

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ШВИДКІСТЬ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ЦЕЛЮЛОЗИ У ЛІСОВІЙ ПІДСТИЛЦІ ГОЛОСІЇВСЬКОГО ЛІСУ НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»

Тесьолкіна Т.С., Лукашов Д.В.

Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ
tania.tesolkina@gmail.com, lukashov@knu.ua

Лісова підстилка є ключовим структурно-функціональним компонентом лісової екосистеми. Перш за все, це – домінуюче джерело енергії для гетеротрофних організмів. Речовинно-енергетичні потоки під час деструкції відіграють ключову роль у балансі поживних речовин лісової екосистеми, де на рослинність найбільший вплив має рециркуляція нутрієнтів з рослинного опаду. По-друге, вона є своєрідним буфером для ґрунту, затримуючи атмосферну вологу, сонячну радіацію та захищаючи верхні шари ґрунту від перепадів температури. Наразі досить актуальною є проблема порушення глобальних циклів Карбону та поживних речовин унаслідок кліматичних змін на планеті. Тому, окремі параметри лісової підстилки, зокрема рівень деструкції, можуть виступати одним з критеріїв оцінки загального стану лісової екосистеми. У даній статті представлено результати досліджень розкладу лісової підстилки у 2018 році на трьох ділянках досліджень з різним типом мікроформ рельєфу (північний і південний схили яру та плакор). Модельні ділянки розташовано у межах грабової діброви Голосіївського лісу (Національний природний парк «Голосіївський», м. Київ). Було досліджено швидкість мінералізації целюлози протягом року, яка є основним компонентом підстилкового матеріалу, аплікаційним методом з використанням фільтрувального паперу. Виявлено, що показник розкладу коливався від $0,001 \pm 0,0007$ г/добу до $0,021 \pm 0,002$ г/добу. Також, було проаналізовано залежність між процесами деструкції та основними кліматичними факторами (температурою та вологістю). Комплексним показником, що об'єднував ці показники було обрано індекс аридності Де Мартона. Дослідження залежності кліматичних факторів показало позитивну залежність різного ступеня між швидкістю мінералізацією целюлози та середньомісячною температурою (r^2 коливався від 0,52 на ділянці плакору до 0,90 на ділянці південного схилу яру). Окремо було досліджено залежність між швидкістю розкладу та формою мікрорельєфу, де розташовувалися ділянки дослідження. Було з'ясовано, що найвища швидкість мінералізації целюлози виявлена у серпні на ділянці південного схилу, а найнижча – у лютому та березні на ділянках північного схилу та плакору. *Ключові слова:* лісова підстилка, целюлоза, кліматичні фактори, лісова екосистема.

The influence of climatic conditions on the rate of mineralization of cellulose in the forest litter of the Golosiiv forest of the «Golosiivskyi» national park. Tesolkina T., Lukashov D.

Forest litter is a key structural and functional component of the forest ecosystem. First of all, it is the dominant source of energy for heterotrophic organisms. Material and energy flows during destruction play a key role in the nutrient balance of the forest ecosystem, where the recirculation of nutrients from plant debris has the greatest impact on vegetation. Secondly, it is a kind of buffer for the soil, retaining atmospheric moisture, solar radiation and protecting the upper layers of the soil from temperature changes. Currently, the problem of disruption of global carbon and nutrient cycles due to climate changes on the planet is quite relevant. Thus, individual parameters of the forest litter, in particular the level of destruction, can be one of the criteria for assessing the general state of the forest ecosystem. This article presents the results of research on the destruction of forest litter in 2018 at three research sites with different types of relief microforms (northern and southern slopes of the ravine and plakor). The model plots are located within the hornbeam forest of the Holosiivskyi Forest (Holosiivskyi National Nature Park, Kyiv). The rate of mineralization of cellulose during the year, which is the main component of litter material, was investigated by the application method using filter paper. It was found that the rate of decomposition ranged from 0.001 ± 0.0007 g/day to 0.021 ± 0.002 g/day. Also, the relationship between the destruction processes and the main climatic factors (temperature and humidity) was analyzed. De Marton's aridity index was chosen as a comprehensive indicator combining these indicators. The study of the dependence of climatic factors showed a positive dependence of various degrees between the rate of mineralization of cellulose and the average monthly temperature (r^2 ranged from 0.52 in the plakor to 0.90 in the area of the southern slope of the ravine). The relationship between the rate of decomposition and the shape of the microrelief, where the study sites were located, was separately investigated. It was found that the highest rate of cellulose mineralization was found in August at the south slope site, and the lowest in February and March at the north slope and plakor sites. *Key words:* forest litter, cellulose, climate factors, forest ecosystem.

Постановка проблеми. Лісова підстилка, насамперед, є важливим елементом біологічного кругообігу речовин, яка сполучає між собою різні складові біоценозу: фітоценоз, зооценоз, мікробіоценоз.

Деструкція лісової підстилки є однією з ключових процесів, що забезпечують речовинні та енергетичні потоки в наземних екосистем [1]. Швидкість її розкладу характеризує швидкість кругообігу речо-

вин в екосистемі. Основними органічними компонентами лісових підстилок є целюлоза, геміцелюлоза, лігніни, пектини, кутини тощо. Деструкція целюлози відіграє важливу роль у циклі Карбону, оскільки сприяє поверненню даного елемента, що був раніше зафіксований у біомасі суходолу, в атмосферу [2]. Целюлоза є найпоширенішим полісахаридом рослинного опаду. Її маса складає від 20% до 75% маси лісової підстилки. У порівнянні з іншими компонентами підстилки, целюлоза порівняно легко руйнується. Основними представниками ґрунтової фауни та мікробів, які беруть участь у процесах розкладання є різні групи водоростей, актиноміцетів, бактерій та грибів [3]. Крім ключової ролі у циклі Карбону розкладання лісової підстилки забезпечує рослинам легкодоступні поживні речовини. Також, підстилка відіграє важливу роль у покращенні якості ґрунту шляхом перенесення поживних речовин з наземної біомаси в ґрунт [4].

Величина розкладу лісової підстилки, переважно, залежить від трьох основних факторів: якості листового матеріалу (вміст поживних речовин, Карбону, лігніну та ін.), кліматичних особливостей та педобіоти [5]. При цьому деструкція може лімітуватися як одним чинником, так і їх комплексом [6]. Основними кліматичними факторами, що впливають на процеси мінералізації є температура та вологість. При чому, наразі відсутня одностайна думка щодо ключового кліматичного чинника, що впливає на деструкцію лісової підстилки, як і відсутній уніфікований кліматичний індекс, що найкраще підходить для прогнозування швидкості розкладу підстилки.

Актуальність. Дослідження особливостей розкладу лісової підстилки перш за все актуальним для прогнозування функціонування циклів Карбону та поживних речовин у наземних екосистемах у контексті глобальних змін клімату [7]. Також, процеси деструкції лісової підстилки прямо впливають на вивільнення поллютантів, зокрема важких металів, що можуть в ній міститися. У результаті таких процесів стійкі форми металів перетворюються на лабільні форми – потенційне джерело забруднення довкілля [8]. Тому, розуміння особливостей протікання процесів накопичення та деструкції лісової підстилки є надзвичайно важливим елементом сталого лісового господарства, особливо в сучасних умовах, коли лісові екосистеми перебувають під значним антропогенним навантаженням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1777-р було схвалено важливий екологічний законодавчий нормативно-правовий акт – Державну стратегію управління лісами України до 2035 року [9]. Однією із стратегічних цілей якого є забезпечення екологічної стійкості лісів. Окремим елементом даного процесу виокремлено збільшення рівня поглинання та утримання вуглецю шляхом

сталого управління лісовими ресурсами та адаптації лісів до зміни клімату. Також, Стратегією передбачено розвиток наукових досліджень лісових екосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі сучасні дослідження деструкції лісової підстилки, орієнтовані на поглиблене дослідження факторів, що впливають на ці процеси, створення прогностичних моделей функціонування наземних екосистем в умовах кліматичних змін. Результати окремих досліджень показують, що експериментальне збільшення температури підвищує швидкість розкладу лісової підстилки та сприяє активному вивільненню з неї Na, K, Mg, P, N [10]. Значну увагу приділено функціонуванню циклів Карбону та Нітрогену та нутрієнтів та їх ролі у процесах мінералізації лісової підстилки [7]. Особливий інтерес становлять тропічні ліси, як унікальна екосистема зі специфічними кліматичними умовами – високою вологістю та температурою [11].

Окрему групу публікацій становлять дослідження стану лісової підстилки (у т.ч. і процесів мінералізації) в умовах антропогенного навантаження, зокрема аеротехногенного забруднення [12, 13, 14].

Сучасні українські дослідження даної сфери стосуються вивчення особливостей енергетичного запасу лісової підстилки, динаміки розкладу та накопичення в різних типах лісів, фракційного складу [15, 16, 17, 18].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою даної роботи є оцінка швидкості мінералізації целюлози у лісовій підстилці в умовах Голосіївського лісу Національного природного парку «Голосіївський» в залежності від мікрорельєфу та кліматичних умов.

Новизна. Вперше для території Голосіївського лісу НПП «Голосіївський» було оцінено швидкість мінералізації целюлози на ділянках з різним типом мікрорельєфу та оцінено зв'язок цього показника з кліматичними факторами.

Умови та методи проведення дослідження. Для дослідження динаміки мінералізації целюлози нами було обрано 3 модельні ділянки території Національного природного парку «Голосіївський» (м. Київ) (далі НПП «Голосіївський») з різним типом мікроформ рельєфу в період з січня по грудень 2018 року. Домінантами верхнього ярусу лісу є грабово-кленові та грабово-дубові насадження. Ґрунти території, що досліджувалася – сірі та світло-сірі [19].

Ділянка 1

Розташована на південному схилі яружно-сірої системи НПП «Голосіївський»

Координати: N 50°22'24.5", E 30°29'16.3"

Кут нахилу східного краю – 26°, західного краю – 32°, середній нахил – 29°.

Зімкненість крон: 70–80%.

I ярус: граб звичайний (*Carpinus betulus* L., 1753), клен гостролистий (*Acer platanoides* L., 1753) (70/30%).

Чагарниковий ярус: бузина чорна (*Sambucus nigra* L. 1753).

Трав'янистий ярус: щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, 1834), копитняк європейський (*Asarum europaeum* L., 1753), осока волосиста (*Carex pilosa* Scop., 1772)

Товщина підстилки протягом періоду спостережень складала від 1 до 6 см.

Ділянка 2

Розташована на відстані 20 м. від ділянки 1 на північному схилі яру.

Координати: 50°22'24.0"N, 30°29'15.7"E

Кут нахилу східного краю – 21°, західного краю – 33°, середній нахил – 27°.

Зімкненість крон: 75–85%.

Фітоценоз аналогічний ділянці 1.

Товщина підстилки протягом періоду спостережень складала від 2 до 7 см.

Ділянка 3

Розташована на плакорі яружної системи.

Координати: N 50°22'18.00", E 30°29'11.00".

Зімкненість крон: ≈ 90%.

Деревостан: граб звичайний (*Carpinus betulus* L., 1753), дуб звичайний (*Quercus robur* L., 1753).

Трав'янистий ярус: аналогічний ділянкам 1–2.

