

О. Г. Тищенко¹, **В. П. Ландін¹**, Н. М. Цидик¹, В. В. Мартиненко²

¹ Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, Київ, 03028, Україна

² Природний заповідник «Древлянський», вул. Замкова, 188, смт Народичі, Житомирська область, 11401, Україна

Оцінка радіоекологічної ситуації для території природного заповідника «Древлянський» станом на 2023 р.

Ключові слова:

природний заповідник «Древлянський», геосистемний аналіз, радіаційний стан, радіоекологічна критичність лісових насаджень

Розглянуто технологічні прийоми підготовки геопросторових даних для оцінки радіоекологічної ситуації та візуалізації результатів із використанням програмних пакетів геоінформаційної системи (ГІС). Розраховано сучасні рівні щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs в межах сітки лісових кварталів природного заповідника «Древлянський». Проведено радіоекологічне зонування з визначенням придатності території для проведення лісозахисних заходів із виділенням критичних територій, що формують небезпечні рівні дозового навантаження на співробітників заповідника. Отримано оцінку просторового розподілу радіаційного забруднення запасів деревини та легкозаймистого паливного матеріалу в межах лісових кварталів заповідника. Проведений аналіз сучасної радіоекологічної ситуації для території природного заповідника «Древлянський» показав ефективність застосування в роботі програмних пакетів ArcGIS та MapInfo.

Вступ

Природний заповідник (ПЗ) «Древлянський» розташований у Житомирській області, межує на сході із зоною відчуження Чорнобильської АЕС, а значна його частина входить у зону обов'язкового відселення. Рівні забруднення території заповідника обумовлені розташуванням у межах західного радіоактивного сліду, що утворився внаслідок аварійного викиду на Чорнобильській АЕС у квітні 1986 р. У переданих заповіднику лісових насадженнях господарська діяльність, за винятком гасіння лісових пожеж, була припинена у зв'язку з високими рівнями радіоактивного забруднення. Слід зазначити, що за даними обстеження на період 1991 р. радіоактивне забруднення території заповідника мало плямистий характер. Щільність ^{137}Cs у 95 % обстеженої площі коливалася в межах від 143 до 3042 кБк/м², або від 3,9 до 82 Кі/км². За 32 роки щільність забруднення змен-

шилася більше, ніж у два рази, але виконання всіх видів робіт у лісах досі потребує дотримання норм радіаційної безпеки. За радіаційною оцінкою, тобто за щільністю забруднення ґрунту ^{137}Cs , територію заповідника було розділено на 5 зон у градаціях від 2 і більше 30 Кі/км². Ступінь радіоактивного забруднення деревини в лісах заповідника також коливався в широких межах і залежав від щільності забруднення ґрунту в насадженнях. На прикладі радіоактивно забрудненої території показано підходи для оцінки сучасного радіоекологічного стану з урахуванням радіоактивного розпаду радіонуклідів у ґрунті в межах лісових кварталів із застосуванням геоінформаційних технологій. Технологія передбачала інтерполяцію розрахованих на актуальний час даних щільності забруднення ґрунту за умови відсутності вхідних даних за окремими кварталами лісництва заповідника. Розроблене зонування території за щільністю забруднення ґрунту ^{137}Cs на 2023 р. було вико-

© О. Г. Тищенко, **В. П. Ландін**, Н. М. Цидик, В. В. Мартиненко, 2023

ристано для розподілу лісогосподарських заходів, що забезпечує обмеження дозового навантаження на співробітників заповідника.

Постановка завдання

У результаті роботи відпрацьовувалася процедура підготовки даних та тестувалися технологічні підходи для оцінки сучасного стану радіаційно забрудненої території за лісовими кварталами. На основі оцінки виявлялися критичні особливості території з метою запобігання впливу радіоактивного фону на формування дози опромінення співробітників заповідника в разі проведення спеціальних лісогосподарських заходів у лісових насадженнях.

Хід виконання роботи

Актуалізація карт щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs передбачала декілька етапів роботи.

