

ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ

УДК 168.5:504.122:355.423.1'424.1(477-07)(045)

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.148.2026.119>**ОЦІНКА ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ ЛІСАМ ПОЖЕЖАМИ, СПРИЧИНЕНИМИ ВІЙНОЮ
НА ТЕРИТОРІЇ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНОГО
БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА У 2022 РОЦІ**Я. П. Дідух^{1*}, О. А. Борсук², І. І. Мойсієнко³

На основі функціональних (регуляційних та підтримувальних) екосистемних послуг оцінено втрати лісів Чорнобильського заповідника, завдані бойовими діями навесні 2022 р. Розраховано запаси деревини на основі таксаційних даних 2016 р. за авторською методикою. Розраховано фітомасу всіх компонентів екосистем, приросту, витрат на засвоєння CO₂, виділення O₂, транспірацію, процеси ґрунтоутворення, трофічні потреби гетеротрофного блоку. Отримані енергетичні показники монетизовано (\$). Розраховані для різних типів лісів показники становлять від 10,69 до 17,25 тис \$ га/рік. Аналіз супутникових знімків виявив, що у 2022 р. знищено 6 403,0 га лісів (2,8 % від площі заповідника). Найвищі втрати визначено для сухих та свіжих соснових лісів *Dicrano-Pinetum* (40,91 % площі та 42,92 % запасів). Збитки для них з урахуванням тривалості відновлення становлять 2,61 млрд \$, або 83,75 % від загальної суми (3,12 млрд \$). Значні збитки заподіяні також вторинним березовим лісам (387,42 млн. \$). Отримані дані є важливими для стягнення відшкодування з російської федерації.

Ключові слова: російська агресія, зграища, Чорнобильська зона, втрати лісових екосистем, екосистемні послуги.

Вступ. Ліси відіграють ключову роль у геохімічних процесах кругообігу (циклах) функціонування біосфери. Площа лісів у світі становить понад 4,14 млрд га (32 % суші) (FAO, 2025), у Європі – 31,4 % суші. Зокрема, у країнах ЄС ліси ростуть на площі близько 161 млн га, що становить 38,22 % суші (Eurostat, 2024; European Forest Fire Information System, 2026). В Україні, яка розташована у трьох природних зонах (зокрема у природно-безлісій степовій), площа вкритих лісовою рослинністю земель становить 9,6 млн га (15,9 % території країни). Незважаючи на невелику лісистість території, Україна посідає восьме місце в Європі за площею лісів та шосте місце за запасами деревини (Korzhov, 2021).

У зв'язку зі зміною клімату та господарською діяльністю (рубками та заміною природних складних насаджень монокультурами хвойних (сосни та ялини)) запаси лісів зменшилися як унаслідок рубок, пожеж і всихання ялини в Карпатах, сосни на Поліссі, ясена в усій країні. Пожежі завдають величезної економічної та екологічної шкоди лісам. Лісові пожежі є екологічною проблемою у більшості країн світу, зокрема там, де переважають посушливий клімат, висока температура повітря та мала кількість опадів. У зв'язку зі зміною клімату тривалість пожежонебезпечного періоду, частота та швидкість поширення пожеж збільшуються (Flannigan *et al.*, 2009; Camia *et al.*, 2017; Molin *et al.*, 2018). За даними онлайн-ресурсу *European Forest Fire Information System* (2026), у країнах ЄС щороку фіксують близько однієї тисячі загорань, пожежі знищують близько 353 тис. га лісів, що становить 0,22 % їхньої площі (Sedano *et al.*, 2025). Незважаючи на варіювання кількості пожеж і вигорілих площ

¹ Дідух Яків Петрович, академік НАН України, доктор біологічних наук, професор, Інститут ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська, 2, Київ, 01024, Україна. E-mail: ya.didukh@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5661-3944>

² Борсук Олександр Анатолійович, кандидат сільськогосподарських наук, Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, вул. Толочина, 28, смт Іванків, 07201, Київська область, Україна. E-mail: sasha.borsuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7475-8776>

³ Мойсієнко Іван Іванович, доктор біологічних наук, професор, Херсонський державний університет, вул. Шевченка, 14, Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: ivan.moysiienko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0689-6392>

* Адреса для кореспонденції: ya.didukh@gmail.com

за роками, загальна тенденція до їхнього збільшення зберігається. Аналогічною є картина в Україні. Якщо у 70–80 роках минулого сторіччя суттєві негативні наслідки пожеж фіксували для південних регіонів, то останнім часом такий вплив виявляється на всій території України.

Військова агресія російської федерації спричинила значні негативні наслідки для лісів і погіршення ситуації з лісовими пожежами в Україні (Irland *et al.*, 2023; Matsala *et al.*, 2024; Myroniuk *et al.*, 2024; Zibtsev *et al.*, 2024). В Україні зафіксовано різке збільшення кількості пожеж та їхньої площі внаслідок воєнних дій, причому ці показники перевищують загальноєвропейські. Так, за даними The European Commission's Joint Research Centre у 2024 р. в Україні пожежами було охоплено вдвічі більшу площу лісів, ніж на всій території Європейського Союзу (Sedano *et al.*, 2025). Слід зазначити, що пожежі, які виникають під час війни, – особливий чинник воєнних впливів на довкілля. Вони можуть бути як безпосереднім наслідком бойових дій, так і свідомою тактичною діяльністю військ. Значний вплив на розвиток пожеж здійснює забруднення території нерозірваними боєприпасами. Нині нерозірвані боєприпаси та міни є основними перешкодами для лісогосподарської діяльності та управління лісовими пожежами (Irland *et al.*, 2023; Matsala *et al.*, 2024). Пожежі виникають і неконтрольовано поширюються як у зоні активних бойових дій, так і далеко поза її межами (наприклад, на замінованих та окупованих територіях) і навіть глибоко в тилу під час обстрілів та бомбардувань (Vasyliuk *et al.*, 2024). Війна призвела до збільшення кількості та масштабів пожеж, які зараз значно перевищують можливості пожежних служб щодо їхнього вчасного гасіння та ліквідації.

Особливу небезпеку на території України становлять лісові пожежі в Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ), близько 85 % площі якої займає Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (ЧРЕБЗ). Пожежі тут відбуваються постійно (від 1993 до 2024 рр. зареєстровано 1 941 пожежу, якими пройдено 129 342,47 га (*Nature Chronicle for 2024, 2025*)) та є звичним явищем для території зони відчуження (Beresford *et al.*, 2021; Zibtsev *et al.*, 2015), проте, особливо в останні роки, відбувається зміна пожежного режиму території. Якщо на початку 1990-х років у ЧЗВ фіксували від двох до десяти пожеж (загорянь) на рік у лісах та від 30 до 100 на перелогих (Abduragimov and Odnolko, 1993), то від 1991 до 1994 р. відбулося понад 200 пожеж, що охопили площу 4,1 тис. га лісів та 5,6 тис. га трав'яних угруповань (Azarov, 1996). Якщо у 1990-х роках пожежі мали локальний характер, то у XXI сторіччі вони набули великомасштабного характеру, а пожежний період збільшився та зсунувся на весну, що пов'язано зі зміною клімату. Якщо великі пожежі 1992 р. набули значних масштабів через відсутність лісогосподарської, протипожежної діяльності та спеціалізованих лісопожежних служб, то пожежі останніх років пов'язані зі зміною клімату. Зокрема, це чітко простежується на пожежах квітня 2020 р.: основною причиною їхнього розвитку до великих масштабів стали надзвичайно посушливий 2019 р., безсніжна зима та вища за норму середньорічна температура повітря (*Nature Chronicle for 2020, 2021*). Це була найбільша пожежа за весь час спостережень на території ЧЗВ, за якої потерпали великі площі лісів і перелогів (Sorokina and Petrov, 2020). Пожежа охопила понад 66 тис. га, що становить близько четвертої частини зони відчуження (*Nature Chronicle for 2020, 2021*; Fedoniuk *et al.*, 2021). До цього масштабні пожежі на території ЧЗВ відбувалися у 1992 та 2015 рр.

Суттєвої шкоди лісам Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, як і всієї Чорнобильської зони відчуження, завдали пожежі, пов'язані з воєнними діями, які відбувались як у результаті розташування там російських військових частин, так і після їхнього відступу, коли пожежі не можна було зупинити через мінування лісів, знищення й викрадення пожежної техніки та інші чинники. Лісові насадження у ЧРЕБЗ ростуть на площі 139,29 тис. га, основу яких (56,1 % вкритої лісом площі) становлять соснові ліси, переважно штучного походження, які, як відомо, відзначаються високим ступенем пожежної небезпеки. Протягом 2022 р. на території зони відчуження зафіксовано 66 пожеж на площі 31 743,6 га, 59 % з яких відбувалися в лісах (*Nature Chronicle for 2022, 2023*).

Особливістю пожеж у Чорнобильській зоні є те, що внаслідок бойових дій та підпалів відбувається втрата лісового намету, підстилки, оголення ґрунтів, що призводить до повторного викиду радіоізотопів, підвищення рівня радіоактивного забруднення повітря, що є надзвичайно великою загрозою (Ager *et al.* 2019; Vasyliuk *et al.*, 2024). Пожежі, вивільняючи радіонукліди в атмосферу та сприяючи їх розповсюдженню з димом, підвищують ризики опромінення для пожежників і населення навколишніх громад (Kashparov *et al.*, 2000; 2024; Beresford *et al.*, 2021; Balashevska *et al.*, 2023).

Після звільнення Чорнобильської зони від окупації з'явилася можливість оцінити вплив війни на довкілля. На жаль, на великій площі ліси були знищені не лише пожежами, а й унаслідок будівництва фортифікацій, розміщення бойової техніки, обстрілів і вибухів (Kolomiichuk *et al.*, 2024). Значна частина територій є замінованою, та існує постійна небезпека для диких тварин, які гинуть чи калічаються внаслідок детонації. Знищення пожежами деревостану, наземного покриву й підстилки суттєво впливає на характеристики ґрунту. Повалені зуглені деревні стовбури розкладатимуться десятиліттями. Такі залишкові накопичення деревного палива не лише перешкоджають відновленню лісів, а й можуть спровокувати формування вторинних пожеж (Dunn and Bailey, 2015). Як свідчить аналіз викладеного матеріалу, у результаті пожеж виникає комплекс гострих екологічних, економічних проблем, які потребують вирішення. У своїх дослідженнях ми ставили перед собою *мету* розрахувати екологічні збитки від втрат фітобіотичної складової лісових екосистем ЧРЕБЗ на основі оцінювання їхніх функціональних (регуляційних та підтримувальних) екосистемних послуг.

Матеріали й методи. Хоча на сьогодні існують різні методики оцінювання екосистемних послуг та економічного розрахунку екологічних збитків (Kumar, 2012; Cherchuk, 2022; FEMA, 2022; Haines-Young, 2023; MEA, 2023; Tkach *et al.*, 2023), у цій роботі ми використали розроблену нами методику (Didukh *et al.*, 2024) оцінювання функціональних (регуляторних і підтримувальних) екосистемних послуг на основі таких показників, які відображають інтегральну характеристику, загальний внесок екосистеми у функціонування біосфери за допомогою універсальних одиниць виміру вільної енергії, яку Ю. Одум (Odum, 1983) влучно назвав «екологічною валютою». Енергетичні характеристики відображають функціонування, організацію та розвиток (динаміку) екосистем, ступінь їхньої опірності, пошкодження, характер і швидкість відновлення та є мірилом нашого ставлення до природи, ефективності господарювання, й водночас вони якнайменше залежать від суб'єктивної оцінки та людської діяльності й тому є пріоритетними для використання результатів у міжнародних судових інстанціях із метою стягнення репарацій. Загалом схема оцінювання збитків охоплює такі операції: V (об'єм фітокомпонентів) – M (фітомаса) – E (енергетичні показники) – \$ (монетарна вартість) (Didukh *et al.*, 2024). Таке оцінювання не є повним, бо не відображає всю ринкову ресурсну вартість лісів, цінність таких екосистемних послуг, як втрата біорізноманіття, популяцій рідкісних видів, наукове, історико-культурне, соціальне, культове значення екосистем, збитки, заподіяні ґрунтам, для оцінювання яких потрібні інші методики, і їх розробляють відповідні спеціалісти.

Для розрахунку збитків ми брали таксаційні характеристики лісів (площі виділів, породний склад, вік, висоту, діаметр деревостану та запас) та вносили у таблицю Excel. Статистичну обробку даних (MD) проведено в програмі Excel. Оскільки таксацію проводили у 2016 р., то на початковому етапі було виконано розрахунки зміни цих показників за шість років, тобто на час пожежі 2022 р. Для внесення відповідних часових змін ми скоригували таксаційні показники на основі залежності між віком (A), висотою (H), діаметром (D) та запасами (C) стовбурової деревини і розраховували відповідні показники для збільшення віку на шість років (+6). Для більшої достовірності результатів ми додатково розраховували запаси деревини щодо віку, висоти та діаметра і за основу брали середнє значення цих результатів ($X = (A_{2022} + H_{2022} + D_{2022})/3$).

Наступний етап розрахунків полягав в оцінюванні біомаси стовбурової деревини залежно від густини (щільності) порід. На основі цих даних за відповідними таблицями (Lakyda *et al.*, 2002) розраховували показники надземної біомаси (стовбурової деревини, крони, листків (хвої), що в сумі становить 80 %), а для розрахунку біомаси підземної частини брали показник 20 % від надземної біомаси (Oleksyn *et al.*, 1999; Wirth *et al.*, 2004; Bilek *et al.* 2017; Jagodzinski *et al.*, 2019; Moroz and Krynytskyu, 2025). Оскільки сукупні запаси підросту, чагарникового та трав'яно-мохового ярусів у таких лісах становлять від 1 до 3 %, ми брали показник 2 %, і навіть значна похибка не має великого значення. Показники запасів біомаси лісових екосистем переводили в енергетичні одиниці (1 т = 108,06 ГДж). Протягом вегетаційного сезону відбуваються приріст і відпад органіки, які, залежать від віку деревостану, але загалом становлять близько 3 % від біомаси. Оскільки лісова підстилка під листяними лісами розкладається протягом 2–3 років, а під хвойними – 5–7 років, запаси її є вищими в соснових лісах та в бідних сосняках Полісся становлять 3–5 % від запасів загальної фітомаси (Didukh and Alioshkina, 2012; Voron *et al.*, 2021).

Для оцінювання екологічних функцій лісів розраховано енергетичні витрати на продукування O₂ (140 % від показників приросту фітомаси), засвоєння CO₂ (65 %), транспірацію й дихання надземної та підземної біоти (20 %), а також на споживання консументами (10 %) (Odum, 1983). Таким чином, розраховані енергетичні показники відображають різні аспекти розвитку, кліматоформувальне, ґрунтоутворювальне значення екосистем, тобто підтримувальні та регулювальні екосистемні послуги. Отримані дані було використано для оцінювання збитків екосистем (1ГДж = 3,3 тис. \$ за показниками 2025 р.) з урахуванням часу на їхнє відновлення до вихідного стану.

Вихідними даними для оцінювання збитків лісів ЧРЕБЗ були контури пожеж, закартовані у 2022 р. з використанням даних супутникової зйомки (Borsuk and Sydorenko, 2022; *Nature Chronicle for 2022*, 2023), та дані лісовпорядкування 2016 р. для території зони відчуження. Поєднання цих даних із використанням програмного забезпечення ArcGIS Pro дало змогу здійснити вибірку виділів, пройдених пожежами, та отримати таксаційну характеристику лісів, яку використано для подальших розрахунків збитків.

Для обчислення площі загиблих лісів використано дані супутникової зйомки Sentinel-2 за 2021 та 2023 рр. Нами обраховано індекс NDVI (формула (1)), який використовує червоний (RED) та близький інфрачервоний (NIR) спектри для оцінювання фотосинтетичної активності рослинності (Hudak *et al.*, 2007).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Хлорофіл у здоровій рослинності поглинає видиме червоне світло та відбиває близьке інфрачервоне, що відображається у високих значеннях NDVI. Порушення рослинного покриву внаслідок пожеж або дії інших чинників, а також сезонність листяних деревних видів відображаються низькими значеннями індексу (Hudak *et al.*, 2007). Для оцінювання впливу пожежі на ліси нами обраховано NDVI за передпожежний 2021 р. та післяпожежний 2023 р. і визначено різницю між ними (рис. 1). Для зменшення впливу атмосферних явищ, вологості рослинного покриву на значення NDVI ми використали композитні знімки з хмарністю менше ніж 10 % за період від 1 травня до 1 вересня 2021 та 2023 рр. Для картування загибелі лісів визначено зміну NDVI, яка є індикатором зміни стану лісів і яку поряд із іншими індексами використовують для картування загибелі лісів (Huang *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2025; Popov *et al.*, 2025).