Швидкість мінералізації целюлози визначали методом аплікації незолоного фільтрувального паперу діаметром 150 мм. На обраних ділянках було закладено по 12 поліпропіленових сітчастих мішків з фільтрами між листяним та ферментативним шаром. Через 30–33 днів, їх змінювали на нові. Вийнятий фільтрувальний папір у мішках висушували протягом 2–3 діб при температурі 95 °С. Швидкість мінералізації целюлози розраховували у г/добу за формулою:

$$V = \frac{M_1 - M_2}{T}$$

де M_1 – маса паперу на момент закладання, г; M_2 – маса паперу, г; T – період часу, доба.

Зв'язок між сезонними змінами темпів розкладу на експериментальних ділянках з кліматичними умовами було оцінено використовуючи коефіцієнт аридності Де Мартонна (I_m) [20]. Він є одним з найперших індексів, що був введений для оцінки рівня аридності. Місячну величину I_m було розраховано за формулою:

$$I_m = \frac{12P}{t + 10}$$

де P і t це середньомісячна величина кількості опадів та температури повітря відповідно. Для оцінки I_m були використані відкриті дані Центральної геофізичної лабораторії імені Бориса Срезневського [21].

Математичну обробку результатів досліджень проводили з використанням програмного продукту

MS EXCEL-2010. Ступінь мінливості середнього арифметичного виражали як стандартне відхилення (SD). Кореляційний аналіз було проведено з використанням коефіцієнту кореляції Пірсона (r^2). Статистичну значимість відмінностей вибірових величин визначали за критерієм Стьюдента з рівнем статистичної значимості $p < 0,05$.

Виклад основного матеріалу. За даними Беякової, інтенсивність розкладання опадів підстилки тісно корелює з інтенсивністю мінералізації целюлози [22]. У ході проведення дослідження було виявлено, що для процесів розкладу целюлози у підстилці є характерними чіткі сезонні зміни.

Динаміку мінералізації целюлози у 2018 році в залежності від мікрорельєфу та коефіцієнту Де Мартонна представлено на графіках (рис. 1).

Згідно з проведеними розрахунками максимальний показник індексу аридності Де Мартонна був зафіксований у березні, мінімальний – квітні (120 та 4 відповідно). Це пов'язано майже великою кількістю опадів у перший місяць весни (81 мм – подвійна місячна норма опадів) та надзвичайно сухим квітнем (8 мм – 16% кліматичної норми).

Динаміка швидкості мінералізації целюлози на дослідних ділянках мала досить схожу тенденцію. Так, було виявлено, що для ділянки плакору найвища швидкість мінералізації целюлози була характерна для серпня і становила $0,011 \pm 0,001$ г/добу. Мінімальна швидкість була зафіксована у лютому та березні ($0,001 \pm 0,0007$ г/добу). Кореляційний зв'язок між динамікою розкладу та кліматичним індексом був слабким ($r^2 = 0,36$).

На південному схилі яру найвища швидкість мінералізації целюлози виявлена також у серпні – $0,021 \pm 0,0017$ г/добу. Найнижчий рівень був у лютому – $0,002 \pm 0,0007$ г/добу. Статистичне порівняння швидкості мінералізації та індексу Де Мартонна виявило середній позитивний зв'язок ($r^2 = 0,60$) між цими показниками.

Ділянка північного схилу яру характеризувалася максимальною швидкістю у серпні ($0,012 \pm 0,0017$ г/добу), мінімальною – у лютому-березні ($0,001 \pm 0,0004$ г/добу). Порівняння величини розкладання з кліматичним індексом показало слабкий зв'язок між показниками $r^2 = 0,20$.

Таким чином, було виявлено, що найбільша швидкість розкладу целюлози була характерна для літнього періоду. Максимальні показники розкладання були характерні для південного схилу (в літній період швидкість мінералізації дорівнювала $0,021$ г/добу).

