

<https://doi.org/10.15407/knit2020.06.075>

УДК: 502.4:528.9

Т. П. ФЕДОНЮК¹, старш. наук. співроб., д-р с.-г. наук,
кер. навч.-наук. центру екології та охорони навколишнього середовища
E-mail: tanyavasiluk2015@gmail.com

О. М. ГАЛУШЕНКО², директор

Т. В. МЕЛЬНИЧУК², заст. директора з наук. роботи та міжнародної співпраці

О. В. ЖУКОВ³, проф., д-р біол. наук

Д. О. ВИШНЕВСЬКИЙ², зав. наук. відділу

А. А. ЗИМАРОЄВА¹, доцент, канд. біол. наук

В. В. ГУРЕЛЯ¹, в. о. зав. кафедри геодезії та землеустрою, канд. с.-г. наук

¹ Поліський національний університет

бульвар Старий 7, Житомир, Україна, 10008

² Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник

вул. Толочина 28, смт. Іванків, Київська обл., Україна, 07201

вул. Преображенська 25, Київ, Україна, 03110

³ Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

вул. Гетьманська 20, Мелітополь, Україна, 72300

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ОСНОВНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ БІОЛОГІЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ (НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА)

Роботу присвячено обґрунтуванню концептуальної моделі застосування ГІС-технологій у діяльності об'єктів природно-заповідного фонду (на прикладі Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника).

Необхідність застосування ГІС-технологій у Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику зумовлена: великою площею об'єкту, складністю технічної обстановки (радіаційним забрудненням) та відсутністю єдиної бази даних за роки, що передували створенню заповідника. Тому створення геопорталу Заповідника є важливою передумовою проведення комплексного динамічного моніторингу стану території та біорізноманіття. Структурна схема створення та використання компонентів просторової бази даних заповідника складається із трьох блоків: блок наповнення даних (атрибутивна інформація), блок обробки отриманої інформації (шари наповнення) та блок використання інформації (картографічний матеріал). На даний час нами створено основу геопорталу Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, подальше наповнення якого передбачає налагоджений процес збору даних за основними запропонованими тематичними блоками: геологічна будова, рельєф, клімат, водні об'єкти, ґрунти, рослинний покрив, тваринний світ, землеустрій, екологія, ландшафтна структура. Геопортал є центральною платформою природно-географічної та пов'язаної із нею інформації, яка буде ключовим рушієм та підставою для обґрунтування управлінських рішень у сфері оцінки впливів на довкілля, при виділенні зон особливого контролю, окреслення масивів особливого наукового, охоронного чи іншого інтересу, планування об'єктів моніторингу, пробних ділянок, коридорів міграції об'єктів тваринного світу тощо.

Ключові слова: геопортал, ГІС-технології, Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, стратегія, концепція, природоохоронні об'єкти, біорізноманіття.

Цитування: Федонюк Т. П., Галушенко О. М., Мельничук Т. В., Жуков О. В., Вишневський Д. О., Зимароєва А. А., Гуреля В. В. Перспективи та основні аспекти застосування ГІС-технологій для моніторингу біологічного різноманіття (на прикладі Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника). *Космічна наука і технологія*. 2020. 26, № 6 (127). С. 75—93. <https://doi.org/10.15407/knit2020.06.075>

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Практики Європейського союзу та США передбачають широке залучення геоінформаційних технологій у заповідну справу [14, 23]. Обов'язкове використання геоінформаційних систем (ГІС) при розробці проектів створення нових об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) передбачене і законодавством України. Застосування геоінформаційного забезпечення значно підвищує ефективність територіального аналізу при встановленні меж нових об'єктів, здійсненні вилучення земель, розробці попереднього функціонального зонування території тощо. В Україні чинними нормативно-правовими документами не регламентовані прийоми впровадження геоінформаційних технологій у процес функціонування природоохоронних територій. Системи геоінформаційного забезпечення проектування, створення та подальшої діяльності природоохоронних територій потребують систематизації підходів та методик [2].

З загальних позицій зона відчуження є епіцентром аварії на ЧАЕС. Ця аварія визнається експертами як найбільша в історії ядерної енергетики. У межах зазначеної зони радіаційний вплив катастрофи на навколишнє середовище і людину досяг максимально небезпечних значень. Тому було проведено безпрецедентну за масштабами мирного часу евакуацію населення, згорнуто господарську діяльність, закрито промислові та сільськогосподарські підприємства. З території зони відчуження в межах України були евакуйовані мешканці 74 населених пунктів зокрема міста Прип'ять та Чорнобиль. Пізніше, після уточнення радіаційної обстановки, було розпочато поступове відселення жителів з населених пунктів, розташованих переважно на захід від зони відчуження – з зони безумовного (обов'язкового) відселення. Тут проведено повне виселення із 48, часткове – із 37 населених пунктів.

На території ЗВіЗБ(О)В виконуються такі завдання: виведення з експлуатації ЧАЕС, поводження з радіоактивними відходами, забезпечення бар'єрної функції ландшафтів у нерозповсюдженні радіонуклідів, підтримання території

у безпечному стані та забезпечення інфраструктури. Разом з тим вся антропогенна діяльність зосереджена на площі 5...10 % від загальної території Зони. На всій іншій території, після гострої фази ліквідації аварії (1986—1988 рр.), розпочалися процеси відтворення природних комплексів. З'явилося «вікно можливостей» використання цієї території для збереження та відновлення біорізноманіття, створення екосистемних послуг.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник був створений у 2016 році у межах зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВіЗБ(О)В). Площа ЗВіЗБ(О)В становить 2600 км², Заповідника – приблизно 2000 км².

Проблемою заповідника є фрагментарність інформації про особливості перетворення антропогенних ландшафтів у природні, адже з 1986 по 2016 рр. вся наукова діяльність була направлена переважно на дослідження радіаційної ситуації. Таким чином, застосування ГІС-технологій у нашому випадку зумовлене: великою площею об'єкта, складністю техногенної обстановки (радіаційне забруднення) та відсутністю єдиної бази даних за роки, що передували створенню заповідника.

Альтернативним шляхом відновлення першочергових даних є космічні знімки території, що були зроблені до аварії. У перспективі моніторинг біологічного різноманіття та стану екосистем на території заповідника надасть змогу відслідковувати екосистемні зміни у динаміці, якщо буде відбуватися фіксація, збереження та візуалізація просторово координованих даних та буде проводитися просторовий аналіз екологічних даних.

Використання ГІС-об'єктами природно-заповідного фонду відіграє важливу роль в упорядкуванні інформації у дослідженнях біологічного різноманіття та екологічного стану природоохоронних територій. Їхнє використання необхідне для вирішення проблем управління якістю навколишнього середовища. ГІС є потужним інструментом для автоматизації процесу моніторингу довкілля. Геоінформаційні системи відкривають нові перспективи для переходу наукових досліджень на новий рівень [35], коли будуть

поєднані модельні зображення території (цифрові відображення карт, схем, космічних та аерозображень) [24, 32] з інформаційними базами даних (наприклад, дані щодо біорізноманіття, ґрунтових умов, гідрологічної мережі щільності забруднення радіонуклідами, пожежонебезпечність лісів тощо) [22, 28]. Карти земного покриття відіграють важливу роль для осмислення динаміки екосистем та розв'язання багатьох задач моніторингу біологічного різноманіття [20, 35]. Дистанційне зондування поверхні Землі дозволяє адекватно вирішувати задачі аналізу кліматичних змін [21]. Імплементация геоінформаційних систем надає можливість збору, відслідковування, зберігання, аналізу та відображення географічних даних та дозволить приймати надскладні рішення щодо управління заповідником із врахуванням сукупності факторів та умов. Методи дистанційного зондування забезпечують постійний і систематичний моніторинг параметрів рослинного покриття та екосистем і відіграють все більшу роль в оцінці продуктивності рослинного покриття [22].

Нині геоінформаційні системи і технології широко впроваджуються та застосовуються у природоохоронній діяльності, вони значно змінюють можливості та характер наукової та дослідницької роботи, а також впливають на процеси прийняття виважених рішень в управлінні об'єктами природно-заповідного фонду (ПЗФ). Ефективність ГІС-технологій визначається вже під час проектування та обґрунтування актуальності й необхідності створення нових об'єктів природно-заповідного фонду, проведення зондування територій об'єктів заповідання. ГІС-технології дозволяють розв'язати низку проблем, які виникають під час моніторингу навколишнього середовища, раціональному використанні природних ресурсів, еколого-просвітницькій та виховній діяльності, формуванні баз даних, їхньому просторовому аналізу, а також під час організації екологічного, наукового та зеленого туризму в межах об'єктів природоохоронного значення. В основі геоінформаційних систем лежать просторові бази даних. Вони формуються на основі фундаментальних теоретико-методичних та технологічних положень, які більш детально

описуються у багатьох наукових працях [4, 18, 25, 36].

МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ОПРАЦЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Враховуючи загальні підходи до формування геоінформаційних систем та їхніх просторових баз даних, суті задач, що ставляться до природоохоронних територій, а також управлінських потреб, просторові бази даних Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника створювали, спираючись на об'єктно-реляційні моделі даних та їхньої взаємодії. При цьому використовували ГІС-інструментарій ArcGis компанії ESRI. Імпорт та конвертацію атрибутивних і позиційних даних здійснювали в найбільш розповсюджених форматах *.shp, *.dxf, *.xls, *.tab та ін.

Мета даного дослідження – обґрунтувати концептуальну модель застосування ГІС-технологій у діяльності об'єктів природозаповідного фонду (на прикладі Чорнобильського заповідника).

Для вирішення завдань застосування ГІС-технологій для біологічного моніторингу біологічного різноманіття із застосуванням даних дистанційного зондування поверхні Землі використано матеріали з набору інструментів Operational Land Imager (OLI) та Thermal Infrared Sensor (TIRS) (таблиця), установлених на супутнику «Landsat-8» (Geological Survey (U.S.)). Продукти обробки супутникової інформації, використані в даному дослідженні, розміщено на геопорталі геологічної служби США (United States Geological Survey) [2]. У попередніх своїх дослідженнях ми застосовували саме такий метод обробки даних при визначенні електричної провідності ґрунту в природному заповіднику «Дніпровсько-Орільський», який показав свою значну інформативність [33].

Для моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття заповідника ми використовували індекси, які є похідними від спектральних каналів сенсорів, встановлених на супутниках «Landsat-8» або «Sentinel-2» (ratio of spectral bands) [19]. У цілому, роздільна здатність спектральних каналів «Sentinel-2» вища, ніж у «Landsat-8». Але слід відзначити, що супутник

«Sentinel-2» працює на орбіті з 23 червня 2015 р. Тому якщо є необхідність отримати ретроспективну інформацію про екосистеми, є можливість користуватися інформацією з супутника «Landsat-8» чи більш ранніх супутників цієї серії. Для поточного моніторингу перевагу має інформація з супутника «Sentinel-2». Крім того, комбінуючи інформацію з обох джерел, можна отримати дані з кращим часовим розділенням, або є можливість отримати сцени без високого рівня хмарності. Використовувані індекси перелічено нижче.

1. Індекс аерозолів-узбережжя (aerosol/coastal) (AC-Index):
 $AC = (B1 - B2) / (B1 + B2)$ (для обох супутників).
2. Гідротермальний композит (*Hydrothermal Composite*), індекс окислів заліза (*Iron Oxide*) (Hydrothermal_Composite) [16, 29]:

$HC = B4 / B2$ (для обох супутників).

3. Глинисті мінерали (*Clay Minerals*) (Clay), а також простий індекс ріллі (*Simple tillage index* — STI) [16, 29]:

$STI = B6 / B7$ (для «Landsat-8»),

$STI = B11 / B12$ (для «Sentinel-2»).

Нормалізований диференціальний індекс ріллі (*Normalized Difference Tillage Index* — NDTI) [30], він же Індекс рослинності, враховує варіації біомаси та особливості типів рослинності (*Vegetation Index* — VI) [16] (правильний для обох супутників, STI розраховується за формулою для відповідного супутника):

$$NDTI = \frac{STI - 1}{STI + 1}$$

4. Нормалізований різницевий індекс рослинності (*Normalized Difference Vegetation Index* — NDVI) [16]:

Основні характеристики спектральних діапазонів сенсорів OLI та TIRS, встановлених на супутнику дистанційного зондування Землі «Landsat-8» та сенсора MSI супутника «Sentinel-2»

Спектральний канал	Довжина хвилі, мкм	Роздільна здатність, м	Спектральний канал	Довжина хвилі, мкм	Роздільна здатність, м
«Landsat-8»			«Sentinel-2»		
Operational Land Imager (OLI)			MultiSpectral Instrument (MSI)		
Band 1 (узбережжя та аерозолі, coastal /aerosol)	0.43...0.45	30	B1 (blue)	0.43...0.45	60
Band 2 (синій, blue)	0.45...0.52	30	B2 (blue)	0.46...0.52	10
Band 3 (зелений, green)	0.52...0.60	30	B3 (green)	0.54...0.58	10
Band 4 (червоний, red)	0.63...0.68	30	B4 (red)	0.65...0.68	10
			B5 (red edge)	0.70...0.71	20
			B6 (red edge)	0.73...0.75	20
			B7 (red edge)	0.77...0.79	20
			B8 (NIR)	0.78...0.90	10
Band 5 (ближній інфрачервоний, NIR)	0.84...0.87	30	B8a (NIR)	0.86...0.88	20
			B9 (water vapor)	0.93...0.95	60
Band 6 (ближній інфрачервоний, SWIR1)	1.56...1.66	30	B11 (SWIR1)	1.57...1.66	20
Band 7 (ближній інфрачервоний, SWIR2)	2.10...2.30	30	B12 (SWIR2)	2.10...2.28	20
Band 8 (панхроматичний, PAN)	0.50...0.68	15			
Band 9 (перисті хмари, cirrus)	1.36...1.38	30	B10 (cirrus)	1.37...1.39	60
Thermal Infrared Sensor (TIRS)					
10 (дальній інфрачервоний, TIR1)	10.3...11.3	100			
11 (дальній інфрачервоний, TIR2)	11.5...12.5	100			

$NDVI = (B5 - B4)/(B5 + B4)$ (для «Landsat-8»),
 $NDVI = (B8 - B4)/(B8 + B4)$ (для «Sentinel-2»).

5. Модифікований нормалізований різнице-вий водний індекс — чутливий до вмісту води в зеленій біомасі (*Modified Normalized Difference Water index — MNDW*) [31]:

$$MNDW = (B3 - B6)/(B3 + B6)$$

(для «Landsat-8»),

$$MNDW = (B3 - B11)/(B3 + B11)$$

(для «Sentinel-2»).

6. Індекс вологості поверхні Землі (*Land Surface Water Index, Normalized Difference Infrared Index — LSWI*) [13]:

$$LSWI = (B5 - B6)/(B5 + B6)$$
 (для «Landsat-8»),

$$LSWI = (B8a - B11)/(B8a + B11)$$

(для «Sentinel-2»).

7. Нормалізоване відношення пожеж (*Normalized Burn Ratio — NBR*) [5]:

$$NBR = (B5 - B7)/(B5 + B7)$$
 (для «Landsat-8»),

$$NBR = (B8a - B12)/(B8a + B12)$$

(для «Sentinel-2»).

8. Індекс M15 чутливий до технології обробі-ку ґрунту та може розглядатися як один з варі-антів індексів ріллі [30]:

$$M15 = (B2 - B6)/(B2 + B6)$$
 (для «Landsat-8»),

$$M15 = (B2 - B11)/(B2 + B11)$$

(для «Sentinel-2»).

Залежно від науково-практичних завдань ми можемо досліджувати або часові ряди даних на основі одного з індексів, який нас цікавить. Наприклад, в останній період часу набула особливої важності проблема пожеж. Аналіз часової динаміки нормалізованого індексу пожеж може бути основою для встановлення площ екосис-тем, які зазнали впливу пірогенного фактора та здійснювати моніторинг динаміки відновлення екосистем після пожеж. Особливе значення має багатовимірний статистичний аналіз комплексу індексів на одну дату. Наприклад, аналіз голов-них складових сукупності представлених індек-сів на дату, яка відповідає найбільшій вегета-ційній активності рослинного покриву, надасть відомості про різноманіття оселищ та про стан біотичного потенціалу. У кінцевому рахунку тензорний аналіз динаміки сукупності індексів у часі є інструментом дослідження комплексної динаміки еколого-ландшафтних систем.



Рис. 1. Структурна схема створення та використання компонентів ПБД Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника

Процес створення просторових баз даних передбачає низку послідовних процесів, серед яких доцільно підкреслити такі: визначення ГІС-інструментів для формування та використання майбутніх просторових баз, послідовності усіх маніпуляцій з даними та власне структури майбутньої бази даних. Функціональність елементів просторових баз даних Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника ґрунтується на взаємодії усіх компонентів баз даних та інструментарію щодо управління ними. Тіло геопорталу Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника спрямоване на використання просторових баз даних у інформаційній мережі, містить категорійну та атрибутивну просторову інформацію, блок обробки даних, а також інтерфейси розробників та користувачів.

Категорійна складова баз даних повинна складатися із опорних цифрових карт, які окреслюють загальну просторову інформацію у вигляді растрових топографічних карт території Заповідника та карт зонування природоохоронної території. Додаткові тематичні шари до загальної ПБД або оцифровуються з допоміжних карт, або сформовані на основі відомостей щодо місцезнаходження та властивостей відповідних об'єктів [12] (рис. 1).

Атрибутивна складова просторових баз даних Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника містить сукупність кількісних і якісних параметрів об'єктів досліджень у вигляді логічно скомпонованих показ-

ників, поєднаних з позиційною інформацією. При формуванні ГІС задля вирішення проблем екологічного та природоохоронного характеру застосовується комплексний підхід до територіальної оцінки стану навколишнього середовища та динаміки екологічних процесів. Такий підхід опирається на використання екологічного зонування території заповідника. Ідея цього підходу є у оцінці тенденції змін стану навколишнього середовища заповідника через аналіз змін розмірів екологічних зон. За визначенням екологічна зона – це частина території, на якій індекси стану навколишнього середовища знаходяться у певних однорідних межах.

Важливими елементами, пов'язаними з оцінкою стану довкілля за допомогою екологічних зон, є:

1) створення цифрової моделі, що враховує стан повітря, водних об'єктів, ґрунтового покриву та біотопу;

2) розробка комплексного показника стану навколишнього середовища у межах екологічної зони, який може бути розрахований для довільного числа параметрів стану навколишнього середовища. На їхній основі будуть визначатися екологічні зони;

3) створення ГІС для оцінки і аналізу екологічного стану досліджуваних територій.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Усвідомлюючи потребу уніфікації власної інфраструктури просторових даних, Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник ініціював розробку Інфраструктури просторової інформації. Цілі даної ініціативи – зробити геопросторові дані більш доступними для їхнього широкого використання за допомогою вироблення стратегії та тактики їхнього формування, підтримки та візуалізації для широкого загалу стейкхолдерів.

У Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику вже накопичилися великі обсяги даних, а їхня сумісність і спільне використання далеко не завжди відповідає потребам сучасності, що фактично знижує цінність накопичених даних, призводить до періодичного дублювання і невпорядкованості ізольованих

один від одного масивів просторових даних. Деякі матеріали потребують цифрової обробки, щоб надати можливість їх використовувати. Наразі метою процесу приєднання до системи «opendata» є поєднання усіх наявних просторових даних у єдину узгоджену інфраструктуру, базу інформації та знань.

Для забезпечення ефективного адміністративного менеджменту заповідника є потреба у збиранні та аналізі адміністративної інформації. До цієї складової належать внутрішні розподіли працівників по секторах/ділянках та здійснюється контроль ефективності такого розподілу. За результатами оцінки інтенсивності виникнення подій та явищ на тих чи інших ділянках приймаються рішення до перерозподілу фахівців по території Заповідника. Прикладом таких рішень може бути посилення контролю незаконного перетину межі заповідника там, де це найчастіше відбувається. Аналіз таких подій може визначити сезонність, причини, територіальну належність тощо.

Наукова діяльність – найбільший сегмент ГІС, оскільки це практично пов'язано з метою створення заповідника й умовами його місцезнаходження. Цей сектор має бути найбільш упорядкований та охоплювати збір повного спектру інформації. Збір інформації не обов'язково має супроводжуватись актуальністю чи обґрунтованою потребою, оскільки ці чинники можуть виникнути пізніше, а історично відновлювати дані досить складно, тому створення банку даних повинні обмежуватись лише можливостями самого збору. Особливо це актуально для новоствореної заповідної території, де незважаючи на три десятиліття, що минули з часу аварії на ЧАЕС, ще можна відновити інформацію про доаварійні стани природних та антропогенно трансформованих територій. Оскільки особливістю Заповідника є радіоактивне забруднення, одним із найважливіших аспектів ГІС повинен бути присвячений саме збору інформації про щільність забруднення території радіонуклідами, їхньої питомої активності в біотопі. Це дасть можливість моніторити стан забруднення в часі. Також ця інформація необхідна для організації роботи в зоні радіоактивного забруднення, щоб



Рис. 2. Основні джерела та принципи функціонування геосистеми Чорнобильського радіаційно-екологічного заповідника

не допустити тривалого перебування робітників в зоні з великим рівнем експозиційного випромінювання.

Діяльність Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника пов'язана з вирішенням низки задач екологічного характеру, що зумовлює накопичення різноманітної інформації, яка може мати як кількісні, так і якісні вирази, формування ГІС дозволить оптимальним способом проаналізувати та візуалізувати дані щодо просторово-розподіленої інформації (рис. 2).

Під час формування геоінформаційної системи Чорнобильського радіаційно-екологічного заповідника для забезпечення розв'язання екологічних задач має застосовуватися інтегрований підхід регіональної оцінки якості навколишнього середовища. Основою такого підходу є виділення особливих зон — масивів, які відрізняються один від одного своїм комплексом показників абіогенних, біогенних та антропогенних факторів.

Вони можуть бути представлені у вигляді пробних ділянок чи інших ділянок спостережень та використовуватися для проведення регуляр-

них чи тимчасових спостережень та обліків. Окрім цього, комплексна оцінка окремих масивів дозволить виявити зони особливої небезпеки, а спостереження динаміки цих зон дозволить виявляти позитивні або негативні тенденції у загальній стратегії управління заповідною територією. Виокремлення масивів та зон особливої небезпеки повинні базуватися на оцінці комплексу даних про стан довкілля. В ідеалі якість довкілля повинна бути оцінена за допомогою інтегрованих індексів забруднення чи впливу на довкілля, який має враховувати якомога більше факторів. За інтегрований індекс пропонується розрахунок математичної моделі із врахуванням найбільш важливих природніх особливостей об'єкта, експериментальних масивів даних у своєму початковому стані або з попередньою статистичною обробкою, класифікацією або кластеризацією, відобразити певну динаміку у часі і просторі, та дозволити за допомогою імітації процесів та прогнозування чітко розуміти можливі варіанти розвитку біосистем.

Геоінформаційна система Заповідника повинна передбачати такі **базові принципи**: система повинна будуватися на основі єдиної ГІС-

оболонки — найбільш прийнятною наразі є оболонка ArcGis як ключових посередників у імплементації положень Директиви INSPIRE в Україні; для усіх шарів має використовуватися єдина система координат; створення базового шару — первинної ландшафтної карти, на базі якої будуть створюватися, оцінюватися та аналізуватися усі інші дані.

Запропонований нижче перелік картографічних матеріалів має основну цільову функцію — зонування території Заповідника із врахуванням низки природно-кліматичних та антропогенних чинників з метою подальшої її оптимізації. Загальна структура просторових баз даних Заповідника має бути орієнтована на певний заданий набір тематичних цифрових карт з їхніми шарами, розподілених за відповідними тематичними блоками.

✓ **Геологічна будова** — до даного блоку слід віднести створення шарів щодо залягання гірських порід, а саме їхні назви, генезис та вікові параметри, четвертинних відкладів, а саме їхній генезис та потужність. Обов'язковим для даного етапу є створення шару гідротермального композиту, що позначає глинисті відкладення і гірські породи, багаті на глину, а також створює передумови для створення та аналізу інших тематичних шарів, наприклад для визначення вологості в орних землях і рослинності та, відповідно, використовується для вивчення продуктивності біогеоценозів (рис. 3).

✓ **Рельєф території** — найоптимальнішим варіантом буде створення цифрової моделі рельєфу території заповідника та прилеглих територій, тобто дискретне, комп'ютерне представлення об'єктів рельєфу у вигляді масиву точок з відомими планіметричними координатами і висотами точок земної поверхні. За її допомогою можливою стане апроксимація рельєфу з урахуванням його природних характеристик і умов, а також зв'язків між об'єктами, розташованими на земній поверхні, побудова профілів, визначення вододілів та ліній стоку, вибір оптимальних трас доріг, каналів, меліоративних мереж, інших лінійних об'єктів, виділенням басейнів водозборів, визначення обсягів земляних робіт, отримання даних про зсувні, ерозійні та дефор-

маційні процеси, визначення площ затоплених та підтоплюваних земель, що є сферою гідрологічних досліджень. Програмне забезпечення GIS може використовувати цифрові моделі висот для візуалізації тривимірної поверхні, визначення всіх можливих особливостей місцевості, прогнозування безпечності будь-якого будівництва, генерування контурів та проведення аналізу видимості (у т. ч. радіовидимості) (рис. 4). Окремо слід запланувати створення карти індексів топографічного положення, що дозволить виявляти ухили поверхні, експозицій, форми поверхонь схилів тощо.

✓ **Клімат** — у даному блоці передбачена побудова картографічного матеріалу та відслідкування даних у динаміці щодо топографічного індексу вологості прямої та розсіяної інсоляції, індексів аерозолів-узбереж (рис. 5), атмосферного тиску, температури повітря, ґрунту, параметрів атмосферних опадів, висоти та запасів води у сніговому покриві, швидкості, повторюваності та напрямів вітрів тощо.

✓ **Водні об'єкти** — у даному блоці слід висвітлити дані висот над русловою мережею, що фактично, є надійним маркером рівня ґрунтових вод і може бути використано для картографії ґрунтів, а також розподіл водних об'єктів на земній поверхні, а саме різномасштабні індекси гребенів височин і тальвегів, стік, витрати води, показники води тощо.

✓ **Ґрунти** — у даному блоці слід створити шари, що показуватимуть типи ґрунтів, їхній фізико-хімічний склад, рН, індекси вологості поверхні Землі, фактори ерозії тощо. Доцільним буде побудова карти індексів балансу геомаси, яка розкриває топографічні передумови до руйнування та відкладення ґрунтів. Індекс балансу геомаси є значущим з точки зору прогнозування небезпечних схилових процесів (зсувів, обвалів, осипів) і оцінки їхнього впливу на об'єкти транспортної та інженерної інфраструктури (автомобільні і залізні дороги, мости тощо) (рис. 6).

✓ **Рослинний покрив** — за допомогою карт рослинності можна вирішувати низку інших задач, пов'язаних з пожежонебезпечністю, ерозією тощо. Знання про зв'язок структури і стану рослинності з її спектрально-відбивними здібнос-

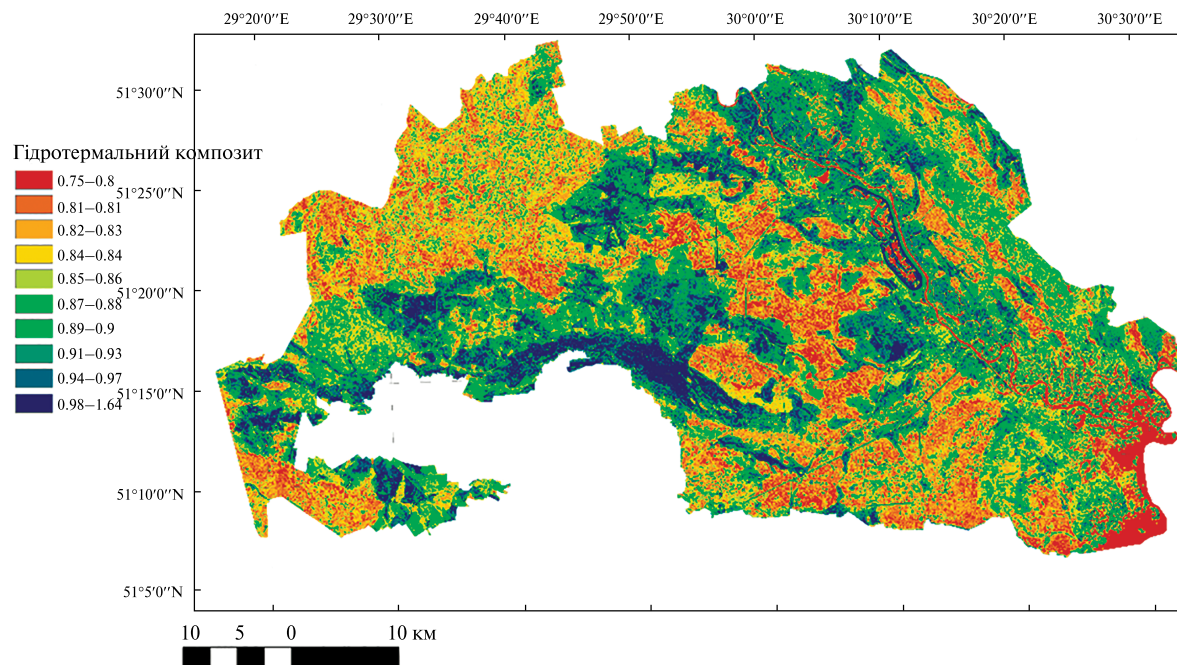


Рис. 3. Карта гідротермального композиту у межах Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника за даними супутника «Landsat-8» від 24 квітня 2019 р.

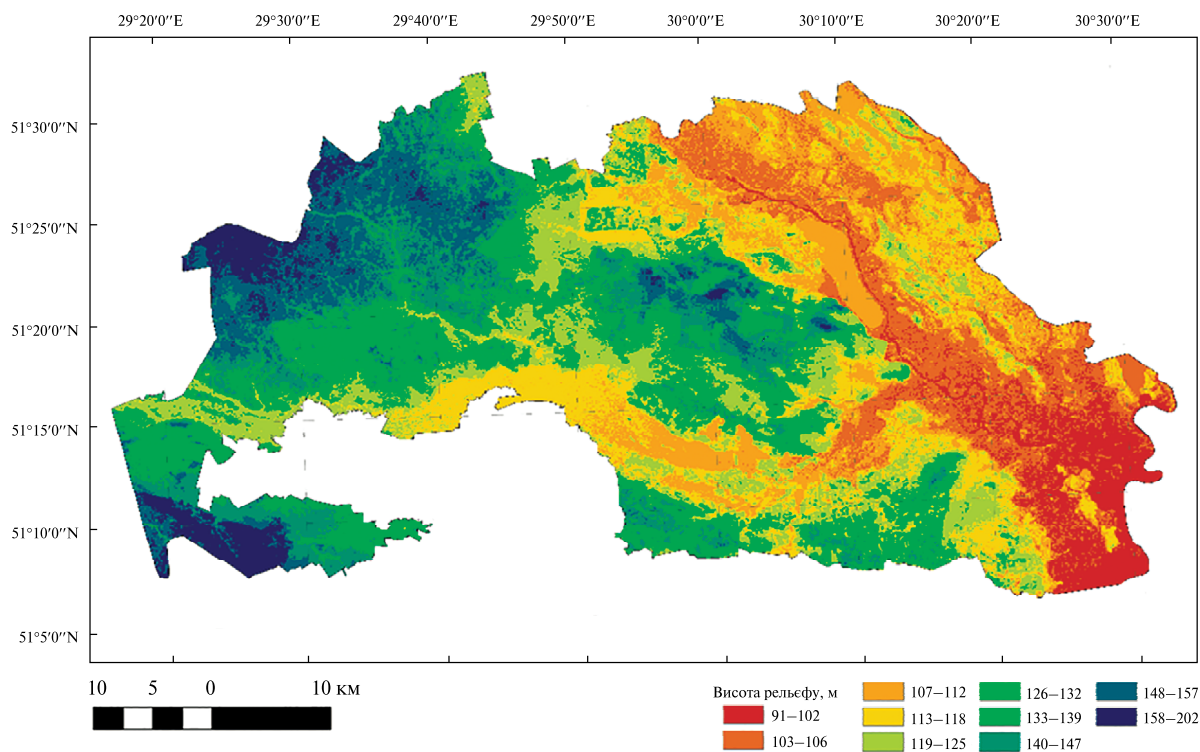


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу території Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника

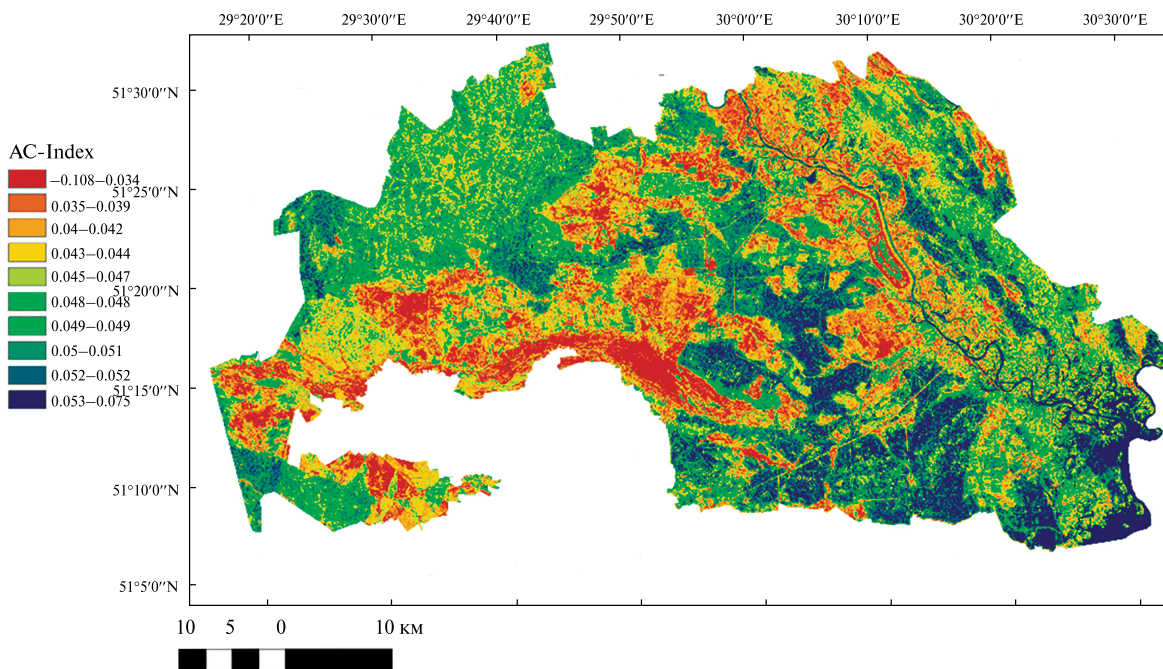


Рис. 5. Карта АС-індексу у межах Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника за даними супутника «Landsat-8» від 24 квітня 2019 р.

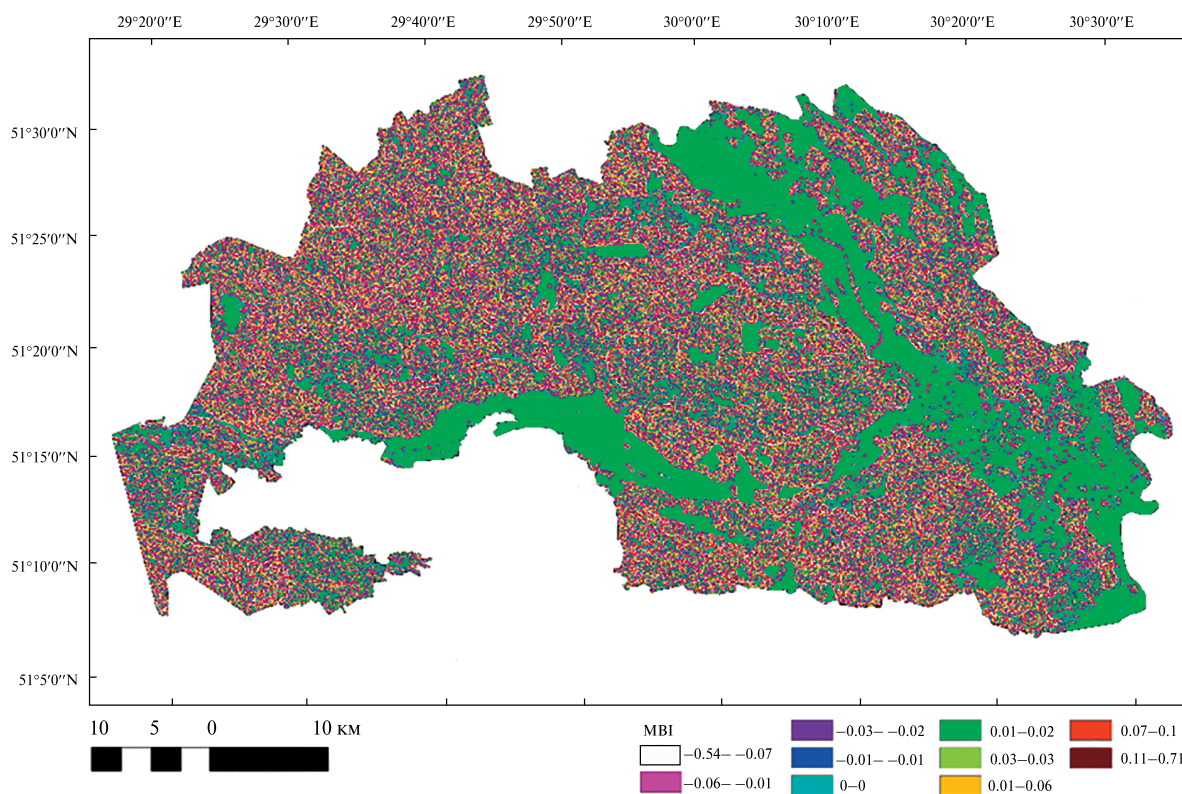


Рис. 6. Карта індексів балансу геомаси у межах Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника

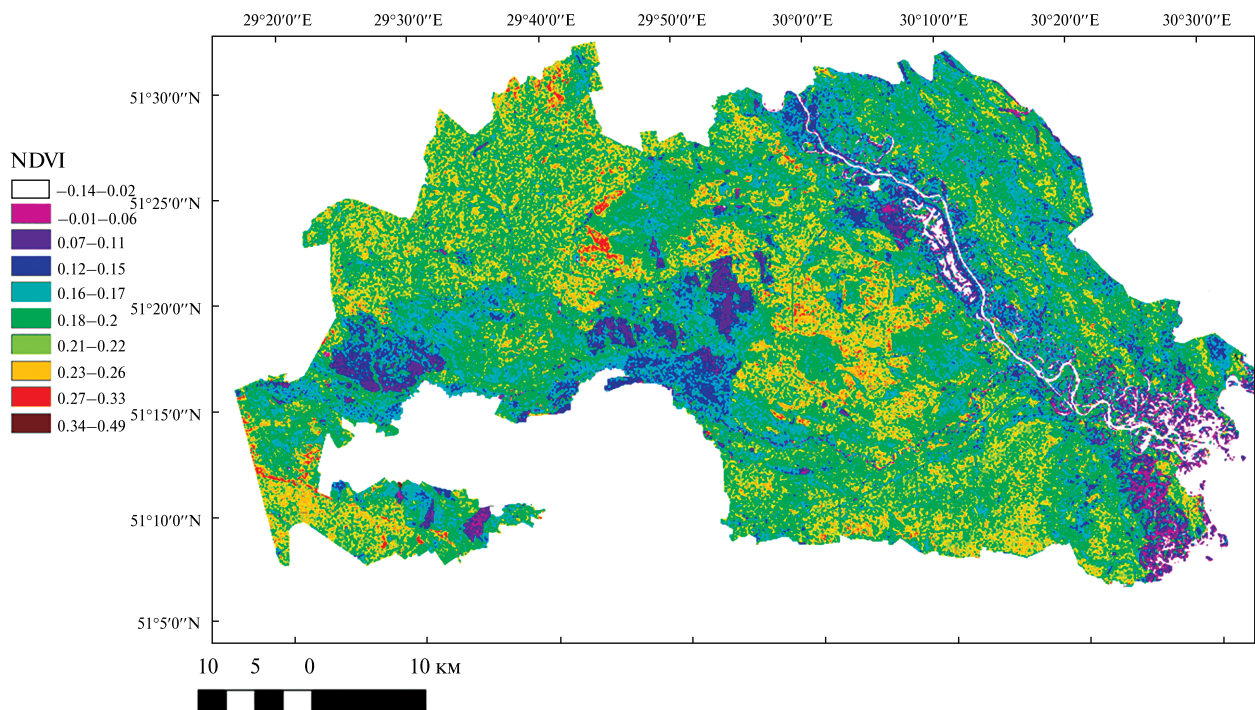


Рис. 7. Карта зеленого NDVI у межах Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника за даними супутника «Landsat-8» від 24 квітня 2019 р.

тями дозволяють використовувати супутникові та аерокосмічні знімки для картографування та ідентифікації типів рослинності і її стресового стану. Тому саме цей блок налічуватиме найбільшу кількість картографічного матеріалу. Даний блок відобразить сучасну рослинність, тобто окремі рослинні асоціації, поширення видів, ярусність, проективні покриття, санітарний стан. Доцільним є створення карт нормалізованого відношення пожеж та карту нормалізованого різницевого водного індексу, які дозволяють оцінювати вміст вологи у рослинному покриві та варіювання показників пожежонебезпеки при надмірній втраті вологи у надспекотні періоди. Доцільним є створення карт зеленого NDVI (рис. 7), карт індексу концентрації хлорофілу та ксантофілу, карт індексу рослинності, на основі яких визначають санітарний та екологічний стан рослинного покриву. Слід звернути увагу на створення карт, пов'язаних з лісистістю, а також умовами місцезростання, що формуються у лісах. Тут рекомендовано надати дані щодо трофотопів, гігротопів, породного та вікового скла-

ду насаджень тощо. Окрему категорію у даному блоці мають складати масиви даних про поширення видів рослин, що занесені до Червоної книги України та інших охоронюваних списків.

✓ **Тваринний світ** — у даному блоці слід надати дані щодо ареалів поширення диких видів тварин та птахів на території заповідника, а також окремо слід зазначити поширення видів тварин, занесених до Червоної книги України та Європейського Червоного списку.

✓ **Землеустрій** — у даному блоці слід надати усі дані щодо наявності дорожнього покриття, наявності забудови, меліоративних систем тощо.

✓ **Екологія** — у даному блоці слід надати дані щодо вмісту речовин токсичної та радіаційної дії у компонентах ландшафтів заповідника з чітким окресленням масивів особливо небезпечних ділянок. У цьому аспекті, зважаючи на радіоактивну специфіку ландшафтів, особливу увагу слід відвести пожежонебезпечності регіону.

Визначення небезпечних ділянок на основі супутникових даних та перерахунку їх в особливі індекси (в даному випадку NBR), який буду-

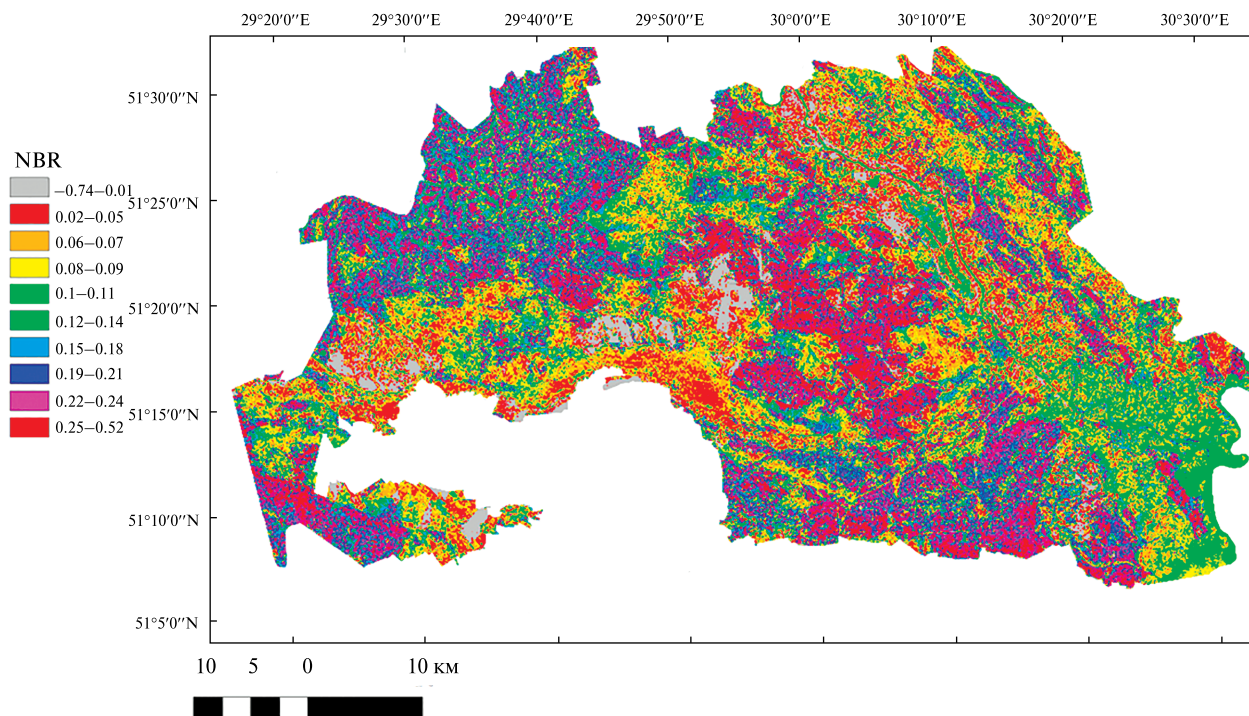


Рис. 8. Карта нормалізованого відношення пожеж (NBR-індексу) у межах Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника за даними супутника «Landsat-8» від 24 квітня 2019 р.

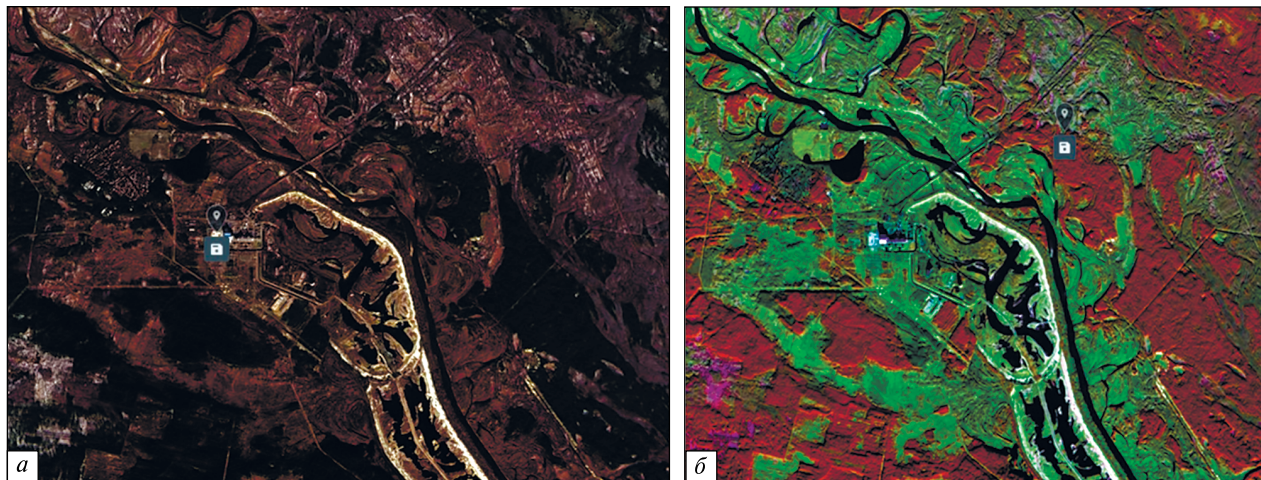


Рис. 9. Космічні знімки Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника: а — ландшафтна карта, отримана з супутника «Sentinel-2», б — отримане шляхом мультиспектральної обробки співвідношення суходіл-вода

ється на основі низки факторів, що включають запаси вологи, характер рослинного покриву та низку інших показників. Це дозволяє моніторити виникнення ділянок з підвищеною пожежо-небезпечністю (рис. 8).

