

О. Г. Тищенко, В. П. Ландін

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна

Зміни в об'єктах підстильної поверхні та рослинному покриві в зоні відчуження Чорнобильської АЕС за період 1986–2017 рр.

Ключові слова:

дані дистанційного зондування Землі, картографування, геосистемний аналіз даних, класифікація об'єктів підстильної поверхні та рослинності.

Наведено результати аналізу змін класів підстильної поверхні та рослинного покриву в зоні відчуження Чорнобильської АЕС за період 1986–2017 рр. після Чорнобильської аварії. Показано методи використання даних дистанційного зондування та інших картографічних джерел для створення цифрових картографічних матеріалів, що відображають сучасний стан об'єктів навколишнього середовища. Картографування проведено з використанням космічних знімків за різні проміжки часу. Показано просторову неоднорідність території зони відчуження Чорнобильської АЕС, яка поєднує ділянки підприємств основного й допоміжного циклів та природні об'єкти, що прямо або опосередковано змінилися під зовнішнім впливом.

Вступ

За час, що минув після Чорнобильської аварії, під впливом природних та антропогенних факторів відбулися значні зміни в об'єктах навколишнього середовища зони відчуження Чорнобильської АЕС (далі — ЧЗВ). Ці фактори стали чинниками змін у природокористуванні території та вплинули на характер процесів перерозподілу речовин у природних комплексах. Такі явища важливо виявляти і враховувати в оцінках радіоекологічної критичності території та впливу на формування рівнів радіоактивного забруднення в екосистемах 30-км зони Чорнобильської АЕС і прилеглих до неї територій. Формування високих рівнів забруднення рослинності в початковий післяаварійний період через надходження біологічно активних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr внаслідок випадання радіоактивного аерозолу з повітря, а через рік підвищення забруднення кореневим шляхом, особливо у критичних перезволожений органогенних ландшафтах, змінилося через п'ять років після аварії стабілізацією переходу радіо-

нуклідів з ґрунту в рослини [1]. Сьогодні процес забруднення ґрунтово-рослинного комплексу ЧЗВ продовжується за рахунок процесів перерозподілу, міграції та акумуляції радіонуклідів: на території пунктів захоронення, у місцях тимчасового збереження радіоактивних відходів, замкнених водоймах, ландшафтах, розміщених у низинних формах рельєфу поблизу цих об'єктів. Наукові аналітики відзначають, що мобільність ^{90}Sr у ґрунтово-рослинному комплексі у ближній зоні з часом зростає, а концентрація у ґрунтових водах навколо окремих місць збереження радіоактивних відходів збільшується. Відбувається накопичення ^{241}Am , що має високу рухливість та радіотоксичність [2, 3].

Основний винос радіонуклідів відбувається з поверхневими водами, особливо під час паводків та інтенсивних злив. Такі процеси спостерігалися в межах заплавлених ділянок річок та інших водойм [4]. Процеси переносу та перерозподілу радіоактивних речовин у повітрі ЧЗВ мають в основному локальне значення, за винятком випадків пожеж, що охоплюють велику площу.

© О. Г. Тищенко, В. П. Ландін 2020

Метою роботи є дослідження змін в об'єктах навколишнього середовища, що відбулися в ЧЗВ за післяаварійний період (1986–2017 рр.) та визначення просторової неоднорідності території з використанням даних дистанційного зондування Землі за різні проміжки часу.

Фактори, що впливають на зміни в екосистемах та об'єктах підстильної поверхні

Трансформація в об'єктах навколишнього середовища пов'язана з виробничою діяльністю експлуатуючих та науково-виробничих організацій, яка ведеться за планом робіт із мінімізації наслідків Чорнобильської аварії та утримання ЧЗВ. За цими напрямками в зоні працюють більше 10 тис. чоловік. Ризики небезпечного впливу на навколишнє середовище підвищують нелегальна туристична діяльність та самовільне проживання людей у відселених населених пунктах [5]. На утворення вразливих до дефляції ділянок поверхні впливають також природні чинники, що пов'язані зі знищенням або значним розрідженням рослинного покриву.

Унаслідок евакуації населення з території ЧЗВ та припинення виробництва агропродукції землі сільськогосподарського призначення значно трансформувалися. До аварії площа сільськогосподарських угідь у межах ЧЗВ становила близько 39% від усієї території [6]. На сьогодні ці угіддя перебувають під впливом відновлення природної рослинності, за винятком ділянок підприємств основного та допоміжного циклів. За час після аварії на Чорнобильській АЕС виведені з аграрного використання сільськогосподарські угіддя, а також площі земель у відселених населених пунктах заростали деревними породами та чагарниками під впливом процесів вторинної сукцесії. Окремі ділянки території були відведені під планове лісовідновлення, на інших ділянках були розміщені промислові об'єкти. Виходячи з вищенаведеного, актуальним постає завдання оцінювання стану та змін в об'єктах навколишнього середовища в ЧЗВ [7].

Стан проблеми та аналіз літературних даних

В основі геосистемного підходу до оцінювання стану території покладено теоретичне визначення: територія дослідження є сукупністю екосистем, в яких компоненти пов'язані між собою потоками речовини та енергії й мають закономірну структуру та організацію у просторі [8]. Це означає, що особливості рельєфу території, просторовий розподіл поверхневих вод,

грунтів та рослинного покриву формують комбінації умов, сприятливих для розвитку типової рослинності на конкретній території.

Вивченням стану біоценозів ЧЗВ, міграції радіонуклідів у рослинних екосистемах та впливу на навколишнє середовище об'єкта «Укриття» та інших радіаційно небезпечних об'єктів у післяаварійний період займалася група дослідників Інституту проблем безпеки АЕС НАН України під керівництвом к. б. н. С. Паскевича, який є автором Web-проекту [9]. Цей ресурс містить картосхеми рослинного покриву, а також місцезнаходження ушкоджених лісових екосистем станом до 2000 р.