Подібні результати були отримані і на ділянках Канівського природного заповідника [23]. Максимальні піки мінералізації були виявлені влітку, проте мінімальні весною та восени. Варто відзначити, що швидкість мінералізації целюлози була значно меншою (в окремі місяці у 2,5 р.) у порівнянні з дослідженнями проведеними на тери-

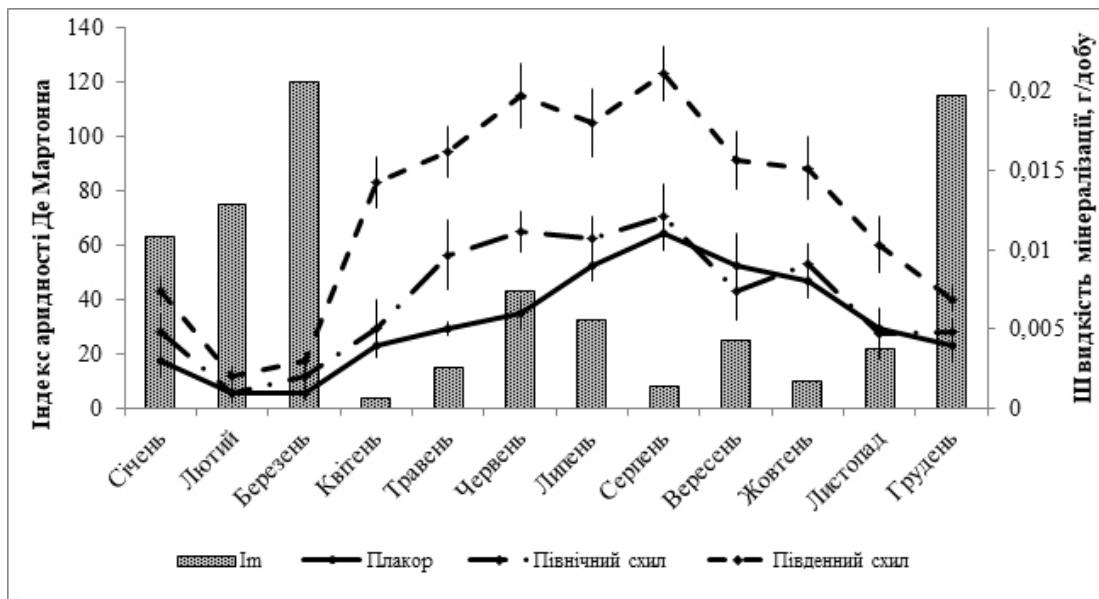


Рис. 1. Динаміка швидкості мінералізації целюлози у лісовій підстилці Голосіївського лісу протягом 2018 року на ділянках з різним типом мікрорельєфу у порівнянні з індексом аридності Де Мартона.

торії Канівського природного заповідника. Однією з гіпотез, що пояснює такі результати на ділянках НПП «Голосіївський» може бути порівняно вищий вміст поллютантів, зокрема важких металів. Досліджено, близькість джерел забруднення (наприклад промислових підприємств) сприяє збільшенню потужності лісової підстилки. Даний процес відбувається внаслідок різкого зниження інтенсивності деструкції целюлози й пригнічення діяльності мікробіоти ґрунту [24].

Відмінності середньорічної швидкості мінералізації целюлози на досліджених ділянках лісової екосистеми виявилися незначними. Цілком логічно, що найшвидше целюлоза руйнувалася в умовах південного схилу (0,012±0,001 г/доба). На ділянці північного схилу ця величина становила 0,007±0,001 г/доба. Найповільніше розклад відбувався в умовах плакору (0,005±0,0007 г/доба). Таким чином, на схилах процеси мінералізації підстилки будуть проходити значно швидше, ніж на рівнинній місцевості – плакорі. Загалом, сезонні зміни швидкості мінералізації целюлози сягали 11 кратних змін на всіх ділянках, що було досліджено. Порівняння характеру сезонного ходу швидкості мінералізації целюлози вказує на її подібність на ділянках 1–3 (коефіцієнт кореляції Пірсона коливався в діапазоні 0,90–0,63). У травні–серпні чітко прослідковується максимально швидкі процеси розкладу целюлози.