1. Підготовка картографічного матеріалу із застосуванням програмних пакетів ArcGIS та MapInfo. Для цього було проведено:

а) підготовку растрових цифрових картосхем. В основу розробки цифрового картографічного матеріалу покладено скановані картосхеми лісництва ПЗ «Древлянський», геоприв'язані топографічні карти масштабу 1 : 100 000. Картографічні матеріали представлено в географічній координатній системі WGS84 та UTM;

б) розробку векторних картографічних матеріалів. Геоприв'язані картосхеми були оцифровані відповідно до мережі кварталів лісництва заповідника. Таким чином, було отримано цифрові векторні шари структурного поділу території дослідження на квартальну мережу з мінімально допустимою картографічною похибкою. Після підготовки графічної складової окремого картографічного шару було сформовано структуру інформаційної таблиці з подальшим заповненням необхідними даними. Перевірку точності картографічних шарів проведено з використанням мультиспектрального космічного знімка Sentinel-2 для досліджуваної території.

2. Підготовка для перерахунку та аналіз оновлених даних забруднення ґрунтового покриття ^{137}Cs . Вхідні точкові дані рівнів щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs за 1991 р. були сформовані як картографічний шар, в якому по окремих ділянках території заповідника були відсутні дані забруднення. Для вирішення цієї проблеми необхідно було про-

вести роботу щодо підготовки даних для інтерполяції. Далі за оновленими даними на період 2023 р. було проведено зонування території за критеріями радіоактивного забруднення. Функціональну схему підготовки та аналізу даних показано на рис. 1.

Обробка даних складалася з таких кроків:

а) переведення наявних значень відповідно до міжнародної системи фізичних величин та одиниць СІ;

б) перерахунок наявних даних з урахуванням радіоактивного розпаду ^{137}Cs на період 2023 р. за квартальною сіткою лісництва;

в) поєднання картографічного шару квартальної мережі ПЗ «Древлянський» з таблицею перерахованих за формулою радіоактивного розпаду (на актуальну дату 2023 р.) значень щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs . У файлі вхідних даних (1991 р.) отримано географічні координати для центрів кварталів. Таким чином, сформовано матрицю даних для інтерполяції значень щільності забруднення по території заповідника та територіях, що межують з ним;

г) інтерполяція даних щільності забруднення ґрунту;

ґ) перетворення інтерпольованих значень із растрового шару в сітку з кроком 110 м;

д) розрахунок середньозваженого значення в межах кварталів лісництва заповідника;

е) побудова тематичних карт щільності забруднення для досліджуваної території на періоди 1991 та 2023 р.

Вхідні точкові дані було інтерпольовано з використанням методу IDW (зворотних зважених відстаней), що входить у модуль Spatial Analyst Tool пакета ArcGIS за шістьма вхідними значеннями для точки інтерполяції з розрахунковим кроком у просторі — 110 м. Цей метод визначає, що об'єкти, які знаходяться найближче один до одного, більше подібні, ніж віддалені. У результаті отримано растровий картографічний шар та побудовано тематичну карту щільності забруднення ґрунтового покриття ^{137}Cs для території заповідника. З урахуванням специфіки діяльності в заповіднику та актуальних значень щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs на період 2023 р. запропоновано шкалу категорій для зонування території та регламентовані для них види діяльності відповідно до рекомендацій із ведення лісового господарства в умовах радіаційного забруднення. Наступним кроком для оцінки сучасного рівня радіаційного забруднення стало обґрунтування зонування досліджуваної території за можливістю виконання окремих лісогосподарських заходів. Отримані актуалізовані



Рис. 1. Функціональна схема обробки та аналізу даних щодо оцінки забруднення радіонуклідами ґрунту та фітомаси в лісових насадженнях

дані щільності забруднення лісових насаджень у відділеннях заповідника були покладені в основу «Зонування території заповідника за можливістю виконання окремих лісогосподарських заходів станом на 2023 р.». Зонування розроблено на основі чинних нормативно-правових актів України, що стосуються передусім ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи [1, 2].

У цьому зонуванні також враховано чинні нормативні документи, зокрема державні гігієнічні нормативи щодо вмісту ^{137}Cs та ^{90}Sr у деревині, грибах, ягодах і дикорослій лікарській сировині [3, 4]. Зонування лісових насаджень за щільністю забруднення радіонуклідами є інструментом, що дає змогу ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення щодо забезпечення радіаційної безпеки працівників, можливості виконання термінових видів лісогосподарських заходів і диференційованого використання деревини та другорядної продукції лісового господарства.

У зонуванні території ПЗ «Древлянський» з урахуванням радіоактивного забруднення ґрунту використано критерії, закладені в [5], а також враховано положення, закладені в [6, 7]. На території заповідника виділено п'ять зон за середньозваженим значенням щільності забруднення ^{137}Cs , розрахованим для кварталів лісництв (рис. 2).

У табл. 1 показано розподіл площ із різними рівнями забруднення по кварталах лісництв ПЗ «Древлянський» у межах природоохоронних науково-дослідних відділень (ПОНДВ) станом на 2023 р.

Оцінка просторового розподілу та забруднення фітомаси у деревостанах ПЗ «Древлянський»

Важливим етапом в оцінці радіоактивного стану території є визначення рівнів забруднення деревини та компонентів фітомаси в лісових насад-

Таблиця 1. Загальна площа кварталів (км²) за рівнями забруднення ґрунту ^{137}Cs

ПОНДВ	Категорія зонування, Ки/км ²				
	>30,0	>15–30	>10–15	>5–10	>2–5
Народицьке	2,25	58,01	15,65	7,81	–
Мотійківське (Заліське лісництво)	8,23	20,49	0,37	2,0	3,37
Базарське (Кліщівське лісництво)	8,53	31,85	6,4	4,1	–

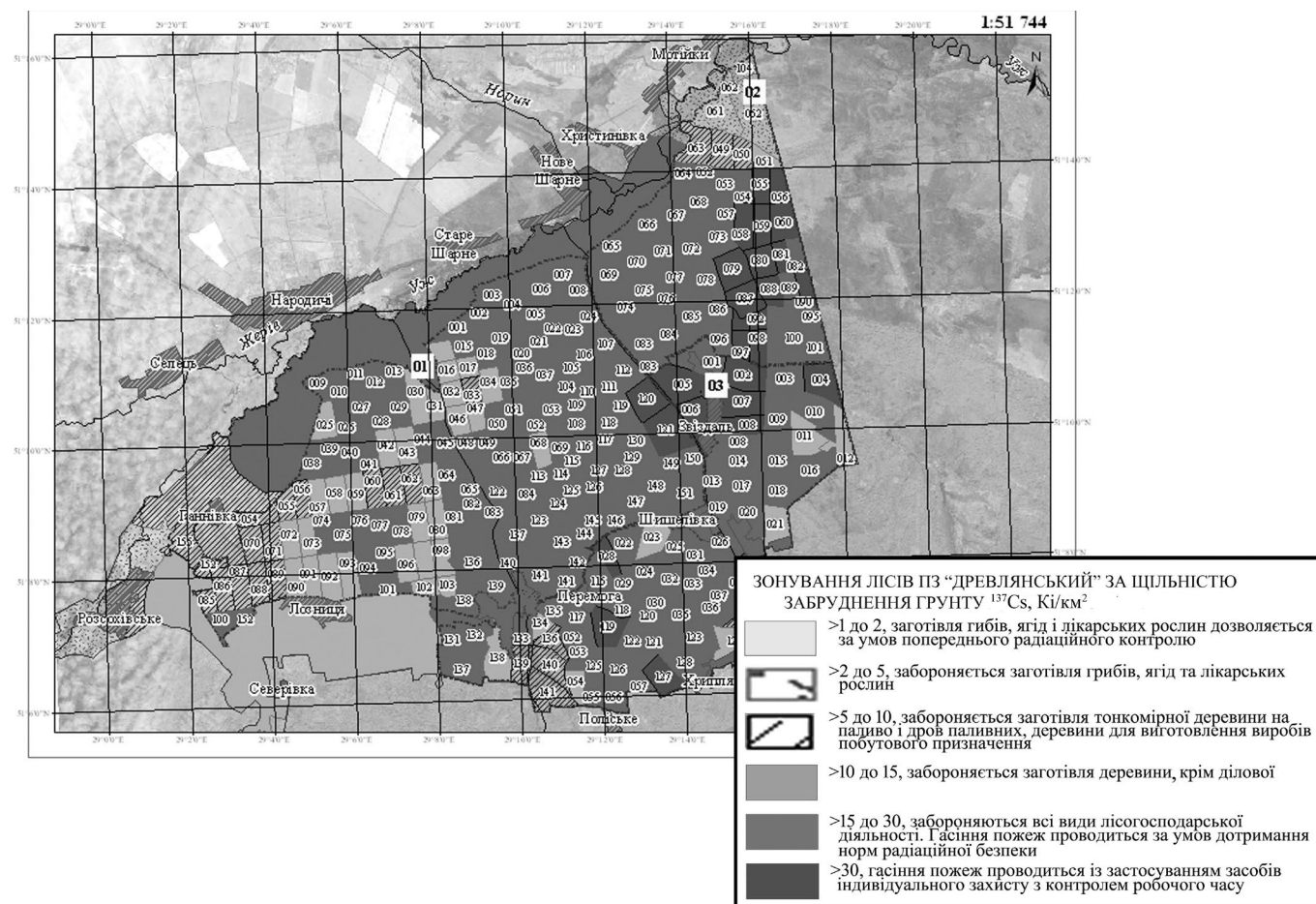


Рис. 2. Зонування території лісництва (01 — Народицького; 02 — Заліського; 03 — Кліщівського) у ПЗ «Древлянский» за щільністю забруднення ґрунту ^{137}Cs станом на 2023 р. (див. кольоровий рисунок на сайті журналу)

женнях. Накопичення забруднених радіонуклідами компонентів фітомаси і лісового відпаду в насадженнях є передумовою ускладнення ситуації в разі лісової пожежі. Компоненти фітомаси малого діаметра (відпад, кора, гілки, голки) є швидкогорючим паливним матеріалом, тому важливо оцінити ступінь його забруднення та локалізацію по території, що може потрапити в зону впливу вогню.

Дані просторового розподілу щільності радіоактивного забруднення ґрунту на період 2023 р. по кварталах відділень заповідника використані як складова для розрахунку активності деревини та компонентів фітомаси деревостанів. Розрахунок питомої активності ^{137}Cs (Бк/кг) у деревині та інших компонентах фітомаси сосни (формула (1)) виконувався з використанням коефіцієнтів переходу з ґрунту у фітотому, що наведені в опублікованих наукових та нормативних матеріалах [8, 9]:

$$A_n = A_s \cdot Tf_n, \quad (1)$$

де A_n — питома активність ^{137}Cs у компонентах фітомаси, Бк/кг; A_s — щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs , кБк/м^2 ; n — компонента фітомаси: ($n1$) — деревина, ($n2$) — кора, ($n3$) — гілки, ($n4$) — голки, ($n5$) — відпад сосни; Tf_n — коефіцієнт переходу ^{137}Cs з ґрунту в n -й компонент фітомаси: суху деревину, кору, гілки, голки, відпад сосни. Tf_{n5} — для відпаду сосни, розраховано як середнє значення між компонентами: кора, гілки та голки сосни.

Коефіцієнти переходу ^{137}Cs ($(\text{Бк/кг})/(\text{кБк/м}^2)$) з ґрунту в деревину та компоненти фітомаси сосни: Tf_{n1} деревина — 1,7; Tf_{n2} кора — 6,0; Tf_{n3} гілки — 8,5; Tf_{n4} голки — 17,0; Tf_{n5} відпад сосни — 10,5.

Проведення розрахунків за формулою (1) у файлі, що містить матрицю даних середньозваженого значення щільності забруднення ^{137}Cs (кБк/м^2) на 2023 р. по кварталах лісництв, передбачає поновлення структури інформаційної таблиці. Після розрахунку отримано статистичну характеристику даних



Рис. 3. Структура даних таксаційного обстеження з характеристикою деревостанів заповідника по виділах

(табл. 2) та побудовано тематичні картосхеми просторового розподілу питомої активності деревини та інших компонентів фітомаси (Бк/кг) у соснових насадженнях.

Оцінка запасів фітомаси та рівнів забруднення ¹³⁷Cs у насадженнях сосни по кварталах лісництв

Аналіз валових та середніх за площею кварталів запасів деревини проводився на основі таксаційного опису лісових насаджень ПЗ «Древлянський», складеного за натурними обстеженнями по виділах. Виділ є найменшою структурною складовою лісництва. Таксаційний опис містив вихідні характеристики деревостанів: склад насаджень, вік, висота, діаметр, тип лісорослинних умов та запас деревини на виділі у тис. м³. Ці дані стали вхідними для розрахунку фітомаси компонентів деревного матеріалу малого діаметра: кора, гілки, голки, відпад. Для

аналізу даних у пакетах геоінформаційної системи (ГІС) з коректним проведенням розрахунків та запитів необхідно було визначити структуру та задати тип даних в інформаційних таблицях. Із цією метою у структурі даних були передбачені поля, що використовувалися для зв'язку та інтеграції даних, типізації та класифікації (рис. 3). Далі поля, що відповідають кількісним значенням запасів фітомаси компонентів деревостанів, в інформаційній таблиці заповнювались із використанням коефіцієнтів залежності їхньої маси від маси запасів деревини.

У результаті обробки даних по виділах розраховано сумарні та середні за площею запаси деревини, а також інші характеристики деревостанів по кварталах лісництв. Для подальших розрахунків радіоактивного забруднення фітомаси отримано значення, які перераховані з об'ємних одиниць в одиниці маси з використанням довідника щільності деревини різних видів дерев [10].

Таблиця 2. Статистичні показники розрахункових даних питомої активності ¹³⁷Cs у фітомасі (Бк/кг) по території ПЗ «Древлянський» на 2023 р.

Фітокомпонент	Мінімум	Максимум	Середнє	Стандартне відхилення
Деревина	135,8	2 932,4	1 249,6	466,2
Кора	479,5	10 349,6	4 410,4	1 645,3
Гілки	679,3	14 661,9	6 248,0	2 330,8
Голки	1 358,6	29 323,9	12 496,1	4 661,7
Відпад	839,2	18 111,9	7 718,2	2 879,3

Таблиця 3. Мінливість запасу легкозаймистих фітокомпонентів (кг/м²) по території ПЗ «Древляньський»

Фітокомпонент	Мінімум	Максимум	Середнє	Стандартне відхилення
Кора	0,1	1,8	1,1	0,3
Гілки	0,3	2,4	1,6	0,3
Голки	0,1	0,6	0,4	0,1
Відпад	0,2	3,3	2,2	0,6

Накопичена фітомаса легкозаймистого деревного матеріалу малого діаметра в радіоактивно забруднених соснових деревостанах є чинником високої пожежної небезпеки і, таким чином, складовою у джерелах емісії радіонуклідів. У табл. 3 наведено дані мінливості розрахованих запасів фітокомпонентів.

Активну участь у горінні серед усіх видів надземних лісових горючих матеріалів беруть голки у кроні дерев. Саме голки є провідником і підтримувачем горіння в разі верхової пожежі, а за низової — у складі відпаду та підстилки. Відпад як складову паливного матеріалу малого діаметра також важливо враховувати в оцінці забруднення. Відпад у соснових насадженнях утворюється щорічно, накопичується

та утворює шари підстилки. До складу відпаду сосни входять голки, гілочки, кора, насіння, шишки та інші відмерлі частини рослин [11]. На рис. 4 показано просторовий розподіл накопичених запасів відпаду по деревостанах ПЗ «Древляньський». На більшій частині території щорічний запас відпаду утворює шар щільністю від 2 до 3 кг/м², окремі квартали виділяються за підвищеною щільністю відпаду більше 3 кг/м² та розташуванням на межі з трав'янистою територією заплави р. Уж. У разі переходу пожежі з трав'яної повсті в заплаві ріки до кромки лісу квартали з підвищеним накопиченням відпаду перетворюються на осередки розповсюдження вогню вглиб лісу з вірогідністю збільшення його інтенсивності.



Рис. 4. Просторовий розподіл накопичення соснового відпаду (кг/м²) по кварталах ПЗ «Древляньський» (див. кольоровий рисунок на сайті журналу)

Таблиця 4. Статистичні показники розрахованих даних питомої поверхневої активності ^{137}Cs фітомаси ($\text{Бк}/\text{м}^2$) по території ПЗ «Древлянський» на 2023 р.

Фітокомпонент	Мінімум	Максимум	Середнє	Стандартне відхилення
Деревина	2 700,9	65 962,4	28 885,1	13 786,6
Кора	534,8	11 496,4	4 968,3	2 312,3
Гілки	1 308,7	23 029	10 198,1	4 127,1
Хвоя	688,7	11 514,5	4 734,7	2 064,5
Відпад	1 701,6	37 377,6	17 015,5	7 774,8

Дані запасів деревини та фітокомпонентів за насадженнями були використані у визначенні валового запасу ^{137}Cs (кБк) та питомої поверхневої активності ^{137}Cs ($\text{Бк}/\text{м}^2$) [8]. Питома поверхнева активність у деревині та інших компонентах фітомаси сосни за кварталами лісництва заповідника визначається за формулою

$$A_{js} = A_j \cdot Q_{js}, \quad (2)$$

де A_{js} — питома поверхнева активність ^{137}Cs компонентів фітомаси, $\text{Бк}/\text{м}^2$; A_j — питома активність ^{137}Cs в компонентах фітомаси, $\text{Бк}/\text{кг}$; Q_{js} — запаси компонентів, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Статистичні дані розподілу питомої поверхневої активності ^{137}Cs у компонентах фітомаси деревостанів заповідника наведено в табл. 4.

Висновки

Проведений аналіз сучасної радіоекологічної ситуації для території ПЗ «Древлянський» показав ефективність застосування сучасних програмних пакетів ArcGIS та MapInfo. Ці програми суміщають можливості підготовки інформаційних матриць для розрахунків та інтерполяції в разі обмеженості вхідних даних, групування та класифікації за значеннями, формування тематичних наборів даних для зберігання й подальшого використання, картографування та відображення результатів на картосхемах.

Вивчення перебігу пожеж за минулі періоди показало, що накопичення горючого деревного матеріалу малого діаметра впливає на підвищення пожежної та радіаційної небезпеки в лісових насадженнях. Таким чином, для кварталів з великими запасами відпаду та інших легкозаймистих фітокомпонентів необхідно передбачити комплекс лісгосподарських заходів з метою запобігання розповсюдження по-

лум'я в разі переходу пожежі з трав'янистої на заліснену частину заповідника.

Поновлення ситуаційних картосхем щільності забруднення ґрунту радіонуклідами з просторовим розподілом запасів деревини, компонентів фітомаси та їхньої активності за ^{137}Cs дало змогу провести оцінку сучасної радіоекологічної ситуації та визначити пожежонебезпечні квартали лісництва. Використовуючи зонування території за щільністю забруднення ґрунту ^{137}Cs на 2023 р., проведено розподіл лісгосподарських заходів, що забезпечить обмеження дозового навантаження на співробітників ПЗ «Древлянський».

Список використаної літератури

1. Норми радіаційної безпеки і санітарні правила роботи з джерелами іонізуючого випромінювання : методичні рекомендації / відп. ред. І. М. Гудков. — Київ, 2012. — 36 с.
2. Рекомендації з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення / О. В. Тарасевич, В. П. Краснов, О. О. Орлов [та ін.]. — Харків, 2017. — 127 с.
3. Гігієнічний норматив питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у деревині та продукції з деревини (ГНПАР-2005). — Державний гігієнічний норматив // Офіційний вісник України. — 2005. — № 46. — С. 164–166.
4. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. — Гігієнічний норматив ГН 6.6.1.1.-130-2006. — Вид. офіц. — Київ, 2006. — 22 с.
5. Закон України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» № 795-ХІІ від 28.02.1991 р. // Відомості Верховної Ради. — 1991. — № 16. — ст. 198.
6. Зонування території Лісового фонду України за щільністю забруднення техногенними радіонуклідами та можливістю диференційованої заготівлі продукції лісового господарства в умовах радіоактивного забруд-

- нення / О. О. Орлов, В. В. Шевчук, О. В. Жуковський, Т. В. Курбет. — Харків : УкрНДІЛГА, 2021. — 23 с.
7. Правила охорони праці для працівників лісового господарства та лісової промисловості НПА-ОП-02.0–1.04–05 / В. Данилов, С. Ірклієнко, М. Полончук [та ін.]. — Київ : Відлуння, 2005. — 456 с.
 8. Інтегрована система охорони лісів від пожеж. : монографія / С. В. Зібцев, П. І. Лакида, П. П. Яворовський [та ін.]. — Київ : Наукова столиця, 2020. — С. 98–100.
 9. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments IAEA-TRS-472. — Vienna : IAEA, 2010. — 194 p.
 10. Глезер Л. И. Справочник по массам авиационных и других материалов (весовые характеристики) / Л. И. Глезер, Я. И. Заяц, П. И. Чудаков. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1975.
 11. Лісове господарство України. — Київ : Вид-во Державного агентства лісових ресурсів України, 2014. — 17 с.

