

**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕМІСІЇ ТА ПОГЛИНАНЬ
ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

Т.О. Загреба

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

e-mail: taras@irpin.com

Постановка проблеми. Індустріальний розвиток останніх десятиліть спричинив значне підвищення концентрації парникових газів в атмосфері. У відповідності із Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату кожна країна повинна налагодити регулярні інвентаризації парникових газів і слідкувати за дотриманням їх викидів на встановленому Протоколом рівні. Функцію потужних поглиначів оксидів вуглецю з атмосфери виконують лісові екосистеми. Сучасна система інформаційного забезпечення лісового господарства України не повністю відповідає сучасним вимогам до інформаційних ресурсів. Облік лісів при лісовпорядкуванні спрямований переважно на оцінювання сировинних ресурсів з неповною інформацією в частині екологічних показників. Важливою також є гармонізація інформаційної структури із міжнародними вимогами. Її потрібно удосконалювати на основі сучасних підходів до розбудови інформаційних систем, а саме – шляхом створення інформаційного стандарту і формату обміну даними для лісової галузі, що сприятиме розвитку геоінформаційних технологій у лісовому господарстві. Для оцінювання складних процесів поглинання і емісії парникових газів лісовими екосистемами традиційно використовується методика, розроблена Міжурядовою групою експертів зі змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) [1,2]. Але передбачені в цій методиці методи обчислення емісій та поглинань парникових газів є доволі загальними, універсальними для різних регіонів світу і в остаточному підсумку вони не враховують особливостей цих регіонів [1]. Пропоновані цією методикою коефіцієнти для розрахунку емісій та поглинань коливаються іноді в доволі широкому діапазоні [2]. Тому актуальним є розроблення регіональних підходів, які враховують особливості окремих територій, детальніше відображають відмінності між лісовими екосистемами.

Метою роботи є аналіз методів дослідження процесів поглинання і емісії парникових газів лісовими екосистемами, аналіз геоінформаційних технологій для просторового аналізу процесів викидів та поглинань парникових газів у підсекторі лісового господарства.

Коротко про методику та методи досліджень процесів поглинання і емісії парникових газів лісовими екосистемами. У керівних принципах національних інвентаризацій парникових газів запропоновано методи для оцінки викидів і поглинання парникових газів які зв'язані із змінами в біомасі, мертвій органічній речовині і органічному вуглеці ґрунтів на лісових площах і землях, відведених під лісові площі. Для оцінки джерел виникнення та поглиначів парникових газів враховуються всі ліси, в які втручається людина зокрема в рамках природоохорони, всі етапи лісокористування, виробництва комерційної деревини та некомерційної заготівлі паливної деревини, інші залишені без використання лісові землі (зміни в землекористуванні за останні 20 років). За рекомендаціями МГЕЗК (Міжурядова група експертів зі зміни клімату) для інвентаризації застосовують метод, який базується на визначенні нагромадження та втрат біомаси. Процес нагромадження об'єднує щорічний приріст надземної і підземної частин деревостану, процес втрати біомаси – це вирубання комерційної деревини (круглі лісоматеріали), заготівля дров, також враховується кількість деревини, пошкодженої шкідниками та знищеної пожежами [1].

Поглинання CO_2 відбувається через збільшення його запасу у фітомасі лісів при зміні лісокористування, залісненні та відновленні лісів. При веденні лісового господарства джерелами викидів CO_2 є:

- природний розпад відходів наземної фітомаси;
- спалювання відходів під час заготівлі лісу;
- використання деревини як палива;
- лісові пожежі і пошкодження деревини внаслідок епіфітотій і епізоотій.

Щоб обчислити поглинання вуглекислого газу, оцінюються дані про площу лісів, щорічний приріст фітомаси в лісах, на плантаціях та інших значущих резервуарах біомаси, а також дані про заготівлю деревини (дрова, комерційна деревина тощо). Інтенсивність процесів поглинання, депонування та емісії в атмосферу вуглецю у лісових екосистемах залежить від лісорослинних умов, складу і структури деревно-чагарникової рослинності, віку, повноти та інших таксаційних показників насаджень. Тому для визначення запасів вуглецю у лісових екосистемах, обсягів поглинання та емісії парникових газів потрібно мати детальну інформацію про біомасу рослинності та її динаміку.

Фундаментальна основа методології встановлення динаміки вуглецю у секторі землекористування та лісового господарства спирається на такі положення: цикл CO_2 можна оцінити за змінами запасів вуглецю у наземних екосистемах; динаміка запасів вуглецю визначається переважно характером землекористування, управління землями та лісами (наприклад, системами обробітку ґрунту, рубок, тощо) для визначених проміжків часу.

Оцінювання обсягів викидів і поглинань CO_2 на основі оцінки змін запасів вуглецю ґрунтується на тому факті, що зміни накопичення вуглецю в екосистемах відбуваються переважно шляхом обміну між поверхнею землі й атмосферою. Таким чином, збільшення сумарних запасів вуглецю в часі прирівнюється до поглинання CO_2 із атмосфери, а зменшення сумарних запасів вуглецю вважається викидами. При оцінюванні динаміки вуглецю у лісових екосистемах виділяють п'ять резервуарів: надземна та підземна біомаса, підстилка, відмерла деревина, вуглець ґрунту.

Біомаса рослин, у тому числі наземна і підземна частини, є основним поглиначем CO_2 з атмосфери. Основна частина біомаси живих рослин, в решті-решт переходить до резервуару відмерлої органічної речовини (відмерла деревина і підстилка). Деяка частина відмерлої органіки швидко розкладається і повертає вуглець до атмосфери, а інша може зберігатися тривалий час. Відповідно до того, як відбуваються фрагментація і розкладання органічної речовини, вона перетворюється на органічну частину ґрунту, яка включає в себе широкий спектр компонентів. Деякі з цих компонентів складаються з нестабільних сполук, що легко розкладаються мікроорганізмами, і вуглець повертається до атмосфери. Проте, частина органічного вуглецю ґрунтів перетворюється на стабільні сполуки (наприклад, органо-мінеральні комплекси), які розкладаються у ґрунті повільно і можуть зберігатися сторіччями.

Суттєво впливають на динаміку вуглецю антропогенні чинники та стихійні явища: рубки, пожежі, буреломи та вітровали, розвиток хвороб, пошкодження комахами тощо. Внаслