



**Методика розрахунку  
екологічних збитків  
природних екосистем та їхніх  
компонентів**

Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України

МБО «Екологія–Право–Людина»



ЕКОЛОГІЯ  
ПРАВО ЛЮДИНА

Я. П. Дідух, У. М. Соколенко,

В. В. Расевич, С. О. Гаврилов

# МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ТА ЇХНІХ КОМПОНЕНТІВ

Львів–Київ • 2024

Компанія «Манускрипт»

**Автори:**

Я. П. Дідух, У. М. Соколенко, В. В. Расевич, С. О. Гаврилов

**Рецензенти:**

Є. О. Маруняк — член-кореспондент НАН України,  
доктор географічних наук;

І. І. Мойсієнко — професор, доктор біологічних наук.

*Рекомендовано до друку Постановою Вченої ради  
Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України  
(протокол № 1 від 30.01.2024 р.)*

**М 54** **Методика** розрахунку екологічних збитків природних екосистем та їхніх компонентів: посібник / Я. П. Дідух, У. М. Соколенко, В. В. Расевич, С. О. Гаврилов [за заг. ред. та упор. О. В. Кравченко]. Львів–Київ: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2024. 68 с.

ISBN 978-617-8364-10-6

Висвітлено методику розрахунку екологічних збитків природних екосистем з урахуванням затрат на їх відновлення, що ґрунтується на оцінці підтримуючих та регулюючих екосистемних послуг. Така оцінка полягає у поетапному перерахунку показників біомаси (об'єму, запасів) через показники енергії, вартості умовного палива з урахуванням витрат на забезпечення трофічної, ґрунтотворної та клімато-регулюючої функцій екосистем. Наведено відповідні формули розрахунків залежно від типів природних екосистем, а також приклади розрахунків збитків листяних, хвойних лісів, степів, луків та боліт.

Методика може бути використана для обрахунку збитків, нанесених у результаті воєнних дій РФ з метою репарації.

УДК 504:581.526:33.051

# ЗМІСТ

Передмова.....	5
<b>1. Вступ .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Методологічні підходи до оцінки екологічних збитків .....</b>	<b>13</b>
<b>3. Методика оцінки екологічних збитків від втрати дерев.....</b>	<b>24</b>
<b>4. Оцінка екологічних збитків лісових екосистем на основі енергетичних показників .....</b>	<b>27</b>
4.1. Визначення біомаси компонентів лісових екосистем.....	27
4.2. Визначення енергетичного запасу і втрат лісових екосистем та окремих їх блоків .....	30
4.3. Вартість енергетичного запасу лісових екосистем та їх окремих блоків.....	32
<b>5. Оцінка екологічних збитків степових та лучних екосистем (злаковників) на основі енергетичних показників.....</b>	<b>33</b>
5.1. Визначення біомаси злаковників .....	33
5.2. Визначення енергетичного запасу та втрат злаковників .....	34
5.3. Вартість енергетичного запасу екосистем злаковників .....	36
<b>6. Оцінка екологічних збитків болотних екосистем на основі енергетичних показників .....</b>	<b>37</b>
6.1. Визначення біомаси компонентів болотних екосистем .....	37
6.2. Визначення енергетичного запасу та втрат болотних екосистем.....	39
6.3. Вартість енергетичного потенціалу болотного фітоценозу .....	40
<b>Висновки .....</b>	<b>41</b>

<b>Додатки</b> .....	42
Додаток 1. Умовні позначення .....	42
Додаток 2. Приклад оцінки енергетичних збитків лісової екосистеми .....	44
Додаток 3. Приклад оцінки енергетичних збитків степової екосистеми .....	46
Додаток 4. Приклад оцінки енергетичних збитків болотної екосистеми .....	48
Додаток 5. Приклади оцінки енергетичних збитків різних типів екосистем (розраховані за модифікованою методикою).....	50
5.1. Оцінка екологічних збитків лісових екосистем.....	50
5.2. Оцінка екологічних збитків злаковників.....	55
5.3. Оцінка екологічних збитків боліт.....	57
<b>Література</b> .....	61

## ПЕРЕДМОВА

Військова агресія Російської Федерації проти України вже спричинила величезні збитки в різних сферах, зокрема й руйнацію природи України. Після закінчення війни неодмінно постане питання щодо відновлення зруйнованої інфраструктури та компенсації збитків, що потребуватиме всебічної їхньої оцінки, розроблення відповідних методичних підходів, планів щодо відновлення і потребуватиме глибоких комплексних наукових обґрунтувань та залучення фахівців різних спеціальностей. Оцінюючи втрати природних типів екосистем (біотопів), слід мати на увазі, що, крім їх прямого механічного пошкодження чи знищення, важливо враховувати також і наслідки, які можуть виявитися ще більш руйнівними і проявлятися впродовж тривалого часу.

Пропонована методика не охоплює повних збитків екосистем, а лише ті аспекти регулюючих та підтримуючих функцій, розрахункових яких можливий на основі загальноприйнятих фізичних (енергія, вміст карбону) показників, які не залежать від економіки, суспільних потреб, наукової, історичної цінності тощо. Але при цьому останні мають велике значення і вони можуть бути враховані на основі застосування інших методів.

Оцінка збитків проводиться на основі характеристик біотичної складової, що визначають специфіку, структуру, функціонування екосистем, але для повноти втрат можливе доповнення даними щодо збитків ґрунтового покриву, забруднення води та атмосфери, об'єктів, які підлягають охороні. Наведені приклади такої оцінки відображають повну втрату екосистеми, але залежно від ступеня пошкодження певні операції можуть бути виключені, а період відновлення змінений.

Розроблення цієї методики було розпочате під час виконання інноваційного проекту «Оцінка енергоємності, продуктивності та потоків енергії різних типів екосистем України з метою їхнього збереження та оптимізації», на основі якого було отримано Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Оцінка екологічних збитків екосистем на основі енергетичних показників» (№ 29196 від 15.06.2009) (А.с..., 29196) і продовжена у рамках виконання програмно-цільової та конкурсної тематики НАН України КПКВК 6541230 «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень»: «Оцінка впливу воєнних дій на трансформацію наземних природних екосистем з використанням модельних груп видів-біоіндикаторів та моніторинг чужорідних видів у флорі та фауні як складової забезпечення біологічної безпеки України та конкурсної тематики НФД України «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди»: «Геоінформаційна система з просторового оцінювання деградації довкілля України внаслідок російської агресії».

## ВСТУП

Метою цієї роботи є оцінка екологічних збитків на основі таких показників, які відображали їхню інтегральну характеристику, загальний внесок екосистеми у функціонування біосфери, тому спосіб і одиниці виміру повинні бути більш універсальними та якнайменше залежати від суб'єктивної оцінки та людської діяльності. В основі таких розрахунків використано характеристики екосистемних послуг.

На сьогодні розроблена міжнародна класифікація екосистемних послуг (МЕА, 2005 — 23 групи; TEEB, 2010 — 22 групи; ESVD, 2020 — 23; CICES, 2018 — 4 типи, 8 підтипів, 20 груп, 48 класів; FEMA, 2022 — 53 групи, методики їхнього розрахунку та формується база даних IPBES, ESMERALDA, OPERAs, OpenNEES, SEEE-EEA) (Brander et al., 2018; De Groot et al., 2020). Такі роботи проводяться і в Україні (Білоус, 2021; Плюта, 1991; Ляшенко, 2020; Загвойська, 2014; Соловій, 2016; Архипова, Приходько, 2019, Варуха, 2022; Екосистемний..., 2023, Максименко та ін., 2023; Прищепа, 2019; Юхновський, Зібцева, 2019). Значна увага приділяється на сьогодні оцінці екосистемних послуг зелених насаджень населених пунктів (Прищепа, 2019; Бідолах, 2023; Юхновський, Зібцева, 2019; Yukhnovskiy, Zibtseva, 2019; Радомська, 2022). Головний висновок аналізу свідчить про те, що єдиної класифікації чи універсального ефективного методу їхньої оцінки не існує. Виходячи з цього, відповідно до останніх розробок (Василюк, 2020; ESVD, 2020; FEMA, 2022), ми виділяємо чотири функціональні категорії екосистемних послуг (ресурсні, регулюючі або функціональні, підтримуючі та соціально-інформативні),



що мають різне вартісне та ціннісне значення. Надати таку оцінку для всіх груп екосистемних послуг за одним методом нереально, тому така оцінка проводиться із застосуванням різних методів залежно від специфіки цих послуг. Існують різні підходи щодо вартісної оцінки як шляхом заміщення затрат на основі експертної оцінки, ринкової вартості, так і фізичних характеристик, зокрема карбонових чи енергетичних показників. Всі ці розрахунки не є уніфікованими, а мають певні відмінності (CICES, 2018), тому на сьогодні створена відповідна база даних відповідних публікацій і проведено їх порівняльний аналіз (De Groot et al., 2020). Результат, детальність і спосіб оцінки екосистемних послуг залежить від кінцевої мети. У зв'язку з цим із всього різноманіття екосистемних послуг та методів їхньої оцінки ми обираємо як індикаторні такі, які дадуть можливість оцінити збитки від військових дій з метою репарації відшкодування. Ми розділяємо поняття «екологічні послуги» та «збитки екологічних послуг». Перші, показники яких наводяться у багатьох іноземних публікаціях, оцінюються, як правило, за річний період, а збитки включають затрати на їх природне відновлення до нативного стану. Під екологічним збитком ми розуміємо пошкодження, фактичні і можливі втрати (частини чи повної) компонентів екосистем, які виникають у результаті зовнішнього впливу, що призводить до порушення, зміни структури та функції екосистем, погіршення їх стану чи тотальної руйнації.

Антропогенна діяльність людини дуже часто супроводжується завданням шкоди навколишньому середовищу. У деяких випадках така шкода вважається правомірною і тоді може сплачуватись відновна вартість тих чи інших природних ресурсів, якщо вони перебувають на балансі якогось підприємства. У її основі — платність природокористування, і в тому числі за використання природного середовища для розміщення забруднювальних речовин (скидів, викидів), інших відходів виробництва. Одним із прикладів може бути знесення насаджень у ході будівництва. У такому разі законодавством передбачена сплата відновної (балансової) вартості насаджень. Якщо екологічна шкода, тобто погіршення стану навколишнього середовища, відбувається з інших причин, у такому разі

передбачена процедура розрахунку екологічних збитків. За ст. 225 Господарського кодексу України [...] під збитками розуміють: а) вартість утраченого або знищеного майна, визначена згідно з вимогами законодавства; б) додаткові витрати (штрафні санкції, сплачені суб'єктами, вартість додаткових робіт тощо); в) неoderжаний прибуток; г) матеріальна компенсація моральної шкоди у випадках, передбачених законом.

Монетарна оцінка екологічних збитків здійснюється у разі несанкціонованого знищення природної складової, її пошкодження або спричинення погіршення її стану. У такому разі передбачене накладання штрафів. Розроблено та затверджено ряд методик для обчислення збитків від шкоди земельним, водним ресурсам, атмосферному повітрю, лісу, зеленим міським насадженням, об'єктам на території ПЗФ.

Також оцінка збитків від втрати тієї чи іншої природної компоненти здійснюється у разі надзвичайних ситуацій техногенного чи природного характеру та з недавнього часу затверджено ряд методик оцінки збитків, заподіяних навколишньому середовищу внаслідок збройної агресії Російської Федерації (*Методика визначення шкоди та збитків, 2024; Порядок..., 2024*).

Збиток виражається у вигляді природних, трудових, матеріальних і фінансових ресурсів. Втрата певного ресурсу для екосистеми означає пошкодження будь-якого компонента чи знищення її в цілому. Якщо для людини збитки оцінюються як різниця очікуваної вигоди за врожайність, яку можна отримати з ділянки, і недоотриманої вигоди (реальні кошти, виручені через продаж ресурсів після вирубок, косіння тощо), то для екосистеми такий збиток визначається затратами на її відновлення (рис. 1).

Отже, величина втрат для екосистеми і для суспільства не збігається, і в окремих випадках така різниця є суттєвою. Наша мета полягає в оцінці збитків природних екосистем, тому ця операція проводиться на основі фізичних характеристик, що є такою стабільною доказовою базою, яка б задовільняла міжнародні судові інстанції і не залежала б ні від соціального стану держави, ситуації, короткочасових коливань та інших факторів. Така оцінка збитків не відображає

всю їхню цінність і повні втрати, а лише вартість ресурсних, частину регуляторних та підтримуючих екосистемних послуг (рис. 2).

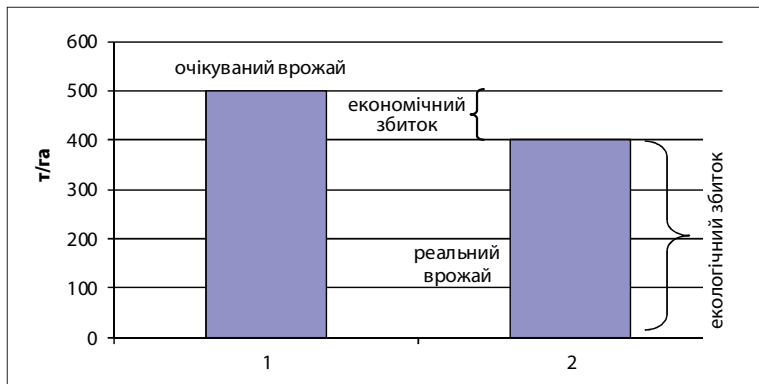


Рис. 1. Схема співвідношення екологічних та економічних збитків (втрати для екосистем та суспільства) на прикладі оцінки врожаю

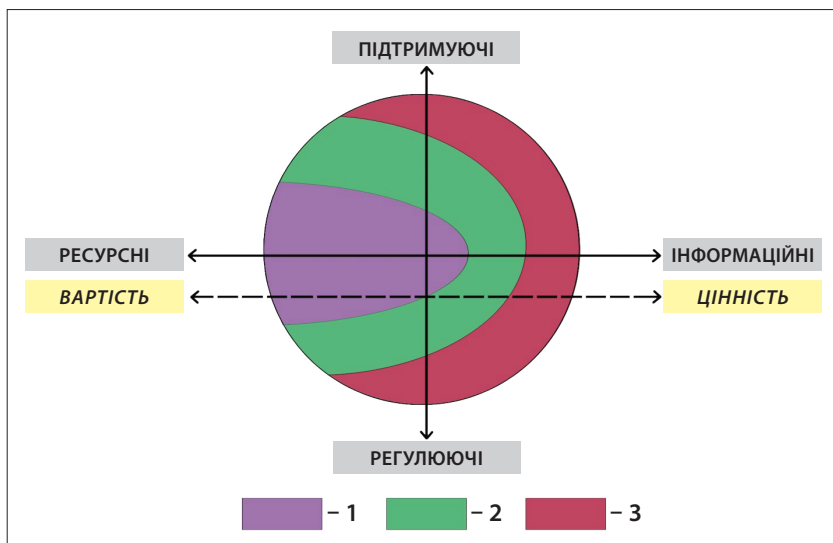


Рис. 2. Схема екосистемних послуг, співвідношення їх вартісної та ціннісної оцінки

Примітки. Методи оцінки: 1) ринково-вартісні, економічні; 2) витратно-енергетичні, фізичні; 3) інформаційно-соціальні, заміщуючі.

Виходячи з цього, ми прийшли до висновку, що розрахунки такого типу екосистемних послуг слід проводити на основі показників енергії, яку Ю. Одум (1986) влучно назвав «екологічною валютою». Потік енергії через біологічні системи Г. Одум (Odum, 1973) називав емергією. Поняття та одиниці енергії дозволяють екологам оперувати економічними категоріями, економістам — обчислювати завдані природі збитки, технологам — оцінювати не лише прямі, а й опосередковані результати людської діяльності. Енергетичні показники є мірилом нашого ставлення до природи, ефективності господарювання. В останні роки акцент робиться на показники карбону, які легко переводяться в енергетичні одиниці (1 кг С = 28,2 мДж). Така методика на основі показників енергії дає можливість вийти на порівняння їх різних форм і водночас спрямувати діяльність людини в бік економії енергетичних ресурсів, їх оптимального використання. Енергетичні показники можна виразити у грошових одиницях на основі поновлення затрат ВВП чи через вартість умовного палива.

У кінцевому результаті запропонована методика ґрунтується на такій оцінці екологічного значення природних екосистем, яку можна відобразити у монетарному (грошовому) еквіваленті. Саме такий підхід було запропоновано Г. Одумом (Odum, 1973), який вважав, що енергія, екологія та економіка (3E) дасть можливість оцінити екосистемні послуги.

Ще раз підкреслюємо, що поза увагою залишається оцінка ринкової вартості, значущості та цінності таких екосистемних послуг, як втрата біорізноманіття, популяцій рідкісних видів, наукового, історико-культурного, соціального, культового значення екосистем, але для їх оцінки потрібні інші методики і вони розробляються належними спеціалістами. Однак на сьогодні вже існують відповідні співвідношення між показниками різних типів екосистемних послуг, узагальнені на рівні біомів помірних лісів: ресурсні — 22,30 %, регуляційні — 15,64 %, підтримуючі — 28,60 %, інформаційно-культурні — 32,86 %, та трав'яних типів: ресурсні — 45,45 %, регуляційні — 5,55 %, підтримуючі — 42,28 %, інформаційно-соціальних — 6,72 % (De Good et al., 2012), які хоча і не відображають значущість та специфіку

наших екосистем, але можуть бути прийняті за орієнтири. Як видно із цих показників, регуляційна та функціональна роль лісів у два рази перевищує їх ресурсне значення, яке у 1,5 рази нижче, інформаційно-соціальне. При цьому у трав'яних типів біомів, на відміну від лісових, показники ресурсних та підтримуючих функцій вищі, ніж регуляційних та інформаційно-соціальних. Однак йдеться про великі територіальні одиниці — біоми, а показники їх складових екосистем (біотопів) можуть суттєво відрізнятись.

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ

У розробленій методиці акцент зміщено на оцінку збитків у результаті знищення чи пошкодження структури та функції екосистем чи їхніх компонентів (дерев) з урахуванням затрат на період їх відновлення природним шляхом, тобто без оцінки використання технічних засобів та людських ресурсів. Методика ґрунтується на використанні типіфікації екосистем, що базується на розробках вітчизняних геоботаніків та лісоводів і передбачає виокремлення таких типів фітоценозів, як лісові, степові, болотні, лучні з подальшим їх поділом на дрібніші одиниці — біотопи. Біотоп — це природна екосистема, що займає однорідну ділянку території з однотипним рослинним покривом, ґрунтом, підстилаючими породами, рельєфом, гідрологічними умовами, мікрокліматом. За геоботанічною класифікацією рослинності він відповідає асоціації, фізико-географічною класифікацією елементів ландшафту — фації, лісівничій класифікації лісів — типу лісу.

Основними характеристиками екосистем є їхня структура та функціонування, що визначаються розподілом компонентів у вертикальній та горизонтальній проекції, характером взаємовідносин між компонентами. В основу розрахунків покладено енергетичні показники складових блоків екосистем, сукупність яких забезпечує кругообіг речовин і трансформацію енергії, тобто життєздатність існування та розвитку: 1) енергозапас біомаси автотрофного блоку — зелених рослин, що засвоюють сонячну енергію ( $E_A$ ); 2) енергопотенціал

відпаду, що забезпечує харчування редуцентів (мікроорганізмів, бактерій, грибів) та ґрунтотворні процеси ( $E_O$ ); 3) витрати по трофічному ланцюгу на харчування тварин-консументів ( $E_K$ ); 4) енергію дихання та фотосинтезу живих організмів ( $E_{ДФ}$ ). Все це складає енергію екосистеми ( $E_E$ ), відображає її біотичну, ґрунтотворну, кліматорегулюючу ролі (рис. 3) (Гильманов, Базилевич, 1983, Дідух та ін., 2019).

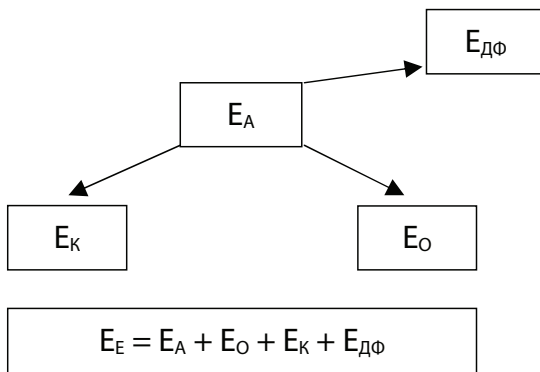


Рис. 3. Схема енергоресурсів екосистеми

Для визначення екологічних збитків екосистем необхідна кількісна оцінка енергетичних показників в певних одиницях. Для цього можна використати як прямий, так і непрямий розрахунок. Ідея обрахунку збитків полягає в поетапному перерахунку показників об'ємної маси (для запасів деревини) через показники абсолютно сухої біомаси. Для цього використовують таблиці щільності деревини (Лесотаксационный..., 1980; Бобылев, Ковалин, 1969), або висушують трав'яний покрив чи підстилку в сушильній шафі до абсолютно сухої маси. Наступний етап полягає у розрахунку одиниць маси в одиницях енергії, як описано нижче. Для грошової оцінки енергетичних одиниць використовують ціну умовного палива (кам'яне вугілля енергоемністю 7000 ккал/кг). Остання операція полягає в розрахунку показників у гривнях, що залежить від обмінного курсу між гривнею і долларом. Загальна схема цієї поетапної операції має такий вигляд (рис. 4).

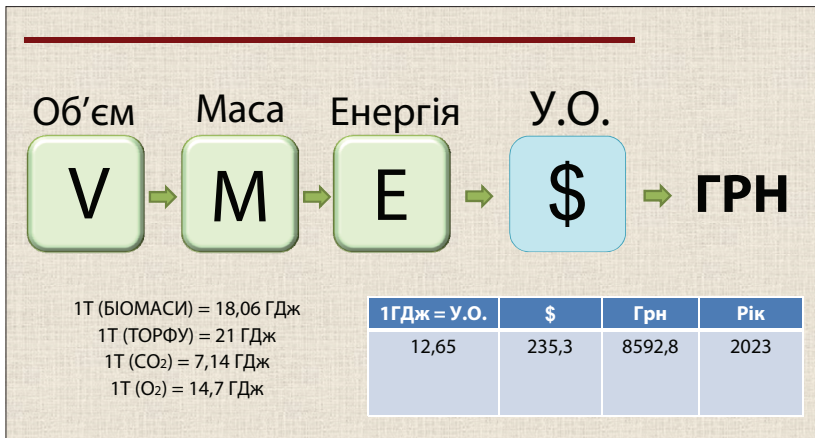


Рис. 4. Загальна схема обрахунку збитків

Джерело: Я. П. Дідух, особистий архів

Для обрахунку екологічних збитків необхідно з'ясувати кількісні співвідношення основних складових компонентів (блоків) екосистем; період, необхідний для відновлення функції блоків (рис. 5).

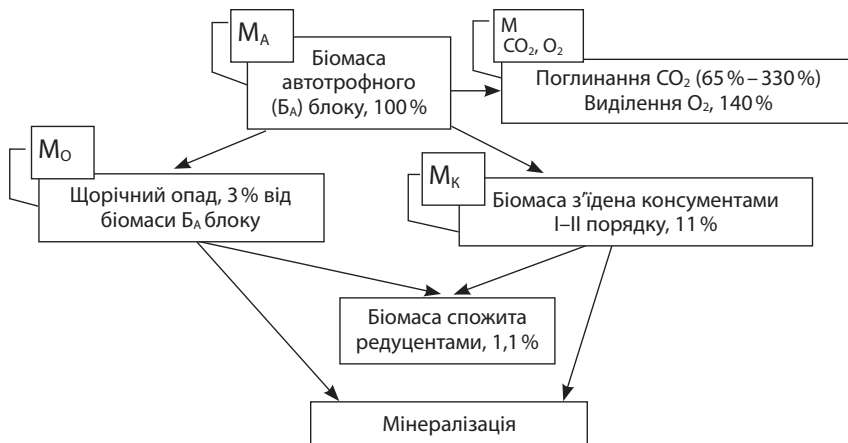


Рис. 5. Співвідношення між показниками основних функціональних елементів екосистеми

Джерело: Я. П. Дідух та ін., 2009, особистий архів



На основі численних наукових досліджень доведено: якщо приріст біомаси автотрофного блоку прийняти за 100 %, то затрати на фотосинтез-дихання становить:  $O_2$  — 140 % (Бобылев, Ковалин, 1969),  $CO_2$  — 65–330 % (Белов, 1964; Политова, 1991; Moore et al., 2002), 10% біомаси щорічного приросту з'їдають різні орґанофаги, у свою чергу засвоюючи від з'їденого лише 10%. Тобто тільки 1% від біомаси автотрофного блоку іде власне на побудову організмів консументів другого порядку (Glenn et al., 2006; Secondary..., 1967), решта 8,9% мінералізується та використовується редуцентами. Крім цього, протягом кожного року близько 3% від усієї біомаси йде у відпад, який формує гумус, частина його засвоюється редуцентами, а решта мінералізується, що забезпечує процеси ґрунтоутворення (Злотин, Ходашова, 1974).

Для оцінки запасів біомаси лісових екосистем можна використати дані лісотаксаційних характеристик, у яких наводяться показники запасів стовбурової деревини в  $m^3/га$ . Виходячи з того, що для листяних лісів показник щільності повітряно-сухої деревини становить 550, хвойних — 400, змішаних — 450  $кг/m^3$ , то добуток запасу та щільності буде дорівнювати біомасі стовбурової деревини ( $M_c = V \cdot \rho$ ), де  $M_c$  — біомаса стовбурової деревини, т/га;  $V$  — запас стовбурової деревини,  $m^3/га$ ;  $\rho$  — базисна (умовна) щільність деревини  $кг/m^3$ .

Біомаса деревного ярусу розраховується за формулою:

$$M_{\partial} = M_c + M_2 + M_l + M_3. \quad (2.1)$$

Співвідношення між показниками підземної і наземної біомаси дерев коливається для вологих лісових екоотопів від 24% до 16% для сухих лісових екоотопів, тобто в середньому становить 20%. Співвідношення цих показників для трав'яної рослинності в лісових екосистемах становить 1:1 (Гиляров, 1967; Дідух та ін. 2009).

Отже, основним базовим показником для всіх подальших розрахунків є запас біомаси автотрофного блоку ( $M_A$ ), на основі якого можна розрахувати його щорічний приріст (чиста первинна продуктивність — ЧПП). Співвідношення між запасом біомаси і чистою первинною продукцією залежить від типу екосистем, точніше, від

специфіки розвитку рослинного покриву. В молодих лісових насадженнях приріст може досягати 10 % від біомаси протягом 50 років, з віком він знижується, а після 120 років стає від'ємним. Але в будь-який період відбувається оновлення частини біомаси і доведено, що в цілому усереднене відновлення становить 3 % від запасів біомаси дерев та чагарників (Базилевич, 1993; Дідух, 2007). У трав'яних типах угруповань т.з. злаковниках приріст дорівнює 140–150 % від надземної фітомаси і 40 % від підземної. До того ж співвідношення між підземною і надземною біомасою наростає від болотних угруповань (0,6–0,7:1 до лучних (2–5:1), сухих степових (4–5:1) і дуже сухих (8–10:1) (Злотин, Ходашова, 1974; Гиляров, 1967; Быстрицкая, Осычнюк, 1975; Каченко, 2007).

У разі знищення автотрофного блоку збиток обраховується за один цикл відновлення біомаси від стану порушення до вихідного стану. Для лісових екосистем такий період дорівнює віку дерево-стану; для степових, лучних, болотних — залежить від часу формування відповідної сукцесійної ланки. В багатих умовах, достатньо зволжених ектопах сукцесії протікають швидше, від піонерної стадії до формування типових угруповань на болотах протягом 10 років, луках — 20–25 років, степах — 50 років, а на бідних ґрунтах і в сухих умовах тривають до 100 років.

Наступний блок  $M_{CO_2, O_2}$  відображає кліматорегулюючу роль екосистеми і характеризується показниками  $O_2$  та  $CO_2$ , які виділяються в процесі дихання та фотосинтезу в повітря.

При цьому показники засвоєння  $O_2$  та  $CO_2$  рослинами обраховуються на основі приросту фітомаси (ЧПП). Співвідношення між диханням і фотосинтезом змінюється в різних типах екосистем в низькорослих злаковниках від 30 % до 70 % від ЧПП. В степах та луках цей показник становить 35 %, а в листяних лісах — 65 % від ЧПП (Zelitch, 1971; Полумова, 1991; Moor et al., 2002; Gleen et al., 2006; Krebs, 2014).

Вченими розраховано, що при синтезі 1 тонни сухої органічної речовини виділяється приблизно 1,4 тонна кисню, а в процесі дихання цієї фітомаси виділяється  $CO_2$  в еквіваленті від 0,65 до 3,3 тонн. Такий широкий діапазон коливання останніх показників

залежить від специфіки екосистеми, інтенсивність дихання якої забезпечується не лише автотрофними блоками, а й гетеротрофними (наприклад, розкладом органіки боліт мікроорганізмами). Тому найнижчий показник, характерний для лісів — (65 %), для лук і степів він становить 90 %, а найвищий для боліт: верхових — 260 %, перехідних — 290 %, низинних — 330 %, де компонент гетеротрофного дихання та розкладу накопиченого торфу характеризується більшою інтенсивністю (Политова, 1991; Moore et al, 2002; Gleen et al., 2006).

На біосинтез 1 г  $O_2$  болотною екосистемою вирачається 14,7 кДж (Белов, 1964), а при виділенні 1 г  $CO_2$  розсіюється 7,14 кДж енергії.

При розрахунках екологічних збитків, що відображають клімато-регулюючу роль екосистем, ми беремо середній термін 10 років. Мотивуємо це тим, що через цей період розвиток більшості типів рослинних угруповань проходить перші піонерні стадії і проєктивне покриття рослинного покриву (незалежно від віку деревостану) змикається до оптимального, і в цілому це забезпечує виділення такої ж кількості  $O_2$  та поглинання  $CO_2$ , як і в деревостанах дорослого віку.

Важливою складовою функціонування екосистем є показники відпаду  $M_o$ , які служать продуктом живлення редуцентів (мікроорганізмів, грибів, бактерій) і забезпечують протікання ґрунто-творних процесів. На основі проведених наукових досліджень встановлено, що середній показник відпаду в лісах становить 3 % від фітомаси (приблизно дорівнює приросту), у степах — 36 % від фітомаси, луків та болотах — до 70 % (Дідух, 2005, 2007).

Відпад можна розрахувати і на основі запасів підстилки — відмерлих частин рослин, що знаходяться на поверхні ґрунту. При цьому слід виходити з того, що підстилка розкладається на болотах дуже повільно, або отофовується (евтрофні болота — 2–3 роки, оліготрофні — за 6 років розкладається половина біомаси), у хвойних лісах — до 7 років, у листяних — 2 роки, на луках — 1 рік, в степах — 9–11 місяців. Розділивши масу підстилки на період її накопичення приблизно отримуємо показники відпаду.

Для оцінки збитку екосистем біомасу відпаду (чи підстилки з урахуванням терміну її розкладу) ми перемножуємо на період формування відповідного типу екосистеми від стану порушення до ви-

хідного (початкового) стану, що у лісах визначається віком дерево-стану, а для трав'янистих угруповань залежить від часу формування відповідних сукцесійних ланок від піонерних стадій (болота — 10, луки — 25, степи — 50 років). За незначного поверхневого порушення травостою (пожежі, випас) цей період становить 5 років.

Набагато складнішою є оцінка енергозапасів болотних типів екосистем, де цей блок представлений покладами торфу. Було розраховано, що за період 238 років у болотах накопичується біомаса торфу, яка рівна вазі існуючої фітомаси (Боч, Мазинг, 1979). Відповідно, можна вирахувати вік болотної екосистеми:

$$T = \frac{M_T}{M_\phi} \cdot 238, \quad (2.2)$$

де  $T$  — вік болотної екосистеми,  $M_T$  — суха маса торфу;  $M_\phi$  — суха фітомаса.

Відомо, що в середньому 1 см торфу формується протягом 10 років. Розрахувавши вік знищеної торф'яної товщі, можна оцінити екологічні збитки цього блоку з урахуванням показників відпаду.

Такий спосіб розрахунку дозволяє оцінити не лише власне ґрунто-творні процеси, які внаслідок буферності ґрунтів відбуваються і при знищенні рослинного покриву екосистем, а й збитки, пов'язані із забезпеченням функціонування складного комплексу лісових організмів ґрунтового (підземного) блоку, що включає специфіку відновлення флористичних компонентів, розвиток мезо- та мікрофауни, грибів, водоростей, бактерій і т.д.

Блок консументів  $M_K$ , що живляться безпосередньо рослинною та тваринною їжею, відіграє не лише велику роль у функціонуванні екосистем, а є тим важливим ланцюгом, який чутливо реагує на зміни в екосистемах, і, по суті, потребує захисту. До них належать безхребетні і хребетні тварини, реальний склад і участь яких у функціонуванні екосистем оцінити досить важко, враховуючи те, що кожен із компонентів може використовувати широке коло господарів різних типів екосистем. У зв'язку з цим за основу оцінки екологічних збитків ми беремо показники, що використовуються в класичній екології і оцінюються за правилом піраміди

енергії, згідно з яким консументи «відчужують» 10 % від приросту фітомаси (Одум, 1986).

Що стосується трав'яних типів екосистем (степів, луків), які власне формуються під впливом випасання, викошування, то відомо, що приріст їхньої надземної фітомаси 140–150 %, а підземної — 40 %; при цьому 56 % надземної споживається консументами, а решта — 44 % — відновлюється і відмирає природним шляхом, хоча по луках цей відсоток може становити 75 % (отава має нижчу продуктивність за перший укіс). Середній показник відчуження фітомаси консументами в екосистемах пасовищного типу становить 47 % (Гильманов, Базилевич, 1983; Политова, 1991, Ткаченко, 2007).

Після знищення екосистем у процесі їхнього відновлення біомаса поступово наростає і вже через десять років трав'яні угруповання проходять піонерні стадії, вступають у ті стадії розвитку, які забезпечують фітомасою консументів. У лісових типах екосистем збитки оцінюються залежно від часу відтворення, тобто віку знищеного деревостану. Хоча фітомаса, яку споживають консументи, вже через 20 років досягає потенційного рівня, проте видовий склад консументів таких молодих лісових насаджень і зрілих суттєво відрізняється, що відображається на специфіці трофічних ланцюгів, еконіш видів. У зв'язку з цим втрати консументного блоку слід оцінювати за формулою:

$$M_k = M_n \cdot K_k \cdot t, \quad (2.3)$$

де  $M_n$  — біомаса приросту автотрофного блоку;  $K_k$  — коефіцієнт відчуження біомаси консументами,  $t$  — час відновлення екосистем.

На основі всього викладеного нами складена така схема функціональних блоків екосистем з урахуванням відсотків витрати запасів їхньої фітомаси (чи еквівалентних показників енергії) та часу, потрібного на відтворення, що дає можливість розрахувати сумарний енергопотенціал (рис. 6).

Оскільки кожен організм приблизно на 2/3 складається з води, то для розрахунку показників енергії використовують дані абсолютно сухої маси. Для подальших розрахунків ми наводимо енергоємність (калорійність) як окремих органів, так і живих організмів в цілому,

органічних сполук, що є елементами екосистем, або можуть використовуватися як відповідні еквіваленти (табл.).

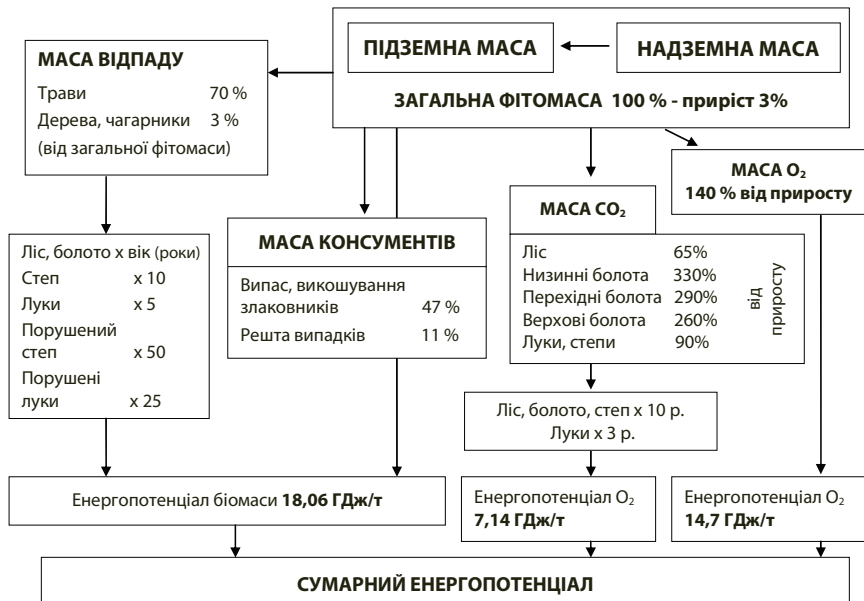


Рис. 6. Співвідношення між основними показниками біомаси та енергії в різних блоках екосистем

Джерело: Я. П. Дідух та ін., 2009, особистий архів

Таблиця

### Енергоємність різних компонентів екосистем

Біомаса	КДж на 1 г сухої маси	Ккал на 1 г сухої маси
1	2	3
Деревина (Одум, 1986; Лакида та ін., 2011)	18,0	4,3
Листя (Одум, 1986; Лакида та ін., 2011)	17,7	4,2
Корені (Одум, 1986; Лакида та ін., 2011)	19,7	4,7
Насіння (Одум, 1986)	22,0	5,2

1	2	3
Водорості (Одум, 1986)	29,6	4,9
Безхребетні тварини (крім комах) (Одум, 1986)	12,6	3,0
Комахи (Одум, 1986)	22,7	5,4
Хребетні тварини (Одум, 1986)	23,5	5,6
Вугілля (Одум, 1986)	29,4	7,0
Торф верховий (Бачурина, 1964; Боч, Мазинг, 1979)	22,7	5,4–5,6
Торф низинний (Бачурина, 1964; Боч, Мазинг, 1979)	20,6	4,5–5,3
Гумус (Ковда, 1970)	23,0	5,5
Підстилка (Ковда, 1970)	18,0	4,3
Дихання (виділення 1 г CO <sub>2</sub> ) (Woodwell, Whittaker, 1968)	7,1	1,7
Фотосинтез (виділення 1 г O <sub>2</sub> ) (Woodwell, Whittaker, 1968)	14,7	3,5

Джерело: Я. П. Дідух та ін., особистий архів

Відповідно до системи СІ основною одиницею енергії є джоуль (Дж), хоча в нашій літературі найчастіше енергія подається в калоріях (кал). Співвідношення між цими одиницями таке: 1 кал = 4,2 Дж, 1 Дж = 0,24 кал.

Для розрахунків в екосистемах, що займають значні обсяги, площі слід використовувати вищі одиниці: кілоджоуль (кДж) = 10<sup>3</sup> Дж, мегаджоуль (мДж) = 10<sup>6</sup>, гігаджоуль (гДж) = 10<sup>9</sup>, тераджоуль (тДж) = 10<sup>12</sup>, петаджоуль (пДж) = 10<sup>15</sup> Дж.

Виходячи з того, що фітомаса стовбура і гілок (деревини) становить 75 % від загальної маси дерева, то для подальших розрахунків слід користуватися показником (1 г = 18 кДж або 4,3 ккал). Показники енергоемності листя (зеленої маси) і кореневої системи

становлять відповідно 17,7 та 19,7 кДж. В степах це співвідношення становить 1:5 і знижується в напрямку до гідрофільної рослинності (боліт) до 1:0,7. Таким чином, при точних розрахунках показник енергоємності слід знижувати від 19,4 кДж (4,6 ккал) для степів до 18,9 кДж (4,5 ккал) для боліт. В цілому для трав'янистих типів угруповань пропонується використовувати узагальнений показник 19 кДж (4,5 ккал).

Енергоємність торфу залежить від його зольності і підвищується від низинного типу боліт (20,6 кДж), що мають високу зольність (10–15 %) до 22,7 кДж торфу верхових боліт, що мають низьку зольність (менше 5 %).

Оскільки у своєму розвитку торф'яники проходили стадію низинних евтрофних боліт, то навіть у основі верхових оліготрофних боліт залягає високозольний низинний торф. Тому в цілому при розрахунках енергетичних затрат торф'яників доцільно користуватися показниками енергоємності низинних торф'яників (21 кДж або 5 ккал/г). До цього додамо, що поклади торфу евтрофного типу в Україні займають понад 90 % обсягу.

З метою вартісної оцінки екологічних збитків використовують показник умовного палива, за яке приймають вугілля енергоємністю 29,4 кДж/г або 70 ккал/г (7000 ккал/кг), яке має вартість 248,6 \$.

Цю вартість легко перевести в показники гривні відповідно до курсу гривні по відношенню до долара.

Для порівняння збитків екосистем ми взяли дані запасів різних типів екосистем, луків, степів, боліт і провели відповідні розрахунки, які наведені у додатках.



## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ВТРАТИ ДЕРЕВ

Така оцінка включає чотири етапи:

### 1. Етап. Оцінка основних показників та їхніх співвідношень

Базовими таких розрахунків є дані щодо діаметру, висоти та віку дерев, об'єму деревини та її щільності. П.І. Лакидою та ін. (2011) розроблені детальні таблиці нормативної оцінки розподілу показників, на основі яких розраховуються запаси фітомаси таких ком-

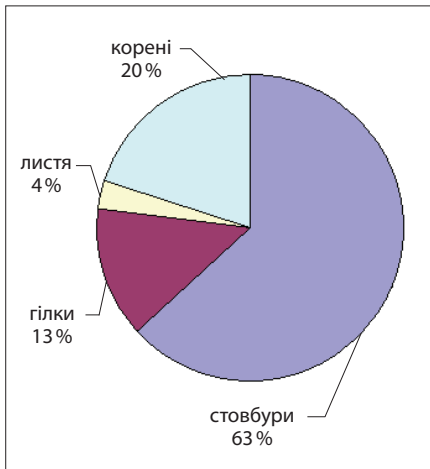


Рис. 7. Схема розподілу показників фітомаси (%) окремих компонентів дерев

понентів як деревини та кори стовбура, листя (хвої), гілок, крони та ін., що корелюють між собою, а також депонований вуглець (рис. 7). Ці показники характеризують фітомасу у свіжозрубаному стані, яку слід висушити і зважити, або можна перевести у показники сухої фітомаси. Відомо, що в цілому це співвідношення для стовбурової деревини близько 50 %, проте для найбільш поширених видів лісових дерев можна скористатись довідковими таблицями (Лакида та ін., 2011).

## 2. Етап. Оцінка показників щільності біомаси

Розрізняють поняття природної щільності (показники свіжо-зрубаних дерев) —  $P$  та умовної (абсолютно суха вага/об'єм свіжо-зрубаного дерева) —  $\rho$ . Для широколистяних дерев  $\rho = 430\text{--}550$ , дрібнолистяних —  $450\text{--}530$ , хвойних —  $400\text{--}430$  кг/м<sup>3</sup> (*Лесотаксационный справочник...*, 1980; *Лакида*, 2001; *Лакида та ін.*, 2011).

$$\rho = M(\text{кг}) / V(\text{м}^3). \quad (3.1)$$

Добуток (запас або об'єму деревини помножений на щільність) буде дорівнювати біомасі стовбурної деревини.

$$M_{\delta} = V \cdot \rho. \quad (3.2)$$

Біомаса всього дерева ( $M$ ) розраховується за формулою:

$$M = M_{\delta} + M_2 + M_l + M_3. \quad (3.3)$$

Середні співвідношення між компонентами фітомаси дерев: стовбур — 63, гілки — 11–13, підземна частина — 20–22, листя (хвоя) — 4–5 % (рис. 2). Співвідношення між показниками підземної і наземної біомаси дерев коливається від вологих до сухих лісів, від 16 до 24 %, тобто в середньому становить 20 %. Детальніші співвідношення між показниками надземної частини дерева можна розрахувати на основі вміщених у довіднику щодо нормативів оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України (*Лакида та ін.*, 2011).

## 3. Етап. Розрахунок енергетичних показників або вмісту карбону

У середньому енергоємність сухої фітомаси становить 18,06 кДж/г, біомаси консументів 22,5 кДж/г, редуцентів 35,5 кДж/г, але відрізняється для окремих порід так і компонентів фітомаси: стовбур та гілки — 18, листя (зеленої маси) і кореневої системи складають відповідно 17,7 та 19,7 кДж/г, а в цілому для розрахунку фітомаси береться показник 18,06 мДж/кг чи гДж/г. В останні десятиліття акцент робиться на оцінку запасів вуглецю (карбону), показник якого становить біля 50 % від показника сухої фітомаси. Для оцінки збитків розраховують такі показники, як щорічний приріст (чиста первинна продуктивність — ЧПП) та відпад біомаси (кожен рік становить 3 % від загальної біомаси), транспірація — 20 %,

засвоєння CO<sub>2</sub> — 140 % від приросту, виділення O<sub>2</sub> — 65 % від приросту, споживання тваринами — 10 % від загальної біомаси. Це відображає кліматорегулюючу, ґрунтотворну, трофічну роль відповідного дерева.

#### **4. Етап.** Грошова (монетарна) оцінка збитків

Основою розрахунків є показники вартості умовного палива вугілля енергоємністю 29,4 кДж/г або 70 ккал/г (7000 ккал/кг), ціна яких змінюється, тому за основу беруться показники у період нанесення збитків. За показниками ціни умовного палива вираховуються збитки екосистем у доларовому (\$), євро (€) чи гривнево-му (грн) еквіваленті.

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

### 4.1. Визначення біомаси компонентів лісових екосистем

Для лісів у цілому схема цієї операції викладена в описі методики оцінки енергетичних показників для видів дерев, однак завдання полягає в тому, щоб перевести такі розрахунки на рівень екосистеми (біотопу). У лісоводів така оцінка біомаси ведеться на основі 200 дерев, але при цьому може бути різна площа ділянок, тому важливо останній показник стандартизувати. З цією метою геоботанічні описи лісових ділянок виконуються на площі  $25 \times 25$  м, визначається породний склад деревостанів, їх зімкнутість, висота й діаметр, розраховуються показники запасів та щільності біомаси деревостану на 1 га. Для оцінки запасів біомаси лісових екосистем можна використати дані лісотаксаційних характеристик, у яких наводяться показники запасів стовбурової деревини в  $\text{м}^3/\text{га}$ , а також нормативні показники компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України (Лакида та ін., 2011). Для оцінки запасів трав'яного покриву закладають 5 ділянок, розміром  $1 \times 1$  м, які вибирають з урахуванням типового розподілу травостою у відповідному фітоценозі. Відпад відмерлих частин рослин, що містяться на поверхні ґрунту, слід відбирати пізно восени після опадання листя з дерев на ділянках, розміром  $5 \times 5$  м. Трав'яний покрив і підстилку висушують до абсолютно сухої ваги і зважують.

У лісових екосистемах більшість енергетичних запасів акумулюється в деревному ярусі, що і формує власне автотрофний блок. Тому для визначення енергозапасів лісових екосистем використовують характеристики запасів деревини, приросту (накопичення біомаси за рік), що наведені в лісотаксаційних матеріалах (Лакида, 2001, Лакида та ін., 2011).

Загальний запас біомаси лісової екосистеми включає:

- Фітомасу автотрофного блоку ( $M_A$ ):
  - а) деревостан (стовбурна деревина, листя (хвоя), гілки, кора, корені та інші органи дерев) ( $M_d$ );
  - б) підлісок, чагарниковий ярус та підріст ( $M_u$ );
  - в) трав, мохів та лишайників ( $M_m$ ).

Відповідно показник маси автотрофного блоку, який у подальшому буде використано для розрахунків, становитиме:

$$M_A = M_d + M_u + M_m. \quad (4.1)$$

Фітомасу деревостану та підліску можна визначати кількома способами:

1) прямим обліком<sup>1</sup> згідно з методикою (*Методические...*, 1968), який є найбільш точним з перерахунком на суху речовину;

2) за запасом та об'ємом деревини на території, яка зазнала збитків, згідно з даними лісотаксаційних таблиць лісництва<sup>2</sup>, до якого належить постраждала територія. При цьому масу деревини кожної породи визначають, перемноживши її об'єм ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) на коефіцієнт щільності деревини цієї породи:

$$M_c = V \cdot \rho, \quad (4.2)$$

де  $M_c$  — маса деревини, т/га;  $V$  — об'єм деревини,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  — щільність повітряно-сухої деревини,  $\text{т}/\text{м}^3$  (додаток А);

---

<sup>1</sup> Обліки проводять у лісових фітоценозах, які за усіма показниками відповідають або максимально близькі тим, що зазнали збитків.

<sup>2</sup> У разі, коли з моменту останнього обліку деревини пройшло більше ніж 5 років, слід проводити додаткові обстеження та вимірювання.

3) за співвідношенням між запасами стовбурової деревини та загальною фітомасою деревостану конкретної породи<sup>3</sup>:

$$M_{\delta} = V \cdot \kappa_{\phi}, \quad (4.3)$$

де  $M_{\delta}$  — маса деревного ярусу, т/га,  $V$  — запас стовбурової деревини, м<sup>3</sup>/га;  $\kappa_{\phi}$  — коефіцієнт співвідношення (додаток Б);

4) використовуючи таке співвідношення:

$$M_{\delta}^{100\%} = M_c^{63\%} + M_z^{13\%} + M_l^{4\%} + M_z^{20\%}. \quad (4.4)$$

- Масу опадів ( $M_o$ ) визначають шляхом проведення прямого зважування маси підстилки, поділивши її на коефіцієнт розкладання (*Методические...*, 1968):

$$M_o = \frac{M_n}{t_n}, \quad (4.5)$$

де  $t_n$  хвойних лісів — 3;  $t_n$  листяних лісів — 1,5.

В цілому у відпад протягом кожного року йде близько 3 % всієї біомаси і для спрощення розрахунків пропонується використовувати цей показник:

$$M_o = \frac{(M_{\delta} + M_c + M_m) \cdot 3}{100} = 0,03 \cdot (M_{\delta} + M_c + M_m). \quad (4.6)$$

- Біомасу, яку засвоюють консументи ( $M_K$ ), розраховують виходячи з того, що вона становить близько 10 % від фітомаси приросту (приріст для лісових екосистем становить 3 % від  $M_A$ ) (*Secondary...*, 1967):

$$M_K = \frac{M_{np} \cdot \kappa_e}{100}. \quad (4.7)$$

- Процес функціонування фітоценозу супроводжується виділенням вуглекислого газу ( $CO_2$ ) та кисню ( $O_2$ ), що відображає кліматорегулюючу роль екосистеми.

<sup>3</sup> Фітомаса деревостану з одиниці площі становитиме суму її запасів по кожній породи у даному фітоценозі.

Встановлено, що маса виділеного вуглекислого газу ( $M_{CO_2}$ ) становить близько 65 % від приросту фітомаси (ЧПП) ( $M_{np}$ ), що в лісових екосистемах становить 3 % від деревного ярусу. Отже,

$$M_{CO_2} = \frac{M_{np} \cdot 65}{100} = 0,65 \cdot M_{np} \quad \text{або} \quad M_{CO_2} = \frac{0,03 \cdot M_{\delta} \cdot 65}{100} = 0,65 \cdot 0,03 \cdot M_{\delta}. \quad (4.8)$$

А при синтезі 1 т сухої органічної речовини деревини фітоценозом виділяється біля 1,32 т кисню (Белов, 1964). У такому разі маса кисню ( $M_{O_2}$ ) становитиме:

$$M_{O_2} = 1,32 \cdot M_{np} \quad \text{або} \quad M_{O_2} = 1,32 \cdot 0,03 \cdot M_{\delta}. \quad (4.9)$$

Отже, у цілому маса лісової екосистеми, включаючи перерахунок на масу функціональних компонентів, становитиме:

$$M_{LE} = M_A + M_O + M_K + M_{CO_2} + M_{O_2}. \quad (4.10)$$

## 4.2. Визначення енергетичного запасу і втрат лісових екосистем та окремих їх блоків

Енергетичний запас компонентів екосистеми визначається на основі двох показників — маси сухої речовини конкретного компоненту та його коефіцієнта калорійності ( $\kappa_e$ ) (табл.), а енергетичні втрати враховують час, потрібний на їх відновлення ( $t_{\delta}$ ), окрім енергетичних втрат консументів, для відновлення цього компоненту екосистеми необхідний час, що дорівнює віку відповідного фітоценозу.

Енергозапас автотрофного блоку ( $E_A$ ) розраховують за формулою:

$$E_A = M_A \cdot \kappa_e. \quad (4.11)$$

Енергетичні втрати автотрофного блоку становлять:

$$EB_A = E_A \cdot t_{\delta}, \quad (4.12)$$

де  $t_{\delta}$  лісу дорівнює віку деревостану.

Енергозапас опаду ( $E_o$ ) становитиме:

$$E_o = M_o \cdot \kappa_e \quad \text{або} \quad E_o = \frac{M_n}{t_n} \cdot \kappa_e. \quad (4.13)$$

Енергетичні втрати опаду становлять:

$$EB_o = E_o \cdot t_o. \quad (4.14)$$

Енергозапас біомаси, спожитої консументами ( $E_K$ ), розраховують як:

$$E_K = M_K \cdot \kappa_e. \quad (4.15)$$

Енергетичні втрати блоку консументів становлять:

$$EB_K = E_K \cdot t_o. \quad (4.16)$$

Енергозапас вуглекислого газу  $CO_2$  визначають таким чином:

$$E_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot \kappa_e. \quad (4.17)$$

Енергетичні втрати, пов'язані із функцією дихання, становлять:

$$EB_{CO_2} = E_{CO_2} \cdot t_{20} \quad \text{або} \quad EB_{CO_2} = E_{CO_2} \cdot 20, \quad (4.18)$$

де  $t_b$  для функцій дихання та фотосинтезу у лісових екосистемах дорівнює 20 років (період, необхідний для відновлення зімкненості крон).

Енергозапас кисню  $O_2$  становить:

$$E_{O_2} = M_{O_2} \cdot \kappa_e. \quad (4.19)$$

Енергетичні втрати, пов'язані із функцією фотосинтезу, становлять:

$$EB_{O_2} = E_{O_2} \cdot t_{20} \quad \text{або} \quad EB_{O_2} = E_{O_2} \cdot 20. \quad (4.20)$$

Енергозапас сукупної біомаси лісової екосистеми становитиме:

$$E_{ЛЕ} = E_A + E_o + E_K \quad \text{або} \quad E_{ЛЕ} = M_{ЛЕ} \cdot \kappa_e. \quad (4.21)$$

Енергетичні втрати лісової екосистеми з урахуванням функціональних енергетичних витрат на дихання та фотосинтез становить:

$$EB_{ЛЕ} = EB_A + EB_o + EB_K + EB_{CO_2} + EB_{O_2} \quad (4.22)$$

або

$$EB_{ЛЕ} = (E_A + E_o + E_K) \cdot t_o + (E_{CO_2} + E_{O_2}) \cdot 20. \quad (4.23)$$



### 4.3. Вартість енергетичного запасу лісових екосистем та їх окремих блоків

Ціна одиниці енергії екосистеми розраховується на основі ціни енергії умовного палива (УП). Ціну одиниці енергії розраховуємо за формулою:

$$Ц_{о.е.} = \frac{Ц_{у.п.} \cdot K_{НБУ}}{E_{у.п.}}, \quad (4.24)$$

де  $Ц_{о.е.}$  — ціна одиниці енергії;  $Ц_{у.п.}$  — вартість 1 тонни умовного палива в у.о.;  $E_{у.п.}$  — енергетичний еквівалент 1 тонни умовного палива, за яке приймається кам'яне вугілля енергоємністю 29,3 МДж;  $K_{НБУ}$  — курс НБУ гривні до у.о., у якій виражена ціна умовного палива.

Вартість енергії компонентів лісової екосистеми становитиме:

– вартість автотрофного блоку лісу ( $B_A$ ):

$$B_A = EB_A \cdot Ц_{о.е.} \quad (4.25)$$

– вартість опаду ( $B_o$ ):

$$B_o = EB_o \cdot Ц_{о.е.} \quad (4.26)$$

– вартість біомаси, спожитої консументами:

$$B_K = EB_K \cdot Ц_{о.е.} \quad (4.27)$$

– енергії  $CO_2$ , виділеного у процесі дихання:

$$B_{CO_2} = EB_{CO_2} \cdot Ц_{о.е.} \quad (4.28)$$

– енергії  $O_2$ , виділеного автотрофами:

$$B_{O_2} = EB_{O_2} \cdot Ц_{о.е.} \quad (4.29)$$

Загальна енергетична вартість втрати лісової екосистеми ( $B_{ЛЕ}$ ) становитиме:

$$B_{ЛЕ} = (B_A + B_o + B_K + B_{CO_2} + B_{O_2}) \cdot S. \quad (4.30)$$

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ СТЕПОВИХ ТА ЛУЧНИХ ЕКОСИСТЕМ (ЗЛАКОВНИКІВ) НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

### 5.1. Визначення біомаси злаковників

Облік усієї біомаси трав'яного покриття (надземної і підземної) у злаковниках проводиться згідно з прийнятою методикою (*Методические...*, 1968). Співвідношення надземної і підземної маси трав'яної рослинності у степах дорівнює 1:3, а у лучних екосистемах — 1:0,8.

Вихід сухої речовини (т/га) автотрофного блоку злаковників ( $M_A$ ) з одиниці площі буде рівний виходу сухої речовини його трав'яного покриття ( $M_m$ ):

$$M_A = M_m = M_{nm} + M_{nm}. \quad (5.1)$$

При теоретичному розрахунку запасів опаду слід враховувати, що у степовому фітоценозі, який не скошувався або не випасався понад рік, опад, який переходить у підстилку, становить у середньому 70 % від надземної біомаси трав. Тому:

$$M_o = \frac{M_m \cdot 70}{100} = 0,7M_m. \quad (5.2)$$

У степах, де проводять щорічне викошування або випасання худоби, у підстилку переходить 20 % надземної біомаси трав. Тоді маса її у цих фітоценозах становитиме:

$$M_o = \frac{M_m \cdot 20}{100} = 0,2M_m. \quad (5.3)$$

Маса, яку споживають консументи у невикошуваних злаковниках ( $M_K$ ), становить 10 % від їхньої маси приросту, яка дорівнює сумі трав'яного (приріст 70 %) та приросту деревного і чагарникового урусів (приріст 3 %):

$$M_K = \frac{M_{np} \cdot 10}{100} = 0,10M_{np}. \quad (5.4)$$

У фітоценозах, що піддаються викошуванню чи примусовому випасанню, консументами споживається 47 % біомаси надземного покриву трав. Тому попередня формула матиме вираз:

$$M_K = \frac{M_{np} \cdot 47}{100} = 0,47M_{np}. \quad (5.5)$$

У злаковниках маса виділеного вуглекислого газу в процесі дихання становить 90 % їхнього приросту (продуктивності). Тоді:

$$M_{CO_2} = \frac{M_{np} \cdot 90}{100} = 0,9M_{np}. \quad (5.6)$$

Маса кисню у цих екосистемах становить 132 % від маси автотрофів:

$$M_{O_2} = \frac{M_{np} \cdot 132}{100} \cdot t = 1,32 \cdot M_{np} \cdot t. \quad (5.7)$$

Загальна біомаса екосистем злаковників, включаючи перерахунок на масу функціональних компонентів, становить:

$$M_{3E} = M_A + M_o + M_K + M_{CO_2} + M_{O_2}. \quad (5.8)$$

## 5.2. Визначення енергетичного запасу та втрат злаковників

Енергетичний запас екосистем злаковників проводять з урахуванням коефіцієнта ( $\kappa_e$ ) (табл.), а їх енергетичні втрати розраховують, беручи до уваги час, потрібний на відновлення ( $t_v$ ), який для лучних екосистем становить 25 років, а для степових — 50 років, час відновлення для  $CO_2$  та  $O_2$  становить 10 років.