Також, було проведено кореляційний аналіз для статистичної оцінки залежності швидкості розкладу целюлози від кліматичних факторів. Нижче у таблиці представлено кореляція між швидкістю мінералізації целюлози на ділянках, що досліджува-

лися та окремо по середньомісячних величинах температури й місячної кількості опадів.

Таблиця 1
Коефіцієнт кореляції між кліматичними факторами (місячною кількістю опадів *P* та середньомісячною температурою *t*) та ділянками досліджень на різних формах мікрорельєфу

	<i>P</i>	<i>t</i>
Південний схил	0,001	0,90
Північний схил	0,014	0,80
Плакор	0,004	0,52

Для північного та південного схилу був виявлений сильний позитивний зв'язок між середньомісячними температурними показниками та швидкістю розкладу целюлози ($r^2=0,90$ та $r^2=0,80$ відповідно). Для плакору залежність була середньою ($r^2=0,52$). Варто відзначити, що коефіцієнт кореляції між місячною кількістю опадів та мінералізацією показує на незалежність цих двох процесів. Таким чином, в умовах грабової діброви НПП «Голосіївський» одним з ключових факторів, що визначає швидкість розкладу целюлози є саме температурні показники.

Подібні результати досліджень були отримані у дослідженнях кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та розкладом лісової підстилки у заказнику «Лісники» [15]. Було показано, що кількість суттєво не пливала на процеси деструкції, що пояснюється розташуванням ділянок на межі Лісової та Лісостепової зон, де кількість опадів не є визначальним чинником. Nobbie у своїй праці

теж визначає температуру основним фактором для визначення швидкості розкладання підстилки [25].

Проте результати досліджень динаміки мінералізації целюлози та її залежність гідротермічного коефіцієнту Селянінова на території Канівського природного заповідника вказують на наявність кореляційного зв'язку між цими величинами та безпосередню вплив кількості опадів на процеси розкладу [23].

Головні висновки. Лісова підстилка Голосіївського лісу ННП «Голосіївський» складається з чітко виражений двох шарів: верхнього (листяного) шару та нижнього (ферментативного) який формується з напіврозкладених залишків. Динаміка швидкості мінералізації целюлози у підстилці грабового лісу НПП «Голосіївський» змінювалась протягом сезону. Найбільша швидкість розкладу целюлози була харак-

терна для літнього періоду. Найвища швидкість мінералізації целюлози виявлена у серпні на ділянці південного схилу – $0,021 \pm 0,0017$ г/добу. Мінімальна швидкість була зафіксована у лютому та березні на ділянках північного схилу та плакору ($0,001 \pm 0,0007$ г/добу). Також, було виявлено залежність між типом мікроформи рельєфу та швидкістю мінералізації. Найбільший середньорічний показник рівня мінералізації спостерігався в умовах південного схилу ($0,012 \pm 0,001$ г/доба), найповільніше – в умовах плакору ($0,005 \pm 0,0007$ г/доба). Дослідження залежності кліматичного фактору показало сильну залежність між швидкістю мінералізацією целюлози та середньомісячною температурою на ділянках північного та південного схилу та середню залежність на ділянці плакору ($r^2=0,90$, $r^2=0,80$ та $r^2=0,52$ відповідно).