У ЧЗВ вологолюбні види трав'янистої рослинності (трави вологих луків) пов'язані місцезнаходженням зі зниженими формами рельєфу: лощинами, низькими річковими терасами, балками, де сформувалися в основному вологоємкі дернові оглеєні та торфвоболотні ґрунти. Більш підвищеним суходільним ділянкам на місці зведених лісів із дерново-підзолистими ґрунтами характерна трав'яниста рослинність перелогів. Стан рослинного покриву поверхні впливає на процеси дефляції, що сприяють підйому радіонуклідів із пиловими частинками. За десятиріччя після аварії науковцями зроблено висновок, що після припинення розорювання території лише 3,5% ЧЗВ мають високий ступінь пилопідйому. Зазначалося, що 40–60% вмісту пилової фракції у середньосуглинкових та важкосуглинкових ґрунтах визначають високий та дуже високий ступінь уразливості до вітрового підйому [10]. Відсоток таких територій зменшується під час розвитку процесів поновлення природного рослинного покриву. Протилежними за напрямом є фактори зведення лісів та ураження щільного рослинного покриву, що виникають за різних причин. Такі процеси сприяють розвитку процесів вітрового підйому, тому вкрай важливо проводити лісомеліоративні та захисні заходи для збереження рослинного покриву ЧЗВ [7].

На території ЧЗВ в історичному минулому під впливом характерних умов вологозабезпеченості та родючості ґрунтів сформувалися різні типи лісу. Окремі деревні породи дуже добре адаптувалися до різних екологічних факторів. Наприклад, сосна може добре рости на сухих ґрунтах з піщаним механічним складом [11, 12] і на заболочених ділянках — вона є найбільш розповсюдженою деревною породою в ЧЗВ. Породи дерев, що вимагають вологих ґрунтів із високим рівнем органічних речовин, — це береза, вільха, дуб, граб. Із перезволоженими заплавами річок пов'язані ліси з верби, вільхи, тополі білої та чорної [10].

**Методи, технології та матеріали
(джерела інформації)**

Вивчення території проведено на основі геостемного підходу та картографічних методів з метою розробки карт території в масштабі М 1 : 100 000 — М 1 : 50 000, класифікації території, яка відповідала б регіональному та локальному рівням. Як інструментарій були використані програмні пакети для геоінформаційного аналізу — ArcGIS та MapInfo.

Засоби та інструментарій ArcGIS дають змогу аналізувати дані, поєднуючи різні шари картографічної інформації з точністю відповідно до масштабу — карти річкових басейнів та їхніх структурних елементів, шари ґрунтів і рослинності за даними космічної зйомки — і таким чином виявляти місцезположення, що характерні для різних типів рослинних угруповань (рис. 1).

За даними топографічної зйомки, отриманої за програмою Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) за допомогою космічного апарата Space Shuttle (США) [14], побудована модель рельєфу, яка поєднує карту просторового розподілу висоти місцевості з кроком 250 м, вертикальним перерізом даних через 5 м, шари розподілу кутів схилів із зміною від плоских до дуже крутих за класифікацією Продовольчої та сільськогосподарської

організації Об'єднаних націй (ФАО), класифікацію експозиції схилів та карту розподілу зон акумуляції та напрямку площинного змиву в межах річкових басейнів. Карти охоплюють прямокутну область з координатами W29.05385; E31.1058; N51.94638; S50.81808, що є достатнім для характеристики рельєфу зони відчуження та безумовного відселення Чорнобильської АЕС.

Для класифікації території отримано набір різночасових даних дистанційного зондування середнього (30 м) і високого розрізнення (вище 10 м) [15–17], а також були долучені наявні картографічні матеріали: електронні карти ґрунтів, також використовувалась уже накопичена інформація щодо області дослідження [18].

Для вивчення типу та стану рослинності та особливостей підстильної поверхні існує декілька видів даних дистанційного зондування — мультиспектральні знімки земної поверхні в комбінаціях каналів різних довжин спектра електромагнітного випромінювання. Комбінація спектральних зон знімків утворює контрастне кольорове зображення об'єктів підстильної поверхні (для супутника Landsat просторове розрізнення 30 м). Знімок має дешифрувальні ознаки: текстуру та спектральну яскравість об'єктів на земній поверхні, визначену в спектрі шкали з 255 кольорів. Для виділення області дослідження була створена

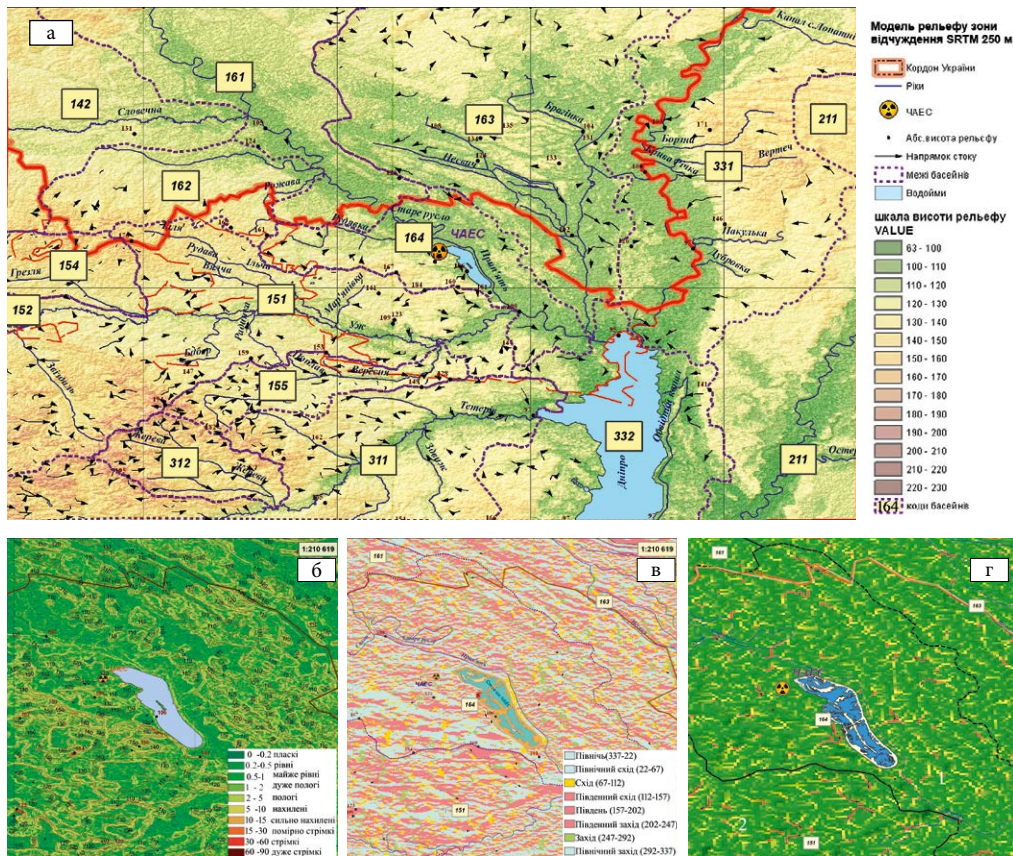


Рис. 1. Модель рельєфу, побудована за даними топографічної зйомки Shuttle radar topographic mission (SRTM): а — з кроком 250 м, б — класифікація кутів схилу (%), в — експозиція схилів, г — зони акумуляції та напрямки стоку: 1 — басейн гірла р. Прип'ять; 2 — басейн р. Уж

векторна карта меж ЧЗВ, яка узгоджена з зонуванням відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 106 [18]. За картографічними даними площа її 2 182 км², що в порівнянні з даними діючих нормативних актів має похибку приблизно 82 км². Така незначна похибка дає можливість використовувати векторну версію картографічного шару для аналізу стану території.

Дані дистанційного зондування Землі, відзняті в різні періоди часу, дають змогу розмежовувати типи рослинності, їхній стан, виділяти об'єкти із штучних матеріалів та області без рослинності, водні об'єкти, заболочені території, аналізувати динаміку структури рослинного покриву, а саме визначати приблизний вік багаторічних рослин [19, 20].

Різні комбінації спектра видимого та інфрачервоного випромінювання дають можливість вивчати просторові особливості структури, їхні зміни на ділянках поверхні та визначати процеси, що відбуваються з рослинним покривом, наприклад зміни проективного покриття трав'янистої або деревної рослинності, її стан, наслідки пожеж та ін. На космічному знімку в палітрі кольорів RGB здоровій лісовій рослинності відповідає темно-зелений та яскраво-зелений кольори, здоровій трав'янистій рослинності — світло-зелений, зів'ялій — жовто-солом'яний, відкритому ґрунту без рослинності — рожево-лілові або коричневій кольори.

Базуючись на даних за різні періоди часу (таблиця), були розроблені векторні карти підстильної поверхні й

Дані дистанційного зондування, що використані для класифікаційних карт

Супутникові дані	Дата та роздільна здатність, м		Об'єкти для ідентифікації
DigitalGlobe: Landsat, Spot, Airbus	05.06.2013 08.13.2017	30; 2,5–0,6	Об'єкти площею менше 1 км ²
Landsat 8 (мультиспектральний знімок)	02.10.2017	30	Неоднорідності рослинного покриву: тип рослинності та його стан
Landsat 7 (мультиспектральний: 5, 4, 3 канали)	2010	30	
Landsat 5 TM	05.30.1986; 1989	30	
Landsat 7 (дані спектральних каналів Red та Near InfraRed)	1999	30	Розрахунок значень NDVI

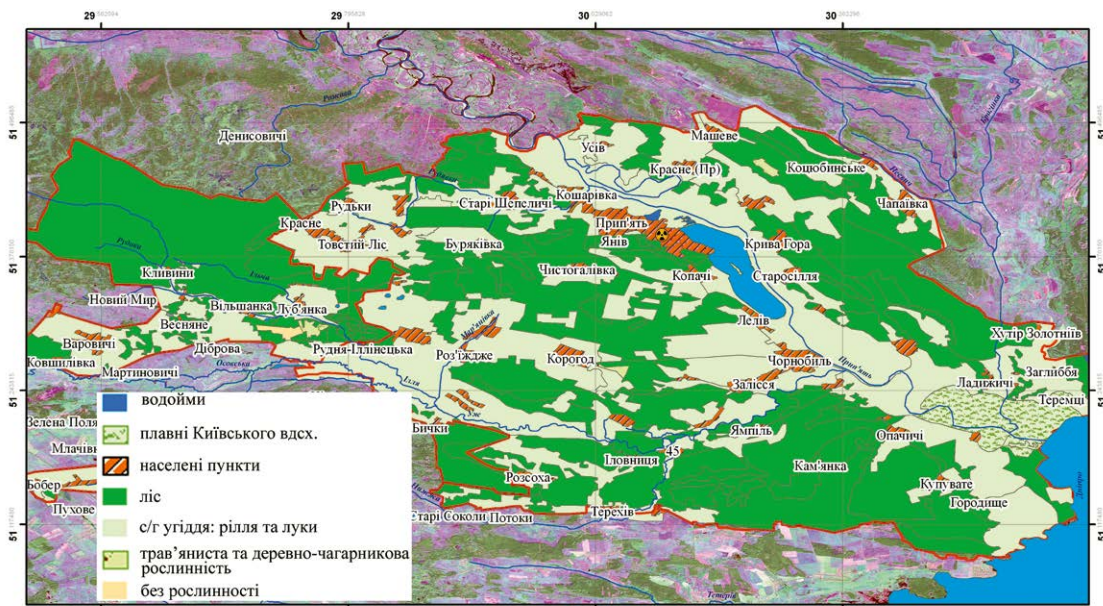


Рис. 2. Векторна карта об'єктів підстильної поверхні і типів рослинного покриву, створена за даними космічної зйомки (стан місцевості на травень 1986 р.)

типів рослинності ЧЗВ (рис. 2) за 1986, 1999, 2017 роки. Карти було верифіковано за геоприв'язаною растровою топографічною картою М 1 : 100 000 (стан місцевості за 1986–1991 рр.). Дані за населеними пунктами перевірені згідно з класифікатором КОААТУ.

Наводимо значення площ класів (%), визначених для об'єктів підстильної поверхні та типів рослинного покриву станом на 1986 р.

Ліс	53,02
Сільськогосподарські угіддя: рілля та луки	38,50
Населені пункти	3,87
Плавні Київського водосховища	2,11
Став-охолоджувач та інші водойми	1,01
Промислові зони	0,54
Інші	0,07

З даних видно, що на 1986 р. 91 % території займали ліси та сільськогосподарські угіддя.

Аналіз місцезоналення типів підстильної поверхні та класів рослинного покриву в різні періоди показує, що природні та антропогенні чинники впливають на їхній стан та структуру (рис. 3).

За даними карти площа лісу становила 1 157 км². Порівнюючи з даними атласу [18], де площа лісу в ЧЗВ становила 1 100 км², маємо похибку 5 %.

Методи вивчення динаміки розвитку рослинного покриву та його стану

Для вивчення кількісних показників вегетативної маси рослин і зміни в рослинному покриві використовують вегетаційні індекси. Одним з найбільш поширених є нормалізований відносний індекс рослинності (NDVI). Індекс NDVI є відношенням різниці та суми даних каналів інфрачервоного (NIR) і червоного (RED) спектрів випромінювання, що розраховується за формулою [19]

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED).$$

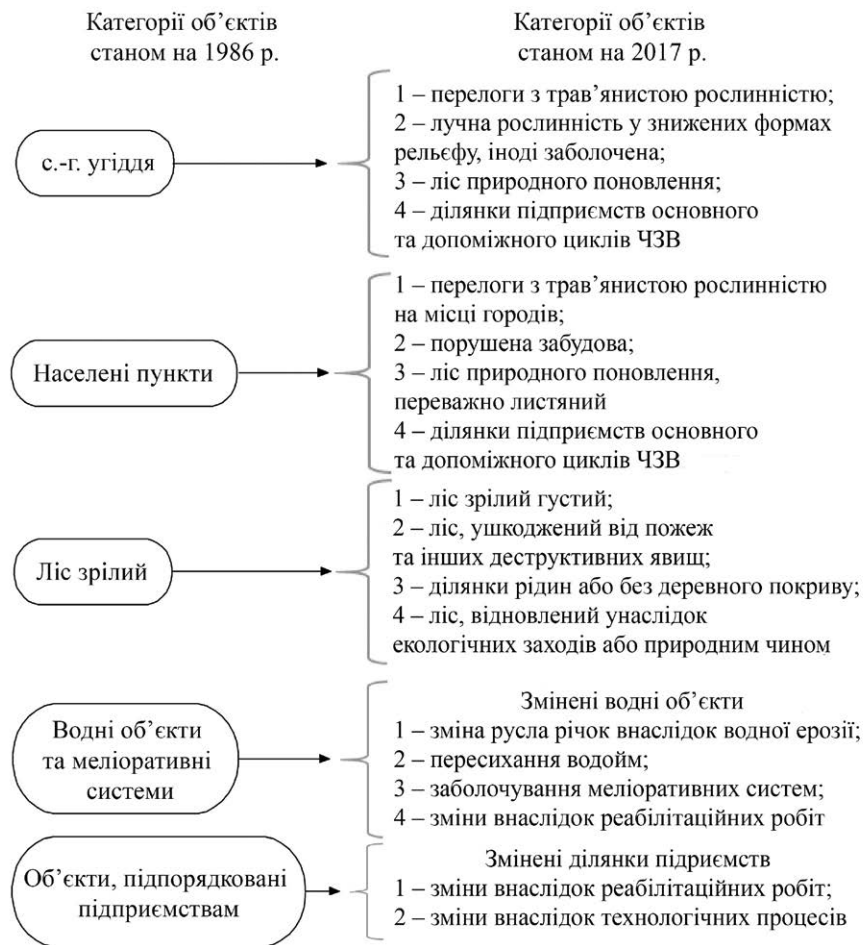


Рис. 3. Зміни у структурі природокористування ЧЗВ за період після аварії на Чорнобильській АЕС (1986–2017 рр.)

Стандартна шкала значення NDVI
для різних типів об'єктів

Густа рослинність	0,7
Розріджена рослинність	до 0,5
Відкритий ґрунт	0–0,025
Вода	–0,25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	–0,5

Значення індексу NDVI варіюють від –1 до 1 і мають динаміку протягом вегетаційного періоду. Рослини з великою біомасою дають високі значення внаслідок того, що хлорофіл хлоропластів у листях рослин поглинає випромінювання червоної зони спектра (Red) і відбиває хвилі інфрачервоного спектра (NIR) [19]. На рис. 4 показано класифікацію, проведену за вегетаційними індексами для ЧЗВ з використанням даних 1999 р. На рисунку видно, що вигорілі виділи

лісу мають дуже низькі значення NDVI — до 0,1–0,2.

На рис. 5 наведено карту класів підстильної поверхні й рослинного покриву станом місцевості на 2017 р. Сучасний стан типів рослинності в ЧЗВ показує, що клас сільськогосподарських угідь можна розділити на категорії: вторинні ліси (деревна рослинність природного відновлення), трав'янисту рослинність підвищених місцеположень рівнин водольодовикового походження та лучну рослинність у знижених формах рельєфу: лощинах та заплавах ділянках річок. Вік деревних порід, що виростили на більшій площі перелогів, може бути 15–30 років, за даними на 2017 р. вони займають близько 12 % території ЧЗВ.

Процеси, що відбуваються у природному середовищі ЧЗВ як складній системі, мають різний напрям. Зменшення площ під лісовою рослинністю відбувалося під впливом процесів зведення та розрідження лісів унаслідок планових рубок або пожеж, вимо-

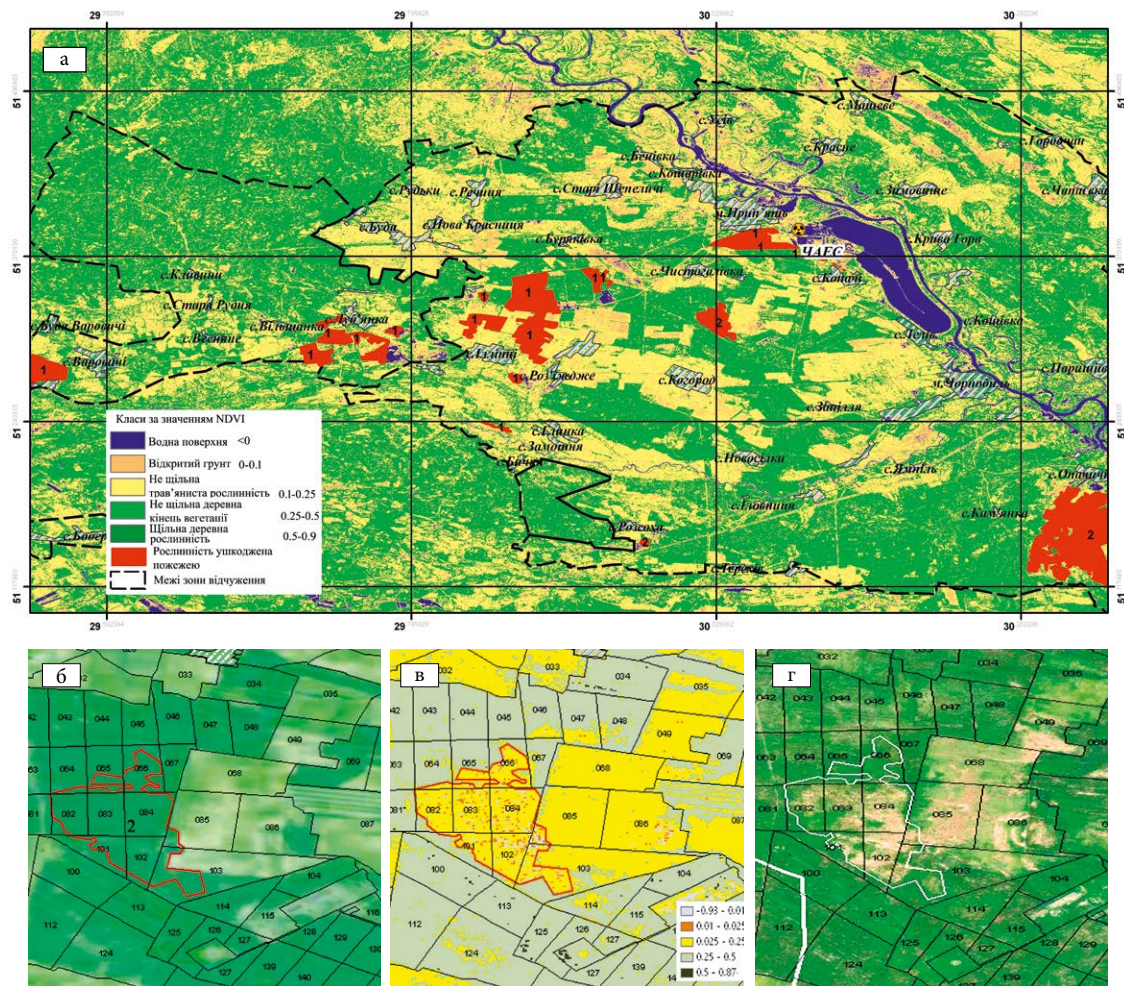


Рис. 4. Зміни стану лісу на космічних знімках для ЧЗВ: а — Landsat 1999 р.: 1 — ліс, що вегетує, NDVI > 0,5 (згарища утворилися після 2000 р.); 2 — ушкоджений ліс NDVI < 0,1 (згарища утворилися до 2000 р.); б — стан ділянки на 1986р. — зрілий ліс; в — ділянка згарища на 1999 р., NDVI < 0,1; г — заростання ділянки згарища на 2017 р.

кання та випадіння дерев під дією грибкових захворювань, а також радіаційного ураження в перший період після аварії. Лісгосподарські заходи щодо відновлення лісу внаслідок закладання нових ділянок лісу та природне заростання деревною рослинністю компенсують указані вище негативні наслідки.

Загальна площа під деревною рослинністю в ЧЗВ (без урахування площ промислових ділянок та ділянок із вираженим мозаїчним покривом) на 2017 р. становила близько 1 400 км². На сільськогосподарських угіддях та в населених пунктах відбувався процес вторинної сукцесії, тобто заростання деревними видами, заміщення культивованих до аварії сільськогосподарських рослин на природні трав'янисті та деревні види, деякі ділянки було відведено під промислові об'єкти. Сумарний вплив вищезгаданих процесів призвів до збільшення площ під лісовою рослинністю і, як наслідок, зменшення впливу ерозійних процесів.

Погодні та антропогенні фактори впливають на динаміку стану водних об'єктів ЧЗВ. Посушливі періоди та зменшення обсягів надходження води з р. Прип'ять у водойму-охолоджувач значно скоротив площу дзеркала відкритої водної поверхні об'єкта, відбувається процес заростання берегів на піщаному ґрунті.

