

**Я.П. ДІДУХ, С.О. ГАВРИЛОВ**

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України  
вул. Терещенківська 2, МСП-1, Київ. 01601  
didukh@botany.kiev.ua

**ДИНАМІКА ЗАПАСУ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ  
ПІДСТИЛКИ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ  
ЗА ПЕРІОД ВЕГЕТАЦІЇ 2007 р.  
(на прикладі модельних ділянок  
заказника «Лісники», м. Київ)**

*Ключові слова: екосистема, ліс, підстилка, енергозапас, баланс, вегетаційний період, стабільність*

*Ya.P. DIDUKH, S.A. HAVRILOV*

M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

**DYNAMICS OF STORAGE AND ENERGY POTENTIAL OF DEBRIS LAYER  
OF FOREST ECOSYSTEMS FOR THE VEGETATIONAL PERIOD OF 2007  
(based on the exemplary lots of the reserve «Lesniki», Kiev)**

Research has been conducted during April–October based on the key monitored plots that were set up in two associations of deciduous (Ficario- Fraxinetum; all. Alno- Ulmion) and coniferous (all. Chamaecytiso- Pinion) forests with the treestand over a 100 years old. Monthly estimations of the amount of the debris layer enabled to evaluate dynamics of its accumulation and to calculate corresponding indicators of energy. It has been established that seasonal fluctuations of these indicators are significantly greater in nemoral forests as compared to the coniferous forests. Intensity of the debris layer accumulation in the deciduous forests was two times that of the coniferous forests. Based on the comparison of the intensity of the debris accumulation and degradation, sustainability of coniferous forests was calculated to be twice that of deciduous forests.

*Key words: ecosystem, forest, debris layer, stock of energy, balance, vegetational period, stability*

*Я.П. ДИДУХ, С.А. ГАВРИЛОВ*

Інститут ботаніки ім. Н.Г. Холодного НАН України, г. Київ

**ДИНАМИКА ЗАПАСА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОДСТИЛКИ  
ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗА ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ 2007 г.  
(на примере модельных участков заказника «Лесники», г. Киев)**

Исследования проведены в апреле–октябре на мониторинговых ключевых участках двух ассоциаций лиственных (Ficario- Fraxinetum; all. Alno- Ulmion) и хвойных (all. Chamaecytiso- Pinion) лесов, возраст древостоя которых превышает 100 лет. Определяли ежемесячные запасы подстилки, что позволило оценить динамику ее накопления и рассчитать соответствующие энергетические показатели. Установлено, что в неморальных лесах эти показатели характеризуются более значительными сезонными колебаниями, чем в хвойных, а интенсивность накопления подстилки в лиственных лесах в два раза выше, чем в хвойных. Сравнивая интенсивность накопления и разложения подстилки рассчитано, что устойчивость хвойных лесов в два раза превышает таковую лиственных.

*Ключевые слова: экосистема, лес, подстилка, энергозапас, баланс, вегетационный период, стабильность*

© Я.П. ДІДУХ, С.О. ГАВРИЛОВ, 2007

## Вступ

Рослинний покрив відіграє ключову роль в акумуляції сонячної енергії та її подальшій трансформації як у відповідних трофічних ланцюгах, так і у процесах формування ґрунту.

Дослідження енергетичних потоків в екосистемах дозволяє розкрити механізми і напрямки еволюції екосистем. На основі цього сформульовано принцип, згідно з яким енергетичний потенціал є рушійною силою, котра визначає вектор еволюції екосистем [1]. Вивчення енергопотоків в екосистемах базується на постулатах термодинаміки, які хоча і сформульовані фізиками, але виходять далеко за межі цієї науки і є законами природи. Використання термодинамічних підходів поставило в центр уваги проблеми функції екосистем, що дає можливість оперувати такими важливими характеристиками, як стійкість, толерантність, розвиток, стабільність у кількісних показниках і на їх основі здійснювати різноманітні розрахунки та порівняльні оцінки.

Серед різних типів екосистем ліси є одними з найбільш високоенергетичних та стабільних, їм властивий надземний тип акумуляції органічної речовини. Найбільші запаси енергії лісів зосереджені в деревині, однак у формуванні енергопотоків у системі «рослинність–ґрунт» ключову роль відіграє підстилка, спосіб накопичення і швидкість розкладання якої характеризують функціонування екосистеми.

Лісова біоценологія розглядає підстилку як самостійний біогоризонт, що об'єднує фітоценоз і ґрунт. Відповідно, вона є важливим джерелом живлення наземних консументів і редуцентів та забезпечення ґрунтового блоку біоценозу [3, 4, 7].