✓ **Ландшафти та їхній просторовий розподіл** — на основі усіх вказаних вище блоків слід визначити просторову структуру типів ландшафтів заповідника. Враховуючи різноманіття ландшафтів, доцільно розмежувати територію запо-

відника із виділенням зон особливого наукового інтересу та посиленої охорони.

Отже, використання ГІС-технологій при аналізі та удосконаленні функціонування природоохоронних територій є необхідною реалією сучасності з огляду на інформаційно-технологічний прогрес.

ГІС об'єктів природно-заповідного фонду з адекватними просторовими базами даних передбачає поєднання природоохоронної, наукової та освітньої діяльності в єдиний інформаційний простір, що дає можливість швидкого аналізу, прогнозування, порівняння тощо при вирішенні певних оптимізаційних завдань.

Застосування ПБД Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника повинне бути спрямоване на:

- підтримку концепції сталого розвитку регіону,
- упорядкування територіального розвитку природоохоронної території,
- вирішення завдань з ефективного функціонування заповідника,
- проведення подальших моніторингових досліджень,
- збереження генофонду флори та фауни,
- здійснення екологічної просвітницько-виховної роботи,
- аналіз антропогенного впливу на типові природні комплекси регіону тощо.

Вирішення даних питань повинно спиратися на більш детальний і глибокий геоінформаційний аналіз географічних особливостей та закономірностей розвитку і функціонування даного природного комплексу, адже Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник є не тільки центром збереження типових природних комплексів півночі України та важливим елементом місцевої та регіональної екологічної мережі, але й мережі державного та міжнародного значення.

Збір вихідних даних для створення геопорталу може відбуватися різними способами: від польових, стаціонарних чи напівстаціонарних методів до аналізу літератури, архівних даних, іншої науково-технічної інформації. Вагоме місце займають методи ГІС-аналізу та прогнозування,

а також дешифрування даних дистанційного зондування Землі. В останньому випадку мова йде про аеро- та космічні знімки, які можуть різнитися масштабом, спектральними каналами, а також методами обробки та аналізу їхньої інтерпретації. Інтеграція таких даних здійснюється шляхом використання геоінформаційних технологій та засобів цифрової картографії. Знімки з високою роздільною здатністю відкривають нові перспективи в аналізі даних, а відслідковування змін у динаміці створює умови для ведення моніторингу території на якісно новому рівні.

Для оптимальної роботи зі знімками ДЗЗ фахівці заповідника повинні оволодіти навичками визначення видів знімків ДЗЗ, використання програмного забезпечення для обробки даних ДЗЗ та основними принципами геоінформаційного картографування, а також оволодіти методами збору та обробки космознімків і географічної інформації.

При формуванні геопорталу заповідника повинні враховуватися такі критерії: знімки повинні бути середньої або високої роздільної здатності, оптимальна смуга знімання — від 10 до 60 км, володіти мультиспектральністю та оновлюватися щорічно, щоквартально або щомісячно для відслідковування динаміки певних показників у часі. Усі ці умови забезпечують знімки, що отримуються з супутників IRS 1C, «Sentinel-2», «Landsat-5», «Landsat-7», TERRA (ASTER), наявні у вільному доступі у інтернеті (рис. 9).

Наступним етапом роботи з даними буде дешифрування матеріалів ДЗЗ, яке у більшості випадків здійснюється шляхом напівавтоматичного дешифрування, що робить можливим поєднання досвідченості фахівця та оперативності й точності автоматичної обробки знімка. Програмне забезпечення Leica Geosystems ERDAS IMAGINE дозволяє, завдяки розширеному пакету інструментарію, модифікувати, геометрично коригувати і картографувати растрові зображення аеро- та космічних знімків. Однак слід зазначити, що обробка даних невеликих обсягів можлива при використанні машинно-візуальних методів.

На останньому етапі обробки даних слід здійснювати векторизацію матеріалів, після чого

їх вносять у відповідну базу даних у відповідності до створеної на першому етапі класифікації. Тобто, результатом роботи на цьому етапі можуть бути цифрові карти (моделі) рельєфу, карти гідрологічної мережі, сучасного рослинного покриву тощо. Одночасно не уточнений лишаються питання формату подачі цих даних, адже може мати місце неузгодженість меж різногалузевих карт та матеріалів, наданих різними організаціями та структурами, коригування таких даних призводитиме до похибок та нестиківок [8]. Сама ж векторизація необхідних даних також вимагає значних витрат часу [10]. Саме тому на даному етапі достатнім є створення цифрової моделі рельєфу, автоматизована інтерпретація даних яких забезпечує надійний аналіз морфологічної структури [9]. За таких умов дані, що супроводжують цифрову модель рельєфу, тобто фонові матеріали щодо геологічної структури, четвертинних відкладів та рослинного покриву під час підготовки до створення геопорталу можуть використовуватися у вигляді растрів [3].

Створення «тіла геопорталу» передбачає укладання контурів базового ландшафтного шару, ландшафтних виділів та створення легенди. Аналіз науково-технічної інформації показує високу ефективність та інформативність використання генетико-морфологічного підходу у розподілі природних компонентів та розподілі ландшафтно-територіальної структури. Генетико-морфологічний підхід прийнятний при необхідності інтеграції природно-географічних даних, моделюванні структури ландшафтів тощо. Інтегрована ландшафтна карта, згенерована за допомогою генетико-морфологічного підходу, буде включати базові дані про природні умови ландшафту. Ландшафтне картографування доцільно доповнювати інноваційними підходами з використанням ГІС-технологій [1, 6, 7, 11].

Усе вищезазначене свідчить про неузгодженість прийомів щодо вибору принципів, напрямів та прийомів, які можуть бути використані при організації інфраструктури просторових даних заповідних територій. Немає критеріїв, що визначають детальність та об'єми інформації, які повинні бути ключовими у прийнятті важливих управлінських рішень на усіх рівнях.

Більш деталізовані геоінформаційні системи доцільно створювати для локальних територіальних громад, більш узагальнені — для крупніших територіальних одиниць при плануванні та використанні територій районів або областей та вирішенні їхніх стратегічних завдань [5, 15]. Ландшафтні масиви певного рангу слід укласти в одному шарі у вигляді зімкнутих полігонів, а атрибутивні таблиці доцільно укомплектовувати даними про особливості компонентів ландшафтів, ступенів антропогенної трансформованості, інформацією про фізико-хімічні показники ґрунтів, води тощо.

У структурі геопорталу кожен компонент володіє певним набором атрибутивних даних, які, як і будь-які інші дані, можна аналізувати, оцінювати та створювати на їхній базі прогнози. Прикладом такої оцінки можуть бути карти забруднення території та зв'язок їх із типом або структурою ґрунту, і як наслідок оцінка імовірності їхньої міграції у ландшафті, оцінка токсичності ґрунтів, розкриття топографічних передумов до руйнування та вимивання ґрунтів, що є значущим з точки зору прогнозування небезпечних схилових процесів (зсуви, обвали, осипи) і оцінки їхнього впливу на об'єкти транспортної та інженерної інфраструктури, а також при прогнозуванні ерозійних процесів.

Після завершення усіх попередніх кроків формування геопорталу, слід перейти до підготовки його до використання потенційними стейкхолдерами. Серед основних завдань цього кроку слід окреслити узгодження та компонування тематичних векторних та растрових шарів; вибір способу візуалізації даних так, щоб презентаційний екземпляр був доступним та зрозумілим пересічному громадянину, підготовка до друку карт та пояснювальних записок, легенд до них тощо. Ключовою цільовою аудиторією цього етапу є виключно стейкхолдери порталу, web-ресурсу чи сторінки заповідника.

Імплементация панєвропейських директив в межах Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника та приєднання до системи «opendata» — нині одне із стратегічних завдань діяльності. Це передбачає кропітку роботу, що включатиме розробку метаданих, під-

готовку даних, мережевих сервісів, організацію алгоритмів збору інформації, етапи їхнього втілення, обмін даними та сервісами, а також моніторинг даних та підготовку кадрів.

Процес управління навколишнім середовищем є просторовою задачею. Складність її в тому, що її можна розглядати з двох ракурсів, а саме: прив'язка до конкретних координат, а також кількісні та якісні показники критеріїв стану довкілля. Обробка та аналіз даних щодо якості навколишнього середовища дедалі більше знаходять кількісний вираз та спираються на комплексні математичні підходи. Інтерпретація даних щодо якості навколишнього середовища у числові вирази створює умови для більш широкого діапазону маніпуляцій з ними та побудови надскладних просторових моделей та прогнозів щодо розвитку екологічних систем.

Управління навколишнім середовищем — за своєю суттю просторова задача, оскільки вихідну інформацію представлено у двох аспектах, а саме: географічна прив'язка та відповідний фізичний сенс характеристик якості довкілля. Протягом багатьох років проводились дослідження, спрямовані на формування матеріалу, який поєднував просторові і тематичні показники різних територій та накопичення цієї інформації на паперових носіях. Отже, геоінформаційні технології для природоохоронної діяльності — це потужний інструмент для створення і підтримки систем збору інформації, її зберігання, аналізу та ефективного прийняття рішень, спрямованих на оптимізацію управління якістю навколишнього середовища.

