

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Факультет лісового господарства та екології
Кафедра лісівництва, лісових культур та таксації лісу*

Кваліфікаційна робота на правах рукопису

Моргун Олексій Анатолійович

УДК 630*2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА В ЛІСАХ ФІЛІЇ
«ОВРУЦЬКЕ СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»

205 «Лісове господарство»

Подається на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Моргун О.А.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сірук Ю.В.
(прізвище, ім'я, по батькові)
К.с.-г.н, доцент
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2023

Висновок кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

за результатами попереднього захисту: _____

Протокол засідання кафедри _____

№ 6 від «05» 12 2023 р.

Завідувач кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

К.с.-г.н., доцент _____ Юрій СІРУК

«05» 12 2023 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти _____ захистив (ла)

(прізвище ,ім'я, по батькові)

кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ірина ДУБНИЦЬКА.

(прізвище ,ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Моргун О.А. Особливості ведення лісового господарства в лісах Філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство». - Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

Визначено функціональне призначення лісів філії та особливості ділянок, котрі зумовлюють обмежене лісокористування. Встановлено причини найбільших обсягів лісокористування з-поміж решти лісокористувачів регіону. Великі обсяги проведення санітарних рубок протягом останніх років зумовлені необхідністю ліквідації наслідків стихійного лиха у 2020 році, коли лісові пожежі пошкодили значну частину лісового фонду підприємства.

Ключові слова: лісозаготівля, радіоактивно забруднені території, лісогосподарські заходи, санітарні рубки.

ANNOTATION

Morgun O.A. «Peculiarities of forestry management in the forests of the Branch Ovruch Specialized Forestry». - Manuscript qualification work.

Qualification work for the master's degree in specialty 205 - forestry. - Zhytomyr Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The functional purpose of the branch's forests and the features of the areas that lead to limited forest use have been determined. The reasons for the largest volumes of forest use among the rest of the forest users in the region have been established. Large volumes of sanitary felling in recent years are due to the need to eliminate the consequences of a natural disaster in 2020, when forest fires damaged a significant part of the company's forest stock.

Keywords: logging, radioactively contaminated territories, forestry measures, sanitary felling.

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІСІВ ФІЛІЇ «ОВРУЦЬКЕ СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»	7
РОЗДІЛ 2. ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА У РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЛІСАХ	15
2.1. Особливості функціонального призначення лісів у спеціалізованих лісових господарствах Житомирщини	15
2.2. Ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення	16
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА В ЛІСАХ ФІЛІЇ «ОВРУЦЬКЕ СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»	22
3.1. Проєктовані лісогосподарські заходи на ревізійний період	22
3.2. Обсяги лісозаготівлі в лісах філії	25
Висновки	28
Список літератури	29

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

Ведення господарства в радіоактивно забруднених лісах в Україні, особливо в зоні впливу аварії на Чорнобильській атомній електростанції в 1986 році, пов'язане з рядом викликів і обмежень через наявність радіаційного забруднення ґрунту та рослинності [9]. Перед рубкою і під час неї важливо проводити регулярний моніторинг рівнів радіації в повітрі, ґрунті, рослинах та воді. Це дозволяє ефективно визначити ступінь забруднення та ризики. Деревину та інші рослинні матеріали з радіоактивно забруднених лісів слід обробляти та утилізувати відповідно до спеціальних вимог і стандартів. Це може включати контрольоване збирання та зберігання біомаси. Важливо належним чином управляти відходами, що виникають під час рубки. Це може включати контрольоване збирання, транспортування та зберігання відходів. Рубка може впливати на екосистему та біорізноманіття району [7]. Тому важливо розробляти плани відновлення та контролювати екологічні наслідки рубкою. Враховуючи важливість прозорості та взаємодії з місцевою громадою, рубка в радіоактивно забруднених лісах повинна враховувати інтереси та думки місцевих мешканців.

Мета та завдання роботи.

Основним завданням кваліфікаційної роботи було проаналізувати особливості ведення лісового господарства спеціалізованою філією.

Для успішного здійснення мети було заплановано виконання таких завдань:

- Визначити основні характеристики лісового фонду філії.
- Проаналізувати обсяги запроєктованих лісовпорядкуванням лісогосподарських заходів .
- Визначити обсяги лісозаготівлі протягом останніх років та з'ясувати їх передумови.

Об'єкт досліджень: лісокористування в лісах, які мають радіоактивно забруднені ділянки.

Предмет досліджень: особливості ведення лісового господарства при наявності додакових умов.

Методи досліджень: було застосовані аналітично-статистичні методи із використанням бази даних ВО «Укрдержліспроєкт», аналітичного порталу Лісового аналітично-інноваційного центру із опціями для математично-статистичного обробітку даних та відповідної інтерпритації результатів досліджень.

Перелік публікацій автора за темою дослідження. По матеріалах виконаних досліджень було опубліковано 3 наукові праці, з яких одна одноосібно:

1. Возненко Р., Лисинчук Д., Моргун О., Стельмах А. Особливості функціонального призначення лісів у спеціалізованих лісових господарствах Житомирщини. Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ДБТУ, 24-25 жовтня 2023 р.). — Харків, 2023. С. 34.

2. Моргун О. Особливості ведення лісового господарства в лісах Філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство». Ліс, наука, молодь. Матеріали XI Всеукр. наук.-практ. конф. (23 листопада 2023 р.). – Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 131.

3. Авраменко В.Г., Оніщук Н.С., Симончук С.І., Стельмах А.В., Панчук А.В., Моргун О.А. Технічна придатність заготовлюваної деревини в межах Житомирської області. «Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства» (9 листопада 2023 р.) 77-а Всеукраїнська студентська науково-практична конференція. – Київ: НУБіП України, 2023. С. 93.

Практична значущість результатів дослідження. Результати дослідження структури лісозаготівлі дають змогу з'ясувати шляхи та терміни оптимізації лісокористування після масових пожеж.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи становить 34 сторінок, з яких 29 сторінок – це основна частина. У роботі також міститься 11 таблиць, 6 рисунків. Аналіз інформаційних даних забезпечило опрцювання даних з 40 джерел.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІСІВ ФІЛІЇ «ОВРУЦЬКЕ СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»

Філія «Овруцьке спеціалізоване господарство» знаходиться в межах Коростенського району. Площа лісового фонду філії становить понад 82,3 тис. га. До складу лісгосподарської філії входить 11 лісництв (таблиця 1).

Таблиця 1

Лісництва, які входять до складу філії «Овруцьке спеціалізоване господарство»

Лісництва	Загальна площа, га	В т.ч. вкрита лісом, га	Загальний запас, тис.м ³	Кількість кварталів
Прилуцьке лісництво	7600	6756,6	1572,49	81
Бережестьке лісництво	8231,1	6813,1	1463,87	85
Піщаницьке лісництво	7025	6275,8	1622,52	73
Овруцьке лісництво	7494,4	6661,1	1771,15	74
Гладковицьке лісництво	4908,3	4237,4	1063,7	48
Ігнатпільське лісництво	6196,1	5142,1	1111,68	66
Борутинське лісництво	8964	8367,8	1635,64	84
Виступовицьке лісництво	13531,5	12482,3	2628,12	121
Ситовецьке лісництво	8718,2	7917,5	1879,33	84
Журбенське лісництво	5154,9	4589	1091,94	67
Коптівщинське лісництво	4517,7	4333,9	918,72	99
Разом	82341,2	73576,6	16759,16	882

Ліси філії виконують переважно експлуатаційну роль, про що свідчить велика частка лісів 4-ї категорії (рис. 1).



Рис. 1. Поділ лісового фонду за категоріями лісу

Крім експлуатаційних лісів у лісовому фонді філії представлена значна частка лісів 1 і 3-ї категорії. Рекреаційно-оздоровчі ліси займають менш ніж на 2 % площ.

Ліси 1-ї категорії представлені заказниками та лісами наукового призначення. В лісах обох категорій захисності не передбачена експлуатація. Основні площі рекреаційно-оздоровчих лісів охоплює лісогосподарська частина лісів зеленої зони. Значно менш поширені лісопаркова частина лісів зеленої зони, рекреаційно-оздоровчі ліси поза межами зелених зон, ліси в межах населених пунктів. Експлуатація дозволена лише в лісах лісогосподарської зони. Захисні ліси представлені чотирма категоріями захисності (таблиця 2). Експлуатація лісу можлива лише у лісах уздовж берегів річок та автомобільних і залізничних шляхів.

**Поділ лісів філії «Овруцьке спеціалізоване господарство» за категоріями
захисності**

Категорії захисності	Загальна площа, га	В т.ч. вкрита лісом, га	Загальний запас, тис.м ³	Кількість виділів
ЗАКАЗНИКИ	6138,8	5951,5	1287,08	1770
ЛІСИ У МЕЖАХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ	4,9			4
ЛІСИ НАУКОВОГО ПРИЗНАЧ, ВКЛЮЧ, ГЕНЕТИЧНІ РЕЗЕРВАТИ	13,9	9,9	4,9	3
ЛІСИ ПРОТИЕРОЗІЙНІ	4512,8	4333,9	918,72	1800
ЛІСИ УЗДОВЖ СМУГ ВІДВЕДЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ	3323	2768,7	624,28	2025
ЛІСИ УЗДОВЖ СМУГ ВІДВЕДЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	1431,4	1133,8	277,4	1186
ЛІСОПАРКОВА ЧАСТИНА ЛІСІВ ЗЕЛЕНИХ ЗОН	196	154	35,19	104
ЛІСОГОСПОДАРСЬКА ЧАСТИНА ЛІСІВ ЗЕЛЕНИХ ЗОН	1275,9	1124,9	319,79	576
РЕКРЕАЦІЙНО-ОЗДОРОВЧІ ЛІСИ, ПОЗА МЕЖАМИ ЗЕЛЕНИХ ЗОН	64,3	58,2	15,81	45
ЛІСИ УЗДОВЖ БЕРЕГІВ РІЧОК, НАВКОЛО ОЗЕР, ВОДОЙМИЩ ТА ІНШІ	1198,6	1025,9	196,83	557
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ЛІСИ	64181,6	57015,8	13079,16	26829
Разом	82341,2	73576,6	16759,16	34899

Переважна більшість лісів філії є простими забудовою. Наявні менш ніж 100 га складних деревостанів. На 16 % площ насаджень виявлений ярус сухостою. Майже 15 % площ лісів забезпечені підростом. Ярус підліску виявлений на 1/3 площ (таблиця 3).

Таблиця 3

Поділ лісів філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» за наявними ярусами і категоріями

Яруси	Площа, га	Запас, тис.м3	Кількість виділів
Перший ярус	73576,6	16754,18	27337
Другий ярус	97,8	4,98	27
Незімкнуті культури	2296,6		1289
Природне поновлення	1349,7	6,32	714
Рідколісся	43,8	2,75	67
Поодинокі дерева	3478,2	63,14	1081
Сади	0,4		1
Сухостій	12144,2	400,81	4002
Підріст (тис, шт)	10879,9	8328,8	3768
Підлісок	24669	0,21	8597

Близько 96 % площ лісового фонду філії займають лісові ділянки. Частка площ покритих лісом земель становить 88 %, з яких 54 % - це природні дерервостані і, відповідно 34 % - лісові культури. З-поміж непокритих лісом ділянок досить великі площі займають незімкнуті лісові насадження – 3 %, зруби – 2 % і загиблі насадження – 1 % (таблиця 4).

Нелісові ділянки є значно меншою мірою поширені у лісовому фонді філії - лише 4 % площ (таблиця 5). Половину площ з цих ділянок займають болота. Решту площ переважно займають об'єкти інфраструктури.

Таблиця 4

Поділ лісових ділянок філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» за категоріями земель

Категорія ділянок	Площа вкрита лісом, га	Загальний запас, тис.м ³	Кількість виділів
Насадження природного походження	44577,1	10496,82	15906
Лісові культури лісовідновлювальні	28689,9	6252,16	11400
Лісорозведення	309,6	10,18	31
Незімкнуті лісові культури лісовідновлювальні	2296,6		1289
Розсадники лісові	0,2		2
Плантації	37,3		39
Дендрологічні сади	4		1
Рідколісся	43,8		67
Загиблі насадження	818,9		589
Зруби	1482,3		955
Галявини	68,2		40
Просіки кварталні	535,5		1035
Технологічні коридори, волоки	3,6		8
Візири	0,4		1
Ремізи, біополяни, майданчики для підгодівлі	178,7		452
Протипожежні розриви	24,6		33
Декоративні галявини	6		6
Всього	79076,7		

Таблиця 5

Поділ нелісових ділянок філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» за категоріями земель

Категорія ділянок	Площа вкрита лісом, га	Кількість виділів
Сіножаті	3,2	2
Озера	67	24
Ріки	24,3	31
Струмки	2,7	13
Ставки	20,6	27
Сади	0,4	1
Автомобільні дороги з штучним покриттям	109,1	94
Лежневі дороги	111,2	86
Грунтові дороги	534,6	819
Прогони для худоби	1,7	2
Канави	0,9	2
Канали	29,7	34
Меліоративні канави	68,9	111
Будівлі господарські і адміністративні	21,7	16
Садиби приватні	45,9	21
Склади лісові	3	2
Кормові поля	1,4	1
Лінії електромережі	150,1	107
Газопроводи	120,4	65
Нафтопроводи	118,3	48
Місця відпочинку	1,4	4
Кар'єри	1,1	1
Кладовища	6	11
Яри	52,3	22
Круті схили	0,6	1
Піски	1,5	2
Болота	1653,8	1443
Інші нелісопридатні землі	112,7	55
Разом	3264,5	

Породний склад лісів засвідчує наявність в переважній більшості оліготрофних і мезотрофних видів. Сосна звичайна є явним домінантом, що переважає на 72 % площ укритих лісом ділянок (рис. 2).

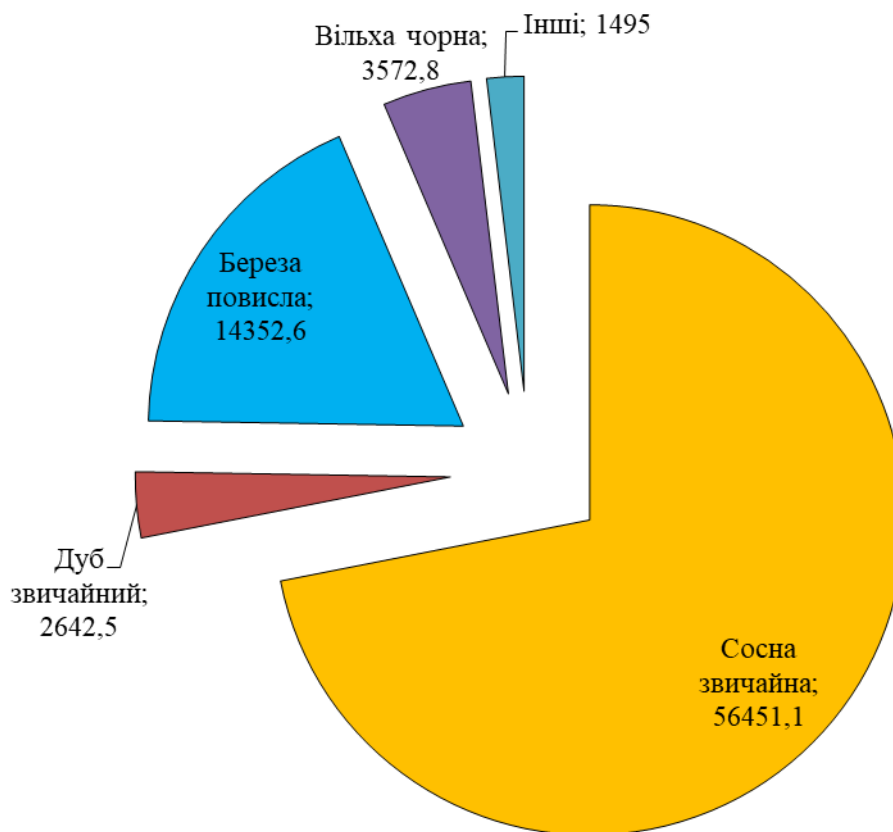


Рис. 2. Розподіл площ за головними породами, га

Береза повисла є переважаючою породою на 18 % площ, вільха клейка і дуб звичайний – на 5 і 3 % відповідно.

Вікову структуру лісів не можна вважати рівномірною, оскільки за площею переважають насадження старших вікових груп. Як бачимо з рисунка 3 за площею домінують пристигаючі деревостани, частка котрих становить понад 30 %. Таку ж площу охоплюють і середньовікові насадження. Молодняки є дещо менш поширеними.



Рис. 3. Розподіл площ за групами віку

Деревостани у межах філії є здебільшого високопродуктивними (рис. 4.)
Низькопродуктивні деревостани (5 і нижче бонітет) ростуть на площі 275 га

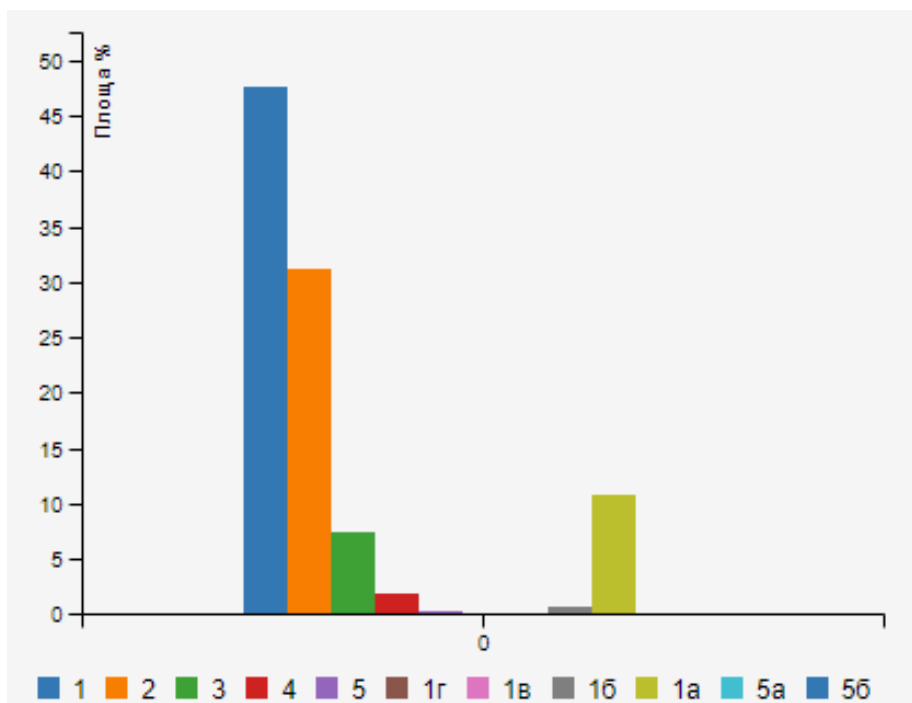


Рис. 4. Розподіл площ за групами віку

Середньопродуктивні деревостани відмічені відповідно на 9 % площ

РОЗДІЛ 2. ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА У РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЛІСАХ

2.1. Особливості функціонального призначення лісів у спеціалізованих лісових господарствах Житомирщини

У межах Житомирської області є дві філії ДП «Ліси України», які мають особливий спеціалізований статус, що зумовлено наявністю в їх лісовому фонді значних площ радіоактивно забруднених ділянок. Це Філія «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» і Філія «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство», які знаходяться на півночі області на території Коростенського району.

Станом на 2023 рік площа лісових ділянок Філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» майже 80 тис. га, з яких 73,6 тис. га – вкриті лісом землі. Лише 2/3 площ лісових ділянок можливі для експлуатації (53 тис. га). Загалом частка експлуатаційних лісів становить 78 %, проте лише 61 % площ ділянок з них власне використовується в експлуатаційних цілях, оскільки решту складають особливо захисні лісові ділянки. Частка рекреаційно-оздоровчих лісів незначна – майже 2 %, з яких експлуатація можлива на переважній більшості площ. Значно більші площі охоплюють ліси 1 і 3 категорії, частка яких відповідно становить 7,6 % і 12 % від площ лісових ділянок. У лісах 1 категорії експлуатація не проводиться. Натомість у захисних лісах близько третини площ лісових ділянок можливі для експлуатації.

Щодо Філії «Народицьке спеціалізоване лісове господарство», площа лісових ділянок якої складає трохи більше 63 тис. га, з яких 57,7 тис. га є вкритими лісом, то тут експлуатація можлива лише на 42 % площ. Частка площ експлуатаційних лісів становить 53 %, проте на 38 % з них можлива експлуатація. Другою за представленістю категорією лісу є 1, яка охоплює понад 38 % площ лісових ділянок. Левова частка лісів даної категорії представлені відносяться до природно-заповідного фонду. Експлуатація в

межах лісів 1-ї категорії у філії не ведеться. Рекреаційно-оздоровчі ліси у філії є малопоширеними, займаючи менше ніж 0,2 % від площі лісових ділянок. На більшості з лісів даної категорії можлива експлуатація. Захисні ліси займають понад 8 % площ лісових ділянок. Лише на 3,7 % з них є можливим проведення рубок головного користування.

2.2. Ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення

Термін "радіоактивний ліс" використовується для опису лісових екосистем, які стали об'єктом радіоактивного забруднення внаслідок ядерної аварії чи інших подій, пов'язаних з випромінюванням. Найбільш відомий приклад - це ліси, які оповилися після аварії на Чорнобильській атомній електростанції в 1986 році. Радіоактивні елементи можуть осісти в ґрунті лісу внаслідок осадження радіоактивних часток під час аварії. Це може призвести до довготривалого радіаційного забруднення. Дерев та інші рослини в лісі можуть засвоювати радіоактивні елементи через коріння та листя. Це призводить до накопичення цих елементів у тканинах рослин. Тварини, які існують у радіоактивних лісах, можуть засвоювати радіоактивні речовини через їжу та воду. Це може впливати на їхнє здоров'я та екосистему в цілому. Радіоактивне забруднення може мати вплив на біорізноманіття лісових екосистем. Деякі види рослин та тварин можуть бути більш вразливими до радіоактивного випромінювання, що може призвести до змін в складі видів у лісових масивах.

Управління та відновлення радіоактивних лісів часто включає в себе різноманітні заходи, такі як моніторинг рівнів випромінювання, обмеження доступу до забруднених територій, наукові дослідження та програми відновлення екосистем.

Ведення господарства в радіоактивно забруднених лісах в Україні, особливо в зоні впливу аварії на Чорнобильській атомній електростанції в 1986 році, пов'язане з рядом викликів і обмежень через наявність радіаційного

забруднення ґрунту та рослинності [9]. Нижче наведено кілька аспектів, які варто врахувати: Безпека працівників: Важливо враховувати заходи безпеки для працівників, які працюють в радіоактивно забруднених лісах. Це може включати застосування захисного одягу, регулярний моніторинг рівнів випромінювання та навчання щодо правил безпеки. Обмеження використання продуктів: Важливо обмежити використання продуктів, що вирощуються в зоні радіаційного забруднення. Це може стосуватися як сільськогосподарської продукції, так і продуктів лісового господарства [1,2,4]. Моніторинг та контроль: Регулярний моніторинг рівнів радіації в ґрунті, рослинах та воді є важливим для визначення ступеня забруднення і прийняття відповідних заходів управління. Рекреаційна безпека: Якщо територія також використовується для рекреації, важливо враховувати ризики для відвідувачів і розробляти заходи для мінімізації їхнього впливу на забруднені області. Відновлення ґрунту та рослинності: В регіонах з радіаційним забрудненням можуть бути прийняті заходи для відновлення природних екосистем [3,4]. Це може включати в себе впровадження проєктивних заходів, які допомагають зменшити вплив радіації на ґрунт та рослинність. Правові та етичні аспекти: Враховуйте правові та етичні аспекти роботи в зоні радіаційного забруднення, включаючи дотримання вимог влади, вищезгадані обмеження та дотримання міжнародних стандартів. Управління радіаційно забрудненими територіями повинно відбуватися з урахуванням високого ризику для здоров'я та довкілля, і може вимагати спеціалізованого підходу та експертизи. [7,8,10].

Рубка в радіоактивно забруднених лісах в Україні, зокрема в зоні відчуження навколо Чорнобильської атомної електростанції, є складною і чутливою темою. Ця зона включає евакуйовані та відчужені території, які залишаються позначеними високим рівнем радіаційного забруднення [2]. Рубка в цих областях вимагає використання спеціалізованого захисного обладнання для мінімізації впливу радіації на працівників. Це включає захисні костюми, маски та інші засоби захисту [1]. Перед рубкою і під час неї важливо проводити регулярний моніторинг рівнів радіації в повітрі, ґрунті, рослинах та

воді. Це дозволяє ефективно визначити ступінь забруднення та ризики. Деревину та інші рослинні матеріали з радіоактивно забруднених лісів слід обробляти та утилізувати відповідно до спеціальних вимог і стандартів. Це може включати контрольоване збирання та зберігання біомаси. Важливо належним чином управляти відходами, що виникають під час рубки. Це може включати контрольоване збирання, транспортування та зберігання відходів. Рубка може впливати на екосистему та біорізноманіття району [7]. Тому важливо розробляти плани відновлення та контролювати екологічні наслідки рубкою. Враховуючи важливість прозорості та взаємодії з місцевою громадою, рубка в радіоактивно забруднених лісах повинна враховувати інтереси та думки місцевих мешканців. Рубка в цих зонах повинна проводитися з особливою уважністю та відповідальністю, дотримуючись високих стандартів безпеки та охорони навколишнього середовища [1,4,5,11].

Реакція деревних порід на засвоєння радіоактивних елементів залежить від конкретних видів дерев та умов забруднення, а також від типу радіоактивних елементів і їх концентрації в ґрунті та воді. Різні види дерев можуть виявляти різні рівні вразливості до засвоєння радіоактивних елементів. Деякі види можуть бути більш толерантними або навіть накопичувати менше радіоактивних речовин у порівнянні з іншими (рис.5.) [11,13].



Рис.5. Вимірювання радіоактивних речовин [3]

Різні радіоактивні елементи мають різні властивості та вплив на дерева. Наприклад, цезій та стронцій можуть бути засвоєні деревами та накопичуватися в їхніх тканинах. Високі концентрації радіоактивних елементів в ґрунті можуть призвести до великого засвоєння деревами цих елементів. Структура ґрунту та кліматичні умови можуть впливати на засвоєння радіоактивних елементів деревами. [3,4]. Наприклад, засвоєння може бути високим у більш вологих або кислих умовах. Засвоєння та накопичення радіоактивних елементів в деревах може займати тривалий час, і це може залежати від багатьох факторів, включаючи ріст та розвиток дерев [5]. Враховуючи ці фактори, можна провести дослідження та моніторинг для визначення рівня засвоєння радіоактивних елементів деревами в конкретних районах. Такий моніторинг є важливим для забезпечення безпеки довкілля та визначення ризиків для екосистем та здоров'я людей, які можуть користуватися продуктами лісового господарства [6,9,13].

Найнебезпечнішими радіоактивними елементами для деревних порід є ті, які легко засвоюються та накопичуються в їхніх тканинах, що призводить до довготривалого впливу на екосистему та здоров'я рослин. Декілька таких радіоактивних елементів включають: [7,8].

✓ **Цезій-137 (Cs-137):** Цезій-137 є продуктом ядерного розпаду і може засвоюватися деревами через їхні корені. Він має довгий період напіврозпаду та може залишатися в ґрунті та рослинах протягом тривалого часу [9,10].

✓ **Стронцій-90 (Sr-90):** Цей радіоактивний елемент також утворюється під час ядерних вибухів і аварій. Він може входити в хімічний склад ґрунту та бути засвоєний рослинами, включаючи дерева [9,10].

✓ **Плутоній-239 (Pu-239):** Плутоній є важким радіоактивним елементом, який може утворюватися внаслідок ядерних реакцій. Хоча він менш розповсюджений у природі, його можна знайти в забруднених районах [9,10].

✓ **Іод-131 (I-131):** Іод-131 є радіоактивним ізотопом іоду, який може впливати на дерева через корені та листя [9,10].

Ці радіоактивні елементи можуть мати різний вплив на рослини, включаючи пошкодження клітин та вплив на фотосинтез. Важливо враховувати, що небезпека також залежить від концентрації цих елементів в ґрунті та воді [4].

Дослідження та моніторинг рівнів радіації в екосистемах, особливо в зоні впливу ядерних аварій, є важливими для визначення ризиків та розроблення стратегій управління забрудненими територіями [8,12].

Вимірювання рівня радіоактивного забруднення в лісах вимагає використання спеціалізованого обладнання та методів. Ось деякі з них: [8].

Гамма-спектрометрия: Цей метод використовує гамма-спектрометри для визначення вмісту радіоактивних елементів у ґрунті та рослинах. Датчики реєструють енергію гамма-квантів, що випромінюються радіоактивними матеріалами. Це дозволяє визначити тип та концентрацію радіоактивних елементів [9,10].

Біологічні вимірювання: Можна використовувати біологічні організми, такі як мохи чи лишайники, які накопичують радіоактивні елементи з навколишнього середовища. Вимірювання концентрації цих організмів може служити оцінкою рівня забруднення [12].

Вимірювання випромінювання в повітрі: Вимірювання рівня радіації в повітрі може надати інформацію про загальний рівень радіоактивності в конкретному регіоні [15].

Пробіркові методи: Забір проб ґрунту, рослин або води для лабораторних аналізів може допомогти визначити концентрацію радіоактивних елементів. Лабораторні методи можуть включати інструментальні аналізи та спектрометрію [13,17,19].

Дозиметри: Дозиметри – це пристрої, які вимірюють обсяг випромінювання в середовищі або на поверхні об'єктів. Вони можуть

використовуватися для визначення рівня радіоактивного випромінювання в конкретних місцях [9,10,14].

Супутникові та аерозйомні методи: Сучасні технології супутникового зондування та аерозйомні методи можуть використовуватися для оцінки забруднення на великих територіях та для мапування розподілу радіоактивних елементів [9,10,16].

Важливо враховувати, що вимірювання повинні проводитися кваліфікованими фахівцями, інакше може виникнути неправильна інтерпретація результатів. Вимірювання радіоактивного забруднення в лісах є частиною програм моніторингу та оцінки впливу на природні екосистеми в зоні аварій чи інших джерел радіоактивного забруднення [6,9,16].

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА В ЛІСАХ ФІЛІЇ «ОВРУЦЬКЕ СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО»

3.1. Проєктовані лісогосподарські заходи на ревізійний період

Особливістю філії є значна частка лісів, які не використовуються в експлуатаційних цілях. Хоча в лісовому фонді знаходиться тільки лісів 4-ї категорії близько 78 % площ, експлуатація на значній площі цих лісів неможлива у зв'язку зі значним рівнем їх забруднення. Проаналізуємо обсяги основних лісогосподарських заходів, котрі були запроєктовані лісовпорядкуванням. На ревізійний період було передбачено проведення суцільнолісосічних рубок на площі 3258 га. Крім цього було виявлено деревостани на площі понад 840 га, котрі потребували проведення суцільних санітарних рубок (таблиця 6).

Таблиця 6

Площі суцільних рубок на ревізійний період

Вид рубки	Площа, га	Запас, тис. м ³	В т.ч. сухостій, тис.м ³
Суцільна санітарна рубка	840,7	200,52	175,93
Суцільна рубка	3257,9	1081,4	20,62

Лісовідновлення проєктувалося як штучним (майже 4 тис. га), так і природнім (1633 га) способами. Сприяння природному поновленню передбачалося на площі 39 га. Доповнення лісових культур проєктувалося на площі 1219 га, увід недостаючих порід у незімкнуті лісові культури на 554 га, агротехнічний догляд – на 1287 га, лісівничий догляд – на 775 га (таблиця 7).

Площі лісовідновних заходів ревізійний період

Лісогосподарський захід	Площа
Створення лісових культур лісовідновлювальних	3988,7
Увід недостаючих порід в насадження природного походження	0,3
Увід недостаючих порід в незадовільні лісові культури	1,5
Агротехнічний догляд за лісовими культурами	1286,7
Лісівничий догляд за незімкнутими лісовими культурами	775,4
Сприяння природному відновленню лісів шляхом мінералізації ґрунту	0,5
Сприяння природному відновленню шляхом догляду за підростом	38,5
Увід недостаючих порід в незімкнутих лісових культурах	554
Доповнення лісових культур	1218,9
Природне відновлення лісу	1632,8

Серед проєктованих рубок формування і оздоровлення значні обсяги санітарних вибіркового рубок (5036 га) та рубок догляду, а саме освітлень на 409 га, прочищень – на 747 га, проріджувань – на 797 га і прохідних рубок – на 720 га (таблиця 8).

З інших рубок передбачено проведення рубки поодиноких дерев на площі майже 5 га, ліквідації захаращення на площі 97 га, розчищення кварталних просік і протипожежних розривів – понад 160 га (таблиця 9).

Таблиця 8

Площі рубок догляду і санітарних вибіркових рубок на ревізійний період

Вид рубки	Загальна площа, га	Загальний запас, тис.м ³	Запас що вибирається, тис.м ³
Освітлення	409,3	6,93	1,64
Прочищення	746,5	32,38	6,46
Проріджування	795,4	108,98	19,63
Проріджування 2 черги	1,4	0,04	
Прохідна рубка	719,5	235,98	28,76
Вибіркова санітарна рубка	5036,2	1441,88	3,76

Таблиця 9

Площі інших рубок на ревізійний період

Вид рубки	Загальна площа, га
Рубка поодиноких дерев	4,7
Ліквідація захаращеності	96,9
Розрубубання квартальних просік	18,6
Розчищення квартальних просік	138,4
Розчищення протипожежних розривів	3,2

Щодо інших лісогосподарських заходів, лісовпорядкуванням було запроєктовано наступне (таблиця 10): заготівля новорічних ялинок (34 га), обладнання джерел питної води (4 га), встановлення годівниць і солонців (5 га), агротехнічний догляд у плантаціях і розсадниках (понад 7 га), поведхневе поліпшення і внесення міндобрив на сіножатях (3 га), догляд за

протипожежними розривами (10 га), будівництво водойм (1 га) і ремонт контор і складських приміщень (1 га).

Таблиця 10

Площі інших рубок на ревізійний період

Вид рубки	Загальна площа, га
Розчищення протипожежних розривів	3,2
Заготівля новорічних ялинок	34,3
Обладнання джерел питної води	4,2
Встановлення годівниць	5
Встановлення солонців	5
Догляд за селекційними об'єктами агротехнічний	7
Догляд за розсадниками агротехнічний	0,2
Внесення добрив мінеральних	3,2
Поверхнєве поліпшення сіножатей	3,2
Догляд за протипожежними розривами	10
Будівництво під'їздів до водоймищ	0,7
Будівництво протипожежних водойм	0,7
Ремонт контор лісогосподарських підприємств	1,2
Ремонт складських приміщень	1,2

3.2. Обсяги лісозаготівлі в лісах філії

Філія «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» входить у трійку найбільших лісакористувачів за обсягами лісозаготівлі проиягом останніх років. Причин цього є декілька. По-перше - значні площі дозволених для експлуатації лісів, по-друге - велика частка деревостанів старших вікових груп, по-третє – великі обсяги санітарних рубок спричинені великими площами пожеж за останні роки.

Лише у поточному році у лісах філії передбачалася лісозаготівля обсягом понад 437 тис. м³ деревини, що становить майже 14 % обсягу лісозаготівлі Житомирської області, де зареєстровано 28 лісокористувачів.

Лева частка деревини (70 %) була заготовлена саме від проведення санітарних рубок (рис. 6), котрі були направлені на ліквідацію наслідків пожеж минулих років.

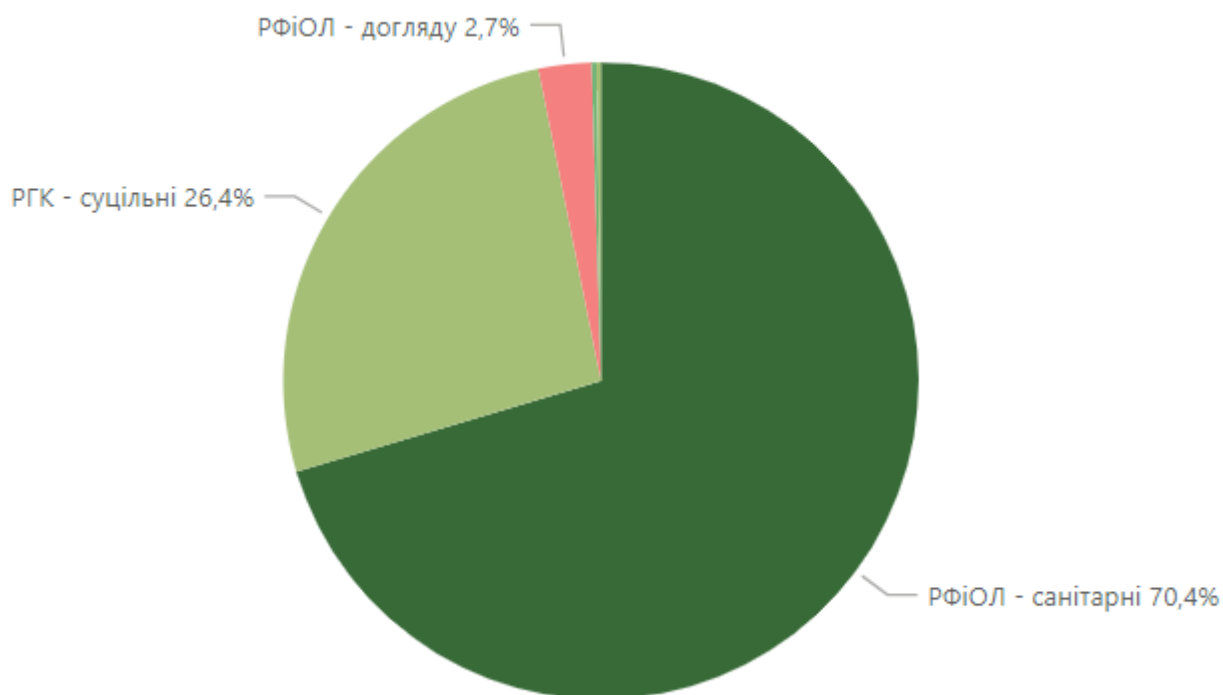


Рис.6. Структура лісозаготівлі у 2023 році за системами рубок

Як бачимо зподаного вище графіка, переважна більшість лісозаготівлі відбулася від проведення рубок формування і оздоровлення лісів. Серед санітарних рубок переважали саме суцільні санітарні рубки (68 % від загального обсягу лісозаготівлі). Вибірковими санітарними рубками було заготовлено лише трохи більше 2 %.

Рубки догляду та інші рубки у поточному році проводилися в незначних обсягах. Лише трохи більше як 3 % деревини було заготовлено від їх проведення (таблиця 11).

Обсяги рубок у лісах філії у 2023 році

Вид рубки	Вирубуваний запас	Площа, га	Вибірка з 1 га, куб.м
Суцільна санітарна рубка	298288	1407	212
Суцільнолісосічна рубка	115603	369	313
Вибіркова санітарна рубка	9402	236	39
Прохідна рубка	9384	236	39
Проріджування	1235	73	16
Розчищення ЛЕМ	888	3	274
Прочищення	774	73	10
Інші рубки	499	18	27
Освітлення	359	60	6
Освітлення НЛК	319	80	4
Розрубівання квартальної просіки	213	12	17
Розчищення траси лісовозної дороги	101	1	68
Рубка небезпечних дерев	34	0	161

У зв'язку з величезними обсягами пожеж у 2020 році, наслідки котрих потрібно було ліквідовувати за кілька років, у 2021-2022 роках частка санітарних рубок була порівняно більшою. У 2021 році суцільними санітарними рубками було заготовлено 39 % деревини, вибірковими – понад 34 %. У 2022 році - суцільними санітарними рубками було заготовлено 65 % деревини, вибірковими – майже 12 %.

ВИСНОВКИ

1. Станом на 2023 рік площа лісових ділянок Філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» майже 80 тис. га, з яких 73,6 тис. га – вкриті лісом землі. Лише 2/3 площ лісових ділянок можливі для експлуатації (53 тис. га). Хоча в лісовому фонді знаходиться тільки лісів 4-ї категорії близько 78 % площ, експлуатація на значній площі цих лісів неможлива у зв'язку зі значним рівнем їх забруднення.

2. На ревізійний період було передбачено проведення суцільнолісосічних рубок на площі 3258 га. Крім цього було виявлено деревостани на площі понад 840 га, котрі потребували проведення суцільних санітарних рубок. Лісовідновлення проєктувалося як штучним (майже 4 тис. га), так і природнім (1633 га) способами. Сприяння природному поновленню передбачалося на площі 39 га. Доповнення лісових культур проєктувалося на площі 1219 га, увід недостаючих порід у незімкнуті лісові культури на 554 га, агротехнічний догляд – на 1287 га, лісівничий догляд – на 775 га

3. Філія «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» входить у трійку найбільших лісакористувачів за обсягами лісозаготівлі проиягом останніх років. Причин цього є декілька. По-перше - значні площі дозволених для експлуатації лісів, по-друге - велика частка деревостанів старших вікових груп, по-третє – великі обсяги санітарних рубок спричинені великими площами пожеж за останні роки. Лише у поточному році у лісах філії передбачалася лісозаготівля обсягом понад 437 тис. м³ деревини, що становить майже 14 % обсягу лісозаготівлі Житомирської області, де зареєстровано 28 лісакористувачів. рубок.

4. У зв'язку з величезними обсягами пожеж у 2020 році, наслідки котрих потрібно було ліквідовувати за кілька років, у 2021-2022 роках частка санітарних рубок була порівняно більшою ніж у 2023 році. У 2021 році суцільними санітарними рубками було заготовлено 39 % деревини, вибірковими – понад 34 %. У 2022 році - суцільними санітарними рубками було заготовлено 65 % деревини, вибірковими – майже 12 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fedonyuk, T. P., Galushchenko, O. M., Melnichuk, T. V., Zhukov, O. V., Vishnevskiy, D. O., Zymaroieva, A. A., & Hurelia, V. V. (2020). Prospects and main aspects of the GIS-technologies application for monitoring of biodiversity (on the example of the Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve). *Space Science and Technology*, 26(6). 075-093 doi:10.15407/knit2020.06.075, <http://space-scitechjournal.org.ua/en/archive/2020/6/05> (Web of Science)
2. Fedoniuk, R. H., Fedoniuk, T. P., Zimaroieva, A. A., Pazych, V. M., & Zubova, O. V. (2020). Impact of air born technogenic pollution on agricultural soils depending on prevailing winds in polissya region (NW ukraine). *Ecological Questions*, 31(1), 69-85. doi:10.12775/EQ.2020.007, (Scopus, Web of Science)
3. Fedoniuk, T., Borsuk, O., Melnychuk, T., Zymaroieva, A., & Pazych, V. (2021). Assessment of the consequences of forest fires in 2020 on the territory of the chornobyl radiation and ecological biosphere reserve. [Оцінка наслідків лісових пожеж 2020 року на території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника] *Scientific Horizons*, 24(8), 26-36. doi:10.48077/scihor.24(8).2021.26-36
4. Fedoniuk, T., Fedoniuk, R., Klymenko, T., Polishchuk, O., & Pitsil, A. (2021). Bioindication of aerotechnogenic pollution of agricultural landscapes caused by the activities of industrial hubs. *Ekologia Bratislava*, 40(2), 115-123. doi:10.2478/eko-2021-0013 (Scopus)
5. Романчук Л. Д., Лопатюк О.В., Ковальова С.П. Радіологічна оцінка продуктів харчування мешканців радіоактивно забруднених територій у віддалений період після аварії на ЧАЕС. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 2 (56), т. 1. С. 11–16.
6. Ella Arystarkhova, Ludmila Romantschuk, Yevgen Dankevych, Olena Zhytova. Вплив амоніаку вод поверхневих джерел водопостачання на їх токсичність для *Rana ridibunda* (Pallas, 1771). *ScienceRise: Biological Science*. № 3(12) (2018). 39-43.

7. Романчук Л. Д., Лопатюк О. В., Ковальова С. П. Оцінка вмісту радіонукліду ^{137}Cs у продуктах харчування мешканців радіоактивно забруднених територій у віддалений період після аварії на ЧАЕС. Наукові горизонти. 2019. № 8 (81). С. 82-86.

8. Romantschuk L., Ustyomenko V., Didenko P. Accumulation and Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr Radionuclides in the Forests of the «Drevlyansky» Nature Reserve. International Journal of Energy and Environment. Vol. 12, Issue 2. P. 143–151. DOI: 10.11648/j.ijee.20210602.11

9. Orlov O., Zhukovsky O., Ivaniuk I., Ustyomenko V., Martynenko V. Accumulation of ^{137}Cs by thallus of epiphytic lichen hypogymnia physodes (L.) Nyl on different trunk height in pine stands. Scientific Horizons. Vol. 25, no. 5. P. 48–59. DOI: 10.48077/scihor.25(5).2022.48-59

10. Устименко В. І., Романчук Л. Д. Вплив лісових пожеж на лісові рослинні комплекси, забруднені радіонуклідами. Ядерна та фізична енергетика. Т. 3, № 2. С. 195-202. DOI: 10.15407/jnpae2022.03.195

11. Качур Т.В. Прогнозування надзвичайних ситуацій, які викликані пожежами, в радіоактивно-забруднених лісових масивах України з використанням розвідувальних безпілотних літальних апаратів: монографія / Т. В. Качур, М. М. Дівізінюк, О. В. Азаренко, В. О. Собина, Д. В. Тарадуда – Харків: НУЦЗ України, 2020. – 96 с

12. Радіоекологія. Конспект лекцій для студентів спеціальності 101 Екологія. Луцьк: Вид-во Вежа, 2023. 109 с.

