



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

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, Київ

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ



Пропонується методика розрахунку енергетичних запасів різних типів екосистем з урахуванням періоду відтворення та витрат енергії на фотосинтез, відпад та споживання гетеротрофами, що відображають кліматорегулюючу, ґрунотвірну та біотичну функції екосистем. Розраховані показники трофічної, ґрунотвірної, кліматорегулюючої складових екосистем в часі. Оцінено в грошових одиницях збитки при пошкодженні чи знищенні екосистеми в цілому або її окремого компонента.

Ключові слова: екосистема, біомаса, продуктивність, енергетичний запас, фотосинтез, дихання, збиток екосистем.

У міру виснаження природних ресурсів все актуальнішою стає проблема оцінки екологічних збитків. До 70-х років минулого століття збитки, завдані природі, оцінювалися через показники продукції тієї категорії, яка використовується безпосередньо людиною і має вартісну оцінку. Наприклад, втрати лісової екосистеми обраховували через вартість деревини та продуктів побічного користування. Так, для субору (дубово-соснового лісу) оцінка стовбурної деревини, обрахована через її приріст, складала 64,92 крб/га, а виробництво не деревної продукції лісу — 2,27 крб/га [1], що в сумі складало 107,19 крб/га. Такі занижені показники вели до хижацького вирубування лісів у величезних масштабах.

Подальше загострення екологічних проблем, виснаження природних ресурсів змушувало екологів і економістів шукати інші підходи оцінки всього комплексу функцій екосистем. На прикладі лісу було показано, що це поліфункціональна екологічна та соціальна система, яка ха-

рактеризується сотнями функцій [2, 3]. На основі їх аналізу П.Г. Плюта [4] розробив ієрархічну класифікацію функцій лісу, яка включала чотири класи, 14 підкласів, 30 груп та 80 функцій, і провів їх грошову оцінку. Для цього він використав методику заміщуючих затрат, суть якої полягала у розрахунку ефекту корисної функції лісу, котрий можна отримати іншим способом (наприклад, очистка повітря за допомогою промислових установок і т.д.). За оцінкою П.Г. Плюти соціально-екологічна функція сухого субору A_2 складала 1 775 крб/га, тобто в 16 разів вища, ніж вартість деревини та продуктів побічного користування. Недоліки такого підходу полягають 1) у суб'єктивному виборі способу заміщуючої затрати, 2) в тому, що оцінку кожної функції слід давати самостійно, а це провести досить складно. Існують методики обрахунку окремих соціально-екологічних функцій екосистем, наприклад математичні моделі Леонтєва–Форда оцінки забруднення навколишнього середовища [5], кінетична модель Моно-Ієрусалимського опису динамічної взаємодії суспільства і природи на основі притоку сировини і відтоку продукції як нелінійних процесів [6] та багато інших. Проте



така деталізація функцій, складність їх оцінки утруднює можливість розробки загальноприйнятих методик, тому багато з цих функцій виявляються поза сферою дії системи грошових оцінок виробничих ресурсів [7]. Це призводить до подальшого посилення нераціонального використання, експлуатації і знищення природних ресурсів.

Метою даної роботи є оцінка екологічних збитків екосистем на основі таких показників, які б спростили, а не ускладнювали розрахунки і не вимагали б детального аналізу кожної із функцій, а відображали їх інтегральну характеристику. Адже складність і відкритість, постійний розвиток екосистем, емерджентний характер змін їх властивостей не дає можливості детально і всебічно оцінити їх багатофункціональну здатність. Ця здатність повинна відображати загальний внесок екосистеми у функціонування біосфери, тому спосіб і одиниці виміру повинні бути більш загальними і універсальними та якнайменше залежати від суб'єктивної оцінки та людської діяльності.

На основі аналізу сучасних літературних джерел, власних досліджень ми прийшли до висновку, що розрахунки екологічних збитків можна проводити на основі показників енергії, яку Ю. Одум [8] влучно назвав „екологічною валютою”. 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. Оцінка енергетичного потенціалу, запасів і потоків енергії дає можливість вийти на регулювання, оптимальне використання цих запасів, оцінку збитків, втрат, завданих природі, обрахувати затрати на відновлення екосистем чи їх компонентів, що необхідно для проведення екологічних експертиз. Це важливо ще й тому, що у зв'язку з посиленням дії антропогенних факторів певні форми запасів енергії переходять з категорії

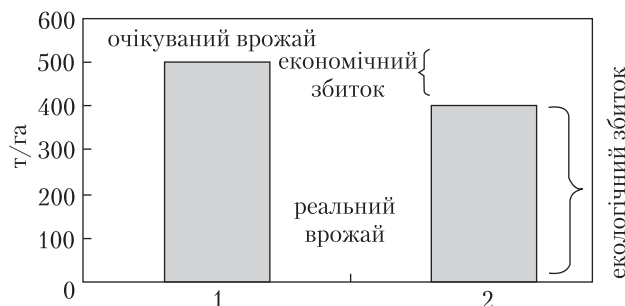


Рис. 1. Співвідношення екологічних та економічних збитків (втрати екосистем та суспільства) на прикладі оцінки врожаю

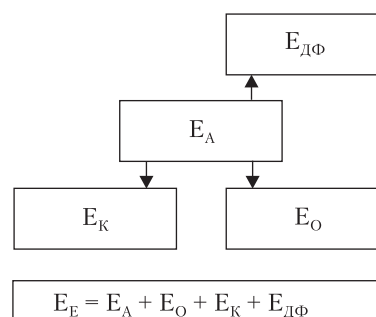


Рис. 2. Енергоресурси екосистеми

відновних до категорії невідновних і вичерпуються швидше, ніж природа здатна їх поповнити. Настає такий час, коли проблеми дефіциту енергії загострюються настільки, що ми будемо думати про них більше, ніж про продукти харчування. Тому методика оцінки екологічних збитків 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.

Екологічний збиток — це фактичні і можливі збитки в їх кількісному і якісному вираженні, включаючи вигоду і додаткові витрати на ліквідацію несприятливих наслідків для життєдіяльності людини, тварини, рослин і інших живих організмів, викликаних порушенням нормативів якості навколишнього природного середови-

ща в результаті негативних дій господарської і іншої діяльності, техногенних аварій і катастроф [9, 10]. 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 фізичних або юридичних осіб збитки оцінюються як різниця очікуваної вигоди (максимально високої плати) 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 співпадає і в окремих випадках така різниця є суттєвою.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ

У розробленій нами методиці акцент зміщено власне на оцінку збитків екосистем, що спрямовано на запобігання їх знищенню. В основу розрахунків покладено енергетичні показники складових блоків екосистем, сукупність який забезпечує кругообіг речовин і трансформацію енергії, тобто життя на землі [11]:

1) енергозапас біомаси автотрофного блоку — зелених рослин, що засвоюють сонячну енергію (E_A);

2) енергозапас відпаду, що забезпечує харчування редуцентів (мікроорганізмів, бактерій, грибів) та ґрунтоутворні 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, ґрунтоутворну та клімато-регулюючу функції (рис. 2). Для визначення екологічних збитків екосистем необхідна кількісна оцінка енергетичних показників в певних одиницях. Для цього можна використати як прямий, так і непрямий розрахунки. В основу даної методики покладено метод пря-

мого розрахунку збитків, який хоча і вимагає збору та обробки значного обсягу даних, однак може бути спрощеним.

У представленій методиці оцінка проводилась для екосистем ценотичного рівня (фації), що відображає однорідний простір ділянки території з однотипним рослинним покривом, ґрунтом, підстилаючими породами, рельєфом, гідрологічними умовами, мікрокліматом. У роботі використано таку типіфікацію екосистем, що базується на розробках вітчизняних геоботаніків та лісководів і передбачає виокремлення таких типів фітоценозів, як лісові, степові, болотні, лучні з подальшим їх поділом на дрібніші одиниці [12]. 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 [13, 14] 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 буде описано далі. Для грошової оцінки енергетичних одиниць використовують ціну умовного палива (кам'яне вугілля енергоємністю 7 000 ккал/кг, що коштує 243 дол. США). Остання операція полягає в розрахунку показників у гривнях, що залежить від обмінного курсу між гривнею і доларом. Загальна схема цієї поетапної операції має вигляд, наведений на рис. 3.

При цьому враховується час (t), потрібний на відновлення певного компонента екосистеми. Для обрахунку екологічних збитків необхідно з'ясувати кількісні співвідношення основних складових компонентів (блоків) екосистем та період, необхідний для відновлення функції блоків (рис. 4). На основі численних наукових досліджень доведено: якщо приріст біомаси автотрофного блоку прийняти за 100 %, то затрати на фотосинтез-дихання складуть: O_2 — 140 % [15], CO_2 — 65—330 % [16—19]. Різні тварини (консументи) з'їдають 10 % біомаси щорічного приросту, в свою чергу засвоюючи від з'їденого лише 10 %, тобто тільки 1 % біомаси автотроф-

ного блоку іде власне на побудову організмів консументів другого порядку [20, 21], а 8,9 % мінералізується та використовується редуцентами. Крім того, протягом кожного року близько 3 % всієї біомаси йде у відпад, який формує гумус; частина його засвоюється редуцентами, а решта мінералізується [22].

Для оцінки запасів біомаси лісових екосистем можна використати дані лісотаксаційних характеристик, у яких наводяться показники запасів стовбурової деревини в м³/га. Виходячи з того, що для листяних лісів показник щільності повітряно-сухої деревини складає 550, хвойних — 400, змішаних — 450 кг/м³ [13, 14], добуток запасу та щільності буде дорівнювати біомасі стовбурної деревини $M_c = V \cdot p$, де M_c — біомаса стовбурової деревини, т/га; V — запас стовбурової деревини, м³/га; p — базисна (умовна) щільність деревини, кг/м³.

Біомаса деревного ярусу розраховується за формулою:

$$M_o = M_c + M_z + M_l + M_k,$$

де M_o — маса дерев, M_c — маса стовбурної деревини, M_z — маса гілок, M_l — маса листя, M_k — маса підземної частини (коріння).

Співвідношення між показниками підземної і наземної біомаси дерев коливається від вологих до сухих лісових місць існувань, або екотопів, від 16 до 24 %, тобто в середньому становить 20 %. Співвідношення цих показників для трав'янистої рослинності в лісових екосистемах складає 1 : 1, для лучних і болотних — 1 : 0,8, для степових — 1 : 3 [23, 24].

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 — специфіки розвитку рослинного покриву. В молодих лісових насадженнях приріст може досягати 10 % біомаси протягом 50 років; з віком він знижується, а після 120 років стає від'ємним. Але в будь-який період відбува-

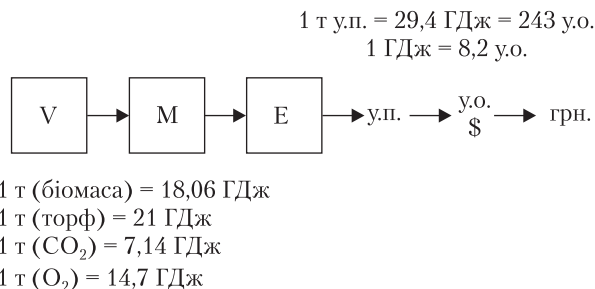


Рис. 3. Загальна схема обрахунку збитків

ється оновлення частини біомаси. Доведено, що в цілому усереднене відновлення складає 3 % запасів біомаси дерев та чагарників [25, 26]. У трав'янистих типах угруповань (т.з. *злаковниках*) приріст дорівнює 140—150 % надземної фітомаси (вона інтенсивно відчужується) і 40 % підземної. При цьому співвідношення між підземною і надземною біомасами 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 [27—29]. У випадку знищення автотрофного блоку збиток обраховується за один цикл (t) відновлення біомаси від стану порушення до вихідного стану. Для лісових екосистем такий період дорівнює віку деревостану, для степових, лучних, болотних — залежить від часу формування відповідної сукцесійної ланки. В достатньо зволужених екотопах 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 — до 100 років.

Наступний блок M_{CO_2} , M_{O_2} відображає кліматорегулюючу функцію екосистеми і характеризується показниками O_2 та CO_2 , які виділяються в процесі дихання та фотосинтезу. При цьому показники засвоєння рослинами O_2 та CO_2 не враховуються, оскільки вони є складовими функції приросту фітомаси (ЧПП або чистої первинної продукції). Співвідношення між диханням і фотосинтезом змінюється в різних типах екосистем в низькорослих злаковниках від 30 % до 70 % від ЧПП. В степах та на луках цей показник складає 35 %, а в листяних лісах — 65 % від ЧПП [16].

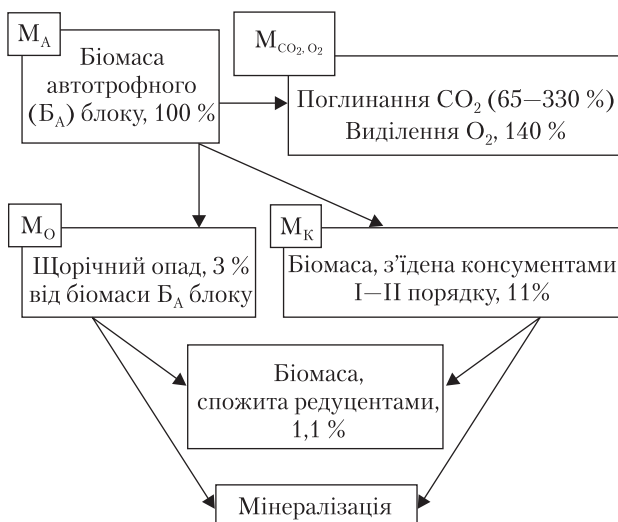


Рис. 4. Співвідношення між показниками основних функціональних елементів екосистеми

Вченими розраховано, що при синтезі 1 т сухої органічної речовини виділяється приблизно 1,4 т кисню, а в процесі дихання цієї фітомаси виділяється CO_2 в еквіваленті від 0,65 до 3,3 т. 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 складає 90 %, а найвищий для боліт: верхових – 260 %, перехідних – 290 %, низинних – 330 %, де компонент гетеротрофного дихання характеризується більшою інтенсивністю [17–19]. На біосинтез 1 г O_2 екосистемою вирачається 3,51 ккал, а при виділенні 1 г CO_2 витрачається 1,7 ккал енергії [16].

При розрахунках екологічних збитків, що відображають кліматорегулюючу функцію екосистем, візьмемо середній термін 10 років. Мотивуємо це тим, що за цей період розвиток більшості типів рослинних угруповань проходить перші піонерні стадії і проективне покриття рослинного покриву (незалежно від віку деревостану) змикається до оптимального. В ціло-

му це забезпечує виділення такої ж кількості O_2 та 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 ґрунтовірних процесів. На основі проведених наукових досліджень встановлено, що середній показник відпаду в лісах становить 3 % фітомаси (приблизно дорівнює приросту), у степах – 36 %, луках та болотах – до 70 % [30]. 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 перетворюється на торф, (евтрофні болота – 2–3 роки, оліготрофні – за 6 років розкладається половина біомаси), у хвойних лісах – до 7 років, у листяних – 2 роки, на луках – 2 роки, в степах – 9–11 місяців. Розділивши масу підстилки на період її накопичення, приблизно отримаємо показники відпаду.

Для оцінки збитків екосистем біомасу відпаду (чи підстилки з урахуванням терміну її розкладу) перемножуємо на період формування відповідного типу екосистеми від стану порушення до вихідного (початкового) стану, що у лісах визначається віком деревостану, а для трав'янистих угруповань залежить від часу формування відповідних сукцесійних ланок від піонерних стадій (болота – 10, луки – 25, степи – 50 років). При незначному поверхневому порушенні травостою (пожежі, випас) цей період складає 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 дорівнює вазі існуючої фітомаси. Відповідно можна вирахувати вік болотної екосистеми:

$$T = \frac{M_T}{M_\Phi} \cdot 238,$$

де T – вік болотної екосистеми, M_T – суха маса торфу; M_Φ – суха фітомаса.

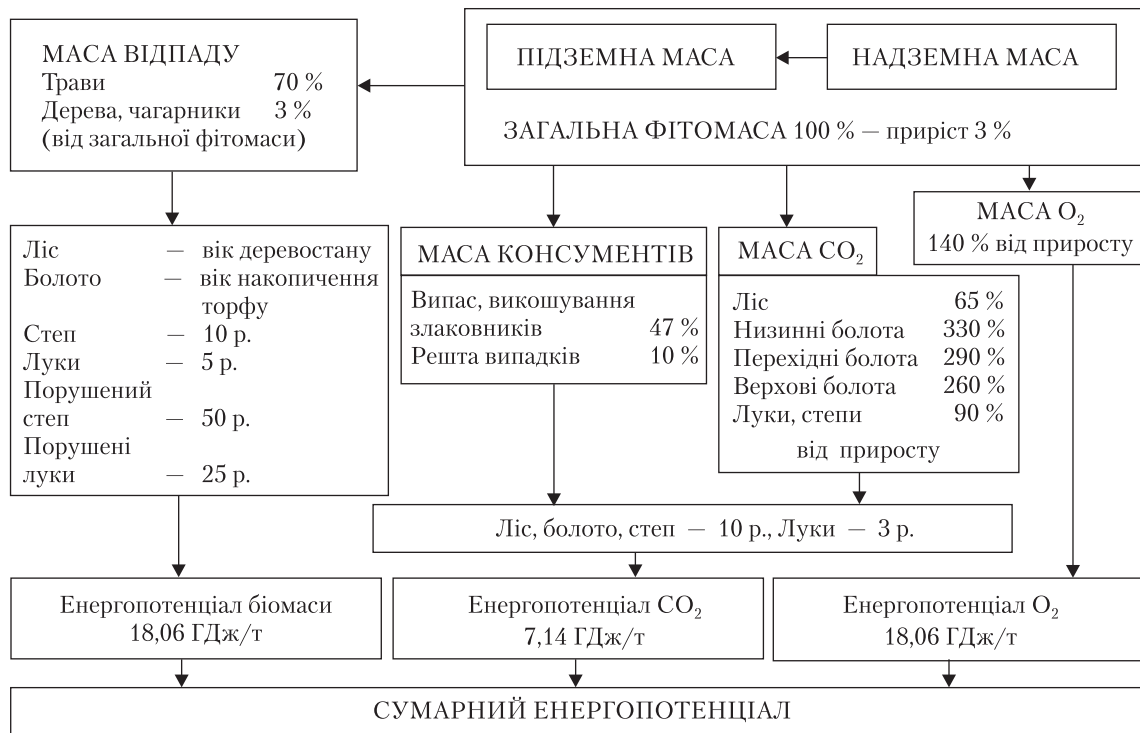


Рис. 5. Співвідношення між основними показниками біомаси та енергії в різних блоках екосистем

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 [28]. Такий спосіб розрахунку дозволяє оцінити не лише власне ґрунтовірні процеси, які в силу 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-, 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 до-

Таблиця 1

Енергосмієність різних компонентів екосистем та їх заміників

Біомаса	кДж на 1 г сухої маси	ккал на 1 г сухої маси
Деревина [8]	18,0	4,3
Листя [8]	17,7	4,2
Корені [8]	19,7	4,7
Насіння [8]	22,0	5,2
Водорості [8]	29,6	4,9
Безхребетні тварини (крім комах) [8]	12,6	3,0
Комахи [8]	22,7	5,4
Хребетні тварини [8]	23,5	5,6
Вугілля [8]	29,4	7,0
Торф верховий [27,28]	22,7	5,4–5,6
Торф низинний [27,28]	20,6	4,5–5,3
Бензин	48,3	11,5
Гумус [30]	23,0	5,48
Підстилка [30]	18,0	4,3
Дихання (виділення 1 г CO_2) [16]	7,1	1,69
Фотосинтез (виділення 1 г O_2) [16]	14,7	3,5

Оцінка екологічних збитків лісових екосистем

Показники	хвойний ¹	хвойний ¹	хвойний ¹	мішаний ¹	мішаний ²
	A ₁	A ₂	A ₃	B ₃	B ₂
Надземна маса дерев, т	23,43	98,40	23,76	160,44	182,04
Надземна маса чагарників, підросту та підліску, т	0,027	0,031	0,000	0,092	0,80
Надземна маса трав, мохів і чагарничків, т	0,36	16,19	60,35	16,06	25,40
Сумарна надземна маса, т	23,82	114,62	84,11	176,59	208,24
Підземна маса дерев, т	5,86	24,60	5,94	40,11	45,51
Підземна маса чагарників, підросту та підліску, т	0,01	0,01	0,00	0,02	0,20
Підземна маса трав, т	0,36	16,19	60,35	16,06	25,40
Сумарна підземна маса, т	6,22	40,80	66,29	56,19	71,11
Сумарна маса рослин, т	30,04	155,42	150,40	232,79	279,35
Маса опаду (3 % від загальної), т	0,71	3,44	2,52	5,30	6,25
Маса, спожита консументами (10 % від приросту (3 % від загальної), т	0,07	0,34	0,25	0,53	0,62
Коефіцієнт маса – енергія, ГДж/т	–	–	–	–	–
Енергозапас сумарної надземної маси, ГДж	–	–	–	–	–
СУМАРНИЙ ЕНЕРГОЗАПАС, ГДж	573,92	2 957,86	2 827,02	4 436,73	5 319,38
Вік фітоценозу	40	60	40	60	90
Енергозапас маси опаду з урахуванням віку фітоценозу, ГДж	516,16	3 726,10	1 822,83	5 740,65	10 154,20
Енергозапас маси, спожитої консументами з урахуванням віку фітоценозу, ГДж	51,62	372,61	182,28	574,07	1015,42
Сумарні енергетичні затрати на автотрофне дихання з урахуванням періоду відновлення 20 р., ГДж	66,22	319,17	234,21	491,74	579,87
Енергетичні затрати при виділенні кисню з урахуванням періоду відновлення 20 р., ГДж	277,29	1334,46	979,24	2 055,95	2 424,41
СУМАРНІ ВТРАТИ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЧАСУ, ГДж	1 519,50	8 844,57	6 042,97	13 524,71	19 745,78
Вартість фітомаси, дол. США	4 448,87	23 016,27	22 273,04	34 473,60	41 369,50
Вартість маси опаду, дол. США	4 232,53	30 554,02	14 947,22	47 073,35	83 264,43
Вартість маси, спожитої консументами, дол. США	423,25	3 055,40	1 494,72	4707,34	8 326,44
Вартість затрат на автотрофне дихання, дол. США	543,83	2 617,22	1 920,54	4 032,25	4 754,89
Вартість затрат на виділення кисню, дол. США	2 273,75	10 942,60	8 029,79	16 858,83	19 880,19
СУМАРНА ВАРТІСТЬ, дол. США	11 922,23	70 185,52	48 665,31	107 145,36	157 595,46
СУМАРНА ВАРТІСТЬ, грн	91 801,21	540 428,47	374 722,90	825 019,31	1 213 485,02