Значний вплив на зміни в об'єктах навколишнього середовища мають лісові пожежі, що знищують лісовий

покрив на великий проміжок часу на відміну від вигорання трав'янистої рослинності, яка відновлюється протягом одного року. Відновлення лісу після пожежі (вторинна сукцесія) відбувається приблизно за 20–30 років і може бути визначено за даними дистанційного зондування. За цей період на вигорілій ділянці деревна рослинність відновлюється майже повністю за умови, що ділянка розташована недалеко від зрілого лісу.

Висновки

Використання даних дистанційного зондування за різні періоди часу разом з наявними векторними картами території дало змогу розробити карту сучасного стану підстильної поверхні та рослинного покриву ЧЗВ. Аналіз даних показав, що після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. найбільші за площею зміни відбулися з рослинними угрупованнями на землях сільськогосподарського призначення. Площа вторинних лісів на таких ділянках становить 31 % площі ЧЗВ.

Велику шкоду лісовій екосистемі завдають пожежі. Ушкоджені пожежею ліси та деревна рослинність природного поновлення у ЧЗВ станом на 2017 р. становлять 41,3 км², це близько 4 % площ лісової рослинності.

Організація тимчасових місць збору та збереження радіоактивних відходів, переміщення певних

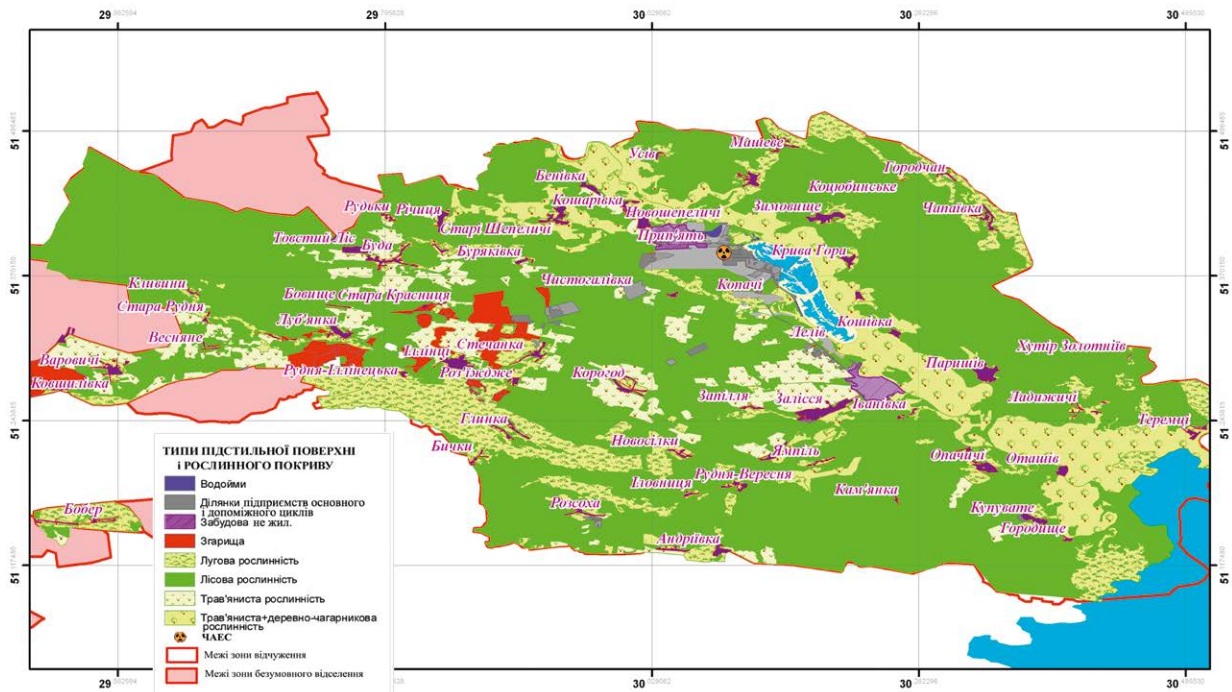


Рис. 5. Класифікація за типами об'єктів підстильної поверхні та рослинного покриву (дані 2017 р.)

обсягів радіоактивних відходів з пунктів тимчасового зберігання впливають на зміну рівнів забруднення компонентів навколишнього середовища в ЧЗВ. Розрахунки за картографічними даними показали, що ділянки, відведені під підприємства основного та допоміжного циклу в ЧЗВ, охоплюють площу близько 56 км², з них 42 % площ вкриті деревною рослинністю. Стан таких заліснених ділянок впливає на пожежну небезпеку на стаціонарних та тимчасових ділянках, призначених для локалізації радіоактивних відходів. Отже, навколо таких ділянок необхідно організувати мінералізовані смуги, проводити своєчасний догляд за насадженнями: вирубування ушкоджених шкідниками та грибовими захворюваннями деревостанів, розчищення території від захаращення та сухоостою, насадження лісу на вигорілих ділянках.

У результаті проведення аналізу та оцінки просторової неоднорідності території визначено розташування ділянок підприємств, що можуть бути джерелами радіоактивного забруднення та зміни у природних комплексах. Створено набір цифрових растрових та векторних карт, що відображають структуру досліджуваної території за різні проміжки часу. Векторні карти розроблено на основі даних дистанційного зондування й достатньо точно відображають сучасну структуру території, фіксують явища та процеси, що відбуваються в межах території. Проведена картографічна класифікація об'єктів підстильної поверхні та типів рослинного покриву може бути використана для аналізу змін зони відчуження та безумовного відселення Чорнобильської АЕС, а також параметризації типів підстильної поверхні в оцінюванні стану забруднення навколишнього середовища.

Поєднання створеного картографічного матеріалу за даними фактичних обстежень ДСП «Північна Пуща» лісових екосистем дають змогу більш достовірно визначити обсяги біоресурсів для ділянок з високими рівнями забруднення радіонуклідами. Отримані картографічні матеріали дають можливість визначити та відобразити сучасну просторову структуру та характеристики об'єктів підстильної поверхні й розрахувати площі на змінених територіях.