ВИСНОВОК

Створення геопорталу заповідника є необхідною передумовою проведення комплексного динамічного моніторингу стану території та біо-

різноманіття. Геоінформаційні методи покликані спростити взаємоузгодження даних, уникнення повторів та помилок при подачі даних, створювати умови для полегшеного аналізу та швидкої та зрозумілої візуалізації. Також ГІС-технології сьогодення дозволяють здійснювати низку маніпуляцій з даними, аналізувати, інтерпретувати, створювати прогнози, здійснювати 3D-моделювання тощо.

На даний час нами створено основу геопорталу Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, подальше наповнення якого передбачає налагоджений процес збору даних за основними запропонованими тематичними блоками: геологічна будова, рельєф, клімат, водні об'єкти, ґрунти, рослинний покрив, тваринний світ, землеустрій, екологія, ландшафти та зонування.

Створення геопорталу дозволить Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику долучитися до ініціатив «opendata», передбачених Директивою про INSPIRE Європейського Союзу, що полягає у забезпеченні усіх стейкхолдерів даними щодо природних умов та антропогенної трансформації ландшафтів на сучасному етапі та у динаміці, візуалізація цієї інформації у формі, зручній для аналізу, оцінки та прогнозування науково-технічним персоналом заповідника та користувачами поза його межами.

Сам же геопортал є центральною платформою природно-географічної та пов'язаної із нею інформації, яка буде ключовим рушієм та підставою для обґрунтування управлінських рішень у сфері оцінки впливів на довкілля, при виділенні функціональних зон, зон особливого контролю, окреслення масивів особливого наукового, охоронного чи іншого інтересу, планування об'єктів моніторингу, пробних ділянок, коридорів міграції об'єктів тваринного світу тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безверхнюк Т. Н. Методика постоения ландшафтних карт с использованием ГИС технологии. *Уч. зап. ТНУ*. 1999. **12**(51), № 1. С. 47—49.
2. Геопортал Геологічної служби США (United States Geological Survey). URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (дата звернення: 26.03.2020).
3. Голубцов О. Г., Путренко В. В., Чехній В. М., Фаріон Ю. М. Ландшафтна ГІС як результат ландшафтознавчого прикладного дослідження адміністративного району: методичні аспекти. *Географія та туризм*. 2010. **10**. С. 141—153.
4. Горбань І. М., Кошовий В. В., Альохіна О. В., Курсіш І. Й. Застосування ГІС та методів дистанційного зондування Землі для оцінки стану біорізноманіття водно-болотних угідь міжнародного значення. *Екологія водно-болотних угідь і торфовищ*: зб. наук. статей. Київ: ДІА, 2013. С. 48.
5. Гродзинський М. Д. *Основи ландшафтної екології*: Підручник. Київ: Либідь, 1993. 224 с.
6. Давидчук В. С., Сорокіна Л. Ю., Родіна В. В. Геоінформаційні технології у ландшафтному картографуванні. *Фіз. географія та геоморфологія*. 2005. Вип. 47. С. 24—30.
7. Загородня С. А. Геоінформаційні технології для екологічної оцінки природно-заповідних територій. *Екологічна безпека та природокористування*. 2016. № 3-4. С. 87—93.
8. Круглов І. Геоінформаційний аспект організації державного земельного кадастру України. *Budownictwo i Inzynieria Srodowiska (Rzeszów, Poland)*. 1998. **29**. С. 85—93.
9. Мкртчян А. С. Автоматизированное выделение ландшафтных единиц путем классификации рельефа с применением ГИС. *Ландшафтное планирование: общие основания, методология, технология*. 2006. **18**. С. 203—208.
10. Мкртчян О. С. *Ландшафтно-екологічні основи інтеграції даних в земельні інформаційні системи*: дис. ... канд. геогр. наук. Львів, 2006. 215 с.
11. Пересадько В. А., Сінна О. І., Вяткін К. В., Бодня О. В. Геоінформаційне забезпечення природоохоронних територій. *Пробл. безперервної географічної освіти і картографії*. 2012. **15**. С. 74—77.
12. Пласкальний В. В. Створення та використання елементів просторових баз даних Чорноморський біосферний заповідник. *Географія та туризм*. 2012. **18**. С. 316—322.
13. Chandrasekar K., Sesha Sai M. V. R., Roy P. S., Dwevedi R. S. Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *Int. J. Remote Sens.* 2010. **31**(15). P. 3987—4005. doi.org/10.1080/01431160802575653.
14. Corbane C., Lang S., Pipkins K., Alleaume S., Deshayes M., Millán V. E. G., Michael F. Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status—New opportunities and challenges. *Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinformation*. 2015. **37**. P. 7—16.
15. Finke L. *Landschaftsökologie*. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag GmbH, 1993. 232 p.
16. Jensen J. R. *Introductory Digital Image Processing. Englewood Cliffs*. New Jersey: Prentice-Hall, 1986.
17. Keeley J. E. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire*. 2009. **18**(1). P. 116—126.
18. Kunah O. M., Pakhomov O. Y., Zymarioieva A. A., Demchuk N. I., Skupskiy R. M., Bezuhla L. S., Vladyka Y. P. Agro-economic and agroecological aspects of spatial variation of rye (*Secale cereale*) yields within Polesia and the Forest-Steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*. 2018. **26**(4). P. 276—285. doi:10.15421/011842.
19. Kunah O. M., Papka O. S. Ecogeographical determinants of the ecological niche of the common milkweed (*Asclepias syriaca*) on the basis of indices of remote sensing of land images. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 2016. **24**(1). P. 78—86. doi: <https://doi.org/10.15421/011609>
20. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Basarab R., Yaylimov B., Lavreniuk M. S., Kolotii A., Yashchuk D. Retrospective regional level land cover map for Ukraine: methodology of development and results analysis. *Space Science and Technology*. 2015. **21**(3). P. 31—39.
21. Lyalko V. I., Kostyuchenko Yu. V., Artemenko I. G., Popadjuk L. M., Fedyna R. M., Voloshanenko A. S. Anuncertainty analysis in the climatic change estimation problem on regional level with the use of satellite observations of atmospheric concentration of greenhouse gases. *Space Science and Technology*. 2013. **19**(6). P. 18—26.
22. Movchan D. M.. Estimation of Ukrainian forest cover (Western Polissia) using remote sensing data. *Space Science and Technology*. 2013. **19**(4). P. 29—43.
23. Oláhová J., Vojtek M., Boltížiar M. Application of geoinformation technologies for the assessment of landscape structure using landscape-ecological indexes (case study of the Handlová landslide). *Tájökológiai Lapok*. 2013. **11**(2). P. 351—366.
24. O'Neill R. V., Riitters K. H., Wickham J. D., Jones K. B. Landscape pattern metrics and regional assessment. *Ecosystem health*. 1999. **5**(4). P. 225—233.

25. Rodríguez I., Montoya I., Sánchez M. J., Carreño F. Geographic information systems applied to integrated coastal zone management. *Geomorphology*. 2009. **107**(1-2). P. 100—105.
26. Romanchuk L. D., Fedonyuk T. P., Fedonyuk R. G. Model of influence of landscape vegetation on mass transfer processes. *Biosystems Diversity*. 2017. **25**(3). P. 203—209. doi:10.15421/011731.
27. Romanchuk L. D., Fedonuk T. P., Khant G. O. Radiomonitoring of plant products and soils of Polissia during the long-term period after the disaster at the Chornobyl Nuclear Power Plant. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. **8**(3). P. 444—454. doi.org/10.15421/021769.
28. Tomchenko O. V. Using remote sensing imagery and ground-based observations for integrated assessment of the Kyiv reservoir's ecosystem services on the basis of analytic hierarchy process. *Space Science and Technology*. 2014. **20**(5). P. 41—49.
29. Tucker C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sens. Environ.* 1979. **8**(2). P. 127—150. doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0.
30. Van Deventer A. P., Ward A. D., Gowda P. H., Lyon J. G. Using Thematic Mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogramm. Eng. and Remote Sens.* 1997. **63**. P. 87—93.
31. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* 2006. **27**(14). P. 3025—3033.
32. Zhukov A. V., Sirovatko V. O., Ponomarenko N. O. Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size. *Ukr. J. Ecology*. 2017. **7**(3). P. 14—31. doi: 10.15421/2017_45.
33. Zhukov O. V., Kunah O. M., Taran V. O., Lebedinska M. M. Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river Dnepr valley (territory of the natural reserve «Dniprovsko-orilsky»). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 2016. **6** (2). P. 129—157.
34. Zhukov O. V., Pelina T. O., Demchuk O. M., Demchuk N. I., Koberniuk S. O. Agroecological and agro-economic aspects of the grain and grain legumes (pulses) yield dynamic within the Dnipropetrovsk region (period 1966—2016). *Biosystems Diversity*. 2018. **26**(2). P. 170—176. doi:10.15421/011826
35. Zhukov O. V., Ponomarenko S. V. Spatial-temporal dynamics of sunflower yield – the ecological and agricultural approach. *Ukr. J. Ecology*. 2017. **7**(3). P. 186—207. doi: 10.15421/2017_68
36. Zhukov A. V., Sirovatko V. O., Ponomarenko N. O. Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size. *Ukr. J. Ecology*. 2017. **7**(3). P. 14—31. doi: 10.15421/2017_45