Енергозапас автотрофного блоку ( $E_A$ ) становитиме:

$$E_A = M_A \cdot \kappa_e. \quad (5.9)$$

Енергетичні втрати автотрофного блоку становлять:

$$EB_A = E_A \cdot t_e. \quad (5.10)$$

Енергозапас опаду, що перейшов у підстилку, буде дорівнювати:

$$E_o = M_o \cdot \kappa_e. \quad (5.11)$$

Енергетичні втрати опаду становлять:

$$EB_o = E_o \cdot t_e. \quad (5.12)$$

Енергозапас маси, спожитої консументами у степу ( $E_K$ ), становитиме:

$$E_K = M_K \cdot \kappa_e. \quad (5.13)$$

Енергетичні втрати блоку консументів становлять:

$$EB_K = E_K \cdot t_e. \quad (5.14)$$

Енергозапас  $CO_2$  при диханні степовою рослинністю становитиме:

$$E_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot \kappa_e. \quad (5.15)$$

Енергетичні втрати, пов'язані із функцією дихання, становлять:

$$EB_{CO_2} = E_{CO_2} \cdot t_e. \quad (5.16)$$

Енергозапас кисню ( $O_2$ ), виділеного екосистемою злаковника, становитиме:

$$E_{O_2} = M_{O_2} \cdot \kappa_e. \quad (5.17)$$

Енергетичні втрати, пов'язані із функцією фотосинтезу, становлять:

$$EB_{O_2} = E_{O_2} \cdot t_e. \quad (5.18)$$

У цілому енергозапас злаковника становить:

$$E_{3E} = E_A + E_o + E_K + E_{CO_2} + E_{O_2}. \quad (5.19)$$

Енергетичні втрати всієї екосистеми злаковника з урахуванням функціональних енергетичних витрат на дихання та фотосинтез становить:

$$EB_{JE} = EB_A + EB_o + EB_K + EB_{CO_2} + EB_{O_2}. \quad (5.20)$$

### 5.3. Вартість енергетичного запасу екосистем злаковників

Оцінювання енергетичного потенціалу екосистеми буде проводитись згідно з формулою (4.24).

Вартість енергії компонентів автотрофного блоку ( $B_A$ ) степової екосистеми становитиме:

$$B_A = EB_A \cdot \Pi_{o.e.} \quad (5.21)$$

Вартість опаду ( $B_o$ ):

$$B_o = EB_o \cdot \Pi_{o.e.} \quad (5.22)$$

Вартість біомаси, спожитої консументами ( $B_K$ ):

$$B_K = EB_K \cdot \Pi_{o.e.} \quad (5.23)$$

Вартість енергії  $CO_2$ , виділеного у процесі дихання:

$$B_{CO_2} = EB_{CO_2} \cdot \Pi_{o.e.} \quad (5.24)$$

Вартість енергії  $O_2$ , виділеного степовим фітоценозом:

$$B_{O_2} = EB_{O_2} \cdot \Pi_{o.e.} \quad (5.25)$$

Загальна вартість енергії екосистеми ( $B_{3E}$ ) становитиме:

$$B_{3E} = (B_A + B_o + B_K + B_{CO_2} + B_{O_2}) \cdot S. \quad (5.26)$$

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ БОЛОТНИХ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

### 6.1. Визначення біомаси компонентів болотних екосистем

На відміну від попередніх, болотні екосистеми характеризуються значною енергоемністю торфових відкладів, які накопичують третину енергозапасів від ґрунтів і відновлюються дуже повільно, тому оцінка їх збитків є дуже актуальною (Moor et al., 2002).

Біомасу компонентів деревного, чагарникового, трав'яного та мохового ярусу болотних екосистем визначають згідно з методикою (Методические..., 1968), описаною у підрозділі 4.1.

Фактичний запас (маса) втраченого торфу визначають на основі даних його покладів  $V_T$  (об'єму) ( $\text{м}^3$ ) та об'ємної маси самого торфу  $d_T$  ( $\text{т}/\text{м}^3$ ):

$$M_T = V_T \cdot d_T. \quad (6.1)$$

Масу абсолютно сухого торфу знаходять, використовуючи термостатно-ваговий метод визначення вологості.

При теоретичних розрахунках маси болотного фітоценозу слід враховувати опад дерев і чагарників, які можна розрахувати за формулою (4.5), та відмерлих трав (80 % маси трав). Отже, маса опадів становитиме:

$$M_o = 0,03M_d + 0,8M_m \quad (6.2)$$

Приріст торфу становить 14 % від маси опаду:

$$M_{np.T} = \frac{M_o \cdot 14}{100} = 0,14M_o. \quad (6.3)$$

Встановлено, що маса надземної частини болота дорівнює масі відкладеного торфу у середньому протягом 240 років. У зв'язку з цим, період за який утворився торф, можна визначити таким чином:

$$t = \frac{M_T}{M_A} \cdot 240. \quad (6.4)$$

Період, за який накопичився торф, можна визначити із того, що 1 мм торфу утворюється в середньому за 1 рік, звідси (більш точний показник):

$$t = h. \quad (6.5)$$

Біомаса, яку використовують консументи, становить близько 10 % від маси приросту автотрофного блоку, не враховуючи торф. Тому ( $M_K$ ) знаходять за формулою:

$$M_K = \frac{M_{np} \cdot 10}{100}. \quad (6.6)$$

Маса вуглекислого газу ( $CO_2$ ) виділених болотними екосистемами становить:

$$M_{CO_2} = M_{np} \cdot \kappa_\delta. \quad (6.7)$$

де  $\kappa_\delta$  — коефіцієнт автотрофного (50 %) та гетеротрофного (50 %) дихання боліт (для евтрофних 330, мезотрофних — 295, оліготрофних — 260).

Маса кисню ( $O_2$ ) дорівнює:

$$M_{O_2} = M_{np} \cdot 1,32. \quad (6.8)$$

Загальна біомаса болотної екосистеми ( $M_{BE}$ ) становить:

$$M_{BE} = M_A + M_o + M_T + M_K + M_{CO_2} + M_{O_2}. \quad (6.9)$$

## 6.2. Визначення енергетичного запасу та втрат болотних екосистем

Енергетичний запас біомаси болотної рослинності проводять з урахуванням коефіцієнта  $\kappa_e$ , а енергетичні втрати — з урахуванням періоду відновлення надземного компонента (автотрофного блоку) екосистеми (20 років), для консументів він дорівнює віку деревного ярусу, для торфу — залежить від потужності відкладів, але умовно приймається 1000 років.

Енергозапас автотрофного блоку ( $E_A$ ) становитиме:

$$E_A = M_A \cdot \kappa_e. \quad (6.10)$$

Енергетичні втрати автотрофного блоку становлять:

$$EB_A = E_A \cdot t_b. \quad (6.11)$$

Енергозапас опаду, що перейшов у підстилку, буде дорівнювати:

$$E_{nб} = M_{nб} \cdot \kappa_e. \quad (6.12)$$

Енергетичні втрати опаду становлять:

$$E_{nб} t = E_{nб} \cdot t_{1000}. \quad (6.13)$$

Енергозапас торфу буде дорівнювати:

$$E_T = M_T \cdot \kappa_e. \quad (6.14)$$

Енергозапас маси, спожитої консументами болотної екосистеми ( $E_K$ ), становить:

$$E_K = M_K \cdot \kappa_e. \quad (6.15)$$

Енергетичні втрати блоку консументів становлять:

$$EB_K = E_K \cdot t_b. \quad (6.16)$$

Енергозапас  $CO_2$  при диханні болотною рослинністю становитиме:

$$E_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot \kappa_e. \quad (6.17)$$

Енергетичні втрати, пов'язані із функцією дихання, становлять:

$$EB_{CO_2} = E_{CO_2} \cdot t_b. \quad (6.18)$$

Енергозапас кисню ( $O_2$ ), виділеного екосистемою болота, становить:

$$E_{O_2} = M_{O_2} \cdot \kappa_e. \quad (6.19)$$



Енергетичні втрати, пов'язані із функцією фотосинтезу, становлять:

$$EB_{O_2} = E_{O_2} \cdot t_6. \quad (6.20)$$

Енергозапас болотної екосистеми без урахування торфу становитиме:

$$E_B = E_A + E_{нб} + E_K + E_{CO_2} + E_{O_2}. \quad (6.21)$$

Енергетичні втрати всієї болотної екосистеми без урахування торфу та з урахуванням функціональних енергетичних витрат на дихання та фотосинтез становить:

$$E_B t = E_A t + E_{нб} t + E_K t + E_{CO_2} t + E_{O_2} t. \quad (6.22)$$

### 6.3. Вартість енергетичного потенціалу болотного фітоценозу

Вартість енергії компонентів автотрофного блоку болотної екосистеми ( $B_A$ ) розраховують:

$$B_A = EB_A \cdot \Pi_{o.e.} \quad (6.23)$$

Опаду ( $B_o$ ):

$$B_o = EB_o \cdot \Pi_{o.e.} \quad (6.24)$$

Торфу ( $B_T$ ):

$$B_T = EB_T \cdot \Pi_{o.e.} \quad (6.25)$$

Біомаси, спожитої консументами:

$$B_K = EB_K \cdot \Pi_{o.e.} \quad (6.26)$$

Енергії  $CO_2$ , виділеного у процесі дихання:

$$B_{CO_2} = EB_{CO_2} \cdot \Pi_{o.e.} \quad (6.27)$$

Енергії  $O_2$ , виділеного у процесі дихання:

$$B_{O_2} = EB_{O_2} \cdot \Pi_{o.e.} \quad (6.28)$$

Загальна вартість енергії болотної екосистеми ( $B_{ЕБ}$ ) становитиме:

$$B_{ЕБ} = (B_A + B_o + B_T + B_K + B_{CO_2} + B_{O_2}) \cdot S. \quad (6.29)$$

Однак, якщо йдеться про оцінку болотної екосистеми в цілому, то час її формування слід розраховувати залежно від потужності покладів.

## ВИСНОВКИ

1. Екологічний збиток (оцінка послуг) екосистеми означає знищення її як цілої або пошкодження будь-якого компонента. На відміну від вартості екосистемних послуг, що розраховуються на річний період, при оцінюванні екологічних збитків враховуються затрати на час їхнього природного відновлення до вихідного стану.
2. Запропонована методика екологічного збитку характеризує збитки підтримуючих та регулюючих послуг, для розрахунку вартості яких використовуються стабільні загальноприйняті фізичні показники (біомаса, енергія, вміст карбону), що можуть бути переведені у монетарний еквівалент.
3. Для оцінки екологічних збитків використані показники енергії, яка, за висловом Ю. Одума, розглядається як «екологічна валюта», що дає змогу екологам оперувати економічними категоріями, економістам — обчислювати збитки, завдані природі, що не мають вартісних показників, технологам — оцінювати не лише прямі, а й опосередковані результати діяльності людини.
4. Основними показниками енергії екосистем є запаси автотрофного блоку, на основі яких розраховуються додаткові витрати енергії на фотосинтез, транспірацію, дихання, опад та приріст, споживання консументами, що відображають біотичну, ґрунтовірну та кліматорегулюючу функції екосистем.
5. Найвищі показники екологічних збитків мають ліси, що на порядок перевищують збитки в разі знищення трав'яних типів угруповань. Проте в разі знищення (видобутку) торфу збитки болотних екосистем набагато вищі від втрат біотичної складової, що свідчить про цінність болотних екосистем.
6. Пропонована методика розглядається як складова частина загальної методики оцінки збитків (екосистемних послуг) доквіллю і не враховує оцінки ресурсних, інформативно-наукових та соціальних екосистемних послуг.

# ДОДАТКИ

## Додаток 1

### Умовні позначення

$V$  — об'єм деревини,  $m^3$

$t$  — повітряно-суха маса деревини,  $m$

$\rho$  — коефіцієнт щільності,  $кг/м^3$

$P$  — природна щільність (показники свіжозрубаних дерев),  $кг/м^3$

$M_A$  — маса автотрофного блоку,  $t$

$M_c$  — маса надземної деревини стовбурів,  $t$

$M_{\delta}$  — маса деревного ярусу,  $t$

$M_z$  — маса гілок,  $t$

$M_l$  — маса листя,  $t$

$M_3$  — маса підземної частини,  $t$

$M_k$  — біомаса, спожита консументами,  $t$

$M_m$  — маса трав'яного ярусу,  $t$

$M_o$  — маса опаду,  $t$

$M_{np}$  — маса приросту,  $t/рік$

$M_{np.T}$  — маса приросту торфу,  $t/рік$

$M_u$  — маса чагарникового ярусу, підліску та приросту,  $t$

$M_T$  — запас (маса торфу),  $t$

$t_n$  — час розкладу підстилки, роки

$t_8$  — час відновлення компонента, роки

$\kappa_8$  — коефіцієнт відчуження біомаси консументами (10% від приросту)

$M_{CO_2}$  — маса виділеного  $CO_2$ ,  $t$

$M_{O_2}$  — маса виділеного кисню ( $O_2$ ),  $t$

$M_{ЛЕ}$  — маса лісової екосистеми,  $t$

$M_{ЗЕ}$  — маса злаковникової екосистеми,  $t$

$M_{БЕ}$  — маса болотної екосистеми,  $t$

$\kappa_{\delta}$  — коефіцієнт дихання боліт

$\kappa_e$  — коефіцієнт калорійності,  $ГДж/т$

$E_A$  — енергозапас автотрофного блоку,  $ГДж/га$

$E_o$  — енергозапас опаду, ГДж/га  
 $E_T$  — енергозапас торфу, ГДж/га  
 $E_K$  — енергозапас біомаси, спожитої консументами, ГДж/га  
 $E_{CO_2}$  — енергозапас виділеного  $CO_2$ , ГДж/га  
 $E_{O_2}$  — енергозапас виділеного кисню ( $O_2$ ), ГДж/га  
 $EB_{Al}$  — енергетичні втрати фітомаси лісу з урахуванням періоду відновлення, ГДж/га  
 $EB_o$  — енергетичні втрати опаду, ГДж/га  
 $EB_K$  — енергетичні втрати блоку консументів, ГДж/га  
 $EB_T$  — енергетичні втрати торфу, ГДж/га  
 $EB_{CO_2}$  — енергетичні втрати, пов'язані із процесом дихання, ГДж/га  
 $EB_{O_2}$  — енергетичні втрати, пов'язані із процесом фотосинтезу, ГДж/га  
 $EB_{Bф}$  — енергетичні втрати болотних фітоценозів без урахування торфу, ГДж/га  
 $EP$  — екосистемні послуги  
 $S$  — площа ділянки, що зазнала збитків, га  
 $УП$  — умовне паливо  
 $Ц_{o.e.}$  — ціна одиниці енергії, грн  
 $Ц_{y.n.}$  — ціна 1 тонни умовного палива (умовні одиниці), у.о.  
 $E_{y.n.}$  — енергетичний еквівалент 1 тонни умовного палива, Дж  
 $k_{НБУ}$  — курс НБУ гривні до у.о. у якій виражена ціна умовного палива  
 $V_A$  — вартість енергії автотрофного блоку, грн  
 $V_o$  — вартість енергії опаду, грн  
 $V_T$  — вартість енергії торфу, грн  
 $V_K$  — вартість енергії біомаси фітоценозу спожитої консументами, грн  
 $V_{CO_2}$  — вартість енергії виділеного  $CO_2$  фітоценозом, грн  
 $V_{O_2}$  — вартість енергії  $O_2$ , виділеного фітоценозом, грн  
 $V_{LE}$  — вартість енергії лісової екосистеми, грн  
 $V_{ZE}$  — вартість енергії екосистеми злаковників, грн  
 $V_{BE}$  — вартість енергії болотної екосистеми, грн  
 $V_{Bф}$  — вартість енергії болотних фітоценозів без урахування торфу, грн

## Приклад оцінки енергетичних збитків лісової екосистеми

У результаті воєнних дій ділянка мішаного лісу ( $B_2$ ) віком 40 років зазнала пожежі на площі 10,5 га. Згідно з методом контрольних районів було вибрано аналогічну за віком та деревостаном ділянку, де було проведено відповідні обліки з перерахунком на суху речовину.