Література

1. Berg B. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils: a mini review. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1986. 1. P. 359–369.
2. Cornwell et al. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters*. 2008. 11(10). P. 1065–1071. DOI:10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x
3. Schaefer M., Schauermann J. Soil Fauna. *Functioning and Management of European Beech Ecosystems*. R. Brumme, P.K. Khanna. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. P. 93–102. DOI: https://doi.org/10.1007/b82392_8
4. Vitousek P.M., Sanford R.L.Jr. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. 1986. 17(1). P. 137–167. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.17.1.137
5. Aerts R. Climate, Leaf Litter Chemistry and Leaf Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: A Triangular Relationship. *Oikos*. 1997. 79. P. 439–449.
6. Swift M., Heal O., Anderson J. Decomposition in terrestrial ecosystem. Oxford: Black well Scientific Publications, 1979. 372 p.
7. Cheng X.L. et al. Experimental warming and clipping altered litter carbon and nitrogen dynamics in a tall grass prairie. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2010. Vol. 138. P. 206–213. DOI: 10.1016/j.agee.2010.04.019
8. Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. Dynamics of Cu, Mn, Ni, Sr and Zn release during decomposition of four types of litter in headwater riparian forests in northern Poland. *Forest Research Papers*. 2014. 75(2). P. 193–200.
9. Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1777-р / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-%D1%80#n10>
10. Liu, J., Liu, S., Li, Y. et al. Warming effects on the decomposition of two litter species in model subtropical forests. *Plant Soil*. 2017. 420. P. 277–287.
11. Chakravarty S. et al. Litter production and decomposition in Tropical forest. Handbook of research on the conservation and restoration of tropical dry forests / R. Bhadouria, S. Tripathi, P. Srivastava, P. Singh. IGI Global Publisher, India, 2019. P. 193–212.
12. Ferreira V., Koricheva J., Duarte S., Niyog D., Guerold F. Effects of anthropogenic heavy metal contamination on litter decomposition in streams: a meta-analysis. *Environmental Pollution*. 2016. 210. P. 261–270.
13. Yue K., Yang W., Tan B., Peng Y. Immobilization of heavy metals during aquatic and terrestrial litter decomposition in an alpine forest. *Chemosphere*. 2018. 216. P. 419–427.
14. Zhenchuan N., Zhang X., Wang Z. Mercury in leaf litter in typical suburban and urban broadleaf forests in China. *Journal of Environmental Sciences*. 2011. 23(12). P. 2042–2048.
15. Соколенко У.М., Дідух Я.П., Расевич В.В., Гаврилов С.О. Сезонна динаміка лісової підстилки та її зв'язок з показниками кліматичних факторів (на прикладі заказника «Лісники», Київ). *Науковий вісник НТЛУ України*. 2014. Вип. 24.3. С. 49–56.
16. Вишневська І.Г., Гінжалюк А.І. Вплив кліматичних факторів на енергетичний потенціал лісової підстилки широколистяного фітоценозу. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія*. 2021. Том 4. С. 32–36.
17. Жицька Н., Ханенко О. Трансформація органічної речовини в підстилках листяних насаджень Черкаського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2011. 58. С. 42–44.
18. Лукашов Д.В., Левченко І.В. Сезонні зміни структури підстилки грабової діброви Канівського природного заповідника. *Заповідна справа*. 2015. Том 21, вип. 1. С. 61–65.
19. Онищенко В.А., Прядко О.І., Вірченко В.М. Судинні рослини і мохоподібні національного природного парку «Голосіївський». Київ: Альтпрес, 2016. 94 с.
20. De Martonne E. Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *La Meteorologie*. 1926. P. 449–458.
21. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Архів новин. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/> (дата звернення: 05.06.2022).
22. Белякова О.И. Многолетняя динамика разложения растительного опада в основных экосистемах Центральной лесостепи: автореф. дисс. канд. биол. наук: спец. 03.00.16. Воронеж, 2001. 21 с.
23. Levchenko I.V., Lukashov D.V. Influence of climatic conditions on the cellulose decomposition rate in hornbeam oak wood litter of Kaniv Natural Reserve. *Заповідна справа*. 2016. Вип. 1. С. 35–42.
24. McEnroe N.A., Helmisaari H.S. Decomposition of coniferous forest litter along a heavy metal pollution gradient, south-west Finland. *Environ Pollut.* 2001. 113(1). P. 11–8. DOI: 10.1016/s0269-7491(00)00163-9
25. Hobbie S.E. Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra. *Ecol. Monogr.* 1996. 66. P. 503–522.