовувати переважно для наукових задач. Туристично-рекреаційна та екологічна освітньо-виховна функції можуть виконуватися шляхом оформлення тематичних карт відповідного змісту на основі шарів даних геоінформаційного проєкту, розміщення їх у друкованих виданнях та на Інтернет-сайтах.

Головною перевагою геоінформаційних проєктів є можливість самостійного моделювання ситуацій та процесів на основі базових наборів геопросторових даних. Серед недоліків варто відзначити недоступність даних для широкого кола користувачів та можливість популяризації лише через наукові публікації. Відсутність попередньо закладених у систему алгоритмів і моделей аналізу даних, розроблених з урахуванням специфіки природоохоронної території, зменшує можливості систематизованих наукових досліджень. Однак при цьому залишається достатня свобода дій для дослідника, можливість розробки у подальшому спеціальних алгоритмів, що особливо актуально на початкових стадіях формування напрямів діяльності території та їх геоінформаційного забезпечення. Крім того, на етапах проєктування та створення природоохоронних територій геоінформаційне забезпечення реалізується переважно саме у вигляді геоінформаційного проєкту.

Спеціалізована ГІС, як окремий програмний комплекс, призначена для виконання конкретних завдань згідно з функціями природоохоронної території. У даному випадку під ГІС розуміють загальноприйняте визначення: "апаратно-програмний людино-машинний комплекс, що забезпечує збір, обробку, відображення і поширення просторово-координованих даних, інтеграцію даних, інформації та знань про територію для ефективного їх використання при вирішенні наукових і прикладних завдань, пов'язаних з інвентаризацією, аналізом, моделюванням, прогнозуванням і управлінням довкіллям та територіальною організацією суспільства". Специфічність застосування ГІС для розв'язання задач функціонування природоохоронних територій дещо звужує це поняття за рахунок того, що мається на увазі не повнофункціональна ГІС із можливістю вирішення широкого кола завдань, а спеціалізований програмний додаток, створений саме для окремої природоохоронної території *(Пересадько, 2012).*

У геоінформаційній сфері забезпечення природоохоронних територій на міжнародному рівні найбільш відомим проєктом є Світова база даних природоохоронних територій (World Database on Protected Areas – WDPA) (*Protected areas, n.d.*) – це найповніший глобальний просторовий набір даних, що містить морські та наземні природоохоронні території. Дані про місцевість надаються через онлайн-інтерфейс Protected Planet (*Protected planet, n.d.),* який розроблений для WDPA, що є спільною ініціативою Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) та Центру екологічного моніторингу охорони навколишнього середовища ООН з метою збору просторово-орієнтованої інформації про природоохоронні території.

МСОП визначив універсальні категорії природоохоронних територій, які передбачають відповідний рівень захисту (*Protected planet, n.d.*).

На основі проаналізованої інформації можна зробити висновок, що перспективи застосування ГІС для забезпечення діяльності природоохоронних територій зводяться до формування єдиної національної системи об'єктів та територій ПЗФ, а також створення локальних ГІС та інтернет-сайтів природоохоронних одиниць, оскільки значна частина об'єктів не інформатизована.

Автори статті рекомендують використовувати принципи геоінформаційного підходу для геоінформаційного забезпечення території ЧРЕБЗ. Серед принципів геоінформаційного підходу є використання геопросторових баз даних, перевагами яких є: мінімізація надмірності даних; уніфікація організації даних, яка досягається використанням геоінформаційних моделей, розроблених на основі міжнародних та національних стандартів України у сфері Географічної інформації/Геоматики; цілісність та захист від несанкціонованого доступу, що визначає відповідність інформації бази даних її внутрішній структурі та заданим правилам, незалежність структур даних від програмного забезпечення, незалежність програмного забезпечення від структур даних *(СОУ 71.12-37-949, 2014; ДСТУ ISO 19110, 2017; Карпінський та Лазоренко-Гевель, 2020).*

На початку практичної частини дослідження було розроблено детальну технологічну модель геоінформаційного забезпечення природоохоронної території відповідно до методології IDEF0, яка призначена для функціонального моделювання і унаочнення етапів проєкту. Розроблена технологічна схема адаптована безпосередньо для відображення узагальненого процесу ГІС забезпечення ЧРЕБЗ.

Першим технологічним завданням у технологічній моделі є збір вхідних даних, який полягає в координатній прив'язці території заповідника, його окремих ділянок та об'єктів. Наступним геоінформаційним завданням є проєктування бази геопросторових даних, яке виконується паралельно з координатною прив'язкою території заповідника або після її завершення. Для виконання цього процесу висуваються вимоги до ГІС та бази геопросторових даних (БГД). Завдання виконується геоінформатиком з використанням комп'ютера та відповідного програмного забезпечення. Даний етап передбачає розроблення геоінформаційної концептуальної та логічної моделей БГД, каталогу об'єктів і атрибутів, а також проведення дослідної реалізації запроєктованої бази геопросторових даних у відповідній ГІС. Результатом цього етапу є БГД, яка реалізована у вибраній геоінформаційній системі, тобто на виході отримується незавершена ГІС заповідника.

На наступному етапі виконується виготовлення картографічних матеріалів на основі векторних шарів створеної БГД, результатів польових робіт та вимог Положення "Про Проєкти організації території заповідника". На виході етапу отримуються картографічні матеріали, які є складовою "Проєкту організації території заповідника".

Наступним кроком є розроблення алгоритмів спеціалізованих функцій геопросторового аналізу та геоінформаційного моделювання відповідно до вимог, висунутих до ГІС та БГД. Керівними документами є методичні матеріали щодо виконання зазначеного вище аналізу та моделювання. Розроблення алгоритмів виконується геоінформатиком з використанням комп'ютера, створеної БГД та ГІС. На даному етапі також виконується проєктування геопорталу заповідника.

На основі результатів попередніх етапів виконується затвердження Проєкту організації території заповідника, який і отримується внаслідок завершення даного етапу.

Остання задача геоінформаційного забезпечення території заповідника полягає у введенні ГІС заповідника в експлуатацію за участі розробників ГІС та адміністрації заповідника. Задача виконується із залученням інструкції з користування ГІС заповідника, яка складається розробниками системи. Результатом даного етапу та технологічного процесу в цілому є ГІС та геопортал заповідника.

Проєктування БГД полягає у моделюванні реального світу, тобто у створенні геоінформаційних моделей, структура яких найбільш точно відповідає цілям бази даних. Передумовою проєктування баз даних або так званим початковим етапом проєктування є визначення цільового призначення БГД, яке визначає структуру даних.

Проєктування БГД включає в себе три рівні моделювання: концептуальне, логічне та фізичне.

На етапі *концептуального моделювання* визначається предметна сфера та опис досліджуваних об'єктів або явищ, типи цих об'єктів в БГД, встановлюються обмеження та взаємозв'язки. Іншими словами, під час даного етапу не враховуються деталі фактичної реалізації БГД. Етап концептуального моделювання один з найважливіших, оскільки від якості його виконання залежить подальше проєктування бази даних, проведення реалізації та експлуатації системи, а також виконання базою даних завдань, для яких її створюють. *Логічний етап моделювання* передбачає відображення концептуальної моделі даних у вигляді мовних конструкцій та схематичних позначень вибраної СКБД. Третій етап – *фізичне моделювання*, передбачає фактичну комп'ютерну реалізацію бази геопросторових даних.

Базу геопросторових даних для ГІС ЧРЕБЗ для проведення моніторингу було створено з використанням *функціонально-орієнтованого підходу*, який визначає основні сутності (класи) системи, що розробляється, та встановлює асоціації та операції з цими класами. Ця БГД забезпечує ефективний доступ до інформації, систематизацію різних типів та джерел даних, геопросторовий аналіз, геоінформаційне моделювання та необхідний рівень взаємодії між різними користувачами.

Були розроблені концептуальна та логічна геоінформаційні моделі БГД із використанням уніфікованої мови моделювання UML, а також каталог об'єктів і атрибутів ГІС ЧРЕБЗ на основі національних стандартів України ДСТУ ISO 19101:2009 Еталонна модель, ДСТУ 8774:2018 "Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних" і ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів" та СОУ 71.12-37-949 "База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів", що забезпечує ефективний доступ до інформації, використання методів геоінформаційного аналізу, інтеграцію геопросторових даних.

Концептуальне моделювання полягає у створенні моделі інформації, яка буде використовуватися в майбутній базі даних. У концептуальній моделі відсутня залежність інформації від способів та методів її представлення. Даний етап передбачає абстрагування та опис предметної сфери.

Концептуальна модель відображає сукупність вимог замовника або користувача до даних, які отримані з уявлень про реальний світ. За допомогою даної моделі описуються всі елементи даних, види зв'язків між ними, а також зазначаються обмеження, які потрібні для забезпечення цілісності даних.

Концептуальна модель складається з трьох основних елементів: предметів (сутностей); атрибутів (якісних представлень властивостей предметів); ліній, які позначають зв'язки (відношення) між сутностями. У даному випадку предметом є об'єкт інформатизації, атрибутами – його властивості або характеристики.

Запроєктована концептуальна модель ГІС ЧРЕБЗ складається із сутностей, їх атрибутів та взаємозв'язків між ними. Загалом модель налічує 33 класи об'єктів та 35 зв'язків між ними. Назви класів об'єктів та їх атрибутів відображені українською мовою для узагальнення змісту інформації, яка буде зазначатися в даних класах.

На запроєктованій концептуальній моделі узагальнені об'єкти:

- "Дороги", "Залізниці" та "Мостові споруди" у клас "Залізниці, об'єкти вулично-дорожньої мережі та мостові споруди";
- "Гідрографічні об'єкти (полігональні та лінійні)", "Джерела", "Протипожежні водойми" у клас "Об'єкти гідрографії та гідрографічної мережі";
- "Флора", "Рослинні угруповання", "Рослинний покрив" у клас "Рослинність".

Всі класи об'єктів входять до складу кварталів через зв'язок "композиція". Композиція полягає у неможливості існування об'єктів заповідника поза межами кварталів.

"Квартали" взаємодіють з територією заповідника за допомогою "агрегації", а "Територія заповідника" через даний зв'язок взаємодіє з Київською областю. Вибір зв'язку "агрегація" пояснюється тим, що квартали є частиною території заповідника, але вони можуть існувати і окремо (наприклад, якщо буде прийнято рішення про ліквідацію заповідника, то квартали можуть існувати окремо або перейти до складу лісництва). Те саме стосується і агрегації між територією заповідника та Київською областю.

Передумовою проєктування логічної моделі бази геопросторових даних є розроблення каталогу об'єктів та атрибутів.

У каталозі об'єктів місцевості описуються абстрактні моделі реального світу у вигляді визначеної системи класифікації об'єктів та явищ. Завдяки каталогу об'єктів забезпечується однозначна інтерпретація абстрактних моделей комп'ютерними системами та їх користувачами, створюються необхідні умови для використання геопросторових даних та їх широкого розповсюдження.

Класифікація різноманітних явищ та об'єктів реального світу у каталозі об'єктів і атрибутів проводиться за допомогою узагальненого набору визначень, що в ньому містяться. За допомогою каталогу забезпечується спосіб організації даних, який придатний до використання у топографічному картографуванні та ГІС різного призначення, де завдяки топографічним даним утворюється основа, яка сприяє створенню профільних наборів даних, а також просторовій прив'язці нових об'єктів з різних предметних сфер *(ДСТУ ISO 19110, 2017).*

Основний рівень класифікації у каталозі – клас об'єктів місцевості (featuretype). Даний клас базується на модельному поданні об'єкта (явища), який можна охарактеризувати завдяки певному місцеположенню, для якого виконується збирання, зберігання, а також розповсюдження даних.

В каталозі об'єктів БГД об'єкт реального світу класифікується до певної групи та типу даних, містить UML-схему, власні атрибути з описом їх значення та асоціації між об'єктами.

Розроблена база геопросторових даних ЧРЕБЗ містить 33 класи об'єктів, з яких 12 класів об'єктів запозичено з стандарту СОУ 71.12-37-949:2014 "База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів". Об'єкти та атрибути, які відсутні у згаданому стандарті, були запроєктовані авторами самостійно, оскільки вони необхідні для геоінформаційного забезпечення території ЧРЕБЗ.

Розроблено каталог об'єктів та атрибутів БГД ЧРЕБЗ згідно з вимогами національного стандарту ДСТУ ISO 19110:2017 та СОУ 71.12-37-949:2014, який налічує 21 клас об'єктів.

Логічне моделювання – це етап проєктування БГД, під час якого розробляються моделі даних, що будуть використані в базі даних, з урахуванням обраної моделі організації даних.

Логічною моделлю бази геопросторових даних називається модель, яка враховує особливості СКБД при описі структури даних та, відповідно, є результатом етапу логічного моделювання. Логічну модель також називають СКБД-залежною. Це означає, що реляційна логічна модель даних, наприклад, відповідає принципам і методам реляційних баз даних і, таким чином, може бути застосована до будь-якої бази даних, яка реалізується в середовищі реляційної СКБД.

Для проєктування геоінформаційних моделей БГД застосований об'єктно-орієнтований підхід із застосуванням уніфікованої мови моделювання UML.

У логічній моделі об'єкти реального світу було класифіковано відповідно до національного стандарту ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів" та згідно із запроєктованим каталогом об'єктів та атрибутів. У розробленій логічній моделі, так само як і в концептуальній, відображено 33 класи об'єктів та 35 зв'язків. Однак, на відміну від концептуальної моделі, на логічній моделі назви об'єктів відображені такими, якими вони будуть створені у БГД, а також зазначені типи даних атрибутивних значень відповідно до запроєктованого каталогу об'єктів та атрибутів. Ще однією особливістю логічної моделі є зазначення перед назвою класу об'єкта його типу, тобто типу даних, які будуть заноситися до даного класу. При реалізації моделі клас об'єкта *featureType* у СКБД буде створюватися як просторовий шар з відповідною геометрією.

Дослідну реалізацію запроєктованої БГД Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було проведено в програмному забезпеченні ArcGIS 10.2, оскільки цей програмний продукт є комплексною системою, яка дозволяє вирішувати надскладні завдання, пов'язані з аналізом і моделюванням. Зазначена версія забезпечує легкість використання програмного продукту, потужніші інструменти аналізу, а також додаткові Web ГІС застосування.

Базу геопросторових даних реалізовано у вигляді файлової бази геоданих, створеної за допомогою ArcCatalog. У результаті створення запроєктованої БГД ЧРЕБЗ отримали 33 просторових об'єкти, серед яких виділено три групи: "Залізниці, об'єкти вулично-дорожньої мережі та дорожні споруди", "Об'єкти гідрографії та гідрографічної мережі", "Рослинність".

З метою забезпечення широкого та відкритого доступу громадян, суб'єктів господарської діяльності, органів місцевого самоврядування та державної влади до розподілених геоінформаційних ресурсів як дослідження було розроблено геопортал. До функціоналу геопорталів також слід віднести поширення та забезпечення обміну геопросторових даних за допомогою загальнодоступної глобальної інформаційної мережі, що виконується з метою підвищити ефективність виробництва, а також використання геопросторових даних *(Карпінський, 2012).*

Проєкт геопорталу території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було виконано за допомогою вебресурсу ArcGISOnline.

Існує три підходи формування геопорталу на вебресурсі ArcGISOnline на основі проєкту ArcMap:

- за допомогою ArcGIS Server;
- завантаження окремих шейп-файлів;
- конвертування проєкту у kml-файл та його завантаження на ArcGISOnline.

Спосіб за допомогою ArcGIS Server більш притаманний для організацій, оскільки він передбачає наявність локального сервера ArcGIS або виділеного сервера на сайті ArcGIS чи компаній партнерів.

Завантаження шейп-файлів, як правило, використовується за невеликого обсягу даних майбутньої вебкарти, оскільки за даного способу необхідно налаштовувати відображення кожного шару окремо.