Список використаної літератури

1. IAEA-TECDOC-1240. Present and future environmental impact of the Chernobyl accident IAEA. — Vienna : IAEA, 2001. — 138 p.
2. Мешалкин Г. С. Проблемы реабилитации территории в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / Г. С. Мешалкин, Н. П. Архипов // Проблемы Чернобыльской зоны отчужения. — 1994. — Вып. 1. — С. 17–19.
3. Джепо С. П. Полигонные исследования миграции радионуклидов на участке пункта временной локализации радиоактивных отходов «Рыжий Лес» / С. П. Джепо, А. С. Скальский, Д. А. Бугай [и др.] // Проблемы Чернобыльской зоны отчужения. — 1995. — Вып. 2. — С. 77–84.
4. Кіреєв С. І. Радіаційний стан забруднення території зони відчуження у 2012 році / С. І. Кіреєв, В. О. Дем'янович, Л. І. Смірнова [та ін.] // Проблемы Чернобыльской зоны отчужения — 2013. — Вып. 11. — С. 18–37.
5. Холоша В. І. Концепція Чорнобильської зони відчуження на території України / В. І. Холоша, Є. В. Соботович // Проблемы Чернобыльской зоны отчужения. — 1994. — Вып. 1. — С. 3–17.
6. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період: навч. вид. / за ред. акад. УААН Б. С. Прістера — Київ: ТОВ ВПФ «МЕГА», 2007. — 69 с.
7. Кучма М. Д. Еколого-лісівничі наслідки радіоактивного забруднення лісових масивів зони відчуження ЧАЕС / М. Д. Кучма, І. С. Федотов, М. П. Архипов, П. С. Пастернак // Лісівництво і агролісомеліорація. — 1994. — Вып. 88. — С. 12–18.
8. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов / М. А. Глазовская. — Смоленск: Ойкумена, 2002. — 145 с.
9. Чернобыль, Припять, Чернобыльская АЭС и зона отчуждения. Вся информация и новости чернобыльской зоны отчуждения и ЧАЭС, природа загрязненных территорий: web-проект. Режим доступа: <http://chornobyl.in.ua>.
10. Давыдчук В. С. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / В. С. Давыдчук, Р. Ф. Зарудная, С. В. Михели и др. / под ред. А. М. Маринича. — Киев: Наук. думка, 1994. — 111 с.
11. Паскевич С. А. Вынос ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs надземной фитомассой растительных сообществ лугов и залежей Чернобыльской зоны отчуждения / С. А. Паскевич // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2005. — Вып. 45 (3). — С. 281–286.
12. Плюта П. Г. Фітоекологічні дослідження в Зоні відчуження ЧАЕС / П. Г. Плюта, Я. П. Дідух // Проблемы Чернобыльской зоны отчужения. — 1996. — Вып. 3. — С. 39–48.
13. Таксаційний опис земельних ділянок лісового фонду станом на 01.01.2017 року. — ДСКП «Північна Пуща», 2017.

14. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. — Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
15. World Imagery Digital Globe ArcGIS. — Available at: http://server.arcgisonline.com/services/World_Imagery/MapServer).
16. Imagery Digital data SENTINAL-2 BANDS. — Available at: <https://eos.com/landviewer>.
17. Imagery Digital data LANDSAT. — Available at: <https://landlook.usgs.gov/landlook/viewer.html>.
18. Атлас. Україна. Радіоактивне забруднення / МНС України, ТОВ «Інтелектуальні Системи ГЕО». — Київ: Компанія ВАІТЕ. — 2011. — 52 с.
19. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: монографія / за ред. В. І. Лялько, М. О. Попова. — Київ : Наук. думка, 2006. — 360 с.
20. Кохан С. С. Дистанційне зондування Землі. Теоретичні основи / С. С. Кохан, А. Б. Востоков. — Київ : Вища шк., 2009. — 460 с.

O. G. Tyshchenko, V. P. Landin

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants,
NAS of Ukraine, 12, Lysogirska st., Kyiv, 03028, Ukraine*

Changes in the Underlying Surface and Vegetation in the Chernobyl Exclusion Zone During 1986–2017

The analysis results of the type surface and vegetation changes in the Exclusion Zone of Chernobyl Nuclear Power Plant, for the period after accident in 1986 until 2017 are presented. In the article it is shown that after the Chernobyl accident in 1986, the largest changes occurred with vegetation on agricultural lands. Analysis of the current state of vegetation showed that the area of restored forest plantations on uncultivated lands amounted to –31 % of the Chernobyl NPP Exclusion Zone.

Studies have shown that fires cause great damage to the forest ecosystems. Forests and woody vegetation of natural regeneration damaged by the fire in the Chernobyl NPP Exclusion Zone as of 2017 amounted to 41.3 km², which is about 4 % of the area of forest vegetation.

It is noted that the movement of certain volumes of radioactive waste from temporary storage points affect changes in the levels of pollution of environmental components in the Chernobyl NPP Exclusion Zone. Cartographic calculations showed that the areas allocated for the enterprises of the main and auxiliary cycle in the

Chernobyl NPP Exclusion Zone occupy an area of about 56 km², of which 42 % is covered with woody vegetation. The condition of such forested areas affects fire safety on stationary and temporary areas intended for localization of radioactive waste. It is stated about the expediency of organizing mineralized strips, conducting timely measures to care for plantations around such areas. Such measures are — felling of damaged stands, clearing the area of dead parts of trees, planting forests on burned areas.

Maps obtained after the analysis and assessment of spatial heterogeneity of the territory are presented in the article. The maps show the location of areas of enterprises that may be sources of radioactive contamination and natural complexes that was changed. It created a set of digital raster and vector maps which reflect the structure of the study area for different periods. Vector maps were developed based on remote sensing data and fairly accurately reflect the modern structure of the territory, capture processes occurring within the territory.