13. Качур Т.В. Прогнозування надзвичайних ситуацій, які викликані пожежами, в радіоактивно-забруднених лісових масивах України з використанням розвідувальних безпілотних літальних апаратів: монографія / Т. В. Качур, М. М. Дівізінюк, О. В. Азаренко, В. О. Собина, Д. В. Тарадуда – Харків: НУЦЗ України, 2020. – 96 с.

14. Герасимов О. І., Андріанова І. С., Курятников В. В., Співак А. Я. Посібник для пошукувачів рівня підготовки доктор філософії за спеціальністю

Технології захисту навколишнього середовища: навчальний посібник.
Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2021. 213 с.

15. Miura, S. The effects of radioactive contamination on the forestry industry and commercial mushroom-log production in Fukushima, Japan. In *Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident* (eds. Nakanishi, T. M. & Tanoi, K.) 145–160 (Springer Japan, 2016). https://doi.org/10.1007/978-4-431-55828-6_12.

16. Kato, H., Onda, Y. & Gomi, T. (2012) Interception of the Fukushima reactor accident-derived ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{131}I by coniferous forest canopies. *Geophys. Res. Lett.* 39, GL052928 (2012).

17. Hashimoto, S., Ugawa, S., Nanko, K. & Shichi, K. The total amounts of radioactively contaminated materials in forests in Fukushima. Japan. *Sci. Rep.* 2, 416 (2012).

18. Hashimoto, S., Komatsu, M. & Miura, S. Forest radioecology in Fukushima. (Springer Nature Singapore, 2022). <https://doi.org/10.1007/978-981-16-9404-2>.

19. Aoki, D. et al. Translocation of ^{133}Cs administered to *Cryptomeria japonica* wood. *Sci. Total Environ.* 584–585, 88–95 (2017).

20. Tanaka, K., Iwatani, H., Sakaguchi, A., Takahashi, Y. & Onda, Y. Local distribution of radioactivity in tree leaves contaminated by fallout of the radionuclides emitted from the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 295, 2007–2014 (2013)

21. Yoschenko, V. et al. Radioactive and stable cesium isotope distributions and dynamics in Japanese cedar forests. *J. Environ. Radioact.* 186, 34–44 (2018).

22. Kenzo, T. et al. Seasonal changes in radiocesium and potassium concentrations in current-year shoots of saplings of three tree species in Fukushima. Japan. *J. Environ. Radioact.* 223–224, 106409 (2020).

23. Ohashi, S. et al. Decadal trends in ^{137}Cs concentrations in the bark and wood of trees contaminated by the Fukushima nuclear accident. *Sci. Rep.* 12, 11243 (2022).
24. Hashida, S. & Yoshihara, T. Disparate radiocesium leaching from two woody species by acceleration of litter decomposition using microbial inoculation. *J. Environ. Radioact.* 162–163, 319–327 (2016).
25. Burger, A. & Lichtscheidl, I. Stable and radioactive cesium: A review about distribution in the environment, uptake and translocation in plants, plant reactions and plants' potential for bioremediation. *Sci. Total Environ.* 618, 1459–1485 (2018).
26. Kuroda, K., Yamane, K. & Itoh, Y. In planta analysis of the radial movement of minerals from inside to outside in the trunks of standing Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) trees at the cellular level. *Forests* 12, 251 (2021).
27. Hara, T., Takenaka, C. & Tomioka, R. Change in the chemical form of ^{137}Cs with age in needles of Japanese cedar. *J. Environ. Radioact.* 213, 106137 (2020).
28. Kurihara, M., Onda, Y. & Yasutaka, T. Differences in leaching characteristics of dissolved radiocaesium and potassium from the litter layer of Japanese cedar and broadleaf forests in Fukushima. Japan. *J. Environ. Radioact.* 223–224, 106417 (2020).
29. Sakashita, W., Miura, S., Nagakura, J., Kanasashi, T. & Shinomiya, Y. Seasonal stability of ^{137}Cs in coppiced *Quercus serrata* current-year branches: Toward the estimation of trunk ^{137}Cs activity concentrations without felling. *Ecol. Indic.* 133, 108361 (2021).
30. Povinec, P. P., Hirose, K., Aoyama, M. & Tateda, Y. Fukushima accident: 10 Years After. (Elsevier, 2021). <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03914-9>.

31. Kato, H., Onda, Y. & Gomi, T. (2012) Interception of the Fukushima reactor accident-derived ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{131}I by coniferous forest canopies. *Geophys. Res. Lett.* 39, GL052928 (2012).
32. Fan, Q., Yamaguchi, N., Tanaka, M., Tsukada, H. & Takahashi, Y. Relationship between the adsorption species of cesium and radiocesium interception potential in soils and minerals: An EXAFS study. *J. Environ. Radioact.* 138, 92–100 (2014).
33. Hashimoto, S., Ugawa, S., Nanko, K. & Shichi, K. The total amounts of radioactively contaminated materials in forests in Fukushima, Japan. *Scientific Reports* 2, 416, <https://doi.org/10.1038/srep00416> (2012).
34. Imamura, N. et al. Temporal changes in the radiocesium distribution in forests over the five years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Scientific Reports* 7, 8179, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08261-x> (2017).
35. Komatsu, M. et al. Characteristics of initial deposition and behavior of radiocesium in forest ecosystems of different locations and species affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 161, 2–10 (2016).
36. Shaw, G. et al. Radionuclide migration in forest ecosystems – results of a model validation study. *Journal of Environmental Radioactivity* 84, 285–296 (2005).
37. Fesenko, S., Spiridonov, S. & Avila, R. Modelling Of ^{137}Cs Behaviour In Forest Game Food Chains. In *Contaminated Forests* (eds. Linkov, I. & Schell, W. R.) 239–247, https://doi.org/10.1007/978-94-011-4694-4_25 (Springer Netherlands 1999).
38. Hashimoto, S. et al. Predicted spatio-temporal dynamics of radiocesium deposited onto forests following the Fukushima nuclear accident. *Scientific Reports* 3, 2564, <https://doi.org/10.1038/srep02564> (2013).

39. Nishina, K. & Hayashi, S. Modeling radionuclide Cs and C dynamics in an artificial forest ecosystem in Japan -FoRothCs ver1.0-. *Frontiers in Environmental Science* 3, 61, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00061> (2015).
40. Nishina, K. et al. Calibration of forest ^{137}Cs cycling model "FoRothCs" via approximate Bayesian computation based on 6-year observations from plantation forests in Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity* 193–194, 82–90 (2018).