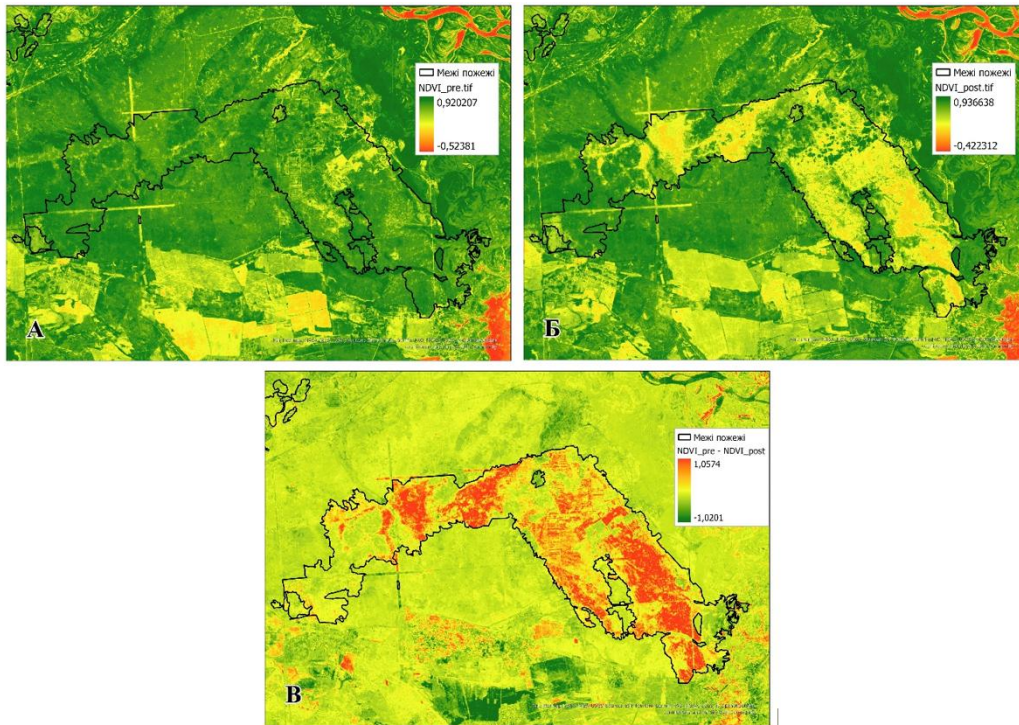


Рис. 1 – Значення індексу NDVI до пожежі (А), після пожежі (Б), та їх різниця (В)
 Fig. 1 – NDVI values before the fire (A), after the fire (Б), and the difference between them (B)

Результати. Ми досліджували перші постпірогенні стадії демутації, а також горільники всіх типів лісів від сухих лишайникових соснових до мокрих вільхових. Із метою оцінювання масштабів горільників використано картографічні матеріали (*Nature Chronicle for 2022, 2023*), наведені на рисунку 2.

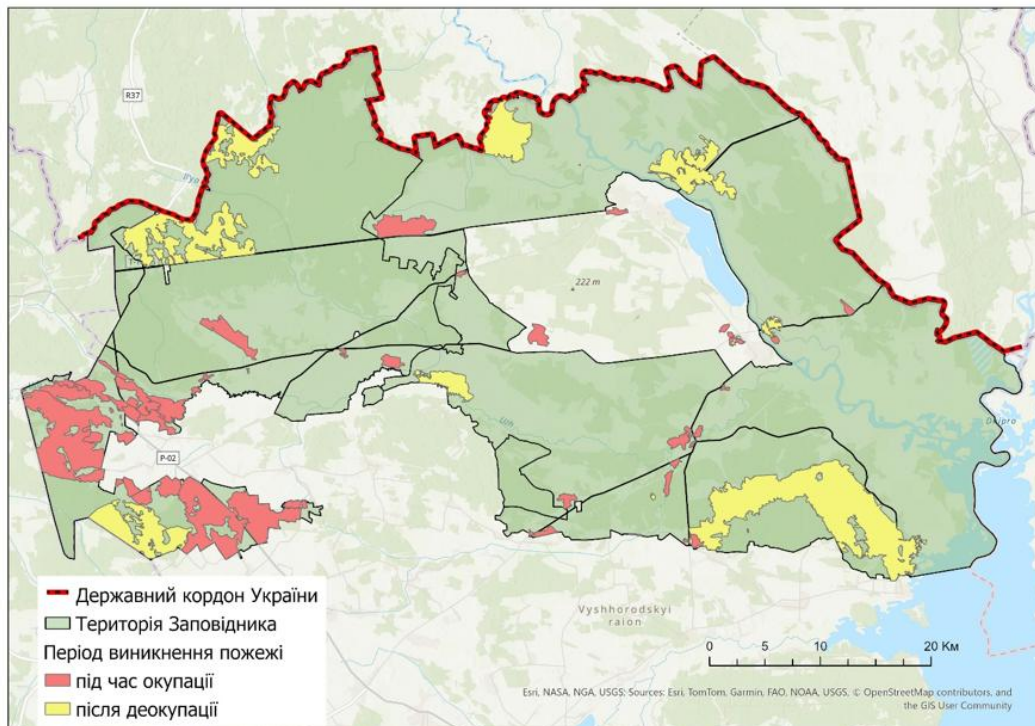


Рис. 2 – Карта локалізації пожеж 2022 р. на території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника
 Fig. 2 – Map showing the locations of fires in 2022 within the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve

До площ вигорілих (загиблих) лісів віднесено вкриті лісовою рослинністю ділянки, де зафіксовано зниження NDVI на 0,2 і більше. Через відсутність повноцінного доступу до території та можливості дослідження стану лісового покриву таке оцінювання є дуже приблизним, зокрема, дослідження (Lee *et al.*, 2025) свідчить, що дельта NDVI, більша за 0,1, є ефективною для картування лісів середнього й сильного ступеня пошкодження внаслідок пожеж.

Польові геоботанічні дослідження проводили протягом 2025 р. на території Опачицького, Купуватського і Розсохівського природоохоронних науково-дослідних відділень заповідника (Опачицьке та Дитятківське лісництва відповідно до даних лісовпорядкування), де презентовані різноманітні типи вигорілих соснових лісів та їхні природні аналоги (табл. 1). Досліджено основні осередки пожеж, які сталися навесні 2022 р. під час повномасштабного вторгнення російських військ і після деокупації території, у соснових лісах, які були доступні для безпечних досліджень. Загалом виконано близько 100 геоботанічних описів.

Таблиця 1

Співвідношення площ виділів різних типів лісів Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, що постраждали від пожеж у 2022 р.

Table 1

Proportion of areas affected by fires in 2022 across different forest types within the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve

Домінантна деревна порода Dominant tree species	Площа виділів із слідами пожеж, га Area affected by fires, ha	Площа вигорілих (загиблих) лісів, га Area of burned (destroyed) forests, ha	Відсоток вигорілих лісів, % Percentage of burned forests
<i>Pinus sylvestris</i>	13692,54	5601,87	40,9
<i>Quercus robur</i>	422,17	60,85	14,4
<i>Betula pendula</i>	3909,08	685,31	17,5
<i>Alnus glutinosa</i>	265,72	40,01	15,1
<i>Salix spp.</i>	84,16	2,23	2,6
<i>Robinia pseudoacacia</i>	86,42	4,35	5,0
<i>Quercus rubra</i>	17,20	7,94	46,2
Інші деревні види	23,09	0,78	3,4
Разом	18 500,38	6 403,34	34,6

Камеральні роботи охоплювали введення даних таксаційних описів у таблицю Excel та аналіз окремих характеристик деревостану. Відповідно до наведеної методики виявлено зв'язки між віком, висотою та діаметром дерев із метою подальших розрахунків таких показників на час пожеж (2022 р.). Для аналізу взято деревостани видів *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Betula pendula*, *Alnus glutinosa*, які ростуть на найбільшій площі у ЧРЕБЗ та відрізняються за умовами виростання і швидкістю росту (рис. 3, 4).

На основі показників віку, висоти, діаметра деревостанів відповідних порід було розраховано запаси фітомаси їхньої стовбурової деревини, залежність між якими відображено на графіках (рис. 5–7).

Отримані показники стовбурової деревини були основою для оцінювання запасів фітомаси відповідних лісових екосистем загалом. За наведеною вище методикою обраховано загальні показники об'єму запасів фітомаси деревного ярусу ($\text{m}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) загалом (стовбурової деревини, гілок, хвої та кореневої системи), на основі яких, залежно від щільності повітряно-сухої деревини ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$), розраховано показники фітомаси ($\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$) та енергетичні показники ($1\text{т} = 18,06 \text{ ГДж}$). Для оцінювання запасів соснових лісових екосистем проведено відповідні розрахунки для підліску, чагарників, трав'яно-мохового покриву та підстилки. З урахуванням площі виділів розраховано показники відповідних лісових масивів, де домінували відповідні породи (табл. 2).

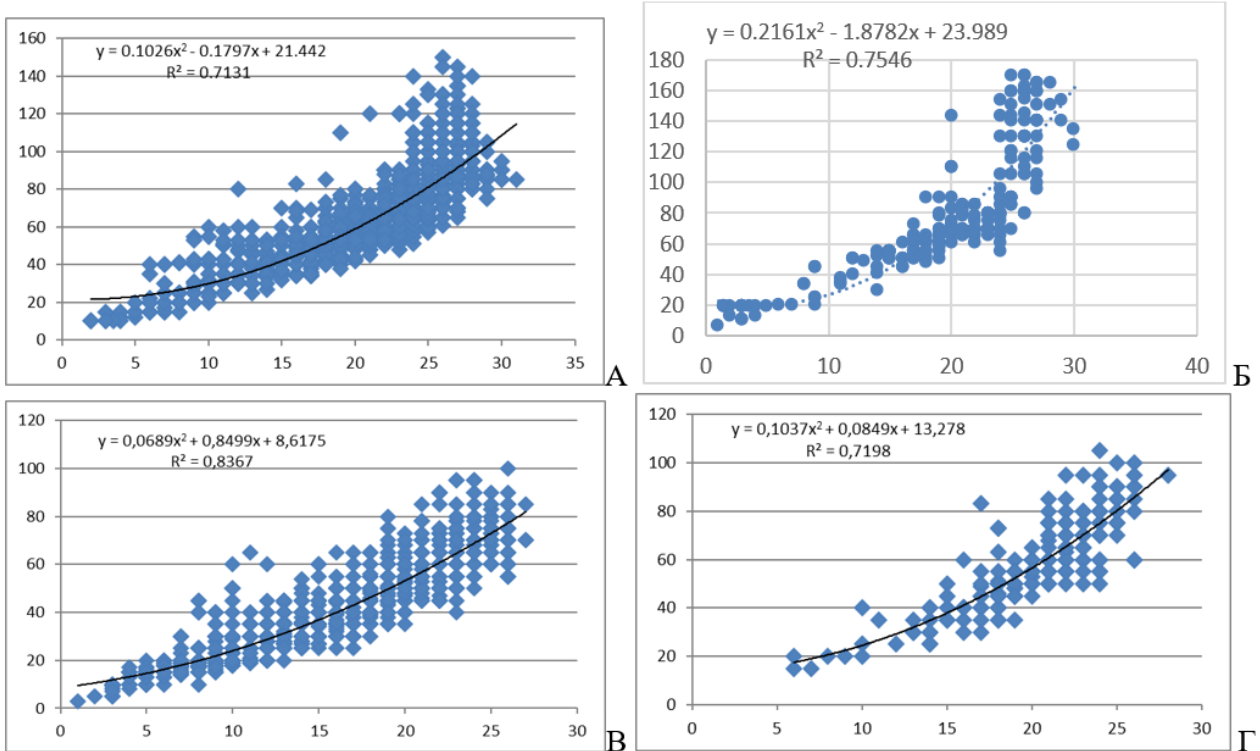


Рис. 3 – Зв'язок між висотою та віком деревостану:
 А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*
Fig. 3 – Relationship between forest stand height and stand age:
 А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

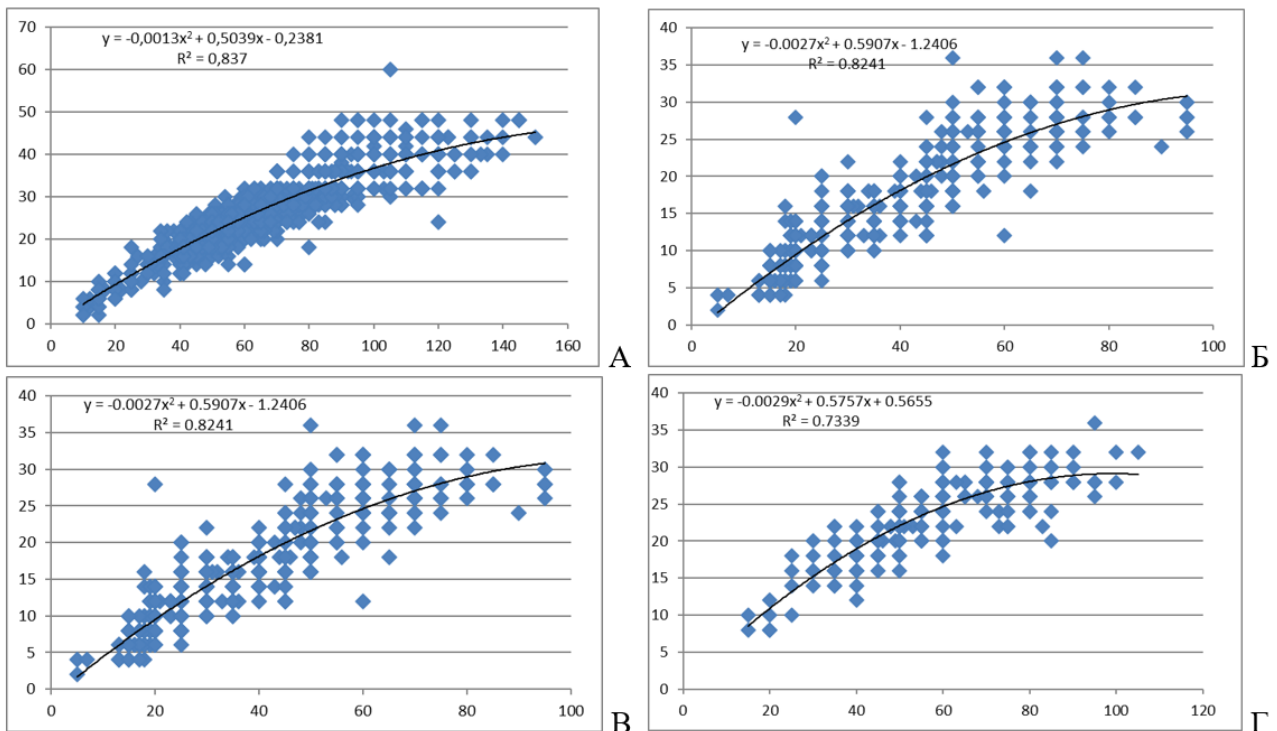


Рис. 4 – Залежність діаметра стовбура дерев (y) від віку (x):
 А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*
Fig. 4 – Dependence of trunk diameter (y) from age (x):
 А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

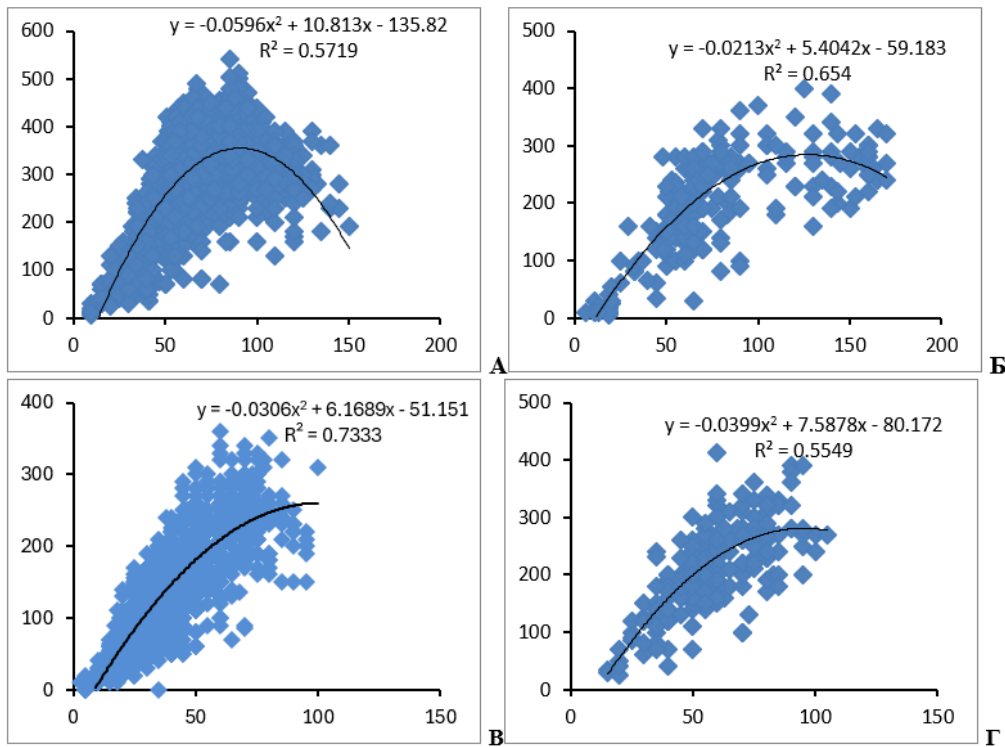


Рис. 5 – Залежність запасів стовбурової деревини (y) від віку деревостану (x):

А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

Fig. 5 – Dependence of stemwood volume (y) from stand age (x):

A – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

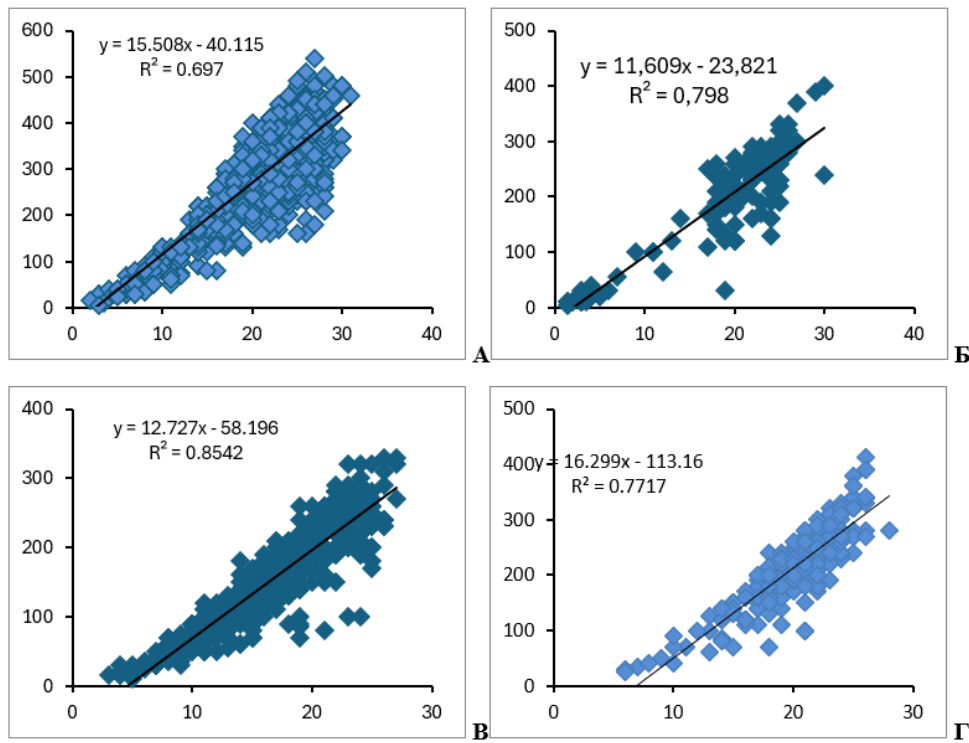


Рис. 6 – Залежність запасів стовбурової деревини від висоти деревостану:

А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

Fig. 6 – Dependence of stemwood volume from stand height:

A – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

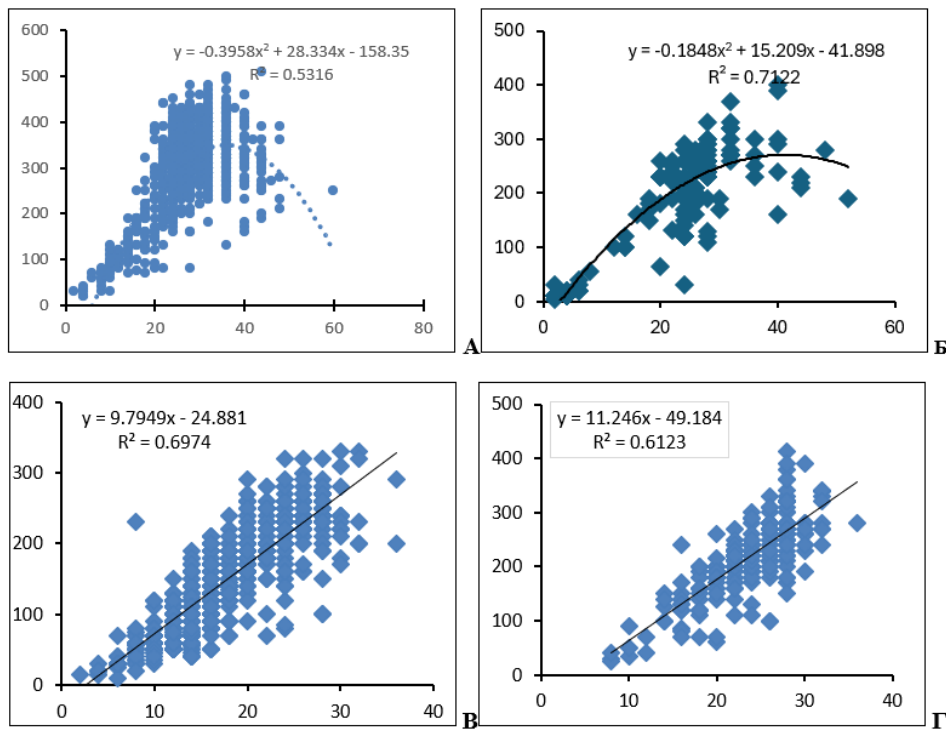


Рис. 7 – Залежність запасів стовбурної деревини (y) від діаметра деревостану (x):

А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

Fig. 7 – Dependence of stemwood volume (y) from stand diameter (x):

А – *Pinus sylvestris*, Б – *Quercus robur*, В – *Betula pendula*, Г – *Alnus glutinosa*

На основі даних сумарної фітомаси екосистем різних типів лісів за наведеною методикою (Didukh *et al.*, 2024; 2025) розраховано енергетичні показники приросту, поглинання CO_2 , виділення кисню, транспірації, забезпечення живлення консументів, редуцентів (табл. 3), а також опаду та детриту (див. табл. 2), що характеризує кліматорегульовальне, ґрунтоутворювальне та функціональне значення лісів. Ці показники переведено в стабільніші монетарні одиниці (\$), які легко перевести у гривневий курс, що може суттєво коливатися.

Обговорення. Як видно з аналізу таксаційних даних, найбільш поширеними на території ЧРЕБЗ є соснові ліси, більшість яких належать до асоціації *Dicrano-Pinetum*. Вони формуються в оптимальних умовах на вирівняних ділянках рельєфу та презентовані сосновими високостовбурними зімкненими (50–70 %) деревостанами (II–III класів бонітету). Ці ліси мають переважно штучне походження, але в таких умовах сосна добре відновлюється природним шляхом, і їхні ценози займають найбільші площі. Такі ліси виявилися найбільш уразливими, і руйнівний вплив пожеж виявився на всіх компонентах ценозу – від деревного ярусу до мохово-трав'яного (Didukh, 2022). Постраждали й інші типи сухих (*Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927, вологих *Molinio-Pinetum* Matuszkiewicz (1973) 1981, *Vaccinio-Pinetum* Kleist 1929) соснових лісів, а також листяні (березові, вільхові, дубові) та штучні посадки інтродукованих видів дерев (*Robinia pseudoacacia* L., *Quercus rubra* L.). Такий діапазон поширення горільників свідчить про пересихання підстилки навіть у заболочених лісах, що пов'язане з кліматичними змінами. Відповідно до наведених розрахунків (див. табл. 1), найбільшими за площею пожеж і дуже уразливими є саме соснові ліси, оскільки вони ростуть у сухих умовах, характеризуються найвищими запасами підстилки, а їхня хвоя виділяє легкозаймисті ефірні олії. Високу уразливість до пожеж соснових лісів відзначали й інші дослідники (Voron *et al.*, 2021; Brown *et al.*, 2026). У сухих умовах наявні також посадки *Betula pendula*, а під *Quercus rubra* формується потужний шар підстилки і практично відсутній

трав'яний покрив, що збільшує їхню уразливість. Менші втрати характерні для листяних лісів берези та дуба у вологіших та багатших місцях, а також заплавних вільхових та вербових лісів. Раніше нами були визначені сукцесійні стадії відновлення лісів, що найповільніше відбувається в сухих бідних умовах, а найшвидше – у вологих багатих (Didukh *et al.*, 2024).