It concluded that the cartographic classification of objects on the ground surface and types of vegetation may be used for analyzing changes in the Exclusion Zone and unconditional resettlement of Chernobyl NPP, as well as parameterization of the type of underlying surface for assessment of environmental pollution.

It is noted that the combination of the created cartographic material with the data of actual surveys of forest ecosystems makes it possible to more accurately determine the amount of bioresources of the Exclusion Zone in areas with high levels of pollution. The obtained cartographic materials make it possible to determine and display the modern spatial structure and characteristics on the Earth's underlying surface and to calculate the areas in the changed territory.

Keywords: Earth remote sensing data, mapping, geosystem data analysis, classification of objects underlying surface and vegetation.

References

1. IAEA-TECDOC-1240. *Present and future environmental impact of the Chernobyl accident*. Vienna: IAEA, 2001, 138 p.
2. Meshalkin H. S., Meshalkin P. S., Arkhipov N. P. (1994). [Rehabilitation problems of the territory in the accident zone at the Chernobyl nuclear power plant]. *Problemy Chernobylskoi zony vidchuzhennya* [Problems of the Chernobyl Exclusion Zone], vol. 1, pp. 17–19. (in Russ.)
3. Dzhepo S. P., Skalskii A. S., Bugai D. A., Gudzenko V. V., Mogylnyi S. A., Proskura N. I. (1995). [Polygon studies of the migration of radionuclides at the site of the temporary

- containment point for radioactive waste “Red Forest”]. *Problemy Chornobylskoi zony vidchuzhennya* [Problems of the Chernobyl Exclusion Zone], vol. 2, pp. 77–84. (in Russ.)
4. Kireev S. I., Demynovych U. O., Smirnova L. I., Vyshnevskiy D. O., Obrizan S. M., Hodun B. O., Hurin O. S., Nikitina T. I. (2013). [Radiation state of contamination of the Exclusion Zone in 2012]. *Problemy Chornobylskoi zony vidchuzhennya* [Problems of the Chernobyl Exclusion Zone], vol. 11, pp. 18–37. (in Ukr.)
 5. Kholosha V. I., Sobotovych E. V. (1994). [The concept of the Chernobyl Exclusion Zone on the territory of Ukraine] *Problemy Chornobylskoi zony vidchuzhennya* [Problems of the Chernobyl Exclusion Zone], vol. 1, pp. 3–17. (in Ukr.)
 6. Prister B. S. (ed.) (2007). *Vedennya silskohospodarskoho vyrobnytstva na terytoriyakh, zabrudnenykh vnaslidok Chornobylskoi katastrofy, u viddalenyi period* [Conducting agricultural production in areas contaminated by the Chernobyl accident, in the remote period]. Kyiv: MEGA, 69 p. (in Ukr.)
 7. Kuchma M. D., Fedotov I. S., Arkhipov M. P., Pasternak P. S. (1994). [Ecological and forestry consequences of radioactive contamination of forests in the Chernobyl Exclusion Zone]. *Lisivnytstvo i ahromelioratsiya* [Forestry and agroforestry], vol. 88, pp. 12–18. (in Ukr.)
 8. Glazovskaya M. A. (2002). *Geokhimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovaniy prirodnykh landshaftov* [Geochemical basis of typology and methods for researching natural landscapes]. Smolensk: Oikumena, 145 p. (in Russ.)
 9. *Chernobyl, Pripyat, Chernobyl nuclear power plant and exclusion zone. All information and news of the Chernobyl exclusion zone and the Chernobyl nuclear power plant, the nature of contaminated areas*. Web-project. Available at: <http://chornobyl.in.ua>.
 10. Davydchuk V. S., Zarudnaya R. F., Miheli S. V. (1994). *Landshafty Chornobylskoi zony i ikh otsenka po usloviyam migratsii radionuklidov* [Landscapes of the Chernobyl zone and their assessment according to the conditions the pass migration of radionuclides]. Kyiv: Naukova Dumka, 111 p. (in Russ.)
 11. Paskevich S. A. (2005). [Transfer of ^{90}Sr and ^{137}Cs by plant phytomass in meadows and uncultivated lands of the Chernobyl exclusion zone]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], vol. 45, pp. 281–286. (in Russ.)
 12. Plyta P. G., Didukh Y. P. (1996). [Phytoecological research in the ChNPP Exclusion Zone]. *Problemy Chornobylskoi zony vidchuzhennya* [Problems of the Chernobyl Exclusion Zone], vol. 3, pp. 39–48. (in Ukr.)
 13. *Taxation description of land plots of forest fund as 01.01.2017*. SSE “Pivnichna Pushcha”, 2017. (in Ukr.)
 14. *SRTM 90m DEM Digital Elevation Database*. Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
 15. *World Imagery Digital Globe ArcGIS*. Available at: http://server.arcgisonline.com/services/World_Imagery/MapServer
 16. *Imagery Digital data SENTINAL-2 BANDS*. Available at: <https://eos.com/landviewer>.
 17. *Imagery Digital data LANDSAT*. Available at: <https://landlook.usgs.gov/landlook/viewer.html>.
 18. Ministry of Emergency Situations of Ukraine, Intelligence Systems GEO (2011). *Atlas. Ukraine. Radioactive contamination*. Kyiv: VAITE, 2011, 52 p. (in Ukr.)
 19. Lyalko V. I., Popova M. O. (eds.) (2006). *Bahatospektralni metodu dystantsiinoho zonduvannya Zemli v zadachakh prirokokorystuvannya* [Multispectral methods of remote sensing of the Earth in nature management problems]. Kyiv: Naukova Dumka, 360 p. (in Ukr.)
 20. Kokhan S. S., Vostokov A. B. (2009). *Dystantsiine zonduvannya Zemli. Teoretichni osnovy* [Remote sensing of the Earth. Theoretical bases]. Kyiv: Vyshcha shkola, 460 p. (in Ukr.)

Надійшла 02.11.2020

Received 02.11.2020