

УДК 631.417.1+630*114.35

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.10>

С. Распопіна, д-р с.-г. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: s_raspopina@ukr.net,Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва,
п/в "Докучаєвське-2", Харківська обл., 62483, Україна

ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ У БЛОЦІ "ПІДСТИЛКА – ҐРУНТ" СОСНОВОЇ ЕКОСИСТЕМИ ПОЛІСЬКОГО РЕГІОНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим)

Показано результати досліджень вмісту та запасів органічного карбону у блоці "підстилка – ґрунт" соснових екосистем Житомирського та Чернігівського Полісся. Лісові екосистеми є важливими стабілізаторами циклу карбону і накопичувачами значних його запасів. Компоненти лісової екосистеми, пов'язані між собою потоками енергії й речовин. Зв'язування CO_2 у блоці "рослина-ґрунт" з подальшим перетворенням карбону в нерозчинні гумусові сполуки має особливе значення. У соснових місцезростаннях регіону досліджень найпоширенішими є дерново-слабо- і середньопідзолисті ґрунти на флювіогляціальних пісках, які належать до категорії староорних. Також представлені торф'яно-болотні ґрунти. Показано, що процес гумусоагромадження характеризується низькою інтенсивністю, що обумовлено комплексом причин, зокрема піщаною гранулометриєю дерново-підзолистих ґрунтів (вміст часток $< 0,01$ мм – 7,5 %). Потужність їхнього органопрофілю становить 18 см. Середній вміст гумусу – 0,97 %, а запаси – 28,3 т/га в шарі 20 см. Аналогічні показники карбону – 0,56 % і 16,4 т/га відповідно. Органічна речовина дерново-підзолистих ґрунтів досліджених місцезростань є стійкою до мінералізації й на доволі тривалій час вилучається з кругообігу речовин соснової екосистеми. Середній вміст карбону в гідроморфних органічних ґрунтах збільшується до 18,1 %, а його запаси – до 168,9 т/га. Здатність до мінералізації торф'яних ґрунтів нижча за дерново-підзолисті. Запаси соснової підстилки в середньому становлять 30–33 т/га, а запаси карбону – 12,6 т/га за доволі стабільного його вмісту – 40 %. Загальні запаси карбону у блоці "підстилка – ґрунт" типової соснової екосистеми Полісся становлять у середньому 29 т/га, при цьому основна їхня частина акумулюється в ґрунті. З огляду на те, що на неродючих ґрунтах Полісся формуються високопродуктивні соснові ліси, їхнє заліснення не тільки зупинить інтенсивну деградацію ґрунтів України, а й сприятиме збільшенню депонування парникових газів, тим самим привнесе певну частку в пом'якшення змін клімату на регіональному рівні.

Ключові слова: дерново-підзолистий ґрунт, підстилка, сосна звичайна, гумус, вуглець, мінералізація органічної речовини.

Постановка проблеми. Однією з найнебезпечніших екологічних проблем людства, на думку вчених, є глобальне та стрімке потепління клімату, спричинене антропогенними викидами в атмосферу парникових газів, насамперед CO_2 , а також SO_2 , NO_2 , CH_4 тощо. При цьому, якщо загальний баланс CO_2 у біосфері від природних процесів суттєво не змінюється, то його привнесення в атмосферу від антропогенних джерел невинно зростає, що в комплексі зі скороченням фотосинтезуючої площі через масові вирубки лісів, лісові пожежі, переведення зайнятих лісом територій в агроценози, призводить до так званого "парникового ефекту". Діяльність у лісовому секторі розглядається одним із дієвих інструментів для регулювання та пом'якшення змін клімату. Міжурядовою групою експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) запропоновано концептуальні та методичні підходи, якими слід керуватися під час оцінювання резервуарів і джерел емісії парникових газів у лісовому господарстві (*Greenhouse gas inventory workbook*, 1995). Одним з основних резервуарів карбону в лісовій екосистемі є ґрунт і підстилка.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Парниковий ефект утворюється внаслідок генерування парниковими газами теплової енергії шляхом повторної акумуляції інфрачервоного випромінювання з поверхні Землі (реабсорбція) та його часткового повернення в нижні шари атмосфери. Поточні оцінки показують, що протягом 2000–2030 рр. антропогенна емісія парникових газів зростає в межах від 25 до 90 % (*Climate-Smart Agriculture Sourcebook*, 2013; *Стратегія розвитку України...*, 2015). У поглинанні парникових газів, зокрема оксидів карбону та загалом у глобальному циклі карбону, лісові екосистеми, поряд із планктоном морів та океанів, виконують роль планетарного масштабу, накопичуючи близько половини його світових запасів. Так, тропічні ліси поглинають від 1,4 до 2,2 млрд т CO_2 (*Shimmel*, 2014). Щодо України, то, наприклад, ліси Українських Карпат, де зосереджено 22 % її лісового фонду, поглинають щорічно 14 т/га CO_2 і виділяють 8 т/га O_2 (*Протопопов*, 1975). Нині в Україні та загалом у світі до-

слідження балансу карбону в лісових екосистемах є особливо актуальними (*Букша та Пастернак*, 2005; *Букша та ін.*, 2012; *Noormets et al.*, 2007; *Shvidenko et al.*, 2008; *Лакида та ін.*, 2010; *Замолодчиков и др.*, 2014; *Le Quééré et al.*, 2016; *Lesiv et al.*, 2019; *Малышева и др.*, 2017). Загалом лісові екосистеми є важливим посередником між змінними потоками сонячної енергії й води, стабілізаторами циклу карбону, його нагромаджувачами і являють собою систему резервуарів, пов'язаних між собою відповідними потоками. Особливе значення має зв'язування CO_2 у блоці рослина – ґрунт з наступною трансформацією карбону в малорозчинні гумусові сполуки.