Таблиця 2

Показники запасів об'єму, фітомаси та енергії лісів Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника

Table 2

Indicators of forest stock volume, biomass, and energy in the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve

Домінантна деревна порода Dominant tree species	Показник Indicator	Об'єм стовбурової деревини, м ³ ·га ⁻¹ Volume, m ³ ·ha ⁻¹	Фітомаса деревостану, т·га ⁻¹ Phyto-mass forest stand,	Енергозапас, ГДж·га ⁻¹ Energy potential, GJ · ha ⁻¹					
				деревостану forest stand	підросту та чагарників young trees and shrubs	мохово-трав'яного ярусу moss and herb layer	опалу та детриту litter and detritus	надземної живої фітомаси above-ground living biomass	сумарної фітомаси total phytomass
<i>Pinus sylvestris</i>	X	317,42	203,54	3 675,85	36,76	36,76	294,07	3 749,37	4 043,43
	MD	88,41	56,69	1 023,86	10,24	10,24	81,91	1 044,34	1 126,25
<i>Quercus robur</i>	X	212,44	185,66	3 353,05	100,59	33,53	100,07	3 487,17	3 587,25
	MD	58,91	51,56	931,11	27,93	9,31	28,55	968,36	980,71
<i>Salix x rubens</i>	X	79,15	86,44	1 561,15	62,45	46,83	15,61	1 670,43	1 686,04
	MD	38,33	41,87	756,10	30,24	22,68	7,56	809,03	816,59
<i>Alnus glutinosa</i>	X	231,57	180,11	3 252,80	106,58	106,58	32,5	3 465,96	3 498,46
	MD	45,15	49,32	890,63	26,72	26,72	8,91	944,07	952,98
<i>Betula pendula</i>	X	163,45	178,51	3 223,92	64,48	96,72	64,48	3 385,12	3 449,60
	MD	64,21	70,13	1 266,48	25,33	37,99	25,33	1 329,80	1 355,13
<i>Robinia pseudoacacia</i>	X	105,51	159,64	2 883,07	28,83	86,49	28,83	2 998,39	3 027,22
	MD	17,06	25,82	466,25	4,66	13,99	4,66	484,90	489,57

Отримані базові показники для площі 1 га були основою для оцінювання збитків усіх масивів вигорілих у 2022 р. лісів (табл. 4).

Ключове значення для оцінювання збитків мають характеристики деревостану (вік, висота та діаметр), залежності між якими впливають на запаси фітомаси. Як видно із рисунка 3, після сторічного віку ріст у висоту сосни й дуба, досягнувши 25 м, сповільнюється і до 160 років досягає 30 м, що відображено у вигляді нелінійного графіка. Оскільки швидкорослі *Betula pendula* та *Alnus glutinosa* не досягають такого віку, їхня крива росту має лінійний вигляд. З віком спочатку збільшуються висота, діаметр і запас, але після певного віку зміна запасу зменшується (див. рис. 5).

Як відзначав і А. М. Ягодзинські із співавторами (Jagodzinski *et al.*, 2019) та виявлено нами, запас стовбурової деревини прямо залежить від висоти дерев, і за нашими розрахунками сягає 300–400 і навіть 550 м³·га⁻¹ (див. рис. 6). Однак оцінка висоти є менш точною, ніж діаметра стовбурів, які можна виміряти з точністю до сантиметра.

Таблиця 3

**Показники енергетичних запасів, річних витрат та їхньої вартості для лісів
Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника**

Table 3

**Indicators of energy stocks, annual consumption, and their value in the forests
of the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve**

Домінантна деревна порода Dominant tree species	Показник Indicator	Енергетичні запаси та витрати, ГДж·га ⁻¹ Energy stocks and consumption, GJ·ha ⁻¹							Вартість, \$·га ⁻¹ ·рік ⁻¹ Cost, \$·ha ⁻¹ ·year ⁻¹
		фітомаса phytomass	приріст growth	трофічні trophic	CO ₂	O ₂	транс- пірація trans- piration	сумарні total	
<i>Pinus sylvestris</i>	X	4 043,43	121,30	112,48	73,11	157,47	22,50	4 328,08	14 215,62
	MD	1 126,25	3,13	31,33	20,36	43,86	6,27	1 199,87	3 959,58
<i>Quercus robur</i>	X	3 587,25	10,76	104,61	68,00	146,46	20,92	3 833,39	12 643,88
	MD	980,71	2,94	29,05	18,88	40,67	5,810	1 048,99	3 460,29
<i>Salix x rubens</i>	X	1 686,04	5,06	50,11	32,57	70,16	10,02	1 803,85	5 952,71
	MD	816,587	2,45	24,27	15,78	33,98	4,85	873,65	2 883,03
<i>Alnus glutinosa</i>	X	3 252,80	10,45	103,44	67,23	144,82	20,69	3 723,67	12 288,13
	BM	952,98	2,86	28,32	16,41	39,65	5,66	1 019,56	3 364,55
<i>Betula pendula</i>	X	3 449,60	10,35	101,55	66,01	142,18	20,31	3 688,44	12 171,85
	MD	1 355,13	4,07	39,89	25,93	55,85	7,98	1 448,96	4 781,56
<i>Robinia pseudoacacia</i>	X	3 027,22	9,08	89,95	58,47	125,93	18,00	3 238,69	10 687,69
	BM	489,57	1,47	14,55	9,46	20,37	2,91	523,77	1 728,42

Таблиця 4

**Оцінка енергозапасів та вартості збитків лісів
Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника**

Table 4

**Assessment of energy reserves and the cost of damage to forests
in the Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve**

Домінантна деревна порода Dominant tree species	Енергозапас виділів, ГДж Energy reserves plots, 10 ⁶ GJ	Енерго- втрата від пожеж, ГДж Energy losses from fires, 10 ⁶ GJ	% втрат енерго- запасів % of energy reserves lost	% втрат площ % of land loss	Вартість річних втрат від пожеж, тис. \$ Annual fire- related losses, in thousands of dollars	Вартість втрат за період відновлення, млн \$ Cost of losses during the recovery period, million of dollars
<i>Pinus sylvestris</i>	55,90	23,99	42,92	40,91	79 176,51	2 612,50
<i>Quercus robur</i>	1,58	0,21	13,45	14,41	699,87	71,92
<i>Salix x rubens</i>	0,17	0,01	2,67	2,65	15,18	0,40
<i>Alnus glutinosa</i>	1,38	0,21	15,40	15,06	702,28	46,33
<i>Betula pendula</i>	12,65	2,50	19,77	17,53	8 256,14	387,42
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,29	0,02	5,26	5,03	49,43	1,28
Разом Total	71,97	26,94	37,43	34,61	89 495,06	3 119,83

На основі таксаційних даних і відповідних розрахунків виявлено, що залежність між діаметром і запасами фітомаси стовбурової деревини описує поліном (див. рис. 7). Хоча з віком дерев діаметр стовбурів збільшується, після досягнення певного віку приросту висоти та збільшення розмірів крони не відбувається, внаслідок чого фітомаса приросту є меншою, ніж відпаду. Оскільки вік і діаметр *Betula pendula* та *Alnus glutinosa* є меншими, такої тенденції в цих деревостанах не зафіксовано.

Як свідчать дані табл. 2, найвищі показники енергозапасів характерні для соснових ($43\,28,8 \pm 1\,126,25$ ГДж·га⁻¹), дубових ($3\,833,9 \pm 1\,048,99$ ГДж·га⁻¹) і вільхових ($3\,723,67 \pm 1\,019,56$ ГДж·га⁻¹) лісів.

З метою оцінювання функціональних (підтримувальних та регулювальних) екосистемних послуг, які відображають кліматорегулювальне, ґрунтоутворювальне та функціональне значення лісів, на основі показників річного приросту біомаси, який у середньому становить 3 % від загальних запасів, розраховано показники поглинання CO₂, виділення кисню, транспірації, забезпечення живлення консументів, редуцентів (див. табл. 3). Загалом ці показники у 2,1–2,5 разу перевершують такі річного приросту й становлять 6–7 % від показників екосистем.

Отримані базові показники для площі 1 га були основою для оцінювання збитків усіх масивів вигорілих у 2022 р. лісів (див. табл. 4). Вартість таких збитків сягала 12,2–14,2 тис. \$.

З урахуванням площі виділів розраховано відповідні показники для лісових масивів. Загалом, унаслідок пожеж на 34,61 % площі втрачено 37,43 % запасів. Найбільші втрати визначені у соснових лісах (40,91 % площі і 42,92 % запасів), менші – у березових, широколистяних дубових і заболочених вільхових лісах (17,5–19,8 %, 14,4–13,5 % та 15,1–15,4 % відповідно). Сумарна вартість річних втрат від пожеж становить близько 89,5 млн \$, а загалом вартість збитків із урахуванням часу на відновлення лісів до попереднього стану – 3,2 млрд \$. Найбільших збитків зазнали соснові ліси (2,61 млрд \$), що мають найбільшу площу і є найбільш уразливими до пожеж.

Отримані дані відображають частину збитків (функціональні екосистемні послуги), повне оцінювання яких потребує розрахунку затрат на відновлення, що в цих умовах не може відбутися природним шляхом, а потребує використання технічних засобів та оплати цієї трудомісткої праці.