Запас органічної речовини, сконцентрований у підстилці [7], може виступати одним з інтегральних параметрів загальної стійкості лісових екосистем, оскільки відображає інтенсивність деструкційних процесів у лісових ценозах. Наприклад, надмірне накопичення мортмаси свідчить про незавершеність біогеохімічних циклів, що супроводжується суттєвим зниженням продуктивності та стійкості лісів внаслідок гальмування біогеохімічного кругообігу, а швидке її розкладання визначає віддаленість від клімаксового стану екосистем. Тому дослідження запасів і трансформації енергії в підстилці є досить актуальним.

## Об'єкт та методика досліджень

Для проведення досліджень обрано два досить типові лісові полігони, різні за складом домінантів та вологістю. Один з них знаходиться у заплаві р. Сіверки (заказник «Лісники», Конча-Заспівське лісництво, кв. 12, точка N 50°17'39,9'', E 030°32'57,3'', 101 м над р.м.), є різновіковою вологою дібровою (D<sub>4</sub>) ас. *Ficario-Fraxinetum*, що відноситься до союзу *Alno-Ulmion*. Вік найстаріших дерев перевищує 100 років.

Другий полігон розташований на боровій терасі р. Дніпра південніше м. Києва (кв. 29, точка N 50°16'45,9''; E 030 34'58,9'') і представляє собою насадження соśni (B<sub>3</sub>) віком понад 120 років. У цілому ці ліси є досить стабільними екосистемами, близькими до клімаксового стану.

На моніторингових ділянках площею 50х50 м знімали параметри, що не передбачають відчуження біомаси (геоботанічні описи, картування, заміри дерево-стану). Кожна обрана ділянка за домінантами трав'яного ярусу поділялася на дві

частини. Так, у широколистяному лісі на одній частині полігону (ділянка  $D_1$ ) навесні домінував *Allium ursinum*, а на іншій (ділянка  $D_2$ ) виражений домінант не формується. У сосновому лісі у верхній частині схилу (ділянка  $D_3$ ) домінували злаки, тоді як в нижній частині (ділянка  $D_4$ ) — різнотрав'я.

Окрім дослідних ділянок, в аналогічних умовах відбирали підстилку відповідно до методичних вказівок [6].

Ритміку процесів надходження та деструкції запасів мортмаси підстилки досліджували протягом вегетаційного періоду ( $T \geq 5^\circ\text{C}$ ). Відібрану підстилку поділяли на активну (листя, хвоя, суха трава, мох, насіння) та інертну (або відпад — гілки, шишки, плоди, кора, коріння) фракції, які окремо зважували і висушували. Енергетичний еквівалент 1 кг сухої речовини компонентів фітодетриту становив: підстилки діброви — 17,6 кДж, кори і гілок широколистяного лісу — 17,4, підстилки соснового лісу — 17,2, деревного відпаду сосни — 17,5, шишок — 18,2 кДж [5].

### Результати досліджень та їх обговорення

Серед чинників, які суттєво впливають на нагромадження мортмаси підстилки, важливими є склад та структура деревостану, його місцезнаходження та продуктивність, а також наявність та склад трав'яно-мохового ярусу. Водночас втрати у річному циклі підстилки значною мірою залежать від пори року. Основна їх частина припадає на теплий період, коли трансформація відбувається найінтенсивніше [5, 6].

У результаті проведених у 2007 р. спостережень на моніторинговому полігоні широколистяного лісу встановлено, що на час відновлення вегетації деревостану (середина квітня) запас підстилки під його наметом на ділянці  $D_1$  становив 2,7 т/га, в тому числі безпосередньо її активної фракції — 2 т/га. На ділянці  $D_2$  маса підстилки була нижчою на 17 % (рис. 1). Починаючи з травня запас підстилки істотно збільшився на обох ділянках — до 3–3,5 т/га. Це пов'язано з відпадом сухих гілок, суцвіть, лусок після зимового періоду та відмиранням рано вегетуючих трав'яних рослин.

Вплив останнього компонента є досить суттєвим, оскільки маса активної фракції підстилки на ділянці  $D_1$ , де живий рослинний покрив формувався за рахунок *Allium ursinum*, становила 9,1 т/га, тоді як на ділянці  $D_2$  з нижчим покриттям трав'яного покриву вона була у 1,6 рази меншою — 5,8 т/га.