1. Облік засвідчив, що надземна фітомаса деревного блоку (у сухій речовині) становить 182,0 т/га, підліску — 0,8 т/га, маса трав і чагарничків — 25,4 т/га. Надземна маса автотрофного блоку лісу ( $M_A$ ) становить:

$$M_A = 182,0 + 0,8 + 25,4 = 208,24 \text{ т/га.}$$

Тоді підземна фітомаса дерев ( $M_{nd}$ ) та підліску ( $M_{ni}$ ) буде становити 45,5 т/га та 0,2 т/га відповідно (20 % фітомаси дерев і підліску, 25 % від наземної фітомаси), а маса трав ( $M_{nm}$ ) 25,4 т/га (50 % від фітомаси трав, 100 % від наземної маси трав):

$$M_{3d} = 182,0 \cdot 0,25 = 45,5 \text{ т/га;}$$

$$M_{3ч} = 0,8 \cdot 0,25 = 0,2 \text{ т/га;}$$

$$M_{3т} = 25,4 \cdot 1 = 25,4 \text{ т/га.}$$

Підземна маса автотрофного блоку становить:

$$M_3 = 45,5 + 0,2 + 25,4 = 71,1 \text{ т/га.}$$

Звідси, згідно з формулою 4.1, сумарна маса рослин становить:

$$M_{ЛЕ} = 208,24 + 71,1 = 279,34.$$

2. Масу опаду розраховуємо за формулою (4.6):

$$M_o = \frac{(182 \cdot 3) + (0,8 \cdot 3) + (25,4 \cdot 3)}{100} = 6,25 \text{ т/га.}$$

3. За (4.7) розраховують масу, яку споживають консументи лісу ( $M_K$ ) (10 % від приросту). Такий приріст по біомасі рівний опаду ( $M_o$ ), тобто  $M_o = M_{np}$ :

$$M_K = M_o \cdot 0,1 = 6,25 \cdot 0,1 = 0,62 \text{ т/га.}$$

4. Втрати вуглекислого газу ( $CO_2$ ) за (4.8) розраховуються лише за біомасою приросту:

$$M_{CO_2} = 0,65 \cdot 6,25 = 4,06 \text{ т/га.}$$

Втрати кисню ( $O_2$ ) за Ю. Одумом (1986):

$$M_{O_2} = 1,32 \cdot 6,25 = 8,25 \text{ т/га.}$$

5. Запас енергії (*Методические...*, 1968) у автотрофному блоці становитиме за (4.11):

$$E_A = 279,34 \cdot 18,06 = 5044,88 \text{ ГДж/га.}$$

6. Енергозапас опаду ( $E_o$ ) становитиме за (4.13):

$$E_o = 6,25 \cdot 18,06 = 112,87 \text{ ГДж/га.}$$

7. Енергозапас маси спожитої консументами за (4.15):

$$E_K = 0,62 \cdot 18,06 = 11,2 \text{ ГДж/га.}$$

8. Енергозапас вуглекислого газу ( $CO_2$ ) становитиме за (4.17):

$$E_{CO_2} = 4,06 \cdot 7,1 = 28,83 \text{ ГДж/га.}$$

9. Енергозапас кисню ( $O_2$ ) становитиме за (4.19):

$$E_{O_2} = 8,25 \cdot 14,7 = 121,22 \text{ ГДж/га.}$$

Наступним кроком буде врахування віку фітоценозу для врахування часу, необхідного для відновлення відповідних компонент екосистеми, та розрахунку енерговтрат екосистемою.

10. Енерговтрати фітомаси з урахуванням віку фітоценозу 80 р. становитимуть:

$$EB_{Al} = E_A t_s = 5044,88 \cdot 80 = 403590,4 \text{ ГДж/га.}$$

11. Енерговтрати опаду з урахуванням віку фітоценозу 80 р. становитимуть за (4.14):

$$EB_o = E_o t_s = 112,87 \cdot 80 = 9029, \text{ ГДж/га.}$$

12. Енерговтрати маси, спожитої консументами за (4.16):

$$EB_K = E_K t_s = 11,3 \cdot 80 = 904 \text{ ГДж/га.}$$

13. Енерговтрати вуглекислого газу ( $CO_2$ ) за (4.18) становитимуть:

$$EB_{CO_2} = E_{CO_2} t_s = 28,83 \cdot 20 = 576,6 \text{ ГДж/га.}$$

14. Енерговтрати кисню ( $O_2$ ) за (20) становитимуть:

$$EB_{O_2} = E_{O_2} t_s = 121,22 \cdot 20 = 2424,4 \text{ ГДж/га.}$$

15. Таким чином, екологічний збиток на 1 га вигорілого лісу становитиме:

$$EB_{LE} = EB_{Al} + EB_o + EB_K + EB_{CO_2} + EB_{O_2} = 5044,88 + 9029 + 904 + 576,6 + 2424,4 = 17977,9 \text{ ГДж/га або } 226533,9 \text{ у.о./га.}$$

## Приклад оцінки енергетичних збитків степової екосистеми

Унаслідок створення фортифікаційних споруд знищено 2 га заповідного степу. Для обрахування збитків необхідно вибрати аналогічну за віком площу степу, де проводяться відповідні обліки.

1. Прямим обліком встановлено, що надземна фітомаса трав'яного ярусу степу у перерахунку на суху речовину становить 7,39 т/га. Дерев та чагарники відсутні.
2. Знаходимо підземну фітомасу степових трав (300 % від надземної):

$$M_{nm} = 7,39 \cdot 3 = 22,17 \text{ т/га.}$$

Отже, згідно з формулою (5.1), сумарна маса автотрофного блоку становитиме:

$$M_A = 7,39 + 22,17 = 29,56 \text{ т/га.}$$

3. Маса опаду, що переходить у підстилку, за (5.3) за рік становить:

$$M_o = 7,39 \cdot 0,7 = 5,17 \text{ т/га.}$$

4. За (5.5) розраховують масу, яку споживають консументи:

$$M_K = 5,17 \cdot 0,1 = 0,52 \text{ т/га.}$$

5. Надходження вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) за (5.6) становили:

$$M_{\text{CO}_2} = 5,17 \cdot 0,9 = 4,65 \text{ т/га.}$$

6. Надходження кисню ( $\text{O}_2$ ) за (5.7):

$$M_{\text{O}_2} = 5,17 \cdot 1,32 = 6,82 \text{ т/га.}$$

7. Енергетичний запас автотрофного блоку за (5.10) становитиме:

$$E_A = 29,56 \cdot 18,06 = 533,85 \text{ ГДж/га.}$$

8. Енергозапас опаду ( $E_o$ ) за (5.12) становитиме:

$$E_o = 7,39 \cdot 18,06 = 133,46 \text{ ГДж/га.}$$

9. Енергозапас маси, спожитої консументами за (5.14):

$$E_K = 0,52 \cdot 18,06 = 9,39 \text{ ГДж/га.}$$

10. Енергопотенціал вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) за (5.16) становитиме:

$$E_{\text{CO}_2} = 4,65 \cdot 7,14 = 33,2 \text{ ГДж.}$$

11. Енергопотенціал кисню ( $\text{O}_2$ ) за (5.18) становитиме:

$$E_{\text{O}_2} = 6,82 \cdot 14,7 = 100,25 \text{ ГДж.}$$

Енерговтрати опадів з урахуванням періоду 50 років, необхідного для відновлення екосистеми після повного знищення, за (5.13) становитимуть:

$$EB_o = E_o \cdot t_s = 133,46 \cdot 50 = 6673 \text{ ГДж/га.}$$

12. Енерговтрати маси, спожитої консументами, за (5.14):

$$EB_K = E_K \cdot t_s = 9,39 \cdot 50 = 469,5 \text{ ГДж/га.}$$

13. Енерговтрати вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) за (5.15) становитимуть:

$$EB_{\text{CO}_2} = E_{\text{CO}_2} \cdot t_s = 33,2 \cdot 10 = 332 \text{ ГДж/га.}$$

14. Енерговтрати кисню ( $\text{O}_2$ ) за (5.17) становитимуть:

$$EB_{\text{O}_2} = E_{\text{O}_2} \cdot t_s = 100,25 \cdot 10 = 1002,5 \text{ ГДж/га.}$$

15. Таким чином, енергетичні втрати 1 га знищеного степу за (5.21) становитимуть:

$$EB_{\text{зЕ}} = E_A + EB_o + EB_K + EB_{\text{CO}_2} + EB_{\text{O}_2} = 533,85 + 26692,5 + 6673 + 469,5 + 332 + 1002,5 = 11680,35 \text{ ГДж/га} = 147172,4 \text{ у.о./га.}$$

При цьому не враховані завдані у результаті створення фортифікаційних сполук збитки ґрунтового покриву, що потребує використання відповідних методів розрахунку.



## Приклад оцінки енергетичних збитків болотної екосистеми

Унаслідок пожежі на торфовищі знищено ділянку площею 5 гектарів. У результаті згорів надземний покрив та вигорів шар торфу евтрофного болота потужністю 0,2 м. Облік, проведений на уцілілій ділянці цього болота, засвідчив, що надземна маса деревного ярусу становить 161 т/га, чагарників — 0,6 т/га, трав — 1,77 т/га сухої речовини. Вік фітоценозу, визначений за найстарішими компонентами деревного ярусу, наближається до 100 років. Розміри ділянки 250 м × 200 м (5 га), об'ємна маса торфу 0,8 т/м<sup>3</sup>. Потужність торфяного шару болота — 1,3 м.

1. Згідно з формулою (6.2), маса знищеного абсолютно сухого торфу на площі 5 га становитиме:

$$M_T = 100 \cdot 100 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 1600 \text{ т.}$$

2. Період, за який сформувався торф, з огляду на те, що 1 мм торфу утворюється за 1 рік, становить 200 років.
3. Надземна маса автотрофного блоку становить:

$$M_{нА} = 161 + 0,6 + 1,77 = 163,37 \text{ т/га.}$$

Тоді підземна фітомаса дерев та підліску становитиме 40,25 т/га та 0,15 т/га відповідно (20% фітомаси дерев і підліску, 25% від надземної фітомаси), а маса трав 1,42 т/га (80% від надземної фітомаси трав):

$$M_{nd} = 161 \cdot 0,25 = 40,25 \text{ т/га;}$$

$$M_{nl} = 0,6 \cdot 0,25 = 0,15 \text{ т/га;}$$

$$M_{nt} = 1,77 \cdot 0,8 = 1,42 \text{ т/га.}$$

Підземна маса автотрофного блоку становить:

$$M_3 = 40,25 + 0,15 + 1,42 = 41,82 \text{ т/га.}$$

Звідси сумарна маса рослин за (6.10) становить:

$$M_A = 163,37 + 41,82 = 205,19 \text{ т/га.}$$

4. Маса приросту та опадів, накопиченого за 1 рік функціонування екосистеми, за (6.3) становить:

$$M_o = M_{np} = 0,03 \cdot (161 + 0,6 + 1,77) = 4,9 \text{ т/га.}$$

5. За (6.7) розраховують масу, спожиту консументами за 1 рік:

$$M_K = M_{np} \cdot 0,1 = 4,9 \cdot 0,1 = 0,49 \text{ т/га.}$$

6. Протягом року функціонування цієї екосистеми внаслідок автотрофного дихання (яке становить 50 % від загальної суми автотрофного та гетеротрофного дихання) за (6.8) було утворено вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ):

$$M_{\text{CO}_2} = M_{np} \cdot 330\% / 2 = 4,9 \cdot 3,3 / 2 = 8,09 \text{ т/га.}$$

Кисню внаслідок фотосинтезу ( $\text{O}_2$ ) (6.9):

$$M_{\text{O}_2} = M_{np} \cdot 1,32 = 4,9 \cdot 1,32 = 6,47 \text{ т/га.}$$

7. Енергетичний запас автотрофного блоку за (6.11) становитиме:

$$E_A = 205,19 \cdot 18,06 = 3705,73 \text{ ГДж/га.}$$

8. Енергозапас торфу за (6.15):

$$E_T = 1600 \cdot 21 = 33600 \text{ ГДж/га.}$$

9. Енергозапас опаду ( $E_o$ ) за (6.13) становитиме:

$$E_o = 4,9 \cdot 18,06 = 449,69 \text{ ГДж/га.}$$

10. Енергозапас маси спожитої консументами за (6.16):

$$E_K = 0,49 \cdot 18,06 = 8,85 \text{ ГДж/га.}$$

11. Енергопотенціал вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) за (6.18) становитиме:

$$E_{\text{CO}_2} = 8,09 \cdot 7,14 = 57,76 \text{ ГДж.}$$

12. Енергопотенціал кисню ( $\text{O}_2$ ) за (6.20) становитиме:

$$E_{\text{O}_2} = 6,47 \cdot 14,7 = 95,11 \text{ ГДж.}$$

13. Енерговтрати маси спожитої консументами за (6.17):

$$EB_K = E_K t = 8,85 \cdot 100 = 885 \text{ ГДж/га.}$$

14. Енерговтрати вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) за (6.19) становитимуть:

$$EB_{\text{CO}_2} = E_{\text{CO}_2} t_s = 57,76 \cdot 20 = 1155,2 \text{ ГДж/га.}$$

15. Енерговтрати кисню ( $\text{O}_2$ ) становитимуть за (6.21):

$$EB_{\text{O}_2} = E_{\text{O}_2} t_s = 95,11 \cdot 20 = 1902,2 \text{ ГДж/га.}$$

16. Таким чином, енергетичні втрати 1 га вигорілого болота (без врахування торфу) за (6.23) становитимуть:

$$EB_{B\Phi} = E_A + EB_K + EB_{\text{CO}_2} + EB_{\text{O}_2} = 3705,73 + 885 + 1155,2 + 1902,2 = 7648,13 \text{ ГДж/га} = 96366,4 \text{ у.о./га.}$$