Висновки. Ліси ЧРЕБЗ, що потерпали внаслідок опосередкованого впливу воєнних дій у 2022 р., зокрема, вигорілі, за даними супутникової зйомки, займають 6 403,0 га (2,8 % площі). Найвищі втрати характерні для найбільш сухих і свіжих соснових лісів *Dicrano-Pinetum* (40,91 % площі і 42,92 % запасів), що є найбільш уразливими до пожеж. Для різних типів лісів збитки оцінено від 12,2 до 14,2 тис. \$ га в рік. Збитки для соснових лісів із урахуванням часу відновлення сягають 2,61 млрд \$, або 83,75 % від загальної суми (3,12 млрд \$). Значних збитків заподіяно доволі поширеним вторинним березовим лісам (387,42 млн \$). Отримані дані є важливими для відшкодування збитків, нанесених природі через війну з рф.

Подяки. Автори статті висловлюють щире вдячність колективу Чорнобильського біосферного радіаційно-екологічного заповідника, зокрема завідувачу наукового відділу Д. Вишневському за інформаційну та логістичну підтримку, колезі К. Лавріненко (Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького) за насичені експедиційні будні.

Джерела фінансування. Дослідження виконано за підтримки програмно-цільової та конкурсної тематики НАН України номер державної реєстрації 0125U000701 («Розроблення і використання методології та алгоритмів оцінки впливу воєнних дій на фіторізноманіття природних екосистем України для визначення їхніх втрат, відновлювального та адаптивного потенціалу»).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Abduragimov, I.M. and Odnolko, A.A. (1993) 'Fires on radioactively contaminated areas', *Pryroda*, 1, pp. 28–30 (in Ukrainian).

- Ager, A.A., Lasko, R., Myroniuk, V., Zibtsev, S., Day, M.A., Usenia, V., Bogomolov, V., Kovalets, I. and Evers, C.R. (2019) 'The wildfire problem in areas contaminated by the Chernobyl disaster', *Science of the Total Environment*, 696, 133954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133954>
- Azarov, S.I. (1996) 'Landscapes of the Chernobyl zone and estimation on their fire risk condition', *Scientific and Technical Proceedings: Problems of Chernobyl Exclusion Zone*, 3, pp. 204–208 (in Ukrainian).
- Balashavska, Y., Chala, M., Ivanov, Z., Myshkovska, A., Shevchenko, I., Pecherytsia, O., Yesipenko, Y., Siegen, K., Jova Sed, L., Smith, G. and Sneve, M. (2023) 'Preliminary assessment of the radiological consequences of the hostile military occupation of the Chornobyl Exclusion Zone', *Journal of Radiological Protection*, 43(3), 031520. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acf8d0>
- Beresford, N.A., Barnett, C.L., Gashchak, S., Kashparov, V., Kirieiev, S.I., Levchuk, S., Morozova, V., Smith, J.T. and Wood, M.D. (2021) 'Wildfires in the Chornobyl exclusion zone – Risks and consequences', *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(6), pp. 1141–1150. <https://doi.org/10.1002/ieam.4424>
- Bilek, L., Vacek, Z., Sharma, R. and Vacek, S. (2017) 'Modelling crown width–diameter relationship for Scots pine in Central Europe', *Trees*, 31, 1875–1889. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1593-8>
- Borsuk, O.A. and Sydorenko, S.G. (2022) 'Monitoring of wildfires in natural complexes of the Chornobyl Exclusion Zone and Compulsory Resettlement Zone under the influence of Russian aggression', *Forestry and Forest Melioration*, 141, pp. 95–101 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.141.2022.95>
- Brown, K., Metsaranta, J., Paré, D., Perrakis, D., Kamp, D., Webster, K., Whitman, E., Arsenault, A., Dranga, S., Harvey, J., Laganière, J., Norris, C. and Tanney, J. (2026) 'Examining post-fire environmental change and succession in Canada', *Environmental Reviews*, 34, pp. 1–39. <https://doi.org/10.1139/er-2025-0224>
- Camia, A., Robert, N., Pilli, R., Mubareka, S., Viorel, B., Araujo, R., Merino, M., Hoepffner, N., Casey, J., Doerner, H., Holmes, S., Jardim, E., Mannini, A., Mosqueira, I., Osio, G., Scott, F., Garcia, S., Condado, R., Lozano, L. and Velde, M. (2017) *Report on current biomass supply and technical potential with a focus on Europe*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10342.73286>
- Cherchyk, L. (2022) 'Methodology for the assessment of damage and economic losses from harm to forest ecosystems as a result of armed aggression', *Forestry Studies*, 77, pp. 2–20. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2022-0009>
- Didukh, Ya.P. (2022) 'Ecosystem approach to assessing the impact of threats and losses caused by military actions', *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, pp. 16–25 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/visn2022.06.016>
- Didukh, Ya.P. and Alioshkina, U.M. (2012) *Ecotope classification of Kyiv*. Kyiv: NaUKMA, Agrar Media Group (in Ukrainian).
- Didukh, Ya.P., Hrad, Yu.A. and Moysiienko, I.I. (2025) 'Methodology for assessing damage to forest ecosystems as a result of the creation of trenches', *Ukrainian Geographical Journal*, 1(129), pp. 8–16 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.008>
- Didukh, Ya.P., Sokolenko, U.M., Rasevych, V.V. and Gavrylov, S.O. (2024) *Methodology for calculating environmental damage to natural ecosystems and their components: a manual*. Kravchenko, O.V. (ed). Lviv-Kyiv: Manuscript Company Publishing House (in Ukrainian).
- Dunn, C.J. and Bailey, J.D. (2015) 'Modelling the direct effects of salvage logging on long-term temporal fuel dynamics in dry-mixed conifer forests', *Forest Ecology and Management*, 341, pp. 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.01.002>
- European Forest Fire Information System (EFFIS) (2026). Available at: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> (Accessed: 18 March 2026).
- Eurostat (2024) *Forests, forestry and logging*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Forests,_forestry_and_logging (Accessed: 18 March 2026).
- FAO (2025). *Global Forest Resources Assessment 2025*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd6709en>
- Fedoniuk, T., Borsuk, O., Melnychuk, T., Zymarioieva, A. and Pazyk, V. (2021) 'Assessment of the consequences of forest fires in 2020 on the territory of the Chornobyl radiation and ecological biosphere reserve', *Scientific Horizons*, 24(8), pp. 26–36. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(8\).2021.26-36](https://doi.org/10.48077/scihor.24(8).2021.26-36)
- FEMA (2022) *Ecosystem service value updates*. Washington, DC: FEMA. Available at: https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_ecosystem-service-value-updates_2022.pdf (Accessed: 18 March 2026).
- Flannigan, M., Krawchuk, M., Wotton, M. and Johnston, L. (2009) 'Implications of changing climate for global wildland fire', *International Journal of Wildland Fire*, 18, pp. 483–507. <https://doi.org/10.1071/WF08187>
- Haines-Young, R. (2023) *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Available at: <https://cices.eu/> (Accessed: 18 March 2026).
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J.P., Wang, Y. and Shao, G. (2021) 'A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing', *Journal of Forestry Research*, 32, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