О. Н. Tyshchenko, **V. P. Landin, N. M. Tsydyk, V. V. Martynenko²**

¹ Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, 12, Lysohirska st., Kyiv, 03028, Ukraine

² Drevlians Nature Reserve, 188, Zamkova st., Narodychi, Zhytomyr region, 11401, Ukraine

Assessment of the Radioecological Situation for the Territory of the Drevlians Nature Reserve as of 2023

Technological methods for preparing geospatial data for assessing the radioecological situation and visualizing the results using geographic information system (GIS) software packages are presented in the article. The current levels of soil ¹³⁷Cs contamination density within the grid of forest quarters of the reserve are given. The article emphasizes that the current levels of radiation contamination in the reserve have an irregular distribution. In this work, the procedure for data preparation was developed and technological methods were tested to assess the current state of the radioactively contaminated territory by forest quarters. The interpolation method was used to eliminate unevenness in the mapping layer of the source data. Radioecological zoning of the territory based on the density of soil contamination with ¹³⁷Cs for 2023 was carried out to determine the suitability of the territory for the implementation of forest protection measures. Critical areas that generate hazardous

levels of dose load for the employees of the Reserve were identified on the maps. The spatial distribution of forest fallout density was calculated. The spatial distribution of radiation contamination of timber and flammable fuel material within the forest quarters of the reserve was estimated. The analysis of the current radioecological situation for the territory of the Drevlians Reserve showed the effectiveness of using modern ArcGIS and MapInfo software packages. Such software combines the following capabilities: preparation of information matrices for calculations and interpolation, in case of limited input data, grouping and classification by values, formation of thematic data sets for storage and further display of results on map schemes.

Keywords: Drevlians Nature Reserve, geosystem analysis, radiation status, radioecological criticality of forest plantations.

References

1. Gudkov I. M. (ed.) (2012). *Normy radiatsiinoi bezpeky i sanitarni pravyla roboty z dzherelamy ionizuiuchoho vyprominiuvannia: metodychni rekomendatsii* [Radiation safety standards and sanitary rules for working with sources of ionizing radiation: methodological recommendations]. Kyiv, 36 p. (in Ukr.)
2. Tarasevych O. V., Krasnov V. P., Orlov O. O., Landin V. P. (2017). *Rekomendatsii z vedennia lisovoho hospodarstva v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennia* [Recommendations for managing forestry in conditions of radioactive contamination]. Kharkiv, 127 p. (in Ukr.)
3. [Hygienic standard of specific activity of radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in wood and wood products GNPAP-2005]. Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine no. 573, dated October 31, 2005. *Official Bulletin of Ukraine*, no. 46, pp. 164–166. (in Ukr.)
4. [Permissible levels of radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in food and drinking water. Hygienic standard GN6.6.1.1.-130-2006]. Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine no. 256, dated May 3, 2006. Kyiv, 22 p. (in Ukr.)
5. Law of Ukraine “On the legal regime of the territory exposed to radioactive contamination as a result of the Chornobyl disaster” no. 795-XII dated February 28, 1991. *Bulletin of the Verkhovna Rada*, no. 16, art. 198. (in Ukr.)
6. Orlov O. O., Shevchuk V. V., Zhukovskiy O. V., Kurbet T. V. (2021). [Zoning of the territory of the Forest Fund of Ukraine according to the density of pollution by man-made radionuclides and the possibility of differentiated harvesting of forestry products in conditions

- of radioactive contamination]. Kharkiv: URIFFM, 23 p. (in Ukr.)
7. Danylov V., Irkliencko S., Polonchuk M., Lukisha V. (2005). [Rules of labour protection for the workers of forestry and forest industry of NPAOP-02.0-1.04-05]. Kyiv: Vidlunnia, 456 p. (in Ukr.)
 8. Zibtsev S. V., Myroniuk V. V., Bohomolov V. V., Yavorovskyi P. P., Soshenskyi O. M., Humeniuk V. V., Sendonin S. Ye., Levchenko V. V., Puzrina N. V. (2020). *Intehrovana systema okhorony lisiv vid pozhezh* [Integrated forest fire protection system]. Kyiv, Naukova stolytsia, 340 p. (in Ukr.)
 9. IAEA (2010). *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments IAEA-TRS-472*. Vienna: IAEA, 194 p.
 10. Hlezer L. Y., Zaiats Ya. I., Chudakov P. I. (1975). *Spravochnik po massam aviacionnykh materialov: vesovye kharakteristiki* [Handbook of masses of aviation and other materials (weight characteristics)]. Moscow: Mashynostroenie, 296 p. (in Rus.)
 11. State Agency of Forest Resources of Ukraine (2014). *Lisove hospodarstvo Ukrainy* [Forestry economy of Ukraine]. Kyiv: Publishing house of State Agency of Forest Resources of Ukraine, 17 p. (in Ukr.)

Надійшла 08.05.2023

Received 08.05.2023