Конвертування проєкту у kml-файл є найбільш зручним способом створення геопорталу на ArcGISOnline при некомерційному використані та значній кількості даних для відображення. Даний спосіб, так само, як і за допомогою ArcGIS Server, характеризується автоматичним перенесенням символів з проєкту ArcMap, що є досить зручною функцією, оскільки вона значно зменшує час формування веб-карти.

Перед проєктуванням геопорталу було створено дублікат проєкту ГІС ЧРЕБЗ та видалено з нього зайві дані. Таким чином, до нового проєкту ArcMap увійшли шари: "Межі", "Дороги", "Залізниці", "Гідрографічні об'єкти", "Населені пункти", "Контора", "Історико-культурні об'єкти", "Туристичні об'єкти". Також до проєкту були додані:

- функціональне зонування території на основі інформації з шару "Квартали";
- туристичні маршрути.

Створення геопорталу ЧРЕБЗ у рамках дослідної реалізації було виконано шляхом конвертації проєкту ArcMap (*.mxd файл) у файл *.kml та його завантаження на сторінку вебресурсу ArcGISOnline (*What is ArcGISOnline*, *n.d.*). На основі завантаженого файлу було створено вебкарту території ЧРЕБЗ (рис. 2).

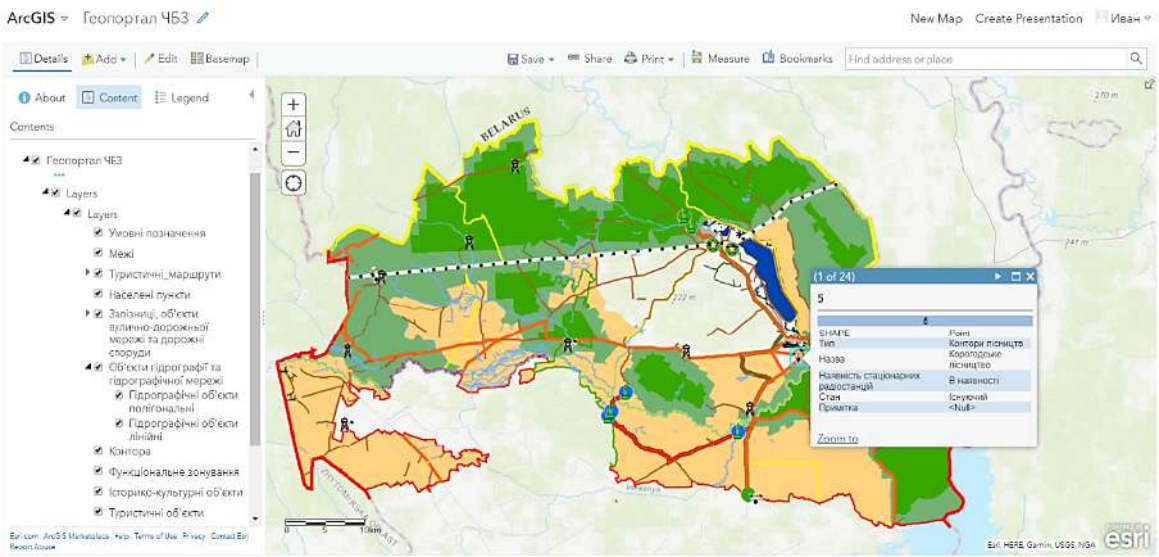


Рис. 2. Дослідна реалізація БГД

Після створення вебкарти ЧРЕБЗ було сформовано картографічний вебдодаток, який є геопорталом ЧРЕБЗ. Для створення геопорталу було використано один із запропонованих шаблонів вебдодатку на вебресурсі ArcGISOnline та внесено до нього зміни відповідно до потреб. Створений геопортал ЧРЕБЗ забезпечує:

- візуалізацію території заповідника;
- можливість вибору шарів для відображення;
- отримання інформації про об'єкт під час натискання на нього;
- зміну прозорості шарів;
- заміну базової карти;
- вимірювання площі, відстані та координат;
- можливість поширення посилання на геопортал.

Оновлення геопорталу ЧРЕБЗ здійснюється шляхом завантаження оновленого kml-файлу на вебресурс ArcGISOnline за допомогою функції Update.

Як відомо, геоінформаційний аналіз – це спосіб аналізу геопросторової інформації за допомогою методів статистичного аналізу та геоінформаційних технологій, в результаті якого виявляються невідомі раніше закономірності та отримується нова інформація. За допомогою геоінформаційного аналізу можливе дослідження різноманітних діяльностей у просторі, закономірностей розподілу об'єктів у просторі, прогнозування природних або соціально-економічних явищ, визначення кореляцій тощо.

Під час дослідної реалізації були розроблені алгоритми спеціалізованих функцій для вирішення таких завдань геопросторового аналізу та моделювання:

- дослідження стану радіаційного забруднення;
- проєктування оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі;
- вибір місця для будівництва лісової пожежної станції;
- проєктування можливих наслідків повені на р. Прип'ять;
- проєктування туристичних маршрутів;
- отримання статистичної інформації про територію заповідника.

Більшість завдань вирішені шляхом створення моделей ModelBuilder, оскільки це сприяє автоматизації процесу та, як наслідок, значно підвищує продуктивність праці. Моделі геооброблення автоматизують і документують процеси просторового аналізу та управління даними. Модель ModelBuilder відображається у вигляді діаграми, що з'єднує послідовності процесів і інструменти геооброблення, використовуючи вихідні дані одного процесу як вхідні іншого.

На першому етапі було проведено дослідження стану радіаційного забруднення території заповідника. Оскільки на території Чорнобильської зони відчуження станом на 2018 р. працює автоматизована система моніторингу рівня радіації з використанням СКБД, розподіленої мережі постів спостережень та забезпечення цілодобового доступу до виміряних показників на відповідному інтернет-ресурсі, то при геоінформаційному забезпеченні території заповідника передбачено підключення СКБД системи моніторингу до ГІС ЧРЕБЗ.

Для вибору оптимального способу візуалізації радіаційного стану було виконано порівняння різноманітних методів інтерполяції, які виконуються розширенням Geostatistical Analyst ПЗ ArcGIS. Методи побудови поверхонь поділяються на три групи: детерміністичні; геостатистичні; бар'єрні.

Geostatistical Analyst ArcGIS забезпечує можливість моделювання поверхні за допомогою детермінованих та геостатистичних методів. Його інструменти, повністю інтегровані із середовищами моделювання ГІС, дозволяють генерувати інтерполяційні моделі та оцінювати їхню якість, перш ніж використовувати їх у будь-якому подальшому аналізі. Побудовані поверхні можуть використовуватися в моделях (як у середовищах ModelBuilder, так і в Python), візуалізуватися та аналізуватися з використанням інших розширень ArcGIS *(What is the ArcGIS Geostatistical…, n.d)*.

Під час проведення дослідження було використано 10 методів побудови. Для порівняння похибок побудованих моделей було застосовано інструмент "Перехресна перевірка" (рис. 3) розширення Geostatistical Analyst. Даний інструмент відображає похибки моделі, а також дозволяє одночасне порівняння двох моделей, на основі чого стає можливим визначення оптимальної моделі, яка більш реально відображає стан радіаційного забруднення. Оптимальним для інтерполяції значень просторового розподілу даних вважається метод, за якого середня похибка наближається до нуля, середня квадратична похибка і середнє із стандартних похибок інтерполяції мають найменші із обчислених значень, а середня квадратична нормована похибка найближча до одиниці.

Показники похибок методів візуалізації стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ наведено в табл. 1-2.