- Hudak, A.T., Morgan, P., Bobbitt, M.J., Smith, A.M.S., Lewis, S.A., Lentile, L.B., Robichaud, P.R., Clark, J.T. and McKinley, R.A. (2007) 'The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects', *Fire Ecology*, 3(1), pp. 64–90. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301064>
- Irland, L., Lavorivska, L., Zibtsev, S., Myroniuk, V., Roth, B. and Bilous, A. (2023) 'Russian invasion: rapid assessment of impact on Ukraine's forests', *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, pp. 146–155. <https://doi.org/10.15421/412312>
- Jagodziński, A.M., Dyderski, M.K., Gęsikiewicz, K., Horodeck, P. (2019) 'Effects of stand features on aboveground biomass and biomass conversion and expansion factors based on a *Pinus sylvestris* L. chronosequence in Western Poland', *European Journal of Forest Research*, 138, pp. 673–683. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01197-z>
- Kashparov, V., Kirieiev, S., Yoschenko, V., Levchuk, S., Holiaka, D., Zhurba, M., Bogdan, L., Vyshnevskiy, D. and Oughton, D.H. (2024) 'Assessment of exposures to firefighters from wildfires in heavily contaminated areas of the Chernobyl Exclusion Zone', *Journal of Environmental Radioactivity*, 274, 107410. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107410>
- Kashparov, V.A., Lundin, S.M., Kadygrib, A.M., Protsak, V.P., Levchuk, S.E., Yoschenko, V.I., Kashpur, V.A. and Talerko, N.M. (2000) 'Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters', *Journal of Environmental Radioactivity*, 51, pp. 281–298. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(00\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(00)00082-5)
- Kolomiichuk, V.P., Vyshnevskiy, D.O. and Melnychuk, T.V. (2024) 'Impact of military actions on the territory of the Chernobyl radiation and ecological biosphere reserve', in *Role of biosphere reserves and other protected areas in implementation of sustainable development strategy in Ukraine. Proceedings of the International scientific and practical conference (Ukraine, Rakhiv, November 21, 2023)*. Lviv: Prostir-M, pp. 187–194. Available at: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/jspui/handle/123456789/16563> (Accessed: 18 March 2026) (in Ukrainian).
- Korzhov, V.L. (2021) *Information on Ukrainian forest indicators and strategies for improving forest management practices*. Analytical report by the Committee on Environmental Policy and Natural Resource Management. Available at: <https://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/36974.pdf> (Accessed: 18 March 2026).
- Kumar, P. (ed.) (2012) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. 1st ed. Taylor and Francis. Available at: <https://www.perlego.com/book/1545246/the-economics-of-ecosystems-and-biodiversity-ecological-and-economic-foundations-pdf> (Accessed: 18 March 2026).
- Lakyda, P.I. (2002) *The forests phytomass of Ukraine*. Ternopil: Zbruch. (in Ukrainian).
- Lee, S-H., Lee, M-H., Kang, T-H., Cho, H-R., Yun, H-S. and Lee, S-J. (2025) 'Comparative analysis of dNBR, dNDVI, SVM kernels, and ISODATA for wildfire-burned area mapping using Sentinel-2 imagery', *Remote Sensing*, 17(13), 2196. <https://doi.org/10.3390/rs17132196>
- Matsala, M., Odruzhenko, A., Hinchuk, T., Myroniuk, V., Drobyshev, I., Sydorenko, S., Zibtsev, S., Milakovskiy, B., Schepaschenko, D., Kraxner, F. and Bilous, A. (2024) 'War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine', *Scientific Reports*, 14, 4131. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5>
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2003) *Ecosystems and Human Well-being: A framework for assessment*. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya. Available at: <http://www.unep.org/maweb/en/Framework.aspx#download> (Accessed: 18 March 2026).
- Molin, P.G., Chazdon, R., Ferraz, S.F.B. and Brancalion, P.H.S. (2018) Data from: A landscape approach for optimizing the cost-effectiveness of large-scale forest restoration (V1.0) [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1256029>
- Moroz, V. and Krynytskyi, H. (2025) 'Allometric models of crown biomass of *Pinus sylvestris* L. based on tree biometric parameters', *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 28, pp. 37–47. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/412503>
- Myroniuk, V., Weinreich, A., Dosky, V., Melnychenko, V., Shamrai, A., Matsala, M., Gregory, M., Bell, D. and Davis, R. (2024) 'Nationwide remote sensing framework for forest resource assessment in war-affected Ukraine', *Forest Ecology and Management*, 569, 122156. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122156>
- Nature Chronicle for 2020* (2021) Vol. 4. Kyiv: The Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. Available at: https://zapovidnyk.org.ua/files-pdf/litopys_2020_tom_4.pdf (Accessed: 18 March 2026) (in Ukrainian).
- Nature Chronicle for 2022* (2023). Vol. 6. Kyiv: The Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. Available at: https://zapovidnyk.org.ua/files-pdf/litopys_2022_tom_6.pdf (Accessed: 18 March 2026) (in Ukrainian).
- Nature Chronicle for 2024* (2025). Vol. 8. Kyiv: The Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. Available at: https://zapovidnyk.org.ua/files-pdf/litopys_2025_tom_8.pdf (Accessed: 18 March 2026) (in Ukrainian).
- Odum, E. (1983) *Basic ecology*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Oleksyn, J., Reich, P.B., Chalupka, W. and Tjoelker, M.G. (1999) 'Differential above- and below-ground biomass accumulation of European *Pinus sylvestris* populations in a 12-year-old provenance experiment', *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14(1), pp. 7–17. <https://doi.org/10.1080/02827589908540804>

- Popov, M.O., Andreiev, A.A., Alpert, S.I., Lysenko, A.R. and Golubov, S.I. (2025) 'Forest damage assessment of a part of Kupyansk forestry due to fires caused by military actions', *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 12(1), pp. 4–8 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.1.272>
- Sedano, F., San-Miguel-Ayanz, J., Broglia, M., Durrant, T., Boca, R. *et al.* (2025) Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2024. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/0649290>
- Sorokina, L.Yu. and Petrov, M.F. (2020) 'Changes in the structure of the land cover and fire safety of the Chernobyl exclusion zone landscapes: assessment methods using satellites', *Ukrainian Geographical Journal*, 2(110), pp. 45–56 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.045>
- Tkach, V.P., Vysotska, N.Yu., Torosov, A.S., Buksha, I.F., Pasternak, V.P., Los, S.A., Kobets, O.V., Tarnopilska, O.M., Tarnopilskyi, P.B., Kalashnikov, A.O., Zhezhkun, I.M., Koval, I.M., Sydorenko, S.H., Sydorenko, S.V., Bondarenko, V.V., Bondar, O.B. (2023) *Economic evaluation of ecosystem services of Ukrainian forests*. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/2023.978-617-8195-57-1>
- Vasyliuk, O., Kolomytsev, H. and Parkhomenko, V. (2024) *Flames of war: How Ukraine lost over 1,000 square kilometers of forest*. Ukraine War Environmental Consequences Work Group, 21, pp. 4–15. Available at: <https://uwecworkgroup.info/flames-of-war-how-ukraine-lost-over-1000-square-kilometers-of-forest/> (Accessed: 18 March 2026).
- Voron, V.P., Koval, I.M., Sydorenko, S.H., Melnyk, Ye.Ie., Tkach, O.M., Borysenko, V.H., Tymoshchuk, I.V. and Bolohov, O.Iu. (2021) Pyrogenic transformation of Ukraine's pine forests. Kharkiv: Planeta-Print. Available at: <https://urifffm.org.ua/uk/monographs/19> (Accessed: 18 March 2026) (in Ukrainian).
- Wirth, C., Schumacher, J. and Schulze E.-D. (2004) 'Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation', *Tree Physiology*, 24, pp. 121–139. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.2.121>
- Zibtsev, S.V., Goldammer, J.G., Robinson, S. and Borsuk, O.A. (2015) 'Fires in nuclear forests: silent threats to the environment and human security', *Unasylva*, 243/244(66), pp. 40–51. Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/85c484f4-f709-4999-a20d-020fab6aee0d/content> (Accessed: 18 March 2026).
- Zibtsev, S., Myroniuk, V., Sydorenko, S. and Soshenskyi, O. (2024) *Report on the large wildfires of 2022 in Europe*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/19760> (Accessed: 18 March 2026).

ASSESSMENT OF FOREST DAMAGE CAUSED BY WAR-RELATED FIRES WITHIN THE CHORNOBYL RADIATION AND ECOLOGICAL BIOSPHERE RESERVE IN 2022

Didukh Ya. P.^{1*}, Borsuk O. A.², Moysiienko I. I.³

An assessment of forest losses in the Chornobyl Reserve caused by warfare in spring 2022 was conducted based on functional (regulatory and supporting) ecosystem services. Timber stock calculations were performed using inventory data from 2016 according to our methodology. The phytomass of all ecosystem components, growth, CO₂ uptake, O₂ release, transpiration, soil-forming processes and the trophic requirements of the heterotrophic component have been calculated. The resulting energy indicators were monetised in US dollars. The values calculated for different forest types range from \$10,690 to \$17,250 per hectare per year. Analysis of satellite imagery revealed that 6,403.0 hectares of forests were destroyed in 2022 (2.8% of the reserve's total area). The highest losses were recorded in dry and fresh Dicrano-Pinetum pine forests (40.91% of the area and 42.92% of the stock). Taking into account the time required for regeneration, the losses for these forests amount to \$2.61 billion (83.75% of the total sum of \$3.12 billion). Significant losses were also inflicted on secondary birch forests (\$387.42 million). This data is important for claiming compensation from the Russian Federation.

К е у в о р д с : Russian aggression, burnt areas, Chornobyl zone, forest ecosystem losses, ecosystem services.

Дата надходження рукопису 26.03.2026

Дата прийняття до друку 06.05.2026

Дата публікації 29.05.2026

¹ Didukh Yakiv, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dr. habil. (Biological Sciences), Professor, M.G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2 Tereshchenkivska Street, 01024, Kyiv, Ukraine. E-mail: ya.didukh@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5661-3944>

² Borsuk Oleksandr, PhD (Agricultural Sciences), Chornobyl Radiation-Ecological Biosphere Reserve, 28 Tolochina Street, Ivankiv, 07201, Kyiv Region, Ukraine. E-mail: sasha.borsuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7475-8776>

³ Moysiienko Ivan, Dr. habil. (Biological Sciences), Professor, Kherson State University, 14 Shevchenko Street, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: ivan.moysiienko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0689-6392>

*Correspondence: ya.didukh@gmail.com