Пік накопичення мортмаси підстилки на ділянках  $D_1$  та  $D_2$  модельного полігону тривав з середини травня до середини червня, коли закінчувався цикл розвитку ефемероїдів. Тоді її маса становила 9,9–10,3 т/га, тобто була на 30–40% більшою за середньовегетаційний показник.

У подальшому запаси активної фракції підстилки знижувалися внаслідок посилення деструкційних процесів і на момент інтенсивного надходження цього річного опаду — у другій половині вересня — становили 3,1–3,7 т/га. Встановлено також, що основна маса фітодетриту депонувалася протягом жовтня і становила майже 7 т/га (рис. 1).

Протягом вегетаційного періоду підстилка формувалася нерівномірно і в різних пропорціях. Так, надходження скелетної частини — гілок та кори — мало дещо іншу тенденцію. На ділянці  $D_1$  їх стійке збільшення зафіксовано починаючи з червня (3,5 т/га) і до кінця вегетації, коли ця маса зросла на 38 %. Порівняно з вихідним

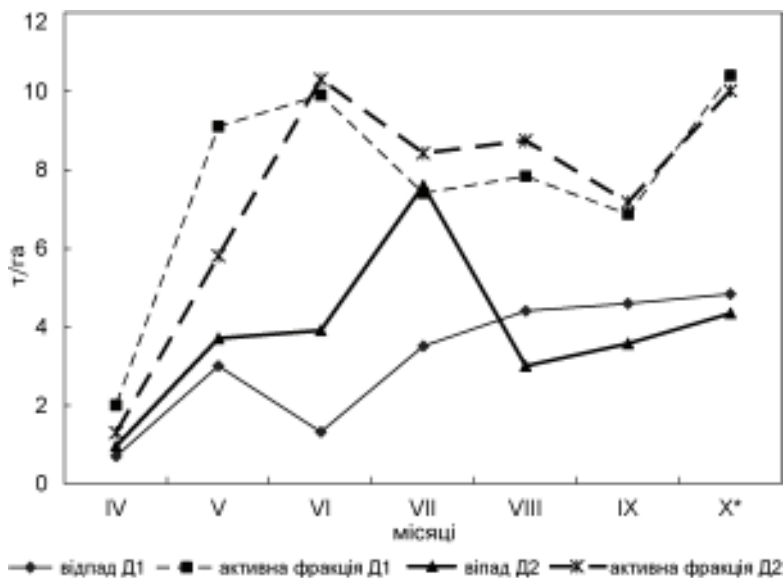


Рис. 1. Динаміка запасів підстилки у широколистяному лісі протягом вегетаційного періоду на ділянках Д<sub>1</sub> та Д<sub>2</sub> (заказник Лісники)

(квітневим), показник у жовтні був більшим майже у 7 разів, а відносно середньо-вегетаційного — у 1,5 рази. Загалом інертна частина підстилки у середньому за вегетацію співвідносилася з його активною фракцією на ділянці Д<sub>1</sub> як 1:2,4, а на ділянці Д<sub>2</sub> — 1:1,9. Отже, груба фракція підстилки внаслідок сапротрофної конверсії розкладається повільніше, проте її загальні запаси є нижчими порівняно з показником запасу активного детриту.

Рослинні угруповання значно відрізняються між собою за режимами утворення первинної продукції внаслідок різного складу ценопопуляцій, фіксації фізіологічно активних речовин різними видами, впливу едафічних факторів тощо.

На відміну від листяних лісів, характерною особливістю ритміки накопичення підстилки у хвойних лісах є її цілорічне і рівномірніше поповнення протягом року за рахунок опаду. При цьому зимовий опад може становити від 39 до 82 % від загальної річної його маси [7].

Ми встановили, що в сосновому лісі запаси підстилки збільшувалися з весни до осені без якихось істотних перепадів (рис. 2). Мінімальними запаси активної фракції підстилки були у квітні: на ділянці 3 — 43 %, 4 — 51 % від середнього показника за обліковий період. Восени запаси підстилки перевищували середній рівень, відповідно, на 24 та 10 %. Слід відмітити, що запаси підстилки у верхній частині схилу весною та на початку літа були вищими в середньому на 32 % порівняно з запасами, зафіксованими у нижній його частині.

У другій половині літа та восени, навпаки, запас підстилки на ділянці Д<sub>4</sub> на 5,2–11,3 % переважав аналогічний, відзначений на ділянці Д<sub>3</sub>. Очевидно, що така тенденція пов'язана з розвитком трав'яного рослинного покриву — різотрав'я розвивалося швидше у першій, а злаки — у другій половині літа.