## Приклади оцінки енергетичних збитків різних типів екосистем (розраховані за модифікованою методикою)

### 5.1. Оцінка екологічних збитків лісових екосистем

Показники	ХВОЇННІ <sup>1</sup>	ХВОЇННІ <sup>1</sup>	ХВОЇННІ <sup>1</sup>	мішані <sup>1</sup>	мішані <sup>2</sup>	ЛІСТЯНІ <sup>1</sup>	ЛІСТЯНІ <sup>1</sup>	ЛІСТЯНІ <sup>1</sup>	ЛІСТЯНІ <sup>2</sup>
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площа території дослідження, га	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Надземна маса дерев, т	23,43	98,4	23,76	160,44	182,04	142,83	122,02	122,5	140,48
Надземна маса чагарників, підrostу та підліску, т	0,027	0,031	0	0,092	0,8	3,35	0,45	0,1	0,4
Надземна маса трав, мохів і чагарничків, т	0,36	16,19	60,35	16,06	25,4	0,1	3,69	0,8	22,24
Сумарна надземна маса, т	23,82	114,62	84,11	176,59	208,24	146,28	126,16	123,4	163,12
Підземна маса дерев, т	5,86	24,6	5,94	40,11	45,51	35,71	30,51	30,63	35,12
Підземна маса чагарників, підrostу та підліску, т	0,01	0,01	0	0,02	0,2	0,84	0,11	0,03	0,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Підземна маса чагарників, підросу та підліску, т	0,01	0,01	0	0,02	0,2	0,84	0,11	0,03	0,1
Підземна маса трав, т	0,36	16,19	60,35	16,06	25,4	0,1	3,69	0,8	22,24
Сумарна підземна маса, т	6,22	40,8	66,29	56,19	71,11	36,65	34,31	31,45	57,46
Загальна маса фітоценозу, т	30,04	155,42	150,4	232,78	279,35	182,93	160,47	154,85	220,58
<i>Річні показники</i>									
Маса опаду (3 % від загальної), т/рік	0,90	4,66	4,51	6,98	8,8	5,49	4,81	4,65	6,62
Маса приросту продуцентів, т/рік	0,68	2,33	3,38	3,49	2,79	4,02	3,21	2,79	1,65
Маса, спожита консументами (10 % від приросту), т/рік	0,08	0,26	0,38	0,39	0,31	0,45	0,36	0,31	0,18
Маса приросту консументів (10 % від спожитого), т/рік	0,01	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02
Маса приросту редуцентів (10 % від маси опаду), т/рік	0,09	0,47	0,45	0,70	0,84	0,55	0,48	0,46	0,66
Сумарний річний приріст біомаси, т/рік	1,74	7,72	8,72	11,60	12,35	10,54	8,90	8,24	9,14
Річна акумуляція вуглецю (С) 45 % від біомаси приросту, т/рік	0,78	3,47	3,93	5,22	5,56	4,74	4,00	3,71	4,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Коефіцієнт маса — енергія: 18,06 ГДж/т для фітомаси, 22,5 ГДж/т для консументів, 13,5 ГДж/т для редуцентів</i>									
Енергозапас сумарної живої фітомаси, ГДж	542,52	2806,89	2716,22	4204,01	5045,06	3303,72	2898,09	2796,9	3983,67
Енергетичні затрати на дихання фітомаси (≈сумарній фітомасі), ГДж	542,52	2806,89	2716,22	4204,19	5045,06	3303,72	2898,09	2796,59	3983,67
<i>Річні показники</i>									
Енергозапас маси опадів, ГДж/рік	16,28	84,21	81,49	126,12	151,35	99,11	86,94	83,90	119,51
Енергетичні затрати на дихання фітомаси опадів (≈енергетичному запасу опадів), ГДж/рік	16,28	84,21	81,49	126,12	151,35	99,11	86,94	83,90	119,51
Енергозапас фітомаси, спожитої консументами, ГДж/рік	1,36	4,68	6,79	7,01	5,61	8,06	6,44	5,59	3,32
Енергетичні затрати на дихання фітомаси, спожитої консументами (≈енергетичному запасу спожитої маси), ГДж/рік	1,36	7,02	6,79	10,51	12,61	8,26	7,25	6,99	9,96

## Продовження додатку 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Енергетичний еквівалент річного приросту консументів, ГДж	0,17	0,58	0,85	0,87	0,70	1,00	0,80	0,70	0,41
Енергетичні заграги на дихання консументів (60 % від спожитої фітомаси) + неперетравлені рештки (30 % від спожитої фітомаси), ГДж/рік	1,22	4,21	6,11	6,31	5,05	7,25	5,80	5,03	2,99
Енергетичний еквівалент приросту редуцентів, ГДж/рік	1,22	6,29	6,09	9,43	11,31	7,41	6,50	6,27	8,93
Енергетичні витрати на дихання редуцентів (приріст редуцентів × 1,5), ГДж/рік	1,82	9,44	9,14	14,14	16,97	11,11	9,75	9,41	13,40
СУМАРНІ РІЧНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ЕКОСИСТЕМИ, ГДж	38,34	195,96	191,95	293,50	354,95	241,32	210,42	201,79	278,04
Вік фітоценозу	40	60	40	60	90	41	45	50	120
Сумарні енергетичні витрати живої фітомаси, ГДж	1085,04	5613,78	5432,44	8408,20	10090,12	6607,44	5796,18	5593,18	7967,34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сумарні річні енергетичні витрати з урахуванням періоду відновлення, ГДж	1533,70	11757,75	7677,96	17609,90	31945,22	9894,05	9468,97	10089,39	33364,23
СУМАРНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ З УРАХУВАННЯМ ПЕРІОДУ ВІДНОВЛЕННЯ, ГДж	2618,74	17371,53	13110,40	26018,10	42035,34	16501,49	15265,15	15682,58	41331,58
Коефіцієнт енергія — гроші (величина змінюється щороку), \$/ГДж	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60	12,60
СУМАРНІ ЗБИТКИ, \$	32996	218881	165191	327828	529645	207919	192341	197600	520778
Курс валют за Національним банком (величина змінна)	38	38	38	38	38	38	38	38	38
СУМАРНІ ЗБИТКИ, тис. грн (станом на 2024 р.)	1253,85	8317,49	6277,26	12457,46	20126,52	7900,91	7308,95	7508,82	19789,56

Джерело: <sup>1</sup> — дані по біомасі надані О. О. Орловим, <sup>2</sup> — власні дані із заказника «Лісники», м. Київ.

## 5.2. Оцінка екологічних збитків злаковників

Показники*	Степи (Ткаченко, 2007)	Луки (Панченко та ін. 2014)
1	2	3
Площа території дослідження, га	1	1
Маса дерев, т	0	0
Маса чагарників, т	0	0
Надземна маса трав, т	3,2	3,4
Підземна маса трав, т	12,8	17,2
Сумарна маса фітоценозу, т	16	20,6
<i>Річні показники</i>		
Приріст надземної фітомаси (150% від біомаси), т/рік	4,80	5,10
Приріст підземної фітомаси (150% від підземної біомаси), т/рік	5,12	6,88
Сумарний приріст фітоценозу з урахуванням вилученого консументами, т/рік	5,95	7,19
Маса відпаду (70% від сумарної маси фітоценозу), т/рік	4,17	5,03
Маса, спожита консументами (40% від сумарного приросту фітомаси), т/рік	3,57	4,31
Маса приросту консументів (10% від спожитого), т/рік	0,36	0,43
Маса приросту редуцентів (10% від маси відпаду), т/рік	0,42	0,50
Сумарний річний приріст біомаси, т/рік	9,94	12,00
Річна акумуляція вуглецю (С), 45% від біомаси, т/рік	4,47	5,40



1	2	3
<i>Коефіцієнт маса — енергія: 18,06 ГДж/т для фітомаси, 22,5 ГДж/т для консументів, 13,5 ГДж/т для редуцентів</i>		
Енергозапас маси приросту, <i>ГДж/рік</i>	107,49	129,82
Енергетичні затрати на дихання фітомаси приросту ( $\approx$ енергетичному запасу опаду), <i>ГДж/рік</i>	107,49	129,82
Енергозапас фітомаси, спожитої консументами, <i>ГДж/рік</i>	64,50	77,89
Енергетичні затрати на дихання фітомаси, спожитої консументами ( $\approx$ енергетичному запасу спожитої маси), <i>ГДж/рік</i>	64,50	77,89
Енергетичний еквівалент річного приросту консументів, <i>ГДж</i>	8,04	9,70
Енергетичні затрати на дихання консументів (60 % від спожитої фітомаси) + неперетравлені рештки (30 % від спожитої фітомаси), <i>ГДж/рік</i>	58,05	70,10
Енергетичний еквівалент приросту редуцентів, <i>ГДж/рік</i>	5,62	6,79
Енергетичні витрати на дихання редуцентів (приріст редуцентів $\times$ 1,5), <i>ГДж/рік</i>	8,44	10,19
СУМАРНІ РІЧНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ЕКОСИСТЕМИ, <i>ГДж</i>	424,12	512,19
Час відновлення злаковиників, <i>років</i>	10	5
Сумарні річні енергетичні витрати з урахуванням періоду відновлення, <i>ГДж</i>	4241,21	2560,97
СУМАРНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ІЗ УРАХУВАННЯМ ПЕРІОДУ ВІДНОВЛЕННЯ, <i>ГДж</i>	4241,21	2560,97
Коефіцієнт енергія — гроші (величина змінюється щороку), <i>\$/ГДж</i>	12,6	12,6

1	2	3
СУМАРНІ ЗБИТКИ, \$	53439,25	32268,26
Курс валют за Національним банком (величина змінна)	38	38
СУМАРНІ ЗБИТКИ, <i>тис. грн</i> (станом на 2024 р.)	2030,69	1226,19

Джерело: \* — дані по біомасі (Бачуріна, 1964; Боч, Мазинг, 1979).

### 5.3. Оцінка екологічних збитків боліт

Показники*	Низинні болота (вільхово-болотно-різнотравні)	Перехідні лісові болота (сосново-осоково-сфагнові)	Верхові болота (сосново-пушницеві-сфагнові)
1	2	3	4
Площа території дослідження, <i>га</i>	1	1	1
Надземна маса дерев, <i>т</i>	161,00	24,37	20,84
Надземна маса чагарників, <i>т</i>	0,60	0,69	0,58
Надземна маса трав та мохів, <i>т</i>	1,77	7,31	8,39
Сумарна надземна маса, <i>т</i>	163,37	32,37	29,81
Підземна маса дерев, <i>т</i>	40,25	6,09	5,21
Підземна маса чагарників, <i>т</i>	0,15	0,17	0,15
Підземна маса трав, <i>т</i>	1,42	5,85	6,71
Сумарна підземна маса, <i>т</i>	41,82	12,11	12,07
Загальна маса фітоценозу, <i>т</i>	205,19	44,48	41,88
<i>Річні показники</i>			
Маса опадів (3% від загальної фітомаси), <i>т/рік</i>	6,16	1,33	1,26

1	2	3	4
Маса приросту продуцентів, <i>т/рік</i>	8,33	12,69	14,31
Маса, спожита консументами (10 % від приросту), <i>т/га</i>	0,83	1,27	1,43
Маса приросту консументів (10 % від спожитого), <i>т/рік</i>	0,09	0,14	0,16
Маса приросту редуцентів (10 % від маси опаду), <i>т/рік</i>	0,62	0,13	0,13
Сумарний річний приріст біомаси, <i>т/рік</i>	9,87	14,23	16,03
Річна акумуляція вуглецю (С) 45 % від біомаси приросту, <i>т/рік</i>	4,44	6,40	7,21
<i>Коефіцієнт маса — енергія: 18,06 ГДж/т для фітомаси, 22,5 ГДж/т для консументів, 13,5 ГДж/т для редуцентів</i>			
Енергозапас сумарної живої фітомаси, <i>ГДж</i>	3705,73	803,31	756,35
Енергетичні затрати на дихання фітомаси ( $\approx$ сумарній фітомасі), <i>ГДж</i>	3705,73	803,31	756,35
<i>Річні показники</i>			
Енергозапас маси опаду, <i>ГДж/рік</i>	111,17	24,10	22,69
Енергетичні затрати на дихання фітомаси опаду ( $\approx$ енергетичному запасу опаду), <i>ГДж/рік</i>	111,17	24,10	22,69
Енергозапас фітомаси, спожитої консументами, <i>ГДж/рік</i>	15,03	22,92	25,85

1	2	3	4
Енергетичні затрати на дихання фітомаси, спожитої консументами (≈енергетичному запасу спожитої маси), ГДж/рік	15,03	22,92	25,85
Енергетичний еквівалент річного приросту консументів, ГДж	2,08	3,17	3,58
Енергетичні затрати на дихання консументів (60% від спожитої фітомаси) + неперетравлені рештки (30% від спожитої фітомаси), ГДж/рік	13,53	20,63	23,26
Енергетичний еквівалент приросту редуцентів, ГДж/рік	8,31	1,80	1,70
Енергетичні витрати на дихання редуцентів (приріст редуцентів × 1,5), ГДж/рік	12,47	2,70	2,54
СУМАРНІ РІЧНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ЕКОСИСТЕМИ, ГДж	288,80	122,34	128,16
Період відновлення, років	10	10	10
Сумарні енергетичні витрати живої фітомаси, ГДж	7411,46	1606,62	1512,71
Сумарні річні енергетичні витрати з урахуванням періоду відновлення, ГДж	2888,02	1223,35	1281,63
СУМАРНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ІЗ УРАХУВАННЯМ ПЕРІОДУ ВІДНОВЛЕННЯ, ГДж	10299,48	2829,97	2794,34
Коефіцієнт енергія — гроші (величина змінюється щороку), \$/ГДж	12,60	12,60	12,60

1	2	3	4
СУМАРНІ ЗБИТКИ, \$	129773,48	35657,62	35208,63
Курс валют за Національним банком (величина змінна)	38,0	38,0	38,0
СУМАРНІ ЗБИТКИ БЕЗ ТОРФУ, <i>тис. грн</i> (станом на 2024 р.)	4931,39	1354,99	1337,93
Об'єм торфу, $m^3/га$	5000,00	10000,00	10000,00
Суха маса торфу, $t/m^3$	0,09	0,09	0,09
Енергоємність торфу, $ГДж/т$	20,60	21,65	22,70
Енергоємність торфу, $ГДж/га$	9270,00	19485,00	20430,00
ЕКОЛОГІЧНІ ЗБИТКИ ВІД ВТРАТИ ТОРФУ, \$	116802	245511	257418
ЕКОЛОГІЧНІ ЗБИТКИ ВІД ВТРАТИ ТОРФУ, <i>тис. грн</i>	4438,48	9329,42	9781,88

Джерело: \* — дані по біомасі (Бачуріна, 1964; Боч, Мазинг, 1979).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Архипова Л. М., Приходько М. М. Екосистемні послуги — аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду концепції. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. № 2. С. 24–32. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp\\_2019\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzp_2019_2_5)
2. А.с. 29196. Оцінка екологічних збитків на основі енергетичних показників / Дідух Я. П., Расевич В. В., Гаврилов С. О. (Україна). Дата реєстр. 15.06.2009.
3. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. Москва: Наука, 1993. 293 с.
4. Бачуріна Г. Ф. Торфові болота Українського Полісся. Київ: Наукова думка, 1964. 208 с.
5. Белов С. В. Оценка гигиенической роли леса. *Лесное хозяйство*. 1964. №1. С. 8–13.
6. Бідолах Д. І., Василюк Р. Д. та інші. Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з використанням інструменту i-Tree Eco [Електронний ресурс]. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. 33(2). С. 7–13. Режим доступу: <https://doi.org/10.36930/40330201> (дата звернення: 19.02.2024).
7. Білоус А. М. Біопродуктивність та екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся: монографія. Житомир: ТОВ «Видавничий дім “Бук-Друк”», 2021. 816 с.
8. Бобылев Г. В., Ковалин Д. Т. Лесоводство. Москва: Высшая школа, 1969. 384 с.
9. Боч М. С., Мазинг В. В. Экосистемы болот СССР. Ленинград: Наука, 1979. 188 с.
10. Быстрицкая Т. Л., Осычнюк В. В. Почва и первичная биологическая продуктивность степей Приазовья. Москва: Наука, 1975. 130 с.
11. Варуха А. Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями РФ на території України. Львів: Компанія «Манускрипт», 2022. 56 с.
12. Василюк О., Ільмінська Л. Екосистемні послуги. Огляд [Електронний ресурс]. БО «БФ “Фонд захисту біорізноманіття України”», 2020. 84 с. URL: [https://uncg.org.ua/wpcontent/uploads/2020/09/EcoPoslугy\\_web\\_new.pdf](https://uncg.org.ua/wpcontent/uploads/2020/09/EcoPoslугy_web_new.pdf) (дата звернення: 19.02.2024).