Стаття надійшла до редакції 02.04.2020

REFERENCES

1. Bezverkhnyuk T. N. (1999). A technique for constructing landscape maps using GIS technology. *Scientific notes of TNU*, **12**(51), No. 1, 47—49 [in Russian].
2. United States Geological Survey. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (Last accessed 26.03.2020).
3. Golubtsov O. G., Putrenko V. V., Chekhniy V. M., Farion Yu. M. (2010). Landscape GIS as the result of landscape-based applied awareness of the administrative region: methodical aspects. *Geography and tourism*, **10**, 141—153 [in Ukrainian].
4. Gorban I. M., Koshov V. V., Alyokhina O. V., Kursish I. Y. (2013). Application of GIS and methods of remote sensing of the Earth to assess the state of biodiversity of wetlands of international importance. *Ecology of wetlands and peatlands: Coll. Science. articles*. Kyiv: DIA, 48 [in Ukrainian].
5. Grodzinsky M. D. (1993). Fundamentals of landscape ecology: Textbook. K.: Lybid, 224 p. [in Ukrainian].
6. Davidchuk V. S., Sorokina L. Yu., Rodina V. V. (2005). Geoinformation technologies in landscape mapping. *Physical geography and geomorphology*, № **47**, 24—30 [in Ukrainian].
7. Zagorodnya S. A. (2016). Geoinformation technologies for ecological assessment of nature reserves. *Ecological safety and nature management*. **3-4**, 87—93 [in Ukrainian].
8. Kruglov I. (1998). Geoinformation aspect of the organization of the state land cadastre of Ukraine. *Budownictwo i Inżynieria Srodowiska (Rzeszów, Poland)*. **29**, 85—93 [in Ukrainian].
9. Mkrtchyan A. S. (2006). Automated allocation of landscape units by relief classification using GIS. *Landscape planning: general bases, methodology, technology*. **18**, 203—208 [in Russian].
10. Mkrtchyan O. S. (2006). *Landscape-ecological bases of data integration into land information systems*: Thesis for cand. geogr. sciences. Lviv National University named after Ivan Franko [in Ukrainian].
11. Peresadko V. A., Sinna O. I., Vyatkin K. V., Bodnya O. V. (2012). Geoinformation support of protected areas. *Problems of continuing geographical education and cartography*. **15**, 74—77 [in Ukrainian].
12. Plaskalny V. V. (2012). Creation and use of elements of spatial databases Black Sea Biosphere Reserve. *Geography and tourism*. **18**, 316—322 [in Ukrainian].

13. Chandrasekar K., Sessa Sai M. V. R., Roy P. S., Dwevedi R. S. (2010). Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *Int. J. Remote Sensing*, **31**(15), 3987–4005. <https://doi.org/10.1080/01431160802575653>.
14. Corbane C., Lang S., Pipkins K., Alleaume S., Deshayes M., Millán V. E. G., Michael F. (2015). Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status—New opportunities and challenges. *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, **37**, 7–16.
15. Finke L. (1993). *Landscape ecology*. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag GmbH.
16. Jensen J. R. (1986). *Introductory Digital Image Processing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
17. Keeley J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire*, **18**(1), 116–126.
18. Kunah O. M., Pakhomov O. Y., Zymarioieva A. A., Demchuk N. I., Skupskiy R. M., Bezuhla L. S., Vladyka Y. P. (2018). Agroecological and agroecological aspects of spatial variation of rye (*Secale cereale*) yields within Polesia and the Forest-Steppe zone of Ukraine: The usage of geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*, **26**(4), 276–285. doi:10.15421/011842.
19. Kunah O. M., Papka O. S. (2016). Ecogeographical determinants of the ecological niche of the common milkweed (*Asclepias syriaca*) on the basis of indices of remote sensing of land images. *Visnyk of Dnipropetrovsk Univ. Biology, ecology*, **24**(1), 78–86. doi: <https://doi.org/10.15421/011609>.
20. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Basarab R., Yaylimov B., Lavreniuk M. S., Kolotii A., Yashchuk D. (2015). Retrospective regional level land cover map for Ukraine: methodology of development and results analysis. *Space Science and Technology*, **21**(3), 31–39.
21. Lyalko V. I., Kostyuchenko Yu. V., Artemenko I. G., Popadjuk L. M., Fedyna R. M., Voloshanenko A. S. (2013). Anuncertainty analysis in the climatic change estimation problem on regional level with the use of satellite observations of atmospheric concentration of greenhouse gases. *Space Science and Technology*, **19**(6), 18–26.
22. Movchan D. M. (2013). Estimation of Ukrainian forest cover (Western Polissia) using remote sensing data. *Space Science and Technology*, **19**(4), 29–43.
23. Oláhová J., Vojtek M., Boltížiar M. (2013). Application of geoinformation technologies for the assessment of landscape structure using landscape-ecological indexes (case study of the Handlová landslide). *Tájökológiai Lapok*, **11**(2), 351–366.
24. O'Neill R. V., Riitters K. H., Wickham J. D., Jones K. B. (1999). Landscape pattern metrics and regional assessment. *Ecosystem health*, **5**(4), 225–233.
25. Rodríguez I., Montoya I., Sánchez M. J., Carreño F. (2009). Geographic information systems applied to integrated coastal zone management. *Geomorphology*, **107**(1-2), 100–105.
26. Romanchuk L. D., Fedonyuk T. P., Fedonyuk R. G. (2017). Model of influence of landscape vegetation on mass transfer processes. *Biosystems Diversity*, **25**(3), 203–209. doi:10.15421/011731.
27. Romanchuk L. D., Fedonuk T. P., Khant G. O. (2017). Radiomonitoring of plant products and soils of Polissia during the long-term period after the disaster at the Chornobyl Nuclear Power Plant. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, **8**(3), 444–454. doi.org/10.15421/021769.
28. Tomchenko O. V. (2014). Using remote sensing imagery and ground-based observations for integrated assessment of the Kyiv reservoir's ecosystem services on the basis of analytic hierarchy process. *Space Science and Technology*, **20**(5), 41–49.
29. Tucker C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sens. Environ.*, **8**(2), 127–150. doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0.
30. Van Deventer A. P., Ward A. D., Gowda P. H., Lyon J. G. (1997). Using Thematic Mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogramm. Eng. and Remote Sens.*, **63**, 87–93.
31. Xu H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.*, **27**(14), 3025–3033.
32. Zhukov A. V., Sirovatko V. O., Ponomarenko N. O. (2017). Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size. *Ukr. J. Ecology*, **7**(3), 14–31. doi: 10.15421/2017_45.
33. Zhukov O. V., Kunah O. M., Taran V. O., Lebedinska M. M. (2016). Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river Dnepr valley (territory of the natural reserve «Dniprovsko-orilsky»). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelniitskiy Melitopol State Pedagogical University*, **6** (2), 129–157.
34. Zhukov O. V., Pelina T. O., Demchuk O. M., Demchuk N. I., Koberniuk S. O. (2018). Agroecological and agroecological aspects of the grain and grain legumes (pulses) yield dynamic within the Dnipropetrovsk region (period 1966–2016). *Biosystems Diversity*, **26**(2), 170–176. doi:10.15421/011826
35. Zhukov O. V., Ponomarenko S. V. (2017). Spatial-temporal dynamics of sunflower yield – the ecological and agricultural approach. *Ukr. J. Ecology*, **7**(3), 186–207. doi: 10.15421/2017_68.

36. Zymaroieva A., Zhukov O., Fedonyuk T., Pinkina T. (2020). The spatio-temporal trend of rapeseed yields in Ukraine as a marker of agro-economic factors influence. *Agronomy Res.*, **18**(S2), 1584–1596. doi: 10.15159/AR.20.119.

Received 02.04.2020

*T. P. Fedonyuk*¹, Dr. Sci. in Agricult. Sci., Professor, Head of Education and Research Center for Ecology and Environmental Protection of the Polissya National University
E-mail: tanyavasiluk2015@gmail.com

*O. M. Galushchenko*², Director of Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve

*T. V. Melnichuk*², Deputy Director for Science and International Cooperation of Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve

*O. V. Zhukov*³, Dr. Sci. in Biol., Professor in Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University

*D. O. Vishnevskiy*², Head of Scientific Department of Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve

*A. A. Zymaroieva*¹, Ph.D. in Biol., Associate Professor in the Department of Forestry of Polissya National University

*V. V. Hurelia*¹, Ph.D. in Agricult. Sci., Head of the Department of Geodesy and Land Management of Polissya National University

¹ Polissya National University

7 Staryi Blvd., Zhytomyr, 10008 Ukraine

² Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve

28 Tolochyna Str., village Ivankiv, Kyiv Region, 07201 Ukraine

25 Preobrazhenska Str., Kyiv, 03110 Ukraine

³ Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University

20 Hetmanska Str., Melitopol, 72300 Ukraine

PROSPECTS AND MAIN ASPECTS OF THE GIS-TECHNOLOGIES APPLICATION FOR MONITORING OF BIODIVERSITY (ON THE EXAMPLE OF THE CHORNOBYL RADIATION-ECOLOGICAL BIOSPHERE RESERVE)

We developed the conceptual model of the use of GIS technologies in the activity of natural reserve fund objects on the example of the Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve. The GIS technologies is highly demanded due to the large area of the object, the complexity of the technogenic environment (radiation pollution), and the lack of a single database for the years preceding the creation of the Reserve. Therefore, the creation of the Reserve's geoportal is an important prerequisite for integrated dynamic monitoring of the environment and biodiversity.

The functional diagram of the formation and usage of the Reserve spatial database components consists of three units. They are the unit of data filling (attribute information), the received information processing unit (filling layers), and the unit of information usage (cartographic material). At present, we have created the basis for the Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve geoportal. The further filling of the geoportal is provided by the established process of data collection in frameworks of the main proposed thematic blocks: geological structure, topography, climate, water bodies, soils, flora, fauna, ecology, and landscapes' diversity. The geoportal is the central platform of natural geographic and related information, which will be the key driver and the basis for management decisions in the field of environmental impact assessment, in the allocation of functional zones, zones of special control, delineation of areas of special scientific, security or other interest, planning of monitoring objects, test sites, wildlife migration corridors, etc.

Keywords: *geoportal, GIS technologies, Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve, strategy, concept, natural reserve, biodiversity.*