Динаміка надходження відпаду (крім шишок), який у структурі фітодетриту ділянок становив, залежно від періоду вегетації, від 7 до 35 %, мала вигляд кривої з двома піками — наприкінці травня — початку червня та у серпні. У цей час маса

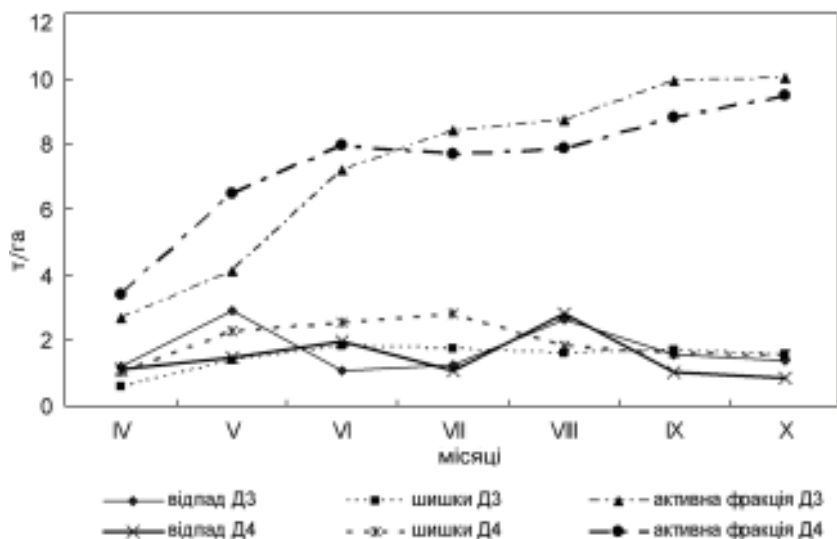


Рис. 2. Динаміка запасів підстилки у сосновому лісі на ділянках Д<sub>3</sub> та Д<sub>4</sub> (заказник Лісники)

інертної фракції підстилки в абсолютній величині становила 2–2,9 т/га і була більшою за середньовегетаційний показник на 35–90 %.

В інші періоди спостережень запас грубої фракції був нижчим за середній на 8–43 %. Обсяг відпаду на ділянці Д<sub>3</sub>, тобто у верхній частині схилу, був на 14 % вищим порівняно з ділянкою Д<sub>4</sub>, розташованою в нижній частині схилу.

Встановлено, що фракція шишок є вагомим компонентом скелетної частини підстилки, що за обсягами наближалася до камбіальної частини відпаду (гілок та кори); на ділянці Д<sub>3</sub> запас шишок був нижчим на 13 %, а на ділянці Д<sub>4</sub> перевищував цей показник на 32 %. За період року з активними температурами (зокрема, з травня по липень) зафіксовано тенденцію до збільшення надходження шишок під намет лісу, коли відхилення від середнього (1,50 та 1,96 т/га) на ділянці 3 становило 8–22 %, а 4 — 17–44 %. З кінця літа шишок опадало дещо менше. Отже, на динаміку грубої частини підстилки весняно-осіннього періоду впливали феноритми у лісовому ценозі.

Відомо, що основна частина втрат підстилки припадає на теплий період року, тоді як взимку темпи деструкції сповільнюються [7]. Враховуючи це, можна припустити, що погодні умови (тепла і малосніжна зима) сприяли безперервності біотичної конверсії детриту, в результаті чого весняні запаси підстилки на моніторингових полігонах виявилися значно нижчими порівняно з показниками кінця вегетації 2006 р. (близько 15 т/га у широколистяному і 14 т/га у сосновому лісі).

Лісові біогеоценози є відкритими екологічними системами, що ефективно функціонують завдяки взаємодії їх компонентів, яка ґрунтується на речовинно-енергетичному обміні між ними. Лісовим екосистемам властивий надземний тип накопичення органічної маси, тому лісова підстилка є одним з основних і потужних акумуляторів енергії.

Депонування підстилки в лісовому ценозі безпосередньо пов'язане з типом та бонітетом деревостану. У зв'язку з цим енергопотенціал мортмаси під наметом лісу не є стабільним, оскільки зазнає впливу зовнішніх та внутрішніх факторів.

За результатами досліджень встановлено, що протягом періоду спостережень енергопотенціал підстилки змінювався, відповідно до динаміки змін її запасу, зумовлених інтенсивністю надходження опаду (рис. 3).

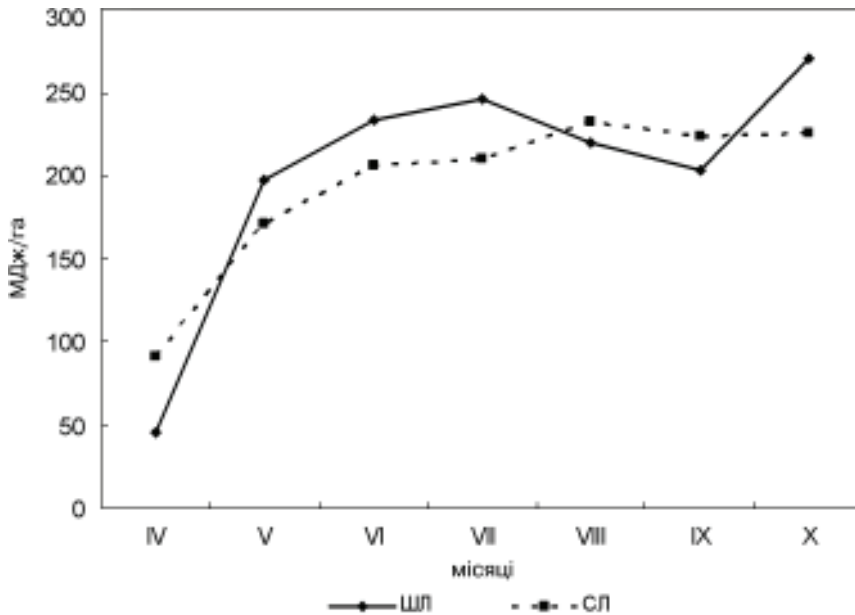


Рис. 3. Динаміка енергопотенціалу широколистяного (ШЛ) та соснового (СЛ) лісу

Як засвідчують криві, показники енергетичного потенціалу підстилки широколистяного лісу характеризуються більшою варіабельністю, ніж соснового, що зумовлене різними причинами. По-перше, ділянки мали різні стартові позиції: у широколистяному лісі енергетичний еквівалент підстилки становив 45,3 МДж/га, тоді як у мортмасі соснового лісу зосереджено енергії удвічі більше, оскільки хвоя розкладається значно повільніше, ніж листя. У подальшому у діброві спостерігалось різке збільшення енергопотенціалу підстилки з двома чітко вираженими піками: перший — травнево-липневий, пов'язаний з надходженням до підстилки широколистяного лісу відмерлого трав'яного компонента — ефемероїдів, другий — у жовтні, внаслідок опадання листя. У сухій речовині мортмаси соснового лісу енергопотенціал змінювався більш плавно і був майже на 7 % нижчим, ніж у діброві. Така тенденція пов'язана як з рівномірнішим характером розвитку рослинного покриву протягом вегетаційного сезону, так і поступовим і рівномірним опадом хвої.

У цілому за час дослідження енергозапас листяного лісу збільшився з 45,3 до 270 МДж/га, тобто у 6 разів, а соснового — від 90 до 220 МДж/га, тобто у 2,5 рази. Оцінюючи різницю накопичення енергозапасів цих лісів відносно періоду накопичення (183 доби), обчислюємо потужність накопичення енергозапасів:  $P = E/T$ , де  $P$  — потужність (вт),  $E$  — енергія (Дж),  $T$  — час (сек). Для листяних лісів цей показник становить 14,2 вт, соснових — 8,2 вт, тобто інтенсивність накопичення підстилки за період вегетації у листяних лісах удвічі перевищує такий соснових лісів. Водночас потужність розкладання підстилки за цей період становить, відповідно, 30 та 25 вт, тобто удвічі нижча [2]. Виходячи з того, що протягом року потужність на-

копичення і розкладання підстилки врівноважується, то в період вегетації перший переважає над останнім. Враховуючи кореляцію між ступенем накопичення — розкладання підстилки та стабільністю екосистем, можемо дійти висновку, що соснові ліси є удвічі стабільнішими, ніж листяні, а показники резистентності (відновлення) мають зворотний характер.

Головні шляхи трансформації рослинних решток можна представити як енергетично-речовинні ланцюги між біомасами сапротрофних організмів та їх підстилкою з відповідною акумульованою енергією [4, 5, 7].

Враховуючи це, за отриманими даними було проаналізовано структуру та визначено питому частку кожного компонента в енергопотенціалі мортмаси широколистяного та соснового лісу (рис. 4). Так, найбільшу частку, відповідно 71 і 66 % (ділянки Д<sub>1</sub> та Д<sub>2</sub> широколистяного лісу) та 69 і 67 % (ділянки Д<sub>3</sub> і Д<sub>4</sub> соснового лісу), у структурі енергозапасу підстилки становить її активна фракція, компоненти якої мають різний ступінь розкладання — від незначного і до такого, що втратив свою морфологічну будову. Решту енергопотенціалу мортмаси — 29–34 % у діброві та 31–33 % у сосновому лісі — формує інертна фракція, представлена відпадом (гілки, кора, шишки, корені). Слід зазначити також, що у соснових насадженнях запас енергії шишок у нижній частині схилу був на 31 % вищим, ніж у верхній.

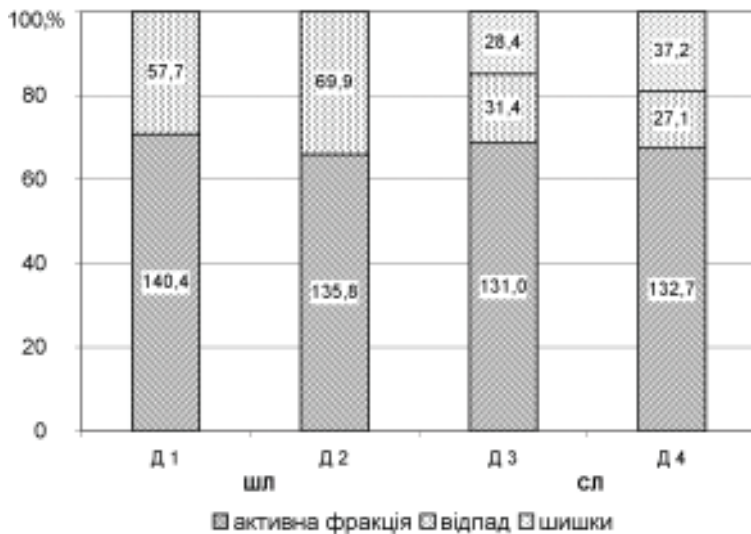


Рис. 4. Співвідношення середніх запасів енергопотенціалу компонентів підстилки широколистяного (Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub>) та соснового (Д<sub>3</sub>, Д<sub>4</sub>) лісу (за вегетаційний період 2007 р.). Цифра у стовпчику відповідає запасу енергії у МДж/га

Різниця енергопотенціалу підстилки у широколистяному та сосновому лісі за погодних умов 2007 р. у середньому за вегетацію майже не змінювалася — становила близько 4 % на користь діброви.

## Висновки

На основі представленого матеріалу ми дійшли таких висновків:

1. Запас органічної речовини, сконцентрований у підстилці, відображає інтенсивність деструкційних процесів у лісових ценозах, може бути одним з інтегральних параметрів загальної стійкості лісових екосистем.

2. Динаміка запасів лісової підстилки у лісах залежить від інтенсивності надходження опаду, зокрема грубої, або скелетної частини (гілок, кори, шишок), а також інтенсивності розкладання активної фракції підстилки.

3. Баланс енергозапасів у неморальних лісах характеризується значно більшими сезонними коливаннями, ніж у лісах бореального типу, що визначає вищу інтенсивність процесів кругообігу речовин і трансформації енергії та свідчить про вищу динамічність цих екосистем. У хвойних лісах, порівняно з листяними, сезонна трансформація енергії підстилки характеризується нижчим градієнтом змін, що зумовлене як рівномірнішим накопиченням підстилки протягом сезону, так і повільнішим її розкладанням і свідчить про вищу (удвічі) інерційність екосистем бореального типу.

1. Дідух Я.П. Теоретичні проблеми еволюції рослинного покриву // Ю.Д. Клеопов та сучасна ботанічна наука. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – С. 11–26.
2. Дідух Я.П. Порівняльна оцінка енергетичних запасів екосистем України // Укр. ботан. журн. – 2007. – **64**, № 2. – С. 177–194.
3. Дылис Н.В. Структура лесного биогеоценоза. – М.: Наука, 1969 – 55 с.
4. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. – М.: Наука, 1977. – 312 с.
5. Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. – М.: Наука, 1971 – 275 с.
6. Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1974. – 401 с.
7. Чорнобай Ю.М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах. – Львів: ДПМ НАН України, 2000. – 352 с.