Участь ґрунтів у процесі передачі та стабілізації акумульованої сонячної енергії та речовин атмосфери в надра Землі вивчена недостатньо, хоч реальність цієї участі не викликає сумнівів. Так, якщо порівняти час перебування карбону в різних резервуарах геосфери, то, за розрахунками вчених, в атмосфері він становить 4 роки, біоті суші – 15, біоті океану – 0,04, а в ґрунті – 30 років (*Савенко і Самсонов*, 2017). При цьому близько 85–90 % запасів ґрунтового карбону зосереджено в гумусі – органічній речовині високого ступеня стійкості до розкладу, що є дуже важливим з точки зору його тривалого депонування та виведення з кругообігу речовин. За стійкістю до трансформації та періодом мінералізації органічної речовини ґрунтовими мікроорганізмами її поділяють на біологічно активний (лабільний, швидкий), повільний (проміжний) і пасивний (стабільний, інертний) пули (*Козут*, 2003). Час обігу органічних компонентів активного пулу оцінюють від декількох годин до 3–10 років, повільного – від 10 до 100 років, а пасивного – від 100 років до декількох тисячоліть. Загалом період оновлення гумусу верхніх горизонтів чорноземів становить 500–750 років, сірого лісового ґрунту – 280, а дерново-підзолистого – 50–75 років (*Ковда*, 1985; *Багаутдинов*, 1994). Загальна маса карбону, закріпленого у формі детриту і гумусу в сучасній педосфері, становить $2 \cdot 10^{12}$ т – це майже утричі більше, ніж в атмосфері та в чотири рази, ніж у біомасі надземної рослинності (*Базилевич*, 1979; *Глазовская*, 1996).

Значна частина запасів карбону зосереджена в лісах України, які розташовані дуже нерівномірно та переважно сконцентровані в Поліссі (рівень його лісистості – 26,8 %) і Карпатах (42 %) (*Лісове господарство України, 2018*). Зважаючи на те, що ліси є основними поглиначами CO₂ та посередниками між змінними потоками сонячної енергії й води на суходолі, особливо важливо оцінити пул карбону в лісових ґрунтах Полісся, які утворюють оптимальні умови для формування високопродуктивних лісів. Зауважимо, що ґрунт як резервуар карбону в лісовій екосистемі розглядається у комплексі з фітотритом, зокрема лісовою підстилкою.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Київським протоколом для розвинених країн і країн з перехідною економікою встановлено обов'язки щодо зниження викидів парникових газів. Україна є стороною Київського протоколу, який було ратифіковано в лютому 2004 р. Сфера його діяльності також охоплює моніторинг і прогнозування обсягів емісій та депонування карбону в секторі природокористування, зокрема лісового господарства. Складання інформативної бази даних щодо запасів карбону в різних компонентах лісової екосистеми на регіональному та національному рівнях є одним із пріоритетних завдань, оскільки ці дані є основними розрахунковими елементами, які використовуються під час складання національної звітності України, регламентованої вимогами МГЕЗК. Не зважаючи на численні дослідження з вивчення балансу карбону, які проводяться в Україні, для складання зазначеної звітності особливо бракує фактичних первинних даних щодо запасів органічної речовини, акумульованої в едафотопі лісових екосистем.

Мета дослідження полягала у визначенні вмісту і запасів органічного карбону у біомасі "підстилка – ґрунт" соснових екосистем Поліського регіону (на прикладі Житомирського та Чернігівського Полісся), а також потенційної здатності їхньої органічної речовини до мінералізації.

Основні результати дослідження. Дослідження проводили на землях державних підприємств (ДП) Житомирського обласного управління лісового та мисливського господарства (ОУЛМГ) (ДП "Малинське лісове господарство (ЛГ)"; ДП "Житомирське ЛГ"; ДП "Лугинське ЛГ" та Чернігівського ОУЛМГ (ДП "Корюківське ЛМГ"; ДП "Холминське ЛМГ"; ДП "Городнянське ЛМГ"; ДП "Семенівське ЛМГ"). В основу досліджень покладено базові положення лісової типології, лісівництва і ґрунтознавства. Дослідженнями було охоплено характерні соснові місцезростання, які представлені свіжими боровими (A₂) та свіжими субборовими (B₂) типами лісорослинних умов (ТЛУ), а також березові та чорновільхові місцезростання вологих і сирих субборових і сугрудових типів. На закладених пробних площах визначали запаси лісових

підстилок (ваговим методом) і проводили обстеження ґрунтового покриву з відбором зразків для аналізу. Аналітичні дослідження (щільність складення ґрунту на суху масу, вміст карбону в ґрунтах і лісових підстилках) проводили за загальноприйнятими методиками (ДСТУ ISO 11508:2005; ДСТУ 4289:2004). Запаси С органічних сполук розраховували для верхньої 20-сантиметрової товщі ґрунту, яка характеризується максимальною акумуляцією рухомого та стабільного карбону. Аналіз та узагальнення результатів проводили із застосуванням методів математичної статистики.

ґрунтового покриву дослідженого регіону сформувався під наметом хвойних (здебільшого соснових) лісів з підліском з листяних порід і чагарників і трав'яно-моховим надґрунтовым покриттям, а також під наметом мішаних хвойно-листяних і похідних листяних лісів з трав'яним покривом. Деревостани переважно представлені чистими одноярусними середньовіковими насадженнями сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), у підрості подекуди зустрічаються береза повисла (*Betula pendula* Roth.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.) та осика (*Populus tremula* L.), у підліску – крушина ламка (*Frangula alnus* Mill.), бузина червона (*Sambucus racemosa* L.), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.). Згідно з даними лісовпорядкування площа хвойних лісів у Чернігівському Поліссі становить 217 514 га, Житомирському – 395 987 га, серед яких абсолютно домінують соснові насадження – 98,3 та 98,8 % відповідно. Сосна характеризується високою продуктивністю – загальна частка деревостанів II та вищих класів бонітету становить 90 % (рис. 1, а). Серед високопродуктивних, переважають деревостани I класу бонітету – 42 %, частка сосняків I^a класу – 28 %, II – 20 % (рис. 1, б).