13. Гильманов Т. Г., Базилевич Н. И. Концептуальная модель круговорота веществ в экосистемах как теоретическая основа мониторинга. *Теоретические основы и опыт экологического мониторинга*. Москва: Наука, 1983. С. 7–57.
14. Гиляров М. С. Беспозвоночные животные и лесные биогеоценозы. *Лесоведение*, 1967. № 2. С. 27–35.
15. Голяка М. А., Білоус А. М., Голяка Д. М. Деревний детрит лісів Українського Полісся: монографія. Київ: НУБіП України, 2017. 214 с.
16. Господарський кодекс України [Електрон. ресурс]: Закон України № 436-IV від 16.01.2003: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/436-15> (дата звернення: 15.02.2024).
17. Дідух Я. П. Еколого-енергетичні аспекти у співвідношенні лісових і степових екосистем. *Український ботанічний журнал*. 2005. 62, № 4. С. 455–467.
18. Дідух Я. П., Альошкіна У. М. Оцінка енергетичного балансу екосистем м. Києва та його зеленої зони. *Український фітоценологічний збірник*. 2007. Вип. 25. С. 48–56.
19. Дідух Я. П. Новий підхід до оцінки стійкості та ризиків втрати екосистем. *Доповіді НАН України*. 2014. № 8. С. 159–155.
20. Дідух Я. П. Порівняльна оцінка енергетичних запасів екосистем України. *Український ботанічний журнал*. 2007. Т. 64. № 2. С. 177–194.
21. Дідух Я. П., В. В. Расевич та інші. Оцінка екологічних збитків екосистем на основі енергетичних показників. *Наука та інновації*. 2009. Т. 5. № 5. С. 62–74.
22. Дідух Я. П., Вишенська І. Г. та інші. Екологічна оцінка збитків від втрати природних біотопів м. Києва. *Наук. зап. НаУКМА. Біологія та екологія*. 2013. Т. 142. С. 54–60. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b905cb8d-542c-4f64-a4ad-2ca6ea4299e8/content>
23. Екосистемний добробут: методика обрахунку екосистемних Е45 послуг непрямыми методами. Чернівці: Друк Арт, 2023. 184 с. (Серія «Екосистемні послуги». Вип. 3) ISBN 978-617-8129-38-5
24. Загвойська Л. Д. Теоретичні підходи до визначення економічної вартості послуг лісових екосистем: вигоди перетворення чистих деревостанів у мішані. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2014. Вип. 12. С. 201–209. URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nplanu\\_2014\\_12\\_31.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nplanu_2014_12_31.pdf)
25. Злотин Р. И. Ходашова К. С. Роль животных в биологическом круговороте лесостепных экосистем. Москва: Наука, 1974. 200 с.

26. Ковда В. А. Почвоведение и продуктивность биосферы. *Вестник АН СССР*. 1970. Вып. 6. С. 83–90.
27. Лакида П. І. та інші. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України. *Довідник*. Київ: Видавничий дім «ЕКОінформ», 2011. 187 с.
28. Лакида П. І. Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч, 2001. 256 с.
29. Лакида П. І. та ін. Біотична продуктивність лісів України в європейському екоресурсному вимірі. *Біоресурси і природокористування*. 2013. Вип. 5. № 5–6. С. 99–106.
30. Лакида П., Васишин Р., Лакида І. Біопродуктивність лісових фітоценозів України в умовах глобальних викликів. *Лісова таксація та лісовпорядкування*. Львів: РВВ НЛТУ України, 2016. Вип. 14. DOI: 10.15421/411623.
31. Лесотаксационный справочник. 2-изд., перераб. Москва: Лесная промышленность, 1980. 288 с.
32. Ляшенко І. М., Григорів В. С. Динамічна модель еколого-економічної рівноваги. *Доповіді НАН України*, 2000. № 2. С. 79–84.
33. Максименко Н. В. та інші. Геоекологічна оцінка лісових ландшафтів як підґрунтя для визначення екосистемних послуг. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Серія «Екологія». 2023. Випуск 29. С. 37–47. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-04>.
34. Мацала М., Білоус А. та інші. Spatial and compositional structure of European oak urban forests in Kyiv city, Ukraine [Електронний ресурс]. *Journals published by the Czech Academy of Agricultural Sciences and supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Journal of Forest Science*. 67, 2021 (3). Р. 143–153. URL: <https://doi.org/10.17221/173/2020-JFS> (дата звернення: 19.02.2024).
35. Методика визначення відновної вартості зелених насаджень [Електрон. ресурс]. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України № 127 від 12.05.2009: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0549-09>, вільний (дата звернення: 15.02.2024).
36. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства [Електрон. ресурс]. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України № 171 від 27.10.1997 р.: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98> (дата звернення: 15.02.2024).



37. Методика визначення шкоди та збитків, заподіяних лісовому фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 05 жовтня 2022 року № 414; станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1308-22> (дата звернення: 15.02.2024). — Назва з екрана.
38. Методика визначення шкоди та збитків, завданих територіям та об'єктам природно-заповідного фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації законодавства [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 13 жовтня 2022 року № 424; станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1416-22> (дата звернення: 15.02.2024).
39. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів [Електрон. ресурс]. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 389 від 20.07.2009 р.: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0767-09> (дата звернення: 15.02.2024).
40. Одум Ю. Экология. Москва: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
41. Панченко С. М. та інші. Склад та структура лучних фітоценозів в заплаві Десни у зв'язку з їх екосистемною роллю. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія «Агрономія і біологія». 2014. Вип. 9 (28). С. 3–5.
42. Плюта П. Г. Эколого-экономическая оценка полезных функций лесов природно-заповедных территорий. В кн. *Андриенко Т. Л., Плюта П. Г. и другие. Социально-экологическая значимость природно-заповедных территорий Украины*. Киев: Наукова думка, 1991. С. 74–83.
43. Политова Н. Ю. CO<sub>2</sub>-газообмен и годичная продукция в сообществах горной тундры Хибин. *Ботанический журнал*. 1991. Т. 76. № 2. С. 217–225.
44. Прищепя А. М. Екосистемні послуги зелених насаджень урбосистем. [Електронний ресурс]. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. № 1 (77). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/viewFile/12592/10920> (дата звернення 17.05.2023).
45. Порядок визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації [Електрон. ресурс] : Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 20 березня 2022 р. № 326; станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF#n10> (дата звернення: 15.02.2024).

46. Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [Електрон. ресурс]: Наказ Міністерства енергетики та захисту довкілля України № 277 від 28 квітня 2020 року: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0414-20> (дата звернення: 15.02.2024).
47. Про затвердження такс для обчислення розміру шкоди, заподіяної лісу [Електрон. ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України N 665 від 23 липня 2008 р.: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/665-2008-%D0%BF> (дата звернення: 15.02.2024).
48. Про такси для обчислення розміру шкоди, заподіяної зеленим насадженням у межах міст та інших населених пунктів [Електрон. ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України № 559 від 08.04.1999 р.: станом на 15 лют. 2024 р. URL: [//zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-99](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-99) (дата звернення: 15.02.2024).
49. Про затвердження спеціальних такс для обчислення розміру шкоди, заподіяної порушенням законодавства про природно-заповідний фонд [Електрон. ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України № 575 від 10.05.2022 р.: станом на 15 лют. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575-2022> (дата звернення: 15.02.2024).
50. Радомська М. М. Підтримка екосистемних послуг міських зелених зон збільшенням біорізноманіття. [Електронний ресурс]. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. № 32 (5). С. 50–56. URL: <https://doi.org/10.36930/40320507> (дата звернення 17.05.2023).
51. Родин Л. Е., Базилевич Л. Н. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. Москва; Ленинград: Наука, 1965. 253 с.
52. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Л. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Наука, Ленинг. отд., 1968. 168 с.
53. Рубцов М. В. Классификация функций и роли леса. *Лесоведение*. 1984. № 2. С. 3–9.
54. Семенова-Тян-Шанская А. М. Динамика степной растительности. Москва; Ленинград: Наука, 1966. 176 с.
55. Соловій І. П. Концепція плати за послуги екосистем: світовий досвід і перспективи її впровадження у лісовому секторі. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2016. Вип. 14. С. 252–258.

56. Соловій І. П. Оцінка міжнародного досвіду та процедур/регулювань щодо концепції плати за послуги екосистем в лісовому секторі: Звіт. [Електронний ресурс] / The World Bank. Program FLEG II. URL: [http://sfmu.org.ua/files/Soloviy\\_2016.pdf](http://sfmu.org.ua/files/Soloviy_2016.pdf) (дата звернення: 19.02.2022).
57. Ткач В. П., Висоцька Н. Ю. та інші. Економічна оцінка екосистемних послуг лісів України: наукове видання. Харків, 2023. 27 с.
58. Ткаченко В. С. Втрати енергії степовими екосистемами за різних видів їх експлуатації та енергетичні основи сукцесійної стабільності степу. *Український фітоценологічний збірник*. Київ, 2007. Сер. С, вип. 25. С. 4–18.
59. Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: Уро РАН, 2002. 763 с.
60. Фещенко Р. О. та інші. Формування відпаду дерев у насадженнях парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Феофанія». *Наукові доповіді НУБіП України*. 2021. №3 (91). URL: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovid2021.03.011>.
61. Юхновський В. Ю., Зібцева О. В. Оцінка екосистемних послуг у генеральному плануванні міських територій. [Електронний ресурс]. *Наукові праці лісівничої академії наук України*. 2019. № 18. С. 185–193. URL: <https://doi.org/10.15421/411919> (дата звернення: 19.02.2024).
62. CICES. Towards a common classification of ecosystem services. Version 5.1, 2018 [Electronic resource]. — Mode of access: <https://cices.eu/> (date of access: 19.02.2024). — Title from screen.
63. Valuing the protection of ecological systems and services; a report of the EPA Science Advisory Board / Thompson, Barton H., Paradise, Robert E., McCarty, Perry L. et al. EPA Science Advisory Board, U.S. Environmental Protection Agency. 2009.
64. EVRI. The Environmental Valuation Reference Inventory (EVRI). [Електронний ресурс] / Developed by P. De Civita, F. Filion, J. Frehs of Environment Canada. Available. 1997. URL: [www.evri.ca](http://www.evri.ca) (date of access: 19.02.2024).
65. Glenn A. J. et al. Comparison of net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in two peatlands in western Canada with contrasting dominant vegetation *Sphagnum* and *Carex*. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2006. №140. P. 115–135.
66. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units [Electronic resource] / de Groot, R. S.; Brander, L. et al. *Ecosystem Services*, 2012. Vol. 1. No. 1. P. 50–61. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005> (date of access: 19.02.2024).

67. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being. *Synthesis Report*. Island Press, Washington DC, 2005.140 p.
68. Moore, T.R., Bubier J.L. et al. Plant biomass and production and CO<sub>2</sub> exchange in an ombrotrophic bog [Electronic resource]. *Journal of Ecology*. 2002. Vol. 90. P. 25–36. URL: <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00633.x> (date of access: 19.02.2024).
69. Nowak D. J. Understanding i-Tree: summary of programs and methods. [Electronic resource]. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station*. 2021. URL: <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200-2021> (date of access: 19.02.2024).
70. Odum H. T. Energy, ecology and economy // *AMBIO*. 1973, No. 6. P. 220–227.
71. Robinson S.D. Carbon accumulation in peatlands, southwestern Northwest Territories, Canada [Electronic resource]. *Canadian Journal of Soil Science*. Vol. 86 (Special Issue). 2006. P. 305–319. URL: <https://doi.org/10.4141/S05-086> (date of access: 19.02.2024). Title from screen.
72. Secondary productivity of terrestrial ecosystems / ed. V. Petruszewicz. Waraszawa, 1967. Vol.1. P. 1-9774. TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. 2010. 49 p.
73. Woodwell G. M., Whittaker R. H. Primary production in terrestrial ecosystems. *American Zoologist*. Vol. 8. No. 1. 1968. P. 19–30.
74. Yukhnovskiy V., Zibtseva, O. Eco-service potential of sustainable development of small towns. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2019. № 28. P. 795–803. <https://doi.org/10.15421/111974>

*Навчальне видання*

Яків Петрович Дідух  
Уляна Михайлівна Соколенко  
Володимир Валентинович Расевич  
Сергій Олексійович Гаврилов

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ТА ЇХНІХ КОМПОНЕНТІВ**

Методичний посібник

Упорядник, загальна редакція *О. В. Кравченко*  
Редактор *Т. П. Тацій*  
Комп'ютерна верстка *М. Кук*  
Художнє оформлення обкладинки *А. Турпича*

Підписано до друку 22.04.2024 р. Формат 60×84/16.  
Гарнітура Minion Pro. Папір офсетний. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 3,95. Обл. вид. арк. 2,19.  
Наклад 100 прим. Зам. № 3038

Видавництво «Компанія “Манускрипт”»  
вул. Руська, 16/3, м. Львів, 79008,  
тел.: (032) 235-60-00  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3628 від 19. 11. 2009 р.

Міжнародна благодійна організація  
«Екологія–Право–Людина»  
вул. Івана Франка, 9, офіс 1А, м. Львів, 79005,  
тел.: +38 (032) 24-33-888. E-mail: office@epl.org.ua

ISBN 978-617-8364-10-6



9 786178 364106