¹ – дані по біомасі надані О.О. Орловим (Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісового заказника “Лісники”, м. Київ.

Таблиця 2

листяний ¹	листяний ¹	листяний ¹	листяний ²
C ₃	C ₅	D ₂	D ₂
142,83	122,02	122,50	140,48
3,35	0,45	0,10	0,40
0,10	3,69	0,80	22,24
146,28	126,16	123,40	163,12
35,71	30,51	30,63	35,12
0,84	0,11	0,03	0,10
0,10	3,69	0,80	22,24
36,65	34,31	31,45	57,46
182,93	160,47	154,85	220,58
4,39	3,78	3,70	4,89
0,44	0,38	0,37	0,49
18,06	18,06	18,06	18,06
2 641,83	2 278,43	2 228,66	2 945,95
3 496,35	3 064,21	2 959,22	4 198,56
41	45	50	120
3 249,46	3 075,88	3 342,99	10 605,41
324,95	307,59	334,30	1060,54
407,33	351,30	343,63	454,22
1 703,06	1 468,79	1 436,71	1 899,11
9 395,57	8 445,18	8 596,24	18 410,73
27 089,91	23 763,77	22 932,60	32 666,13
26 645,55	25 222,24	27 412,50	86 964,36
2 664,55	2 522,22	2 741,25	8 696,44
3 340,14	2 880,68	2 817,75	3 724,64
13 965,11	12 044,11	11 781,00	15 572,69
73 705,26	66 433,02	67 685,09	147 624,26
567 530,52	511 534,22	521 175,23	1 136 706,77

рації ім. Г.М. Висоцького, Поліська філія); ² – власні дані із

силь 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 [8]. Щодо трав'янистих типів екосистем (стеги, луки), які власне формуються під впливом випасання і викошування, то відомо, що приріст їх надземної фітомаси складає 140—150 %, а підземної — 40 %. При цьому 56 % надземної фітомаси 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 складає 47 % [11].

Після знищення екосистем у процесі їх відновлення біомаса поступово наростає і вже через десять років трав'янисті 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, екологічних ніш видів. У зв'язку з цим втрати консументного блоку (враховуючи час відновлення фітоценозу) слід оцінювати за формулою:

$$M_k = M_{\Pi} \times K_k \times t,$$

де M_{Π} — біомаса приросту автотрофного блоку; K_k — коефіцієнт відчуження біомаси консументами, t — час відновлення екосистем.

На основі всього викладеного нами складена схема функціональних блоків екосистем з урахуванням відсотків витрат запасів їх фітомаси (чи еквівалентних показників енергії) та

Оцінка екологічних збитків злаковників

Показники *	Скошуваний степ	Скошувані луки	Нескошувані остепнені луки	Нескошувані луки
Надземна маса дерев, т	0,00	0,00	0,00	0,00
Надземна маса чагарників, т	0,00	0,00	0,00	0,00
Надземна маса трав, т	16,60	11,36	6,08	8,46
Сумарна надземна маса, т	16,60	11,36	6,08	8,46
Підземна маса дерев, т	0,00	0,00	0,00	0,00
Підземна маса чагарників, т	0,00	0,00	0,00	0,00
Підземна маса трав, т	49,81	9,09	18,23	6,77
Сумарна підземна маса, т	49,81	9,09	18,23	6,77
Сумарна маса фітоценозу, т	66,41	20,46	24,30	15,23
Маса опаду (70 % від надземної біомаси), т	2,21	1,52	4,25	5,92
Маса, спожита консументами (10 % від надземної біомаси), т	7,80	5,34	0,61	0,85
СУМАРНИЙ ЕНЕРГОЗПАПАС, ГДж	2 636,73	901,80	1 075,51	825,43
Енергопотенціал маси опаду з урахуванням періоду відновлення 10 р., ГДж	399,78	82,09	768,30	320,93
Енергопотенціал маси, спожитої консументами з урахуванням періоду відновлення травостою 10 р., ГДж	1 409,21	289,38	109,73	45,85
Сумарні енергетичні затрати на автотрофне дихання з урахуванням періоду відновлення 10 р., ГДж	1 951,23	400,68	1 151,17	480,97
Енергетичні затрати при виділенні кисню з урахуванням періоду відновлення 10 р., ГДж	429,53	88,20	825,29	344,81
СУМАРНІ ЕНЕРГОВТРАТИ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЧАСУ, ГДж	5 531,32	1 258,99	3 566,56	1 581,83
Вартість фітомаси, дол. США	9 834,49	3 029,25	3 599,23	2 255,68
Вартість маси опаду, дол. США	3 278,16	673,17	6 298,65	2 631,62
Вартість маси, спожитої консументами, дол. США	11 555,53	2 372,91	899,81	375,95
Вартість затрат на автотрофне дихання, дол. США	16 000,00	3 884,41	9 439,60	3 943,94
Вартість затрат на виділення кисню, дол. США	3 522,12	723,26	6 767,39	2 827,47
СУМАРНА ВАРТІСТЬ, дол. США	44 190,42	10 084,20	27 004,67	12 034,65
СУМАРНА ВАРТІСТЬ, грн	340 266,23	77 648,33	207 935,98	92 666,84

* — дані по біомасі за Семеновою-Тян-Шанскою А.М. [29].

часу, потрібного на відтворення, що дає можливість розрахувати сумарний енергопотенціал (рис. 5).

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГІЇ
РІЗНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕКОСИСТЕМ
ТА ЇХ ВАРТІСНА ОЦІНКА**

З метою оцінки екологічних збитків необхідно привести всі отримані показники біома-

си компонентів екосистем до «спільного знаменника», тобто єдиного мірила. Таким мірилом є показник енергії, що в останні роки широко використовується в екології.

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:

$$1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}, 1 \text{ Дж} = 0,24 \text{ кал.}$$

Для розрахунків в екосистемах, що займають значні обсяги площі, слід використовувати вищі одиниці: (10^3 — кіло (к); 10^6 — мега (М); 10^9 — гіга (Г); 10^{12} — тера (Т); 10^{15} — пета (П) джоулі.

Для подальших розрахунків ми наводимо енергоємність (калорійність) окремих органів і живих організмів в цілому та органічних сполук, що є елементами екосистем або можуть використовуватися як відповідні еквіваленти (табл. 1). Оскільки кожен організм приблизно на 2/3 складається з води, то вказані показники характеризують абсолютно суху масу.

Виходячи з того, що фітомаса стовбура і гілок (деревини) становить 75 % маси усіх дерев, для подальших розрахунків слід користуватися саме цим показником (18 кДж/г або 4,3 ккал/г). Показники енергоємності листя (зеленої маси) і кореневої системи складають відповідно 17,7 та 19,7 кДж/г. В степах співвідношення між цими компонентами складає 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/г або 4,6 ккал/г для степів до 18,9 кДж/га або 4,5 ккал/г для боліт. В цілому для трав'янистих типів угруповань пропонується використовувати узагальнений показник 19 кДж/г та 4,5 ккал/г.

Енергоємність торфу залежить від його зольності і підвищується від низинного типу боліт 20,6 кДж/г, що мають високу зольність (10–15 %), до 22,7 кДж/г 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/г або 5 ккал/г). До цього додамо, що поклади торфу евтрофного типу в Україні займають понад 90 % всього обсягу торф'яників.

З метою вартісної оцінки екологічних збитків використовують показник умовного палива, за яке приймають вугілля енергоємністю

29,4 кДж/г або 70 ккал/г (7 000 ккал/кг), яке має вартість 24,3 дол. США. Цю вартість легко перевести в гривні (враховуючи курс 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 табл. 2–4.

ПРИКЛАДИ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗБИТКІВ РІЗНИХ ТИПІВ ЕКОСИСТЕМ
(курс валют за Національним банком — 1 дол. США = 7,7 грн.)

На основі порівняльної оцінки збитків різних типів екосистем можна зробити висновок, що ці збитки найвищі для лісів і залежать як від їх віку, так і породного складу, який визначає тип екосистеми. Отримані показники добре корелюють із запасами деревини, приблизне співвідношення дорівнює 1 дол. США \approx 600 M_d . Мінімальні збитки від знищення сухих лишайникових борів у віці до 50 років (V бонітет, запас 25 т/га) складають біля 50 тис. грн. і збільшуються на порядок (300–800 тис. грн.) для вологіших та багатших лісів, що мають I–II бонітет деревостану і більші запаси деревини (100–180 т/га). Максимальні екологічні збитки (> 1 200 тис. грн.) мають мішані та листяні ліси віком понад 90 років.

Екологічні збитки трав'яних екосистем на порядок нижче і для степів складають 200–350 тис. грн., для луків — 75–100 тис. грн., що цілком зрозуміло, оскільки вони у значній мірі формувалися під впливом антропогенних чинників (випас, сінокосіння).

Набагато складніша ситуація із обрахуванням збитків боліт. Враховуючи те, що підземна біомаса евтрофних боліт в 5 разів більша оліготрофних та мезотрофних, така пропорція зберігається при оцінці енергетичних збитків біотичної компоненти, що складає біля 90–98 тис. грн. для оліго-мезотрофних і 480 тис. грн. для евтрофних боліт, тобто близькі до показників трав'яних типів екосистем. Якщо ж додати знищення (видобуток) торфу, який характеризу-

Оцінка екологічних збитків боліт

Показники *	Низинні болота (вільхово- болотно- різнотравні)	Перехідні лісові болота (сосново- осоково- сфагнові)	Верхові болота (сосново- пушицево- сфагнові)
Об'єм торфу, м ³ /га	10 000	10 000	10 000
Надземна маса дерев, т	161,00	24,37	20,84
Надземна маса чагарників, т	0,60	0,69	0,58
Надземна маса трав, т	1,77	7,31	8,39
Сумарна надземна маса, т	163,37	32,37	29,81
Підземна маса дерев, т	40,25	6,09	5,21
Підземна маса чагарників, т	0,15	0,17	0,15
Підземна маса трав, т	1,42	5,85	6,71
Сумарна підземна маса, т	41,82	12,11	12,07
Загальна маса фітоценозу, т	205,19	44,48	41,88
Маса опаду (3 % від загальної фітомаси), т	4,90	0,97	0,89
Маса, спожита консументами (10 % від загальної), т	0,49	4,45	4,19
СУМАРНИЙ ЕНЕРГОЗАПАС, ГДж	7 661,52	1 655,09	1 556,02
Вік екосистеми, роки	100,00	100,00	100,00
Енергозапас маси, спожитої консументами, з урахуванням періоду відновлення, ГДж	885,14	8 033,63	7 562,99
Сумарні енергетичні затрати на автотрофне дихання з урахуванням періоду відновлення 20 р., ГДж	1 154,80	204,54	166,02
Енергетичні затрати при виділенні кисню з урахуванням періоду відновлення, 20 р., ГДж	1 902,02	376,86	347,06
СУМАРНІ ЕНЕРГОВТРАТИ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ, ГДж	879,03	1 730,05	1 561,86
Вартість фітомаси, дол. США	30 386,41	6 587,58	6 201,65
Вартість маси, спожитої консументами, дол. США	7 258,14	65 875,76	62 016,49
Вартість затрат на автотрофне дихання, дол. США	9 469,34	1 677,25	1 361,35
Вартість затрат на виділення кисню, дол. США	15 596,55	3 090,29	2 845,89
СУМАРНА ВАРТІСТЬ, дол. США	62 710,43	12 793,24	11 733,27
СУМАРНА ВАРТІСТЬ БЕЗ ТОРФУ, грн	482 870,34	98 507,93	90 346,20

* — дані по біомасі за [27, 28]. Площа всіх ділянок — 1 га; коефіцієнт *маса—енергія* — 18,06 ГДж/т; вартість 1 ГДж — 8,2 дол. США (1 т умовного палива ~ 7 000 ккал = 234 дол. США. При врахуванні калорійності торфу 168 000 ГДж/га еквівалент його вартості становить 1 377 600 дол. США /га (10 607 520 грн/га). Тоді сумарна вартість екосистем даних типів складає 11,09, 10,71 та 10,70 млн. грн.

ється високою енергоємністю та енергозапасом, то екологічні затрати сягають близько 11 млн. грн. з гектара, що свідчить про виняткову значимість болотних екосистем, які відновлюються досить повільно або в сучасних умовах не відновлюються зовсім.

Для уявлення про оцінку цих збитків наведемо такі розрахунки. В цілому енергетичний потенціал біотичної складової України без врахування енергії ґрунтів, але з урахуванням збитків на її відновлення дорівнює 996,960 ± 20 % млрд. дол. США. Якщо виходити з того, що

річний бюджет України в 2008 р. складав біля 230 млрд. грн. (31,5 млрд. дол. США), то екологічні збитки їх знищення еквівалентні 31,6 річних бюджетів або 31,6 років безвитратної роботи держави. Цей показник вищий, ніж період, який потрібний на оновлення фітомаси планети (26 років).

Розроблений підхід і запропонована методика дає оцінку збитків лише за енергетичними показниками на основі спільного універсального знаменника – енергії, але не відображає соціальну, наукову та інші ролі екосистем, ступінь їх рідкості, відновлення, наявність рідкісних видів чи угруповань. Вона може слугувати науковою основою для подальших операцій, оцінки такого типу збитків.

ВИСНОВКИ

Екологічний збиток екосистеми означає зниження її як цілого або пошкодження будь-якого компонента, тому при оцінюванні втрат використовується час на їх відновлення.

Для оцінки екологічних збитків використані показники енергії, яка, за висловом Ю. Оудума, розглядаються як «екологічна валюта», що дає змогу екологам оперувати економічними категоріями, економістам – обчислювати збитки, завдані природі, що не мають вартісних показників, технологам – оцінювати не лише прями, а й опосередковані результати діяльності людини.

Основними показниками енергії є запаси автотрофного блоку, на основі яких розраховуються витрати енергії на фотосинтез – дихання, відпад та приріст, споживання консументами, що відображають біотичну, ґрунтовірну та кліматорегулюючу функції екосистем.

Найвищі показники екологічних збитків мають ліси, що на порядок перевищують збитки в разі знищення трав'янистих типів угруповань. Проте в разі знищення (видобутку) торфу збитки болотних екосистем сягають до 11 млн. грн./га.

При знищенні біотичної складової екосистеми України, на її відновлення необхідні за-

трати енергії, еквівалентні вартості 31,6 річних бюджетів держави.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондар В.С., Телішевський Д.А. Комплексне використання і охорона лісів. — К.: Урожай, 1985. — 183 с.
2. Шейнгауз А.С., Сапожников А.П. Классификация функций лесных ресурсов // Лесоведение. — 1983. — № 4. — С. 3–9.
3. Рубцов М.В. Классификация функций и роли леса // Лесоведение. — 1984. — № 2. — С. 3–9.
4. Плюта П.Г. Эколого-экономическая оценка полезных функций лесов природно-заповедных территорий / Социально-экологическая значимость природно-заповедных территорий Украины / Андриенко Т.Л., Плюта П.Г., Прядко Е.И., Каркуцкий Г.Н. — К.: Наук. думка, 1991. — С. 74–83.
5. Леонтьев В.В., Форд Д. Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. — 1972. — Т. VII. — Вып. 3. — С. 370–400.
6. Ляшенко І.М., Григорів В.С. Динамічна модель еколого-економічної рівноваги // Доп. НАН України. — 2000. — № 2. — С. 79–84.
7. Гофман К.Г. Экономическая оценка природных ресурсов в условиях социалистической экономики // Экономика и матем. методы. — 1974. — 10, Вып. 3. — С. 469–480.
8. Одум Ю. Экология — Т. 1 / Под ред. Соколова В.Е. / Пер. с англ. Ю. Фролова. — М.: Мир, 1986. — 328 с.
9. Глухов В.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. Экономические основы экологии. СПб.: Специальная литература, 1995. — С. 152.
10. Олейник К.А. Экологические риски в предпринимательской деятельности. — М.: Анклир, 2002. — 33 с.
11. Гильманов Т.Г., Базилевич Н.И. Концептуальная модель круговорота веществ в экосистемах как теоретическая основа мониторинга «теоретические основы и опыт экологического мониторинга». — М.: Наука, 1983. — С. 7–57.
12. Полевая геоботаника: В 4 т. / АН СССР; Под ред. Е.М. Лавренко — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. — Т. 1: Основные закономерности развития сообществ и пути их изучения. — 560 с.
13. Лесотаксационный справочник / Под ред. Б.И. Грошева. — 2-изд., перераб. — М.: Лесн. пром-сть. — 1980. — 288 с.
14. Лакида П.І. Фітомаса лісів України. — Тернопіль: Збруч, 2001. — 256 с.
15. Белов С.В. Оценка гигиенической роли леса // Лесное хозяйство. — 1964. — № 1. — С. 8–13.
16. Политова Н.Ю. CO₂-газообмен и годичная продукция в сообществах горной тундры Хибин // Ботан. журн. — 1991. — № 2. — Т. 76. — С. 217–225.

17. Moore T.R., Bubier J.L., Frohking S.E., Lafleur P.M., Roulet N.T. Plant biomass and production and CO₂ exchange in an ombrotrophic bog // J. of Ecology. — 2002. — 90. — P. 25–36. (розподіл автотрофного та гетеротрофного дихання).
18. Glenn A. J., Flanagan L.B., Syed K.H., Carlson P.J. Comparison of net ecosystem CO₂ exchange in two peatlands in western Canada with contrasting dominant vegetation Sphagnum and Carex / Agricultural and Forest Meteorology, 140, 2006. — P. 115–135.
19. Carex // Agricultural and Forest Meteorology. — 140. — 2006. — P. 115–135.
20. Secondary productivity of terrestrial ecosystems / ed. V. Petruszewicz. — Warszawa, 1967. — Vol.1. — P. 1–97.
21. Злотин Р.И. Ходашова К.С. Роль животных в биологическом круговороте лесостепных экосистем. — М: Наука, 1974. — 200 с.
22. Гиляров М.С. Беспозвоночные животные и лесные биогеоценозы // Лесоведение, 1967. — № 2. — С. 27–35.
23. Дідух Я.П. Еколого-енергетична аспекти у співвідношенні лісових і степових екосистем // Укр. ботан. журн. — 2005. — 62, № 4. — С. 455–467.
24. Дідух Я.П. Порівняльна оцінка енергетичних запасів екосистем України // Укр. ботан. журн. — 2007. — Т. 64, № 2. — С. 177–194.
25. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. — М.: Наука, 1993. — 293 с.
26. Woodwell G.M., Whittaker R.H. Primary production in terrestrial ecosystems // American Zoologist. — 1968. — Vol. 8. — No. 1. — P. 19–30.
27. Бачуріна Г.Ф. Торфові болота Українського Полісся. — К.: Наук. думка, 1964. — 208 с.
28. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. — Л.: Наука, 1979. — 188 с.
29. Семенова-Тян-Шанская А.М. Динамика степной растительности. — М.; Л.: Наука, 1966. — 176 с.
30. Ковда В.А. Почвоведение и продуктивность биосферы // Весн. АН СССР. — 1970. — Вып. 6. — С. 83–90.

Я.П. Дідух, В.В. Расевич, С.А. Гаврилов, У.М. Аleshкина

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УБЫТКОВ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Предложена методика расчета энергетических запасов разных типов экосистем с учетом периода восстановления и затрат энергии на фотосинтез, отпад и гетеротрофное потребление, которые отображают климато-регулирующую, почвообразовательную и трофическую функции экосистем. Рассчитаны показатели трофической, почвообразовательной и климаторегулирующей составных экосистем во времени. Оценены в денежных единицах убытки при повреждении или уничтожении экосистемы в целом или ее отдельного компонента.

Ключевые слова: экосистема, биомасса, продуктивность, энергетический запас, фотосинтез, дыхание, убыток экосистем.

Ya. Didukh, V. Rasevych, S. Gavrylov, U. Alioshkina

ECOSYSTEM ECOLOGICAL LOSS ASSESSMENT ON THE BASE OF ENERGY INDEXES

The methodology of calculation of energy budget in different types of ecosystems with allowance for energy renewal and losses period for photosynthesis, respiration and heterotrophic consumption representing climate regulative, soil and biota formation function of ecosystems is proposed. The trophic budget, soil formation and climate regulation indexes are calculated in time dimension. The monetary output energy loss in damaged or ruined ecosystem and in its components is assessed.

Key words: ecosystem, biomass, productivity, energy budget, photosynthesis, respiration, ecosystem's loss.

Надійшла до редакції 20.02.09.