



БЕДЕРНІЧЕК

Тимур Юрійович –
кандидат сільськогосподарських
наук, докторант Національного
ботанічного саду ім. М.М. Гришка
НАН України,
bedernichuk@nas.gov.ua

РЕЗЕРВУАРИ І ПОТОКИ КАРБОНУ В НАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМАХ УКРАЇНИ

За матеріалами наукового повідомлення
на засіданні Президії НАН України
9 листопада 2016 року

На сьогодні в Україні немає достовірної інформації про запаси карбону (вуглецю) в основних резервуарах наземних екосистем та про його потоки між цими резервуарами. У доповіді обґрунтовано необхідність проведення реальної кількісної оцінки резервуарів і потоків карбону в наземних екосистемах України та розроблення національної системи їх обліку, яка має відповідати вимогам IPCC, а також узгоджуватися з поширеними системами CBM-CFS3, BIOMASAR, РОБУЛ, ROMUL, EFIMOD. Показано доцільність та перспективність використання з цієї метою едафічної сітки Погребняка. Доведено необхідність диференціальної оцінки різних фракцій (пулів) органічної речовини ґрунту — основного джерела парникових газів, з особливим акцентом на лабільну органічну речовину.

Ключові слова: карбон, вуглець, секвестрація, органічна речовина ґрунту, глобальне потепління.

Глобальне потепління клімату та цикл карбону

Починаючи з середини минулого століття температура приземних шарів атмосфери невідмінно зростає. Останнє десятиліття визнано найтеплішим за всю історію метеорологічних спостережень, а у 2010, 2013, 2015 та 2016 роках було перевищено історичні температурні максимуми. Основною причиною глобального потепління клімату є збільшення концентрації парникових газів і, зокрема, продуктів окиснення (CO_2) та відновлення (CH_4) карбону [1].

Газів, здатних ефективно поглинати інфрачервоне випромінювання, в атмосфері Землі є досить багато. Крім діоксиду карбону (вуглекислого газу) та метану, це водяна пара, оксиди нітрогену, озон, фторхлорвуглеводні. Проте саме водяна пара, CO_2 та CH_4 є основними. Це пов'язано насамперед з двома головними причинами: 1) концентрація цих сполук в атмосфері Землі є значно вищою, ніж інших парникових газів; 2) їм влас-

тиві сильні позитивні зворотні зв'язки: підвищення температури призводить до збільшення їх концентрації в атмосфері і навпаки [2]. Ці зв'язки (рис. 1) є вагомими дестабілізуючими факторами, які істотно впливають на стан планетарної кліматичної системи. Найсильніші позитивні зв'язки у цій системі властиві водяній парі та діоксиду карбону і значно слабші — метану.

Щоправда, вже найближчим часом ситуація може докорінно змінитися: під вічною мерзлотою та в її товщі містяться дуже великі запаси метану — до 10 000 Гт; танення вічної мерзлоти може призвести до надходження метану, зв'язаного у формі газогідратів, до атмосфери [3].

Раніше основним джерелом парникових газів була вулканічна та поствулканічна активність (гейзери, терми, fumaroli) [2]. Сьогодні людство, як нова геологічна сила, почало помітно впливати на біогеохімічний цикл карбону і, як наслідок, на газовий склад атмосфери.

Найбільшими планетарними резервуарами карбону, які інакше називають «повільними», є: Світовий океан, поклади вугілля, нафти та газу, карбонатні гірські породи. Проте, незважаючи на їхній розмір (десятки гігатонн карбону), їх характерний час (mean residence time) становить мільйони років. Саме тому, за винятком окремих катастроф (наприклад, виверження Кракатау 1883 р.), вплив найбільших резервуарів карбону на сучасне потепління клімату є незначним, і людська діяльність на них практично не впливає. Сучасне потепління клімату залежить від менших за розмірами, але високодинамічних резервуарів карбону: атмосфери, поверхневих вод, ґрунту, біомаси, а також потоків між ними [3].

Г.О. Заварзін [2, с. 112] зазначає, що більшість фахівців пов'язує потепління клімату лише з промисловістю та спаленням викопного палива, тоді як «насправді антропогенна діяльність лише посилює дисбаланс в атмосфері на 5—10%, і цього виявляється достатньо, щоб кліматична система вийшла з рівноваги». Стан інших динамічних резервуарів карбону істотно впливає на газовий склад атмосфери, і тому їх облік та менеджмент є необхідною передумо-

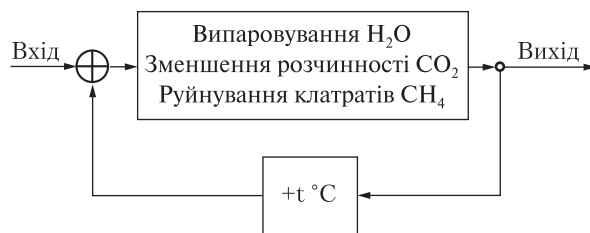


Рис. 1. Схема позитивних зворотних зв'язків між концентрацією H_2O , CO_2 і CH_4 у тропосфері та її температурою

вою для ефективної протидії глобальним змінам клімату та адаптації до їхніх наслідків.

Найбільшим обмінним резервуаром карбону на планеті є ґрунт. У ньому зосереджено 2300 Гт карбону, що перевищує сумарний запас цього хімічного елемента в атмосфері (800 Гт) та фітомасі (550 Гт). Потік CO_2 з поверхні ґрунту становить 60 Гт карбону за рік, що на порядок більше, ніж надходить в атмосферу внаслідок спалювання викопного палива. Еквівалентна кількість діоксиду карбону щороку поглинається фітомасою у процесі фотосинтезу [1]. Вважається, що майже 99% всієї органічної речовини у біосфері утворюється автотрофами, і лише близько 1% припадає на хемосинтетиків [4].

Порівняно з продукційною, деструкційна ланка екосистем є значно складнішою. Перехід органічної речовини з одного стану в інший (наприклад, трансформація біомаси в некромасу чи детрит) завжди супроводжується виділенням CO_2 . А.С. Керженцев [4] зазначає, що дисбаланс природних наземних екосистем між анаболічним блоком (фітоценозом) та катаболічним (педоценозом) становить менш як 1%. Невикористані у процесі життєдіяльності організмів речовини, переважно у колоїдній формі (зависі), накопичуються у ґрунті та формують його органічну частину — ґрунтовий резервуар карбону [5]. Як видно з наведених на рис. 2 даних, він формується сполуками різного генезису та складу. Цю неоднорідність слід брати до уваги: деструкція водорозчинних органічних сполук відбуватиметься значно швидше, ніж ґрунтових колоїдів та гумусових речовин (гумати, фульвати, гумін) [5].

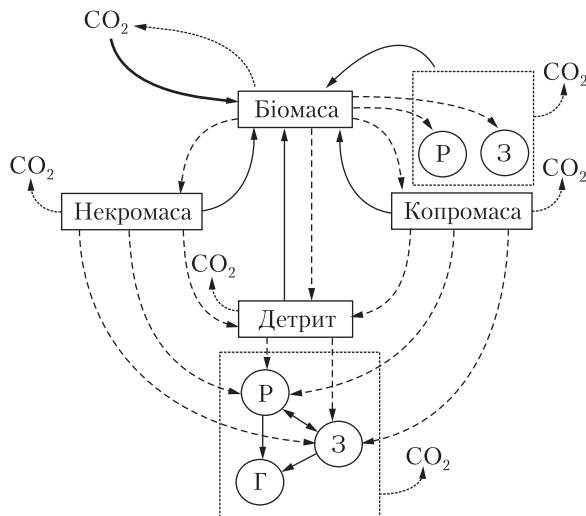


Рис. 2. Схема деструкції органічної речовини в наземних екосистемах: Р – розчинені, З – завислі, Г – гуміфіковані органічні речовини

Біогеохімічний цикл вуглецю є складним, а основні резервуари цього елемента – гетерогенними. Дослідження їх потребує консолідованих зусиль спеціалістів у різних галузях знань – фізіологів рослин, ґрунтознавців, геологів, екологів, мікробіологів – для створення достовірних моделей та забезпечення належного рівня управління процесами [6]. Ці роботи виконуються під загальним керівництвом Міжурядової групи експертів зі змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change) і є основою для розроблення глобальних та регіональних стратегій зменшення концентрації парникових газів в атмосфері.

Отже, метою цієї доповіді є обґрунтування необхідності проведення *реальної* кількісної оцінки резервуарів та потоків вуглецю в наземних екосистемах України.

Стан вивчення проблеми в Україні

Формально Україна бере участь у міжнародних заходах з протидії глобальним змінам клімату та адаптації до їх наслідків, веде Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, звітує перед міжнародними організаціями

відповідно до вимог Кіотського протоколу та Паризької угоди (Рамкова конвенція ООН про зміну клімату). Однак фактично з прийнятною точністю в Україні можна оцінити лише кількість парникових газів, що надходять в атмосферу внаслідок спалення викопного палива, а також синтетичних парникових газів (фторхлорвуглеводнів). Натомість невідомо, скільки CO_2 виділяється та поглинається: 1) природними екосистемами (ліси, луки, болота тощо); 2) агроекосистемами за різних способів обробітку ґрунту та вирощування основних сільськогосподарських культур; 3) за різних способів рубок у лісах, у разі пожеж, вітровалів, конверсії лісових екосистем у післялісові. Невідомий також і загальний баланс вуглецю в Україні і на сьогодні ніхто не має *достовірної*, науково обґрунтованої інформації, чи є територія України стоком (поглиначем) або джерелом CO_2 , і як кількісно відрізняються один від одного ці потоки на національному та регіональному рівнях.

Ці питання є вкрай важливими не лише як фундаментальна наукова проблема, а й з міркувань національної безпеки, адже у нових кліматичних умовах будуть інші вимоги до ведення сільського та лісового господарства, зокрема видового складу основних сільськогосподарських культур та деревних порід, зміняться ареали та періоди активності багатьох шкідників і збудників хвороб тощо. Лише сучасні наукові рекомендації та обґрунтування, ґрунтовані на об'єктивній і достовірній інформації про резервуари та потоки вуглецю, дозволять на національному, регіональному і локальному рівнях впровадити ефективні заходи з протидії глобальним кліматичним змінам та адаптації до їх наслідків.

На сьогодні достовірні дані щодо балансу вуглецю є лише для окремих регіонів України, передусім для Карпат [7] і Криму [8]. На особливу увагу заслуговують дослідження І.М. Шпаківської [9], яка вперше в Україні кількісно оцінила резервуари та потоки вуглецю в лісових екосистемах на прикладі Карпат. Отримані нею дані дозволили зробити важливі практичні висновки, зокрема, що чиста екосистемна продукція лише вторинних смереч-

ників у гірських районах Львівщини в 12–18 разів перевищує викиди від стаціонарних і пересувних джерел викиду. Така інформація дає змогу встановити «вуглецеву місткість» регіону, а разом із даними дистанційного зондування Землі (різноманітні вегетаційні індекси) зрозуміти місце конкретних територій у загальному бюджеті карбону. Роботи в цьому напрямі ведуться колективом авторів на чолі з В.І. Ляльком [10] і Р.А. Бунем [11]. Варто також згадати дослідження з цього напрямку фахівців у галузі лісового господарства [12, 13]. Попри важливість інформації про облік надземної біомаси та окремих її фракцій, до результатів щодо запасу карбону в ній потрібно ставитися з обережністю. Припущення про те, що запас карбону в деревині можна визначити множенням запасу біомаси на коефіцієнт 0,5, видається надто сміливим.

Велика частина даних, які подаються до Національного кадастру антропогенних викидів з джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, є *сумнівними*. Зокрема, в нашій країні склалася дивна практика, коли від оголошення тендеру до подання звіту проходить кілька місяців, а у самому звіті фігурують трирічні результати спостережень. Отримані в такий спосіб дані не можуть стати у пригоді для прийняття вмотивованих управлінських рішень у нових кліматичних умовах і не додають Україні авторитету в очах європейських партнерів. Сьогодні потрібна повна ревізія отриманих за попередні роки даних, а також розроблення і впровадження ефективної національної системи обліку викидів і поглиначів парникових газів, яка б відповідала світовим стандартам.

Системи оцінки: як мало би бути

Методологічною основою для проведення обліку резервуарів та потоків карбону є чинні рекомендації Міжурядової групи експертів зі змін клімату (ІРСС) [14]. Лише такий підхід дозволить отримати результати, придатні до генералізації та порівняння з іншими національними базами даних. Раніше [15] ми вже звертали увагу на труднощі, пов'язані з

узагальненням даних, отриманих різними авторами з використанням відмінних методів чи навіть різних модифікацій одного методу. У національних системах обліку резервуарів та викидів парникових газів подібна ситуація. З огляду на це, майбутня система оцінки резервуарів та потоків карбону в Україні та розроблена на її основі модель мають відповідати не лише вимогам ІРСС, а й іншим популярним світовим системам оцінки та прогнозування запасів карбону в наземних екосистемах, зокрема: 1) канадській системі CBM-CFS3; 2) німецькій – BIOMASAR; 3) російським – РОБУЛ, ROMUL, EFIMOD.

На окрему увагу заслуговують роботи російських науковців. Відомо, що Росія ратифікувала Кіотський протокол лише через 7 років після його підписання, впродовж цього періоду проводилися детальні дослідження запасів та потоків карбону в різних типах екосистем Росії, які мали б довести хибність чи некоректність сформульованих експертами ІРСС тверджень і висновків. Частково результати цих досліджень викладено у монографіях «*Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах*» [16] та «*Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России*» [6]. Авторський колектив останньої з них зазначає: «... Ті групи вчених, які працюють у межах ІРСС, не є єдиними експертами в проблемі... однодумність протипоказана у науці». Ми підтримуємо таке ставлення до проблеми і вважаємо його правильним.

Основними джерелами інформації для майбутньої української системи оцінки запасів і потоків карбону мають стати 1) *верифіковані* лісовпорядні матеріали; 2) *верифіковані* результати обстежень ґрунтів з особливим акцентом на різні за стійкістю фракції органічної речовини ґрунту; 3) дані дистанційного зондування Землі. З використанням цих трьох джерел інформації, передусім супутникових знімків з подальшою верифікацією отриманих показників на тестових полігонах, можна забезпечити прийнятну точність для експрес-оцінки загальних запасів карбону в наземних екосистемах України, тобто здійснити їх

інвентаризацію. Для подальших досліджень необхідно закласти серію стаціонарів у всіх природних зонах та висотних поясах України на основних типах ґрунтів, в основних типах лісорослинних умов і, отримавши результати хоча б трирічних спостережень, робити висновки про напрям і характер структурних змін екосистем під впливом потепління клімату.

Масштабність дослідження, його важливість як фундаментальної наукової проблеми, як основи для прийняття управлінських рішень та як необхідного матеріалу з міркувань національної безпеки вимагає прийняття рішень на рівні керівництва держави. На наш погляд, доцільно затвердити Державну програму з оцінки резервуарів і потоків карбону в наземних екосистемах України, поклавши її виконання на Національну академію наук України та Міністерство екології та природних ресурсів України із залученням міжнародних наукових та аудиторських організацій.

Умови місцезростання змінюватимуться

Після проведення інвентаризації і визначення запасів карбону в основних резервуарах наземних екосистем наступним кроком повинні стати дослідження функціональних змін (потоків). Причому дослідження мають бути по-

будовані так, щоб не лише дати змогу оцінити сучасний стан, а й прогнозувати кількісні зміни резервуарів і потоків карбону в нових кліматичних умовах. На наш погляд, ідеальною системою для таких досліджень є едафічна сітка Погребняка (рис. 3). Фактично в ній відображені типи місцезростань чи лісорослинних умов (едатопи), побудовані за двома координатами: трофність (доступність поживних речовин) та вологість.

У цілому потепління клімату приведе до зменшення вологості едатопів (гігрогенний ряд) та їхньої трофності (стрілки на рис. 3). У тепліших кліматичних умовах зростатиме швидкість деструкції органічної речовини у наземних екосистемах (рис. 2). Це означає, що, наприклад, вологий сугруд під впливом потепління клімату може трансформуватися у свіжий сугруд, менш імовірно – у вологий субір чи свіжий субір. Однак C_3 ніколи, без якихось катастрофічних впливів, не перетвориться на A_0 чи D_5 .

Розуміючи ці межі, можна прогнозувати зміни умов місцезростання (лісорослинних умов) у просторі та часі внаслідок потепління клімату і, навпаки, внаслідок його можливого похолодання в майбутньому. Також едафічна сітка Погребняка дасть змогу простежити зміну продуктивності наземних екосистем та потоків карбону у них. Тому проведення інвентаризації (обліку) основних резервуарів і потоків карбону в наземних екосистемах України у розрізі типів лісорослинних умов є не лише вмотивованим управлінським рішенням, а й можливістю для українських науковців запропонувати ІРСС якісно новий методичний підхід, який на сьогодні не має аналогів у світі.