ґрунтового обстеження показало, що в зоні досліджень Житомирського та Чернігівського Полісся здебільшого поширені дерново-слабо- та середньопідзолисті глеюваті ґрунти на псевдофібрових флювіогляціальних пісках. У минулому ці ґрунти здебільшого використовували ву ріллі, отже, вони належать до категорії староорних. Зустрічаються також дернові, сірі лісові та торф'яно-болотні (мулуватоглейові, торф'яно-глейові, торф'яні) ґрунти.

Профіль досліджених автоморфних дерново-підзолистих ґрунтів має такий вигляд. Під підстилкою залягає гумусовий горизонт (He, HE), який подекуди, унаслідок колишнього використання ґрунтів у ріллі, характеризується специфічною морфологією. Так, навіть після 45–60-річного зростання лісової рослинності, на глибині 20–30 см діагностується похований орний шар. Він виглядає як нерівномірно гумусований суцільний прошарок потужністю 10–20 см або ж має рвано-плямисту форму, унаслідок чого нижня межа He (HE) горизонту є асиметричною та дещо розтягнутою.

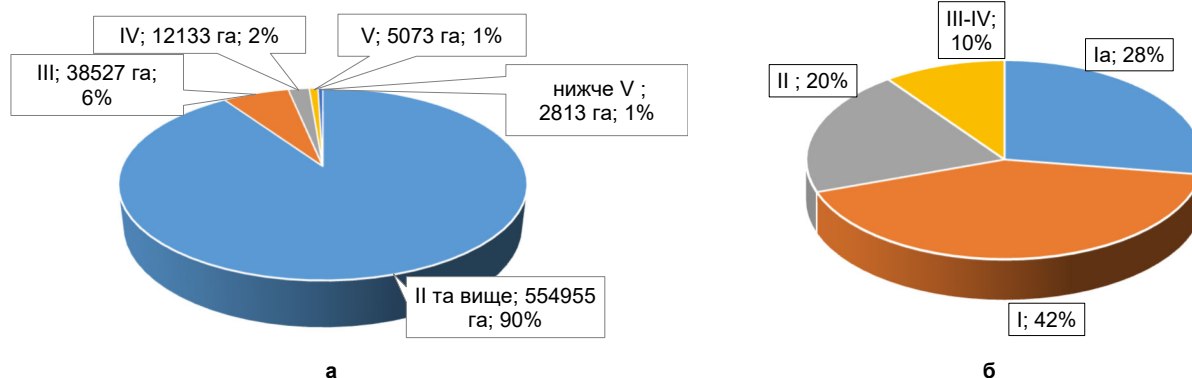


Рис. 1. Абсолютний та відносний розподіли площі соснових деревостанів за класами бонітету (а), а також у межах високопродуктивних деревостанів (I^a, I, II класи) (б) в умовах Чернігівського та Житомирського Полісся

Загальна потужність органографію варіює в межах від 3 до 35 см за його середнього значення $18 \pm 1,3$ см, тобто ґрунти за цією ознакою класифікуються як середньопотужні. Найбільш поширені ґрунти – з потужністю 11–15 см та 16–20 см, їхні частки становлять 40 та 24 % відповідно (від загальної кількості закладених ґрунтових профілів), а найменш – 35–40 см і до 5 см (їхні частки по 1 %), а також 31–35 см (5 %).

Процес гумусонагромадження у досліджених дерново-підзолистих ґрунтах характеризується вкрай невисокою інтенсивністю, що насамперед пояснюється їхнім

легким гранулометричним складом і безкарбонатністю, переважанням хвойної рослинності та промивним типом водного режиму. У гранулометричному складі домінує фракція дрібнозернистого піску – $57,9 \pm 3,2$ %, доволі значну частку займає крупний пісок – $29,8 \pm 3,4$ %, а сума часток $< 0,01$ мм (фізична глина) в органографії становить лише $7,5 \pm 0,4$ %, ($n = 132$). Вміст глинистих часток значною мірою впливає на такі показники гумусного стану, як гумусованість і потужність органографії (пряма кореляція середнього рівня, $t_{05} = 6,45$, $n = 89$) (рис. 2).

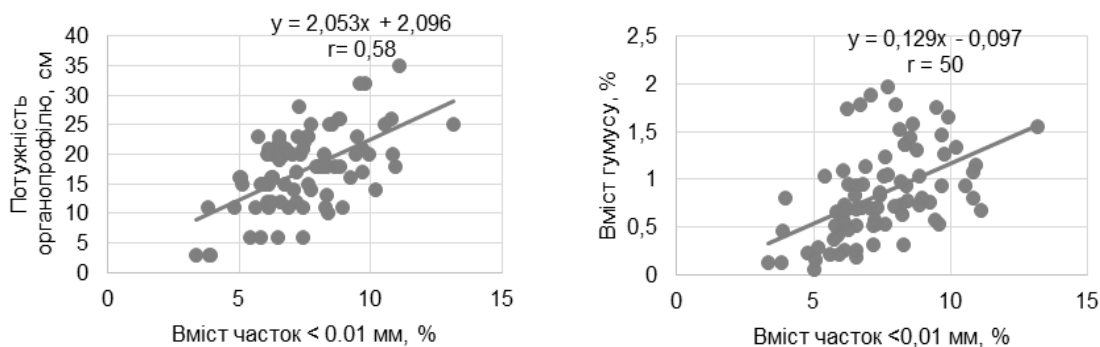


Рис. 2. Залежність деяких показників гумусного стану автоморфних дерново-підзолистих ґрунтів від вмісту часток $< 0,01$ мм в умовах Чернігівського та Житомирського Полісся

Профільний розподіл гумусу є таким, що різко зменшується з глибиною – у середньому від 1,40 % у He-горизонті до 0,01 у P₁h. Середній вміст гумусу в 20-сантиметровому шарі становить $0,97 \pm 0,10$ % ($n=89$), запаси – 28,3 т/га, а карбону 0,56 % та 16,4 т/га відповідно. Такий вміст гумусу характеризується як "дуже малий", а його запаси – "дуже низькі", тобто ці рівні ознак займають найнижчі щаблі в Системі показників гумусного стану ґрунтів (Орлов і др., 2004). Дуже важливим показником гумусного стану ґрунтів є збагачення гумусу на Нітроген, про яке свідчить співвідношення C : N. За цим показником оцінюють ступінь лабільності органічної речовини ґрунту. Середній вміст N у досліджених ґрунтах становить $0,04 \pm 0,005$ %, відповідно величина співвідношення C : N дорівнює 15,5 од. Отже, органічна речовина дуже збіднена на Нітроген, що, у свою чергу, свідчить про високу стійкість гумусу досліджених дерново-підзолистих ґрунтів до мінералізації та відповідно довготривалий стік карбону в соснових екосистемах Українського Полісся.

Потенційним джерелом гумусових речовин в лісовій екосистемі є органічна речовина всіх її складових, водночас найбільшою мірою у процес гуміфікації втягується рослинний опад, який трансформується в лісову підстилку. На поверхні ґрунту соснового лісу представлена підстилка, що складається із трьох підгоризонтів: лісовий нерозкладений опад (L; A₀¹); шар ферментації (F; A₀²) та гуміфікації (H; A₀³). На обстежених ділянках її потужність залежно від повноти деревостану, мікрорельєфу та внутрішньої парцелярної неоднорідності лісових ділянок варіює від 1 до 9 см та в середньому становить 4 см ($V = 16,7$ %, $\Delta x = 6,3$ %). Отже, лісова підстилка класифікується як середньопотужна (Орлов і др., 2004).

Загалом, якщо прийняти, що лісівничо-таксаційні характеристики соснового деревостану та клімато-едафічні умови, у яких відбувається розкладання фітодетриту у сосновому лісі однакові, то питома швидкість його розкладання залежить від біохімічного складу органічного матеріалу. За нашим оцінюванням, у вищезазначених свіжих борових та суборових типах соснових місцезростань дослідженої частини Полісся запаси підстилки є більш-менш подібними та коливаються в межах 30–33 т/га, а

вміст карбону становить $40 \pm 1,4$ %, відповідно його запаси у середньому становлять 12,6 т/га. Зважаючи на те, що вміст C у сосновій підстилці характеризується незначним варіюванням, його запаси більшою мірою залежать від запасів фітодетриту, ніж від його вмісту.

Загальні дані хімічного аналізу лісової підстилки свідчать про те, що з переходом від її верхнього (L) до нижнього (H) гуміфіційованого підгоризонту зменшується вміст органічних сполук, які входять до складу рослинних залишків (геміцелюлози, клітковини, лігніну), тоді як збільшується вміст специфічних ґрунтових органічних сполук гумусової природи (гумінові (ГК) та фульвокислоти (ФК), нерозчинний залишок). Центрами інтенсивної сучасної гуміфікації є зона переходу від нижніх підгоризонтів підстилки до мінеральних горизонтів органографії, оскільки саме тут зосереджений максимальний вміст гумінових кислот і найбільше значення співвідношення $C_{гк} : C_{фк}$ (Сапожникова, 2000; Ведрова, 2005).

Згідно з літературними даними основна частина (80–90 %) органічної речовини підстилок мінералізується до CO₂ і повертається в атмосферу, а решта (10–20 %) трансформується в гумусові речовини (Mukhortova, 2005; Ведрова і др., 2018). Водночас, незважаючи на те, що мінералізація фітодетриту супроводжується синтезом гумусових речовин, до цього часу остаточно не визначено, яка саме частка карбону підстилки задіяна в процесі гумусоутворення. Це обумовлено низкою причин, зокрема участю багатьох компонентів у цьому процесі, диференціювання яких у натурі являють собою значні складнощі. Класиками лісового ґрунтознавства визначено, що між запасами опадів, підстилки та вмістом гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах ялиників південної тайги в межах одного типу лісу існують дуже тісні кореляційні зв'язки ($r = 0,90 \pm 0,03$) (Карпачевський, 1981). За останніми дослідженнями, новоутворення гумусових речовин становить лише близько 1 % від загальної маси органічної речовини підстилки, яка бере участь у процесі розкладання (Ведрова і др., 2018).

Характерною особливістю підстилки соснових насаджень є вкрай незначна збагаченість на зольні елементи та Нітроген. Це обумовлено оліготрофністю сосни зви-

чайної, яка здебільшого зростає на найбідніших кварцових пісках. Так, серед основних поживних елементів найбільший вміст характерний для N, концентрація якого коливається в межах від 0,84 до 1,11 %, а середнє значення становить 0,95 %. Найменшу концентрацію – 0,076 % зафіксовано для фосфору за дуже незначного діапазону значень – від 0,07 до 0,09 %. Вміст калію займає проміжне положення між нітрогеном і фосфором – його середня концентрація становить 0,11 % за амплітуди від 0,1 до 0,13 %. Для соснових підстилок також характерний підвищений вміст сполук, які важко

гідролізуються, що разом із низькою збагаченістю органічної речовини на нітроген ($C : N = 42$ од.) обумовлює дуже повільну їхню трансформацію.

Таким чином, зважаючи на вказані вище запаси карбону в дерново-підзолистих ґрунтах, його загальні запаси у блоці "лісова підстилка – ґрунт" типової соснової екосистеми Житомирського та Чернігівського Полісся у середньому становлять 29 т/га (рис. 3). При цьому частка запасів C у ґрунті, навіть за умов дуже низького вмісту глинистих часток, яке має місце в ґрунтах борових місцезростань, є вищою за підстилку.

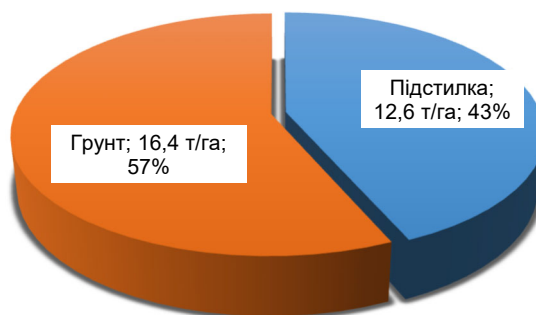


Рис. 3. Запаси (т/га) та частки (%) C у блоці "лісова підстилка – ґрунт" соснової екосистеми в умовах Чернігівського та Житомирського Полісся (ТЛУ A₂, B₂)

Комплекс природних умов Українського Полісся (доволі вологий клімат, слабокислотна рівнинна і низовинна поверхня) обумовлює високий рівень ґрунтових вод і формування різних комбінацій гідроморфних (мінеральних та органічних) ґрунтів у вологих і сухих типах суборевих і сугрудових місцезростань під березовими та чорновільховими деревостанами. Вміст карбону органічних сполук у гідроморфних ґрунтах (торф'яно-глеєвих, торф'яно-болотних) є вищим у рази та навіть десятки разів за автоморфні. Так, якщо загальний середній вміст C в органопротилі дерново-підзолистих ґрунтів зони досліджень становить 0,56 %, то в органічних підвищується до 18,1 %, що обумовлює збільшення запасів карбону до 168,9 т/га. Такий його вміст відповідає високому рівню (Орлов та ін., 2004). Зазначимо значне варіювання вмісту C у досліджених гідроморфних ґрунтах – від 0,1 до 38,4 %, водночас його загальні запаси залишаються високими і варіюють у межах від середнього (119,5 т C/га) до дуже високого рівня (248,4 т C/га). Зауважимо, що здатність до мінералізації торф'яних ґрунтів нижча, ніж дерново-підзолистих унаслідок незначної кількості в загальному складі їхньої органічної речовини тієї частки карбону, яка найближчим часом піддається мінералізації (1,7 %). Отже, торфові ґрунти характеризуються високою карбон-секвеструючою ємністю.

Одним із стратегічних завдань лісового господарства України на найближчу перспективу є збільшення лісистості території держави до оптимального рівня (20 %), яке досягається насамперед шляхом розширення робіт з лісорозведення, про що зазначено в "Стратегії реформування лісового господарства України на період до 2022 року". Для цього необхідно додатково залісити щонайменше 2 млн га земель. Залісненню в першу чергу підлягають різні види малопродуктивних і деградованих земель. Дані, наведені у статті, свідчать, що на староорних дерново-підзолистих піщаних ґрунтах (які характеризуються дуже низьким рівнем родючості для абсолютної більшості сільськогосподарських культур) формуються високопродуктивні соснові ліси. Трансформація цих земель у лісові екосистеми сприятиме не тільки призупиненню інтенсивних деградаційних процесів, якими охоплена значна територія України, а й зростанню обсягів

депонування парникових газів, тим самим привнесе певну частку в пом'якшення змін клімату на регіональному рівні. Зауважимо, що саме в молодому віці лісові насадження є найбільш активними поглиначами CO₂. За загальними оцінками, у дерново-підзолистих слабогумусованих ґрунтах в екосистемі ялинового лісу (після лісовідновлення на землях колишнього сільськогосподарського користування) запаси карбону зростають із 30–40 т/га на стадіях ріллі або сінокошу до 150–230 т/га на стадії стиглого лісу (Чалай, 2012).

Висновки. Проведені дослідження дозволили встановити вміст і запаси органічного карбону у блоці "підстилка – ґрунт" типової соснової екосистеми, а також потенційну здатність їхньої органічної речовини до мінералізації в умовах Чернігівського та Житомирського Полісся.

У свіжих борових і суборевих умовах Житомирського та Чернігівського Полісся здебільшого поширено дерново-слабопідзолисті ґрунти на псевдофібрових флювіогляціальних пісках і дерново-середньопідзолисті глеюваті на піщаних відкладах. Профільний розподіл гумусу є таким, що різко зменшується з глибиною, середній його вміст у 20-сантиметровому шарі характеризується як "дуже малий" – 0,97 %, а запаси "дуже низькі" – 28,3 т/га. Аналогічні показники карбону становлять 0,56 % та 16,4 т/га відповідно. Органічна речовина автоморфних дерново-підзолистих ґрунтів соснових місцезростань є доволі стійкою до мінералізації та на тривалий час вилучається з кругообігу речовин соснової екосистеми. Показники їхнього гумусового стану – гумусованість і потужність органопротилі значною мірою визначаються вмістом часток фізичної глини.

У гідроморфних ґрунтах вологих і сухих типів суборевих і сугрудових березових і чорновільхових місцезростань середній вміст карбону підвищується до 18,1 %, а його запаси до 168,9 т/га. Здатність до мінералізації торф'яних ґрунтів нижча, ніж дерново-підзолистих унаслідок незначної кількості в загальному складі їхньої органічної речовини тієї частки карбону, яка найшвидше піддається мінералізації. Отже, торфові ґрунти мають високу карбон-секвеструючу ємність.

Підстилка досліджених соснових місцезростань характеризується середньою потужністю – 4 см та доволі

стабільним вмістом карбону – 40 %. Її запаси в середньому варіюють у межах 30–33 т/га, а запаси карбону становлять 12,6 т/га. Такі властивості соснової підстилки, як збагаченість на сполуки, що важко гідролізуються, а також бідність на Нітроген сприяють повільній їхній трансформації. Отже, загальні запаси карбону у блоці "підстилка – ґрунт" типової соснової екосистеми Житомирського та Чернігівського Полісся в середньому становлять 29 т/га, при цьому основна їхня частина акумулюється в ґрунті.

На староорних неродючих піщаних ґрунтах Поліського регіону формуються високопродуктивні соснові ліси (частка деревостанів II та вищих класів бонітету становить 90 %). Заліснення малопродуктивних і деградованих ґрунтів сприятиме не тільки призупиненню інтенсивних деградаційних процесів, якими охоплена значна територія України, а й зростанню обсягів депонування парникових газів, тим самим привнесе певну частку в пом'якшення змін клімату на регіональному рівні.

Список використаних джерел

- Багаутдинов, Ф.Я. (1994). Обновление компонентов гумуса серой лесной почвы и чернозема типичного при длительной гумификации меченых по углероду растительных остатков. *Почвоведение*, 2, 50–56.
- Базилевич, Н.И. (1979). Продуктивность, биогеохимия современной биосферы и функциональные модели экосистем. *Почвоведение*, 2, 5–21.
- Букша, І.Ф., Пастернак, В.П. (2005). Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві. Харків Вид-во ХНАУ.
- Букша, І.Ф., Распопина, С.П., Пастернак, В.П. (2012). Запаси органічного вуглецю у ґрунтах та підстилці на ділянках моніторингу лісів. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 120, 106–112.
- Ведрова, Э.Ф. (2005). Деструкционные процессы в углеродном цикле лесных экосистем Енисейского меридиана. *Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16*. Красноярск.
- Ведрова, Э.Ф., Мухортובה, Л.В., Метелева, Л.К. (2018). Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах. *Лесоведение*, 1, 24–36. doi.org/10.7868/S0024114818010023
- Глазовская, М.А. (1996). Роль и функции педосферы в геохимических циклах углерода. *Почвоведение*, 2, 174–186.
- ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. (2005). К.: Держспоживстандарт України.
- ДСТУ ISO 11508:2005. Якість ґрунту. Визначання щільності частинок. (2005). К.: Держспоживстандарт України.
- Замолотчиков, Д.Г., Грабовский, В.И., Курц, В.А. (2014). Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее и будущее. *Устойчивое лесопользование*, 2, 23–31.
- Карпачевский, Л.О. (1982). Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность.
- Ковда, В.А. (1985). Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука.
- Когут, Б.М. (2003). Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах. *Почвоведение*, 2003, 308–316.
- Лакида, П.И., Василишин, Р.Д., Василишин, О.М. (2010). Надземна фітомаса та вуглецево-енергетичний потенціал ялицевих деревостанів Українських Карпат. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гавришенко В.М.
- Лісове господарство України (2018). Отримано з: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/archive/docview?typeld=118551>
- Малышева, Н.В., Моисеев, Б.Н., Филичук, А.Н., Золина, Т.А. (2017). Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода. *Лесной вестник*, 21(1), 4–13. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>.
- Орлов, Д.С., Бирюкова, О.Н., Розанова, М.С. (2004). Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов. *Почвоведение*, 8, 918–926.
- Протопопов, В.В. (1975). Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука.
- Савенко, В.С., Самсонов, А.Л. (2017). Новый механизм поглощения углерода. Отслеживание missing sink. Моделирование коэволюции природы и общества: проблемы и опыт. К 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Моисеева (Моисеев-100). *Труды Всерос. научн. конф. Отв. ред. И.Г. Поспелов*. М.: ФИЦ ИУ РАН, 370–382.
- Сапожникова, В.А. (2000). Особенности трансформации органического вещества в почвах сосновых биогеоценозов при различных экологических условиях. *Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16*. Москва.
- Стратегія реформування лісового господарства України на період до 2022 року. (2015). Отримано з: www.radakmu.org.ua/uk/news_and_report/1079.html.
- Чалая, Т.А. (2012). Запасы углерода в почвах и растительности постагрогенных ландшафтов Южной Тайги. *Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16*. Москва.
- Climate-Smart Agriculture Sourcebook – Module 1: Why Climate-Smart Agriculture, Fisheries and Forestry. (2013). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf>.

Greenhouse gas inventory workbook. (1995). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory* 1, 2, 3, 153, 189, 170.

Le Quéré, C., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Sitch, S., Korsbakken, J.I. et al. (2016). Global Carbon Budget. *Earth System Science Data*, 8, 605–649. <https://doi.org/10.5194/essd-8-605-2016>

Lesiv, M., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., See, L., Fritz, S. (2019). A spatial assessment of forest carbon budget for Ukraine. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 6, 985–1006. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y>

Marschner, B., Kalbitz, K. (2008). Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. *European Journal of Soil Science*, 171, 111–124. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x

Mukhortova, L. (2005). The Transformation of Plant Residues Under Different Tree Species in the Siberian Afforestation Experiment. In: Binkley D., Menyailo O. (Eds.) *Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change*. NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences, 55. Springer, Dordrecht.

Noormets, A., Chen, J., Crow, T.R. (2007). Age-Dependent Changes in Ecosystem Carbon Fluxes in Managed Forests in Northern Wisconsin, USA. *Ecosystems*, 10(2), 187–203. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9018-y>

Shimmel, D. (2014). Global Atmospheric Carbon Dioxide. NASA.

Shvidenko, A.Z., Schepaschenko, D.G., Vaganov, E.A., Nilsson, S. (2008). Net Primary Production of Forest Ecosystems of Russia: A New Estimate. *Doklady Earth Science*, 421A(6), 1009–1012. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08060330>.

References

- Bagautdinov, F.Ya. (1994). Renovation of Humus Components of a Grey Forest Soil and of a Typical Chernozem in the Course of Long-Term Humification of Carbon Labelled Plant Residues. *Soil science*, 2, 50–56. [in Russian]
- Bazilevich, N.I. (1979). Productivity and Biogeochemistry of Recent Biosphere and Functional Models of Ecosystem. *Soil Science*, 2, 5–21. [in Russian]
- Buksha, I.F., Pasternak, V.P. (2005). Inventory and monitoring of greenhouse gases in forestry. Kharkov: Publishing House of KhNAU. [in Ukrainian]
- Buksha, I.F., Raspopina, S.P., Pasternak, V.P. (2012). Carbon stock in soil and litterfall on forests monitoring plots. *Forestry and Forest Melioration*, 120, 106–113. [in Ukrainian]
- Chalaya, T.A. (2012). Carbon reserves in soils and vegetation of post-agroclenic landscapes of South Taiga. *Extended abstract of Candidate's thesis (Biology)*. Moscow. [in Russian]
- Climate-Smart Agriculture Sourcebook – Module 1: Why Climate-Smart Agriculture, Fisheries and Forestry. (2013). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf>.
- Development Strategy of Ukraine "Ukraine 2020: National Modernization Strategy". (2015). Retrieved from http://www.radakmu.org.ua/uk/news_and_report/1079.html. [in Ukrainian]
- DSTU 4289: 2004. Soil quality. Methods for determination of organic matter. (2005). K.: State Consumer Standard of Ukraine. [in Ukrainian]
- DSTU ISO 11508:2005. Soil quality. Determination of particle density. (2005). K.: State Consumer Standard of Ukraine. [in Ukrainian]
- Forestry of Ukraine. (2018). Retrieved from <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/archive/docview?typeld=118551>. [in Ukrainian]
- Glazovskaya, M.A. (1996). Role and Functions of the Pedosphere in Geochemical Carbon Cycles. *Soil Science*, 2, 174–186. [in Russian]
- Greenhouse gas inventory workbook. (1995). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory* 1, 2, 3, 153, 189, 170.
- Karpachevsky, L.O. (1982). Forest and forest soils. M.: Forest industry. [in Russian]
- Kogut, B.M. (2003). Principles and methods of assessing the content of labile organic matter in plowed soils. *Eurasian Soil Science*, 36 (3), 283–290. [in Russian]
- Kovda, V. A. (1985). Biogeochemistry of soil cover. M.: Science. [in Russian]
- Lakida, P.I., Vasilishin R.D., Vasilishin, O.M. (2010). Above-ground phytomass and carbon-energy potential of fir stands in the Ukrainian Carpathians. Korsun-Shevchenkovskyi: FOP Gavriushenko V.M. [in Ukrainian]
- Le Quéré, C., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Sitch, S., Korsbakken, J.I. et al. (2016). Global Carbon Budget. *Earth System Science Data*, 8, 605–649. <https://doi.org/10.5194/essd-8-605-2016>
- Lesiv, M., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., See, L., Fritz, S. (2019). A spatial assessment of forest carbon budget for Ukraine. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 6, 985–1006. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y>
- Malysheva, N.V., Moiseev, B.N., Filipchuk, A.N., Zolina, T.A. (2017). The methods of carbon balance estimation in forest ecosystems and their application to calculate annual carbon sequestration. *Forestry Bulletin*, 2 (1), 4–13. doi: 10.18698/2542-1468-2017-1-4-13. [in Russian]
- Marschner, B., Kalbitz, K. (2008). Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. *European Journal of Soil Science*, 171, 111–124. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x
- Mukhortova, L. (2005). The Transformation of Plant Residues Under Different Tree Species in the Siberian Afforestation Experiment. In: Binkley D., Menyailo O. (Eds.) *Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change*. NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences, 55. Springer, Dordrecht.
- Noormets, A., Chen, J., Crow, T.R. (2007). Age-Dependent Changes in Ecosystem Carbon Fluxes in Managed Forests in Northern Wisconsin, USA.

Ecosystems, 10(2), 187–203. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9018-y>

Orlov, D.S., Biryukova, O.N., Rozanova, M.S. (2004). Revised System of the Humus Status Parameters of Soils and Their Genetic Horizons. *Soil science*, 8, 918–926.

Protopopov, V.V. (1975). The environment-forming role of dark coniferous forest. Novosibirsk: Science. [in Russian]

Sapozhnikova, V.A. (2000). Features of the transformation of organic matter in the soils of pine biogeocenoses under various environmental conditions. *Extended abstract of Candidate's thesis (Biology)*. Moscow. [in Russian]

Savenko, V.S., Samsonov, A.L. (2017). New carbon uptake mechanism. Finding missing sink. *Proceedings of All-Russia scientific conference. I. Pospelov (Ed.). Co-Evolution of Nature and Society Modelling, Problems & Experience. Devoted to Academician Nikita Moiseev centenary (Moiseev-100)*. Moscow: FRC CSC RAS, 370–382. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/332736473>. [in Russian]

Shimmel, D. (2014). Global Atmospheric Carbon Dioxide. NASA.

Shvidenko, A.Z., Schepashchenko, D.G., Vaganov, E.A., Nilsson, S. (2008). Net Primary Production of Forest Ecosystems of Russia: A New Estimate. *Doklady Earth Science*, 421A(6), 1009–1012. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08060330>.

Vedrova, E.F. (2005). Destruction processes in the carbon cycle of forest ecosystems of the Yenisei Meridian. *Extended abstract of Doctor's thesis (Biology)*. Krasnoyarsk. [in Russian]

Vedrova, E.F., Mukhortova, L.V., Meteleva, M.K. (2018). Transformation of organic matter of litter in forest plantations. *Journal of Forest Science*, 1, 24–36. doi: 10.7868/S0024114818010023. [in Russian]

Zamolodchikov, D.G., Grabovsky, V.I., Kurtz, V.A. (2014). Carbon balance management of Russian forests: past, present and future. *Sustainable forest management*, 2, 23–31. [in Russian]

Надійшла до редколегії 15.03.2020

S. Raspopina, Dr. Sci. (Agri.), Senior Researcher,

E-mail: s_raspopina@ukr.net,

Kharkov National Agrarian University after V.V. Dokuchaev,
The village "Dokuchaevske-2", Kharkiv region, 62483, Ukraine

THE STOCKS OF ORGANIC CARBON IN THE BLOCK "LITTER – SOIL" OF POLISSIA REGION PINE ECOSYSTEMS

The results of studies of the content and stocks of organic carbon in the block "litter – soil" of pine ecosystems in Zhytomyr and Chernihiv Polissia are presented. The forest ecosystems are important stabilizers of the carbon cycle as well as stocks of carbon. The components of the forest ecosystem are interconnected by the flows of energy and substances. Binding CO₂ in the block of "plant-soil", followed by the transformation of carbon into insoluble humus compounds is of particular importance. In the research area sod - light-podzolic and sod-medium-podzolic soils on fluvio-glacial sands are mostly spread. These soils belong to the category of old arable ones. Present here are also peat – marsh soils. It is shown that the process of humus accumulation is characterized by low intensity, which is caused by a complex of reasons, in particular, the sandy composition of sod-podzolic soils (particle content < 0,01 mm – 7,5 %). The thickness of the profile humus portion is 18 cm. The average content of humus is 0,97 %, and reserves – 28,3 t/ha in a 20-cm layer. Similar indicators of carbon are 0,56 % and 16,4 t/ha, respectively. Organic substance of sod-podzolic soils of pine habitats is resistant to mineralization and for a long time is removed from the cycle of substances of the pine ecosystem. The average carbon content in hydromorphic organogenic soils increases to 18,1 % and its stocks are 168,9 t/ha. The ability for mineralization peat soils is lower than that of sod-podzolic soils. So, they have a high carbon sequestration capacity. Pine litter reserves on the average are 30–33 t/ha, and carbon reserves on the average are – 12,6 t/ha, with its stable content – 40 %. The total carbon reserves in the block "litter – soil" of a typical pine ecosystem of Polissia are on average 29 t/ha, with the bulk of them being concentrated in the soil. Considering that highly productive pine forests are formed on the infertile soils of Polissia, their afforestation will not only stop the intensive degradation of soils of Ukraine, but also will increase the deposition of greenhouse gases, which will help to prevent further climate change at the regional level.

Keywords: sod-podzolic soil, litter, *pinus sylvestris*, humus, carbon, mineralization of organic substance.

C. Распопина, д-р с.-г. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: s_raspopina@ukr.net,

Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева,
п/в "Докучаевское-2", Харьковская обл., 62483, Украина

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В БЛОКЕ "ПОДСТИЛКА – ПОЧВА" СОСНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОЛЕССКОГО РЕГИОНА

Представлены результаты исследований содержания и запасов органического углерода в блоке "подстилка – почва" сосновых экосистем Житомирского и Черниговского Полесья. Лесные экосистемы являются важными стабилизаторами углеродного цикла и накопителями значительных запасов углерода. Компоненты лесной экосистемы связаны между собой потоками энергии и вещества. Связывание CO₂ в блоке "растение – почва" с последующим превращением углерода в нерастворимые гумусовые соединения имеет особое значение. В регионе исследований наиболее распространены дерново-легкоподзолистые и дерново-среднеподзолистые почвы на флювиогляциальных песках. Эти почвы относятся к категории старопахотных. Представлены также торфянисто-болотные почвы. Показано, что процесс гумусообразования характеризуется низкой интенсивностью, что обусловлено комплексом причин, в частности песчаной гранулометрией дерново-подзолистых почв (содержание частиц < 0,01 мм – 7,5 %). Мощность органо-профиля составляет 18 см. Среднее содержание гумуса – 0,97 %, а запасы – 28,3 т/га в слое 20 см. Аналогичные показатели углерода составляют 0,56 % и 16,4 т/га, соответственно. Органическое вещество дерново-подзолистых почв, исследованных местообитаний, устойчиво к минерализации и на продолжительное время выводится из круговорота веществ в сосновой экосистеме. Среднее содержание углерода в гидроморфных органогенных почвах увеличивается до 18,1 %, а его запасы составляют 168,9 т/га. Способность к минерализации торфяных почв ниже, чем у дерново-подзолистых. В целом они имеют высокую карбон-секвестрирующую емкость. Запасы сосновой подстилки в среднем составляют 30–33 т/га, а запасы углерода – 12,6 т/га при его стабильном содержании – 40 %. Общие запасы углерода в блоке "подстилка – почва" типичной сосновой экосистемы Полесья составляют в среднем 29 т/га, при этом основная их часть сосредоточена в почве. Учитывая, что на неплодородных почвах Полесья формируются высокопродуктивные сосновые леса, их облесение не только остановит интенсивную деградацию почв Украины, но и будет способствовать увеличению депонирования парниковых газов, что поможет предотвратить изменение климата на региональном уровне.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, подстилка, сосна обыкновенная, гумус, углерод, минерализация органического вещества.