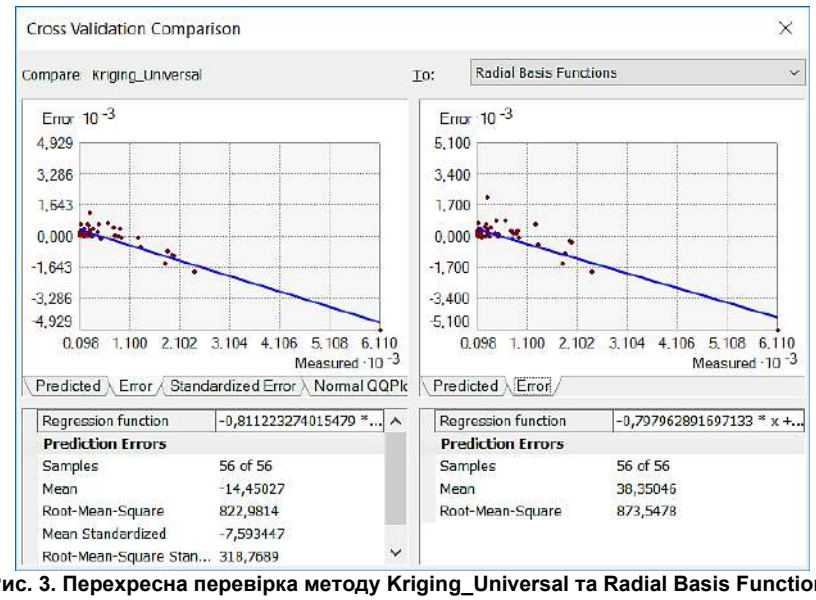


Рис. 3. Перехресна перевірка методу Kriging_Universal та Radial Basis Functions

Таблиця 1

Порівняння похибок методів побудови стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ

Метод / значення похибок	IDW	Global Polynomial Interpolation	Radial Basis Functions	Local Polynomial Interpolation
Mean	117,3229	4,2978	38,3505	-51,3993
Root-Mean-Square	898,6637	904,3401	873,5478	846,0011

Таблиця 2

Порівняння похибок методів побудови стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ

Метод / значення похибок	Kriging (Ordinary)	Kriging (Simple)	Kriging (Universal)	Empirical Bayesian Kriging	Kernel Smoothing	Diffusion Kernel
Mean	12,5033	654,4189	-14,4503	72,5761	-81,3436	77,2938
Root-Mean-Square	879,0809	4806,9287	822,9814	860,1551	871,2006	902,9041
Mean Standardized	0,0113	-9,4782	-7,5934	0,0742	-0,0764	
Root-Mean-Square Standardized	0,9118	29,3024	318,7689	0,9611	0,8402	
Average Standart Error	969,5144	2870,7003	2,7127	925,1208	1128,0644	

На основі порівняння одержаних похибок оптимальним методом було обрано метод універсального кригінгу (Kriging (Universal)), оскільки виконується умова: середня похибка (Mean) найближча до нуля, середня квадратична похибка (Root-Mean-Square) і середнє із стандартних похибок (Mean Standardized) інтерполяції мають найменші з обчислених значень, а середня квадратична нормована похибка (Average Standart Error) найближча до одиниці. Використовуючи поверхню, яка побудована даним методом, було створено картосхему радіаційного забруднення ЧРЕБЗ (рис. 4). Побудована поверхня використовувалася в подальшому для виконання інших операцій геоінформаційного аналізу та моделювання.

Наступним завданням геоінформаційного аналізу та моделювання було обрано проєктування оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі у рамках надання геоінформаційної підтримки під час ліквідації лісових пожеж.

Перший спосіб проєктування маршрутів передбачає використання розширення Spatial Analyst ArcGIS. Розширення ArcGIS Spatial Analyst надає широкий спектр потужних можливостей просторового моделювання та аналізу. Даним способом можна побудувати маршрути з урахуванням радіаційного забруднення, рельєфу місцевості, наявності існуючих доріг та інших факторів. Для побудови рельєфу місцевості було використано дані SRTM. Перед формуванням моделі необхідно створити шар "Pogegi", який буде включати місце пожежі.

Реалізацію першого способу виконують шляхом створення моделі ModelBuilder, що забезпечить автоматизацію виконання даного завдання під час подальшої експлуатації ГІС ЧРЕБЗ.

Перший етапом у моделі є отримання нових наборів даних:

- ухил місцевості (Slope) за даними SRTM (рис. 5);
- перетворення векторного шару доріг у растровий шар (Polyline to Raster).

Потім виконуємо перекласифікацію растрів (Reclassify), задаючи більш придатним ділянкам менші значення, менш придатним – більші значення. Після перекласифікації растрів виконуємо їх об'єднання в єдиний набір даних за допомогою калькулятора растрів (Raster Calculator), а потім додаємо до отриманого набору перекласифікований шар доріг за допомогою функції побудови мозаїки Mosaic. Шар доріг додається до комбінованих даних за допомогою мозаїки, оскільки при його додаванні за допомогою калькулятора растрів отримані дані включають в себе тільки існуючі дороги з урахуванням рельєфу та радіаційного забруднення, що є неприпустимим, оскільки необхідно отримати шар значень для всієї території заповідника.

Наступним етапом є отримання так званого шару "вартості" пересування по території заповідника та шару напрямків за допомогою функції Cost Distance.

Результатом виконання моделі є растровий шар оптимальних маршрутів, а також векторний шар, перетворений за допомогою функції Raster to Polyline.

Другий спосіб побудови оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій базується на використанні розширення Network Analyst. Спосіб передбачає створення геометричної мережі доріг, що й було автоматично виконано після створення набору даних Network Dataset.

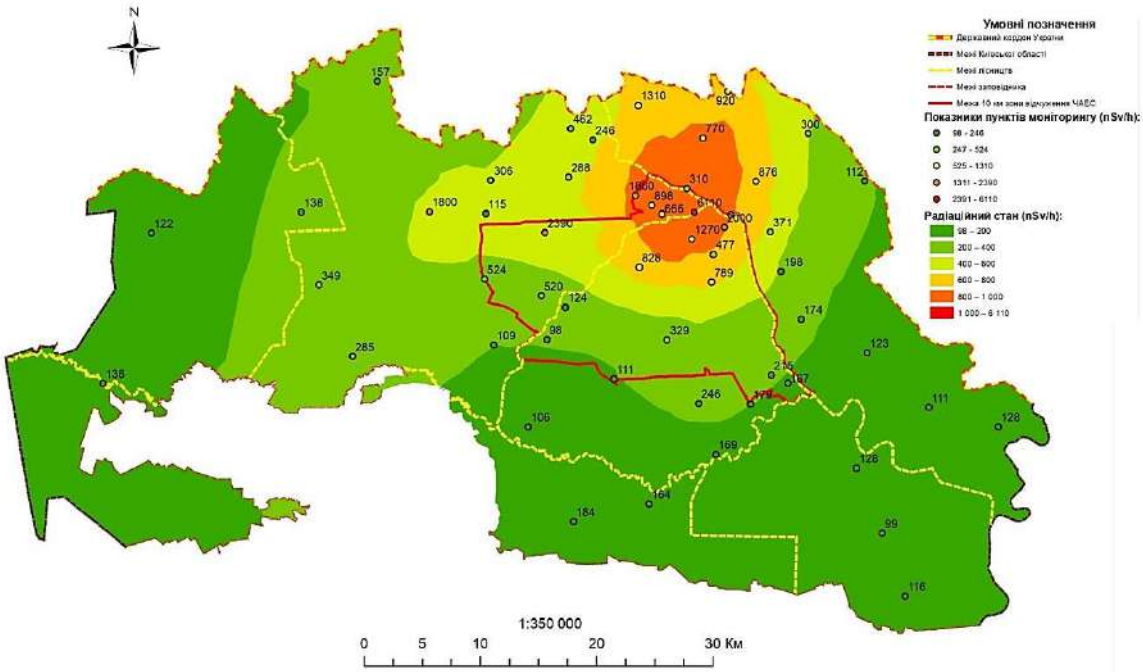


Рис. 4. Радіаційне забруднення ЧРЕБЗ

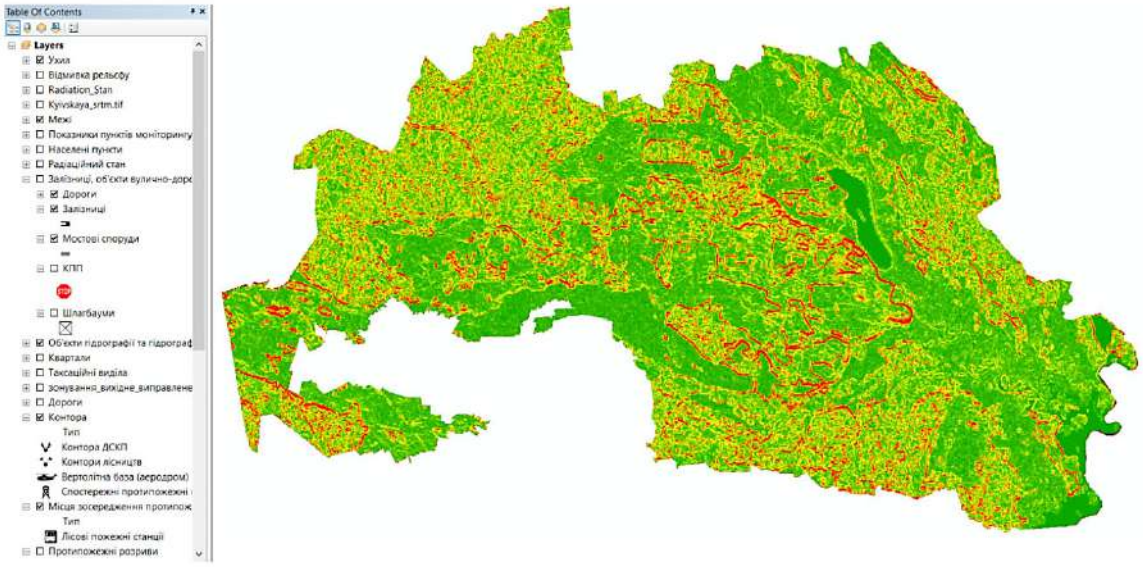


Рис. 5. Побудований ухил місцевості

ArcGIS Network Analyst забезпечує мережеві інструменти просторового аналізу для вирішення складних проблем маршрутизації. Додаток використовує налаштовану модель даних транспортної мережі, що дозволяє організаціям точно представляти їх унікальні вимоги до мережі.

Набори мережевих даних Network Dataset – набір простих просторових об'єктів (лінії та точки) та поворотів, що забезпечують зберігання даних про зв'язність вихідних об'єктів. У транспортних мережах можна пересуватися по ребрах в обох напрямках.

У наборі мережевих даних відстежуються геометричні збіги між вихідними об'єктами. У ньому також діють правила зв'язності, які можна змінювати для того, щоб визначити, які з об'єктів, що збігаються, дійсно з'єднані між собою. Це дозволяє моделювати естакади та тунелі, в яких дороги не з'єднуються. Отже, при виконанні мережевого аналізу механізми розрахунку отримують дані про допустимі способи переміщення мережеюі.

Зв'язність у наборі мережевих даних визначається відповідною геометрією кінцевих точок ліній, вершин ліній та точкових об'єктів, а також застосуванням правил зв'язності, заданих як властивості набору мережевих даних *(What is a network dataset, n.d.).*

Для проєктування оптимальних маршрутів запроєктовано нову дорогу, шляхом використання панелі інструментів Network Analyst, а потім задано початкову та кінцеву точку маршруту (лісова пожежна станція та місце пожежі) у пункті Stops запроєктованої дороги. Після чого запускаємо розрахунок та отримуємо оптимальний маршрут із зазначенням його протяжності та часу руху по ньому.

Як висновок проєктування маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі двома різними способами слід зазначити, що перший спосіб (з використанням Spatial Analyst) є зручним за необхідності врахування різноманітних факторів (рельєф, радіаційне забруднення, існуючі дороги), а також якщо потрібно прокласти маршрут на ділянках, де відсутні дороги

(поля, лісові квартали). У свою чергу, спосіб з використанням Network Analyst слід застосовувати у разі необхідності проєктування маршрутів виключно в межах існуючих доріг.

Наступним завданням геоінформаційного аналізу та моделювання стало вирішення проблеми вибору місця для будівництва лісової пожежної станції. Дане завдання вирішувалось створенням відповідної моделі ModelBuilder з використанням функцій Spatial Analyst. Використовуючи Spatial Analyst, існує можливість побудувати карту придатності на основі комбінації різних наборів даних для визначення ділянок, які відповідають необхідним умовам.

У створеній моделі на першому етапі отримуємо ухил місцевості (Slope), за даними SRTM, виконуємо перетворення векторних шарів населених пунктів та полігональних гідрографічних об'єктів у відповідні растрові шари (Polygon to Raster), отримуємо шар відстаней від існуючих лісових пожежних станцій за допомогою функції Euclidean Distance. На наступному етапі виконуємо перекласифікацію растрів (Reclassify), задаючи більш придатним ділянкам більші значення, менш придатним – менші значення.

Завершальним етапом моделі є об'єднання даних у єдиний набір та присвоєння їм відповідних вагових коефіцієнтів, використовуючи калькулятор растрів (Raster Calculator).

Гідрографічні об'єкти додаємо без присвоєння їм вагового коефіцієнта, оскільки при перекласифікації їм було надано нульове значення з метою виключення територій, які вони займають, з розрахунку придатності ділянок.

Результатом виконання моделі є шар придатності ділянок для будівництва лісової пожежної станції на території ЧРЕБЗ (рис. 6). На основі даного шару було створено картосхему рекомендованих місць будівництва лісової пожежної станції на території ЧРЕБЗ з оцінюванням придатності від 2 до 8 балів.

Черговим завданням геоінформаційного аналізу та моделювання було проєктування туристичних маршрутів. Дане завдання було вирішено з використанням розширення Network Analyst. Спочатку було створено набір мережевих даних, потім, використовуючи панель інструментів Network Analyst, було створено робочий шар маршруту. Далі заносимо інформацію про точки зупинки створеного маршруту, шляхом імпортування необхідних об'єктів з шарів "Історико-культурні об'єкти" та "Туристичні об'єкти" БГД ЧРЕБЗ. Завершальним етапом є побудова оптимального маршруту та напрямків руху по ньому з використанням панелі інструментів Network Analyst (рис. 7).

Останнім вирішеним завданням геоінформаційного аналізу є отримання статистичної інформації про територію заповідника. Дане завдання було вирішено шляхом побудови моделі ModelBuilder, основу якої становить функція Summary Statistics набору інструментів Statistics Tools. Вхідними даними моделі є шари, які включають в себе дорожню мережу, залізниці, гідрографію, населені пункти, лінії електропередачі, функціональне зонування та протипожежні розриви.

За допомогою функції Summary Statistics з вихідних шарів моделі отримуємо інформацію про кількість об'єктів та їх загальну площу або довжину на території заповідника (рис. 8).

Завершальним етапом є об'єднання статистики (Merge) з різних шарів в один шар. Цей етап також передбачає створення нових атрибутивних полів та вказування значень, які їм відповідають, з різних шарів.

При дослідженні стану радіаційного забруднення території ЧРЕБЗ були порівняні різні методи інтерполяції показників пунктів моніторингу з метою вибору найкращого методу візуалізації поточного рівня радіаційного забруднення. Оптимальним методом було прийнято рішення вважати метод універсального кригінгу, оскільки порівняно з іншими методами він має найменші похибки, а саме: середня похибка дорівнює 14,4503, середня стандартизована похибка – 2,7127.

Наступним кроком було проєктування оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі двома способами: з використанням розширення Spatial Analyst та Network Analyst.

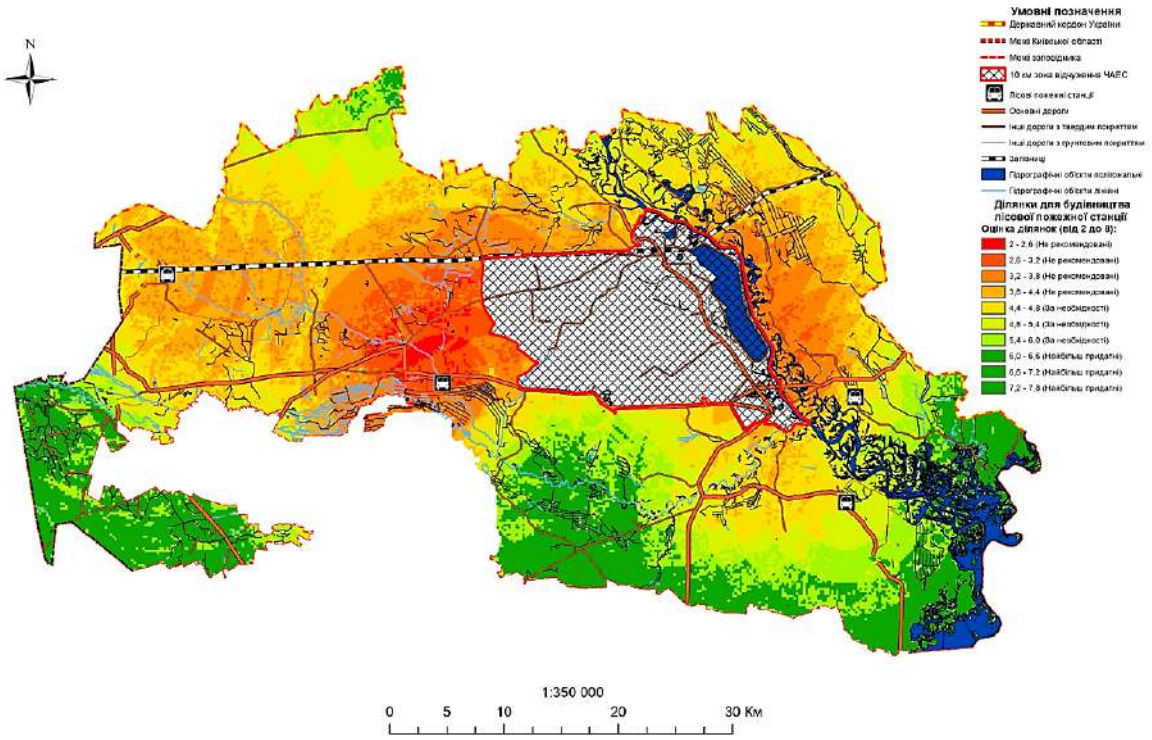


Рис. 6. Картосхема рекомендованих місць будівництва лісової пожежної станції

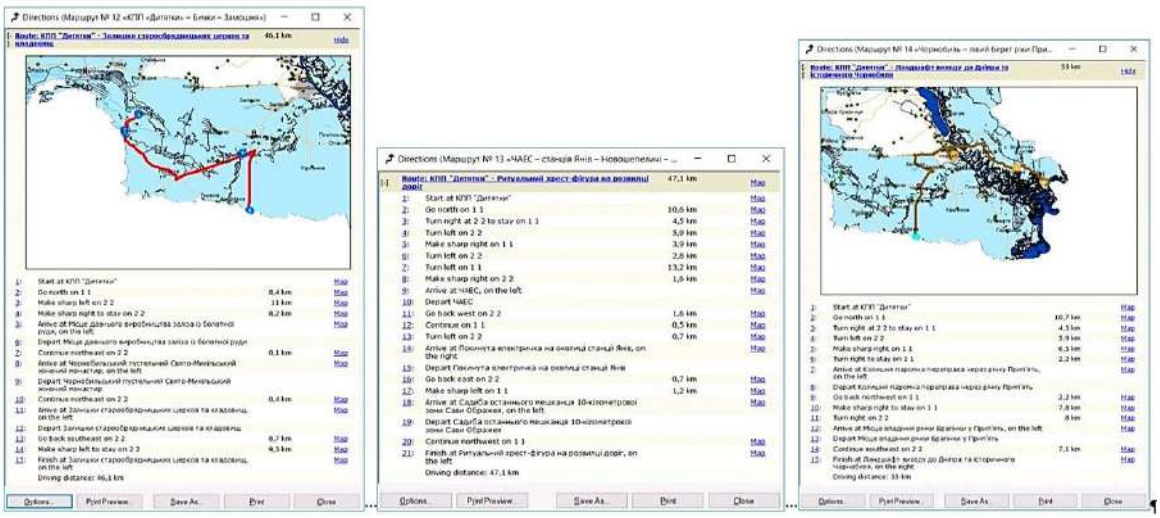
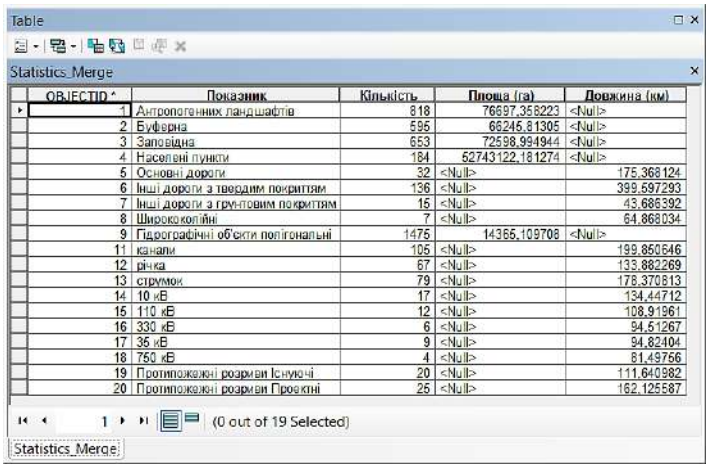


Рис. 7. Побудовані туристичні маршрути



Table

Statistics_Merge

OBJECTID *	Показник	Кількість	Площа (га)	Довжина (км)
1	Антропогенних ландшафтів	818	76697,358223	<Null>
2	Буферна	595	66245,81305	<Null>
3	Заповідна	653	72598,994944	<Null>
4	Населені пункти	184	52743122,181274	<Null>
5	Основні дороги	32	<Null>	175,368124
6	Інші дороги з твердим покриттям	136	<Null>	399,597293
7	Інші дороги з грунтовим покриттям	15	<Null>	43,686392
8	Широколійні	7	<Null>	64,868034
9	Гідрографічні об'єкти полігональні	1476	14365,109708	<Null>
11	канали	105	<Null>	199,860646
12	річка	67	<Null>	133,882269
13	струмок	79	<Null>	178,370813
14	10 кВ	17	<Null>	134,44712
15	110 кВ	12	<Null>	108,91961
16	330 кВ	6	<Null>	94,51267
17	35 кВ	9	<Null>	94,82404
18	750 кВ	4	<Null>	81,49756
19	Протипожежні розриви Існуючі	20	<Null>	111,640982
20	Протипожежні розриви Проєктні	26	<Null>	162,125587

1 (0 out of 19 Selected)

Statistics_Merge

Рис. 8. Дані, отримані за допомогою моделі "Статистика"

Час виконання моделі ModelBuilder на основі інструментів Spatial Analyst сягає 17,52 секунд, що є задовільним результатом, враховуючи проведення розрахунків для території площею 226964,7 га.

Щодо точності та можливості застосування запроєктованих алгоритмів двома способами можна зробити висновок, що алгоритм з використання розширення Spatial Analyst слід використовувати у разі необхідності пошуку оптимальних маршрутів на територіях без дорожнього покриття та/або з урахуванням радіаційного стану та рельєфу місцевості, а також ряду інших факторів. Даний спосіб також досить зручний при проєктуванні будівництва нової дороги.

Алгоритм на основі розширення Network Analyst, на відміну від попереднього алгоритму, доцільніше використовувати для прокладання оптимальних маршрутів по існуючій мережі доріг та в незначному радіусі від них.

Наступний розроблений алгоритм полягає у пошуку оптимальної ділянки для будівництва лісової пожежної станції. Точність застосування даного алгоритму залежить від точності вихідних даних. При проведенні дослідної реалізації завдяки розробленому алгоритму було виявлено три території, які придатні для будівництва лісової пожежної станції за заданих умов. Після чого проведено дослідження справності алгоритму шляхом візуального порівняння вихідних шарів та визначення відповідності результатів роботи алгоритму дійсності. Висновок порівняння – розроблений алгоритм у вигляді моделі ModelBuilder цілком відповідає дійсності та має право на його використання у ГІС ЧРЕБЗ.

Слід зазначити, що розроблений алгоритм можна також застосовувати для пошуку ділянок для будівництва інших об'єктів на території заповідника після внесення незначних змін у модель ModelBuilder, залежно від умов будівництва, які необхідно врахувати.

Проєктування туристичних маршрутів з використанням розширення Network Analyst проведено за інформацією про історико-культурні та туристичні об'єкти, які можна побачити на маршруті. Застосування Network Analyst у даному випадку повністю автоматизує процес проєктування туристичних маршрутів, оскільки в результаті отримується карта з візуалізацією маршруту та напрямки руху по маршруту, що і потрібно для виконання даного завдання.

Висновки. Геоінформаційне забезпечення природоохоронних територій значно спрощує систематичні дослідження стану природних комплексів та об'єктів; контролювання вимог, що стосуються охорони об'єктів ПЗФ при здійсненні різноманітного роду діяльності; розроблення проєктних документацій; раціонального землекористування, лісовпорядкування; прийняття участі у міжнародному співробітництві щодо охорони навколишнього середовища.

Геоінформаційне забезпечення об'єктів ПЗФ активно розвивається для надання відкритого доступу до геопросторової інформації широкому колу користувачів. Як наслідок, підвищується зацікавленість туристів до даних об'єктів, що у свою чергу приводить до більшої популярності, відвідуваності та збільшення прибутку природоохоронної території. При виконанні проєкту геоінформаційного

забезпечення території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було розроблено ГІС на основі базо-орієнтованого підходу для підтримання в актуальному стані та уніфікацію різних за типом і походженням даних на єдиній цифровій топографічній основі. ГІС ЧРЕБЗ підтримує необхідний рівень взаємодії різних підрозділів органів місцевого управління, інших підприємств та установ, що забезпечують життєдіяльність заповідника.

Проблеми, які вирішуються за допомогою створеної ГІС ЧРЕБЗ:

- підтримка в актуальному стані геопросторових даних: межі заповідника; сучасний стан використання території; природні ландшафти; рослинний покрив; місця поширення рідкісних та зникаючих видів флори, фауни, рослинних угруповань; функціональне зонування території; лісонасадження заповідника; розміщення історико-культурних та рекреаційних об'єктів, екологічних стежок і туристичних маршрутів; протипожежне впорядкування території; проєктний план;
- планування природно-заповідної території; організація економічно, соціально й екологічно ефективного управління заповідником;
- розроблення заходів для здійснення моніторингу довкілля;
- моніторинг стану радіаційного забруднення території заповідника;
- прийняття управлінських рішень, видача даних на тверді носії;
- візуалізація території заповідника;
- проєктування туристичних маршрутів;
- надання геоінформаційної підтримки під час ліквідації лісових пожеж;
- розроблення заходів щодо здійснення природоохоронних, протиерозійних, протизсувних та протипожежних робіт, відновлення порушених природних комплексів;
- комплексна оцінка території заповідника, його господарського використання та запасів природних ресурсів, ландшафтного різноманіття, історико-культурних об'єктів, стану інженерно-транспортної інфраструктури;
- проведення науково обґрунтованого функціонального зонування території заповідника;
- розроблення пропозицій щодо будівництва та реконструкції об'єктів, необхідних для забезпечення діяльності заповідника.

У процесі ГІС-забезпечення також запроєктовано портал території заповідника та алгоритми спеціалізованих функцій геоінформаційного аналізу та моделювання.

Реалізований геопортал ЧРЕБЗ повністю виконує свої інформаційно-довідкові функції, серед яких:

- візуалізація території заповідника;
- надання необхідної інформації про об'єкти геопорталу;
- забезпечення проведення вимірювань довжин, площ та координат.

На основі проведеної дослідної реалізації геопорталу ЧРЕБЗ можна зробити висновок про його придатність до використання, що зумовлює можливість його введення в постійну експлуатацію.

Список використаних джерел

ДСТУ 8774:2018. (2018). Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних. ДП "УКРНДНЦ".

ДСТУ ISO 19101:2009. (2009). Географічна інформація. Еталонна модель. Київ: Держспоживстандарт України.

ДСТУ ISO 19110:2017. (2017). Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів. ДП "УКРНДНЦ".

Карпінський, Ю.О. (2012). Мережа геопорталів національної інфраструктури геопросторових даних. *Збірник наукових праць: Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку,* 5, 70-74.

Карпінський, Ю.О., Лазоренко-Гевель, Н.Ю. (2020). Системна модель топографічного картографування в національній інфраструктурі геопросторових даних в Україні. *ISTCGCAP,* 92, 24-36. https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.024

НПП "Подільські Товтри". (н.д.). Отримано з https://www.npptovtry.org.ua/category/pro-park/karty-shemy/

Пересадько, В.А. (2012). Геоінформаційне забезпечення природоохоронних територій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, 15, 74-77.

Природні умови НПП "Пирятинський". (н.д.). Отримано з https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5eb2c2b0b18b49ce823a 650 47 cefabe5.

Природно-заповідний фонд України. (н.д.). Отримано з http://pzf.menr.gov.ua/index.php.

Про затвердження Положень про Проекти організації територій установ природно-заповідного фонду України. (2005). Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 06.07.2005, №245. Отримано з http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0829-05

Про створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника. (2016). Наказ президента України від 16.04.2016, №174. Отримано з https://www.president.gov.ua/documents/1742016-19957

СОУ 71.12-37-949:2014. (2014). База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів: стандарт Мінагрополітики України. Київ: Мінагрополітики України.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. (н.д.). Отримано з https://zapovidnyk.org.ua/

Karpinskyi, Y., Lazorenko-Hevel N. (2020). Topographic mapping in the National Spatial Data Infrastructure in Ukraine. Отримано з https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/31/e3sconf_eepgtech2019_02004.pdf.

Protected areas. (n.d.). Отримано з https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA.

Protected planet. (n.d.). Отримано з https://protectedplanet.net.

What is a networkdataset? (n.d.) Отримано з http://desktop.arcgis.com/ en/arcmap/latest/manage-data/network-datasets/what-is-a-network-dataset.htm

What is ArcGISOnline? (n.d.). Отримано з https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/what-is-agol.htm.

What is the ArcGIS Geostatistical Analyst extension? (n.d.). Отримано з http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-arcgis-geostatistical-analyst-.htm.

References

Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. (n.d.). Retrieved from https://zapovidnyk.org.ua/. [in Ukrainian]

DSTU 8774:2018. (2018). Geographic information – Rules of modelling of spatial data. DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]

DSTU ISO 19101:2009 (2009). Geographic information – Reference model. DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]

DSTU ISO 19110:2017 (2017). Geographic information – Methodology for features cataloging. DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]

Karpinskyi, Y. (2012). Merezha heoportaliv natsional'noyi infrastruktury heoprostorovykh danykh. *Zbirnyk naukovykh prats': Natsional'ne kartohrafuvannya: stan, problemy ta perspektyvy rozvytk,* 5, 70-74. [in Ukrainian]

Karpinskyi, Y., Lazorenko-Hevel N. (2020). The system model of topographic mapping in the national spatial data infrastructure in Ukraine. *ISTCGCAP 2020,* 92, 24-36. https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.024.

Karpinskyi, Y., Lazorenko-Hevel N. (2020). Topographic mapping in the National Spatial Data Infrastructure ine Ukraine. Retrieved from https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/31/e3sconf_eepgtech2019_02004.pdf.

Natural conditions of NPP "Pyryatynskyi". (n.d.). Retrieved from https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5eb2c2b0b18b49ce823a65047cefabe5.

Nature-Reserve fund of Ukraine — territories and features of NPF of Ukraine. (n.d.). Retrieved from http://pzf.menr.gov.ua/пзф-україни/території-та-об'єкти-пзф-україни.html

NPP "Podilsky Tovtry". (n.d.). Retrieved from https://www.npptovtry.org.ua/category/pro-park/karty-shemy/

On approval of the Regulationson Projects of the organization of territories of the nature reserve fund of Ukraine institutions. (2005). Order №245, 2005, July 6. Ministry of Environmental Protection of Ukraine. Kyiv. Retrieved from http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0829-05 [in Ukrainian]

On the establishment of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. (2016). Decree of the President of Ukraine №174, 2016, April 26. Retrieved from https://www.president.gov.ua/documents/1742016-19957 [in Ukrainian]

Peresadko, V.A. (2012). Heoinformatsiyne zabezpechennya pryrodookhoronnykh terytoriy. *Problemy bezperervnoyi heohrafichnoyi osvity i kartohrafiyi.* 15, 74-77. [in Ukrainian]

Protected areas. (n.d.). Retrieved from https://www.arcgis.com/home/item.html?id=64b69c0fb0834351bd6c0ceb3744c5ad.

Protected planet. (n.d.). Retrieved from: https://protectedplanet.net

SOU 71.12-37-949:2014. (2014). Baza topohrafichnykh danykh. Kataloh ob'yektiv i atrybutiv: standart Minahropolityky Ukrayiny. Kyiv. Minahropolityky Ukrayiny [in Ukrainian]

What is a networkdataset? (n.d.). Retrieved from http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/network-datasets/what-is-a-network-dataset.htm

What is ArcGISOnline? (n.d.). Retrieved from https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/what-is-agol.htm

What is the ArcGIS Geostatistical Analyst extension? (n.d.). Retrieved from http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-arcgis-geostatistical-analyst-.htm

Надійшла до редколегії 19.01.21

N. Lazorenko-Hevel[1], PhD (Tech.), Assoc. Prof.,
E-mail: nadiialg@gmail.com;
I. Galius[2], research engineer,
E-mail: 2014gis96@gmail.com;
V. Zatserkovnyi[3], Dr. Sci. (Tech.), Prof.,
Head of Department Geoinformatics,
E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;
B. Denysiuk[1], Senior Lecturer,
E-mail: gis-knuba@ukr.net;
Nataliia Shudra[1], Senior Lecturer,
E-mail: shudra_n@ukr.net;
[1]Kyiv National University of Construction and Architecture, 31 Povitroflotsky Ave, 03037, Kyiv, Ukraine;
[2]Private Joint Stock Company "Scientific and manufacturing Complex "Kurs", 9 Boryspilska, Kyiv, 02099, Ukraine;
[3]Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

SPECIFICITIES OF THE CREATION OF GEOINFORMATION MAINTENANCE OF THE TERRITORY OF CHORNOBYL RADIATION AND ECOLOGICAL BIOSPHERE RESERVEFOR GEOINFORMATION MONITORING CONDUCTION

The state and prospects of application of geoinformation systems (GIS) to solve monitoring tasks of nature protected territories of Ukraine are investigated. The results of the first in Ukraine project of geoinformation support of the territory of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve (CBR) for monitoring conduction is introduced; it is based on a geospatial database (SDB) of the reserve, which was created using an feature-oriented approach based on national standards of Ukraine DSTU 8774:2018 "Geographical information. Rules for geospatial data modeling" and DSTU ISO 19110: 2017 "Geographic information – Methodology for feature cataloging". An information and reference geoportal of the territory and facilities of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve has been created, which makes it possible to provide public access to the current monitoring information of the CBR based on the ArcGISOnline platform to a wide range of users. The use of the developed specialized algorithms of geoinformation analysis and modeling for monitoring of a radiation pollution condition of CBR is offered.

Peculiarities of geoinformation support of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve for GIS monitoring are as follows: keeping up-to-date and unifying different types and origins of data on a single digital topographic basis, ensuring the required level of interaction between different local government authorities, other enterprises and institutions which ensure the viability of the reserve.

Problems solved with the help of GIS CBR: creation and maintenance of up-to-date of the spatial data such as: (boundaries of the reserve, current state of use of the territory, natural landscapes, vegetation, distribution of rare and endangered species of flora, fauna, plant communities, functional zoning, afforestation of the reserve; location of historical, cultural and recreational areas features, ecological trails and tourist routes; fire-fighting landscaping, project plan); planning of nature reserve territory; organization of economically, socially and ecologically effective management of the reserve; development of measures for environmental monitoring; monitoring of the state of radiation pollution of the reserve territory; making management decisions, issuing data on hard media; design of tourist routes; designing possible consequences of catastrophes; providing geoinformation support during forest fire fighting; development of measures for the implementation of environmental, anti-erosion, landslide and fireworks, restoration of disturbed natural complexes; comprehensive assessment of the territory of the reserve, its economic use and reserves of natural resources, landscape diversity, historical and cultural sites, the state of engineering and transport infrastructure; conducting scientifically substantiated functional zoning of the reserve territory; development of proposals for the construction and reconstruction of facilities necessary to ensure the activities of the reserve.

Keywords: spatial database, GIS, geoinformation maintenance, geoinformation monitoring, Chornobyl radio-ecological reserve, geospatial database, GIS CBR, geoinformation analysis.

Н. Лазоренко-Гевель[1], канд. техн. наук, доц.,
E-mail: nadiialg@gmail.com;
И. Галиус[2], инженер-исследователь,
E-mail: 2014gis96@gmail.com;
В. Зацерковный[3], д-р техн. наук, проф.,
E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;
Б.Денисюк[1], ст. преподаватель,
E-mail: gis-knuba@ukr.net;
Н.Шудра[1], ст. преподаватель,
E-mail: shudra_n@ukr.net;
[1]Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина;
[2]ПрАТ "Научно-производственный комплекс "Курс", ул. Бориспольская, 9, г. Киев, 02099, Украина;
[3]Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Исследовано состояние и перспективы применения геоинформационных систем (ГИС) для решения мониторинговых задач природоохранных территорий Украины. Представлены результаты выполненного впервые в Украине проекта геоинформационного обеспечения территории Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника (ЧРЕБЗ) для ведения мониторинга, основой которого является база геопространственных данных (БГД) территории заповедника, созданная с применением объектно-ориентированного подхода на основе национальных стандартов Украины ДСТУ 8774: 2018 "Географическая информация. Правила моделирования геопространственных данных" и ДСТУ ISO 19110: 2017" Географическая информация. – Методология для каталогизации объектов".

Создан информационно-справочный геопортал территории и объектов Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника, который для широкого круга пользователей делает возможным предоставление публичного доступа к актуальной мониторинговой информации ЧРЕБЗ на основе платформы ArcGISOnline. Предложено использование разработанных специализированных алгоритмов геоинформационного анализа и моделирования для мониторинга состояния радиационного загрязнения ЧРЕБЗ.

Особенностями геоинформационного обеспечения территории Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника для ведения ГИС мониторинга являются: поддержание в актуальном состоянии и унификация различных по типу и происхождению данных на единой цифровой топографической основе, обеспечение нужного уровня взаимодействия различных подразделений органов местного управления, других предприятий и учреждений, которые обеспечивают жизнедеятельность заповедника.

С помощью ГИС ЧРЕБЗ решены задачи создания и поддержания в актуальном состоянии геопространственных данных, таких как: границы заповедника; современное состояние использования территории; природные ландшафты; растительный покров; места распространения редких и исчезающих видов флоры, фауны, растительных группировок; функциональное зонирование территории; лесонасаждения заповедника; размещение историко-культурных и рекреационных объектов, экологических троп и туристических маршрутов; противопожарное благоустройство территории; проектный план; а также планирование природно-заповедной территории; организация экономически, социально и экологически эффективного управления заповедником; разработка мероприятий для осуществления мониторинга окружающей среды; мониторинга состояния радиационного загрязнения территории заповедника; принятие управленческих решений, выдача данных на твердые носители; проектирование туристических маршрутов; проектирование возможных последствий катастроф; предоставление геоинформационной поддержки при ликвидации лесных пожаров; разработка мероприятий по осуществлению природоохранных, противоэрозионных, противооползневых и противопожарных работ, восстановление нарушенных природных комплексов; комплексная оценка территории заповедника, его хозяйственного использования и запасов природных ресурсов, ландшафтного разнообразия, историко-культурных объектов, состояния инженерно-транспортной инфраструктуры; научно обоснованного функционального зонирования территории заповедника; разработка предложений по строительству и реконструкции объектов, необходимых для обеспечения деятельности заповедника.

Ключевые слова: база геопространственных данных, ГИС, геоинформационное обеспечение, геоинформационный мониторинг, Чернобыльский радиационно-экологический биосферный заповедник, ГИС ЧРЕБЗ, геоинформационный анализ.