Трофність та органічна речовина ґрунту

П.С. Погребняк [17] значну увагу приділяв дослідженням ґрунтів як невід'ємної частини лісів, фактично започаткувавши напрям, який зараз називають «фізіологія екосистем». Ще в 1930-х роках він дійшов висновку, що тогочасна система ґрунтознавчих методів придатна

Гігрогенний ряд		Трофогенний ряд			
Умови		А оліготрофні	В олігомезотрофні	С мезотрофні	Д мегатрофні
0 ксерофітні	Тип дуже сухий	бір A_0	суббір B_0	сугруд C_0	груд D_0
1 мезоксерофітні	сухий	A_1	B_1	C_1	D_1
2 мезофітні	свіжий	A_2	B_2	C_2	D_2
3 гігромезофітні	вологий	A_3	B_3	C_3	D_3
4 гігрофітні	сирий	A_4	B_4	C_4	D_4
5 гідрофітні	мокрый	A_5	B_5	C_5	D_5

Рис. 3. Едафічна сітка за П.С. Погребняком [17]

для сільськогосподарських ґрунтів, але не для лісових. Сучасні уявлення про ґрунт загалом і про його органічну частину (ґрунтовий резервуар карбону) зокрема дозволяють підійти до цього питання на якісно новому рівні [18, 19].

На рис. 4 зображено схему ґрунтового резервуару карбону (без урахування ґрунтових карбонатів). Зазвичай у ньому виділяють три складові (пули) з відмінними біокінетичними характеристиками. В активному пулі органічної речовини ґрунту з характерним часом (MRT) менше 90 днів міститься від 2 до 8% валового вмісту карбону, у повільному (стабільному) з MRT 10–80 років — до 50% і решта — у пасивному (інертному) пулі (MRT ≥ 1000 років). Зрозуміло, що як швидкість надходження CO_2 в атмосферу, так і трофічне значення кожного з них істотно відрізнятимуться [20]. Тому, на наш погляд, поняття трофності потребує уточнення з урахуванням неоднорідності органічної речовини ґрунту і доступності біофільних елементів у іонній формі [21].

Періодично на лісові екосистеми впливають рубки, пожежі, інвазії шкідників, вітровали тощо [16, 18]. На окрему увагу заслуговує конверсія угідь з лісових у післялісові [19]. Усі ці впливи супроводжуються зміною якісного складу органічної речовини та надходженням додаткових кількостей CO_2 в атмосферу. З огляду на це, вони мають бути враховані для побудови моделей впливу потепління клімату на резервуари і потоки карбону в наземних екосистемах.

Вміст лабільної органічної речовини ґрунту (активний пул) істотно залежить від способу лісокористування та аграрного використання (рис. 5). З'ясовано, що він зменшується зі збільшенням антропогенного навантаження і в еугемеробних екосистемах, доступних для *in situ* мінералізації органічних сполук, значно менший, ніж у природних біогеоценозах.

Подібні результати отримано і для болотних едатошів. Вивчення впливу верхових пожеж на вміст органічної речовини ґрунту дозволило встановити, що розмір саме цього пулу найістотніше змінюється під впливом пірогенної трансформації (рис. 6).

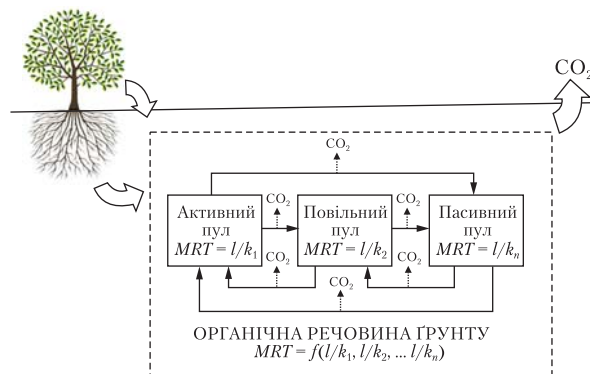


Рис. 4. Пули органічної речовини ґрунту [5]

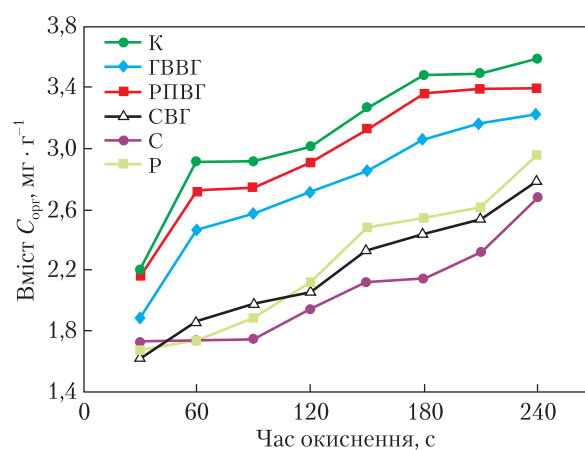


Рис. 5. Кінетика перманганатного окиснення органічної речовини ґрунту (К — непорушений ліс, ГВВГ — групо-вибіркова, РПВГ — рівномірно-поступова, СВГ — суцільна рубка граба, С — сінокіс, Р — рілля)

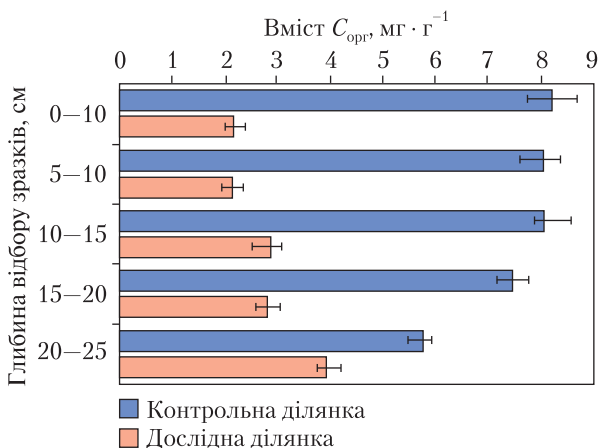


Рис. 6. Профільні зміни вмісту лабільної органічної речовини ґрунту після верхової пожежі [22]

Урахування якісного складу органічної речовини ґрунту і насамперед вмісту її лабільних фракцій (активний пул) підвищить точність прогнозування змін у складових бюджету карбону в наземних екосистемах. Такий підхід дасть змогу зменшити гетерогенність досліджуваних факторів та істотно підвищити статистичну достовірність (*значущість*) отриманих результатів.

Значущість даних

А.І. Уткін ще у 1982 р. писав, що «наполегливо насаджувана впродовж чверті століття методика середнього модального дерева призвела до нагромадження у літературі свого роду звалища даних, значущість яких встановити неможливо, а аналітичне використання яких обмежене і сумнівне» [23]. Подібна ситуація спостерігається сьогодні в Україні з даними щодо резервуарів та потоків карбону в наземних екосистемах. Передусім це стосується практики використання розрахункових методів: множення значення запасу біомаси на гектар на якийсь один перевідний коефіцієнт *не дозволяє* встановити запас карбону на гектар у фітомасі хоча б тому, що вміст цього хімічного елемента у деревині істотно змінюватиметься залежно від типу лісорослинних умов та віку дерев. Наприклад, деревина смереки (*Picea abies*), вирощеної на висоті 300 м над рівнем моря, використовується для виробництва дешевих меблів, а вирощеної на висоті понад 1300 м — для дорогих скрипок. Через несприятливі кліматичні умови і, відповідно, дуже незначні річні прирости на 1 см² у таких дерев припадає значно більше річних кілець, що забезпечує «резонування» деревини, тому такі дерева називають «резонаторними» і використовують для виробництва музичних інструментів. І щільність, і вміст карбону в них, очевидно, значно відрізнятиметься від дерев того самого виду, вирощених в інших умовах.

Сьогодні вкрай необхідно істотно підвищити аналітичний рівень робіт у сфері обліку резервуарів та потоків карбону в Україні. Потрібно перейти від оцінки тих показників, які вивчати просто, до тих, які необхідно. Інакше замість одержання реальних даних ми ризикуємо стикнутися з такою ситуацією, як у наведеній вище цитаті А.І. Уткіна.

Висновки

Головною причиною сучасного потепління клімату є збільшення концентрації парникових газів у атмосфері. Найважливішими серед них є водяна пара, діоксид карбону і метан. Через сильні позитивні зворотні зв'язки підвищення температури призводить до збільшення їх концентрації в атмосфері і навпаки.

Основним джерелом парникових газів на суходолі є ґрунт, на який припадає понад 90% викидів CO₂. Моделювання впливу змін клімату на цикл карбону в наземних екосистемах має передбачати диференціальну оцінку органічної речовини ґрунту (активний, повільний і стабільний пули). Вміст лабільної органічної речовини ґрунту найістотніше зменшується зі збільшенням рівня антропогенного навантаження.

Основою майбутньої національної системи оцінки резервуарів та потоків карбону може стати едафічна сітка Погребняка, як інтегральна система, що дозволить істотно зменшити гетерогенність і підвищити статистичну та практичну значущість отриманих результатів.

Є необхідність прийняття Державної програми з оцінки резервуарів і потоків карбону в наземних екосистемах України, виконання якої доцільно покласти на Національну академію наук України та Міністерство екології та природних ресурсів України.

Автор висловлює щирі подяки компанії LG Electronics за фінансову підтримку досліджень, що дало змогу придбати необхідне обладнання та матеріали.

REFERENCES

- Houghton R.A. Balancing the global carbon budget. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2007. **35**: 313.
- Zavarzin G.A. *Lectures on environmental microbiology*. (Moscow: Nauka, 2004).
[Заварзин Г.А. *Лекции по природоведческой микробиологии*. М.: Наука, 2004.]
- Karelin D.V., Zamolodchikov D.G. *Carbon exchange in cryogenic ecosystems*. (Moscow: Nauka, 2008).
[Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г. *Углеродный обмен в криогенных экосистемах*. М.: Наука, 2008.]
- Kerzhentsev A.S. *Functional ecology*. (Moscow: Nauka, 2006).
[Керженцев А.С. *Функциональная экология*. М.: Наука, 2006.]
- Bedernichek T., Hamkalo Z. *Soil labile organic matter: theory, methodology, indicative role*. (Kyiv: Condor, 2014).
[Бедернічєк Т., Гамкало З. *Лабільна органічна речовина ґрунту: теорія, методологія, індикаторна роль*. К.: Кондор, 2014.]
- Kudeyarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatsky S.A. et al. *Carbon pools and fluxes in terrestrial ecosystems of Russia*. (Moscow: Nauka, 2007).
[Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. *Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России*. М.: Наука, 2007.]
- Shpakivska I.M. The balancing estimation of organic carbon turnover in the ecosystems of boreal series on timberline of Chornogora (Ukrainian Carpathians). *Proc. of the State Nat. Hist. Museum*. 2009. **25**: 91.
[Шпаківська І.М. Балансова оцінка кругообігу вуглецю в екосистемах бореального ряду на верхній межі лісу в Чорногорі (Українські Карпати). *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2009. Т. 25. С. 91–98.]
- Khalaim O., Vyshenska I. Characteristics of daily dynamics of ecosystem carbon cycling in grasslands in South-Eastern Crimea. *Scientific Papers NaUKMA. Biology and Ecology*. 2012. **132**: 48.
[Халаїм О.О., Вишенська І.Г. Особливості добової динаміки екосистемних потоків вуглецю степових угруповань Південно-Східного Криму. *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. 2012. Т. 132. С. 48–54]
- Shpakivska I.M. Balance of carbon in the forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians. In: *Scientific Principles of Biodiversity Conservation: Proc. IX Conf.* (1–2 Oct., 2009, Lviv, Ukraine).
[Шпаківська І.М. Баланс вуглецю у лісових екосистемах Українських Карпат. У кн.: *Наукові основи збереження біотичної різноманітності: матер IX наук. конф. молод. уч.* (1–2 жовтня 2009, Львів). С. 46–52.]
- Lyalko V.I. (ed.). *Greenhouse effect and climate changes in Ukraine: assessments and consequences*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2015).
[Лялько В.І. (ред.). *Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки*. К.: Наук. думка, 2015.]
- Bun R., Namal Kh., Gusti M., Bun A. Spatial GHG inventory at the regional level: accounting for uncertainty. In: *Greenhouse gas inventories: dealing with uncertainty* (ed. Th. White.). (Springer, 2011).
- Lakyda P.I. *Phytomass of Ukrainian forests* (Ternopil: Zbruch, 2001).
[Лакида П.І. *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч, 2001.]
- Buksha I., Pasternak V. *Inventory and monitoring of greenhouse gases in a forestry*. (Kharkiv, 2005).
[Букша І.Ф., Пастернак В.П. *Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві*. Харків: ХНАУ, 2005.]
- Kurz W.A., Dymond C.C., White T., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smyth C., Simpson B.N., Neilson E.T., Trofymow J.A., Metsaranta J., Apps M.J. CBM-CFS3: a model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecological modeling*. 2009. **220**(4): 480.
- Bedernichek T. Litter decomposition rate: issues of comparison and generalization of experimental data. *Proc. the State Nat. Hist. Museum*. 2016. **32**: 25.
[Бедернічєк Т. Швидкість деструкції рослинного опаду: проблеми порівняння та узагальнення результатів досліджень. *Наукові записки Держ. природознавч. музею*. 2016. Т. 32. С. 25–30.]
- Kudeyarov V.N. (ed.). *Modeling of organic matter dynamics in forest ecosystems*. (Moscow: Nauka, 2007).
[Кудеяров В.Н. (ред.). *Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах*. М.: Наука, 2007.]
- Pogrebnyak P.S. *The fundamentals of the forest typology*. (Kyiv: Naukova dumka, 1955).
[Погребняк П.С. *Основы лесной типологии*. К.: Наук. думка, 1955.]
- Zaimenko N., Dzjuba O., Bedernichek T. Total and watersoluble organic matter content in soil under various methods of forestry. *Plant Introduction*. 2014. (2): 87.
- Hamkalo Z., Bedernichek T. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2014. **101**(2): 125.

20. Paul E.A., Morris S.J., Conant R.T., Plante A.F. Does the acid-hydrolysis incubation method measure meaningful soil organic carbon pools? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. **70**: 1023.
21. Bedernichek T., Kopij S., Partyka T., Namkalo Z. Electrical conductivity as express indicator of ion activity of forest ecosystems soils. *Biological Systems*. 2009. **1**(1): 85.
[Бедернічек Т.Ю., Копій С.Л., Партика Т.В., Гамкало З.Г. Електропровідність як еспрес-індикатор йонної активності едафотопу лісових екосистем. *Біологічні системи*. 2009. Т. 1, № 1. С. 85–89.]
22. Partyka T., Namkalo Z., Bedernichek T. The peculiarities of quantitative changes of water-soluble organic matter in wetland soils of Upper Dnister Peredkarpattya due to peat fires. *Optimization and Protection of Ecosystems*. 2012. **6**: 257.
[Партика Т.В., Гамкало З.Г., Бедернічек Т.Ю. Особливості кількісних змін водорозчинної органічної речовини в болотних едафотопях Верхньодністерського Передкарпаття внаслідок торф'яних пожеж. *Екосистеми, їх оптимізація і охорона*. 2012. Т. 6. С. 257–263.]
23. Vompersky S. (ed.). *Biological productivity of forests of the Volga Region*. (Moscow: Nauka, 1982).
[Вомперский С.Э. (ред.). *Биологическая продуктивность лесов Поволжья*. М.: Наука, 1982.]

T.Yu. Bedernichek

Gryshko National Botanical Garden
of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

CARBON RESERVOIRS AND FLUXES IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS OF UKRAINE

According to the materials of scientific report at the meeting
of the Presidium of NAS of Ukraine, November 9, 2016

Today there is a lack of accurate and trustworthy information about carbon reservoirs and fluxes in terrestrial ecosystems of Ukraine. In this report we substantiate the necessity of performing real evaluation of all these reservoirs and fluxes; and developing national model of carbon-dynamics in terrestrial ecosystems implementing IPCC standards. It also should be comparable with other popular models such as: CBM-CFS3, BIOMASAR, РОБУЛ, ROMUL, EFIMOD. We suggested it to be based on the “edaphic web” approach developed by P. Pogrebnyak. Differential evaluation of soil organic matter and especially its labile fractions will improve the accuracy of the model.

Keywords: carbon, sequestration, soil organic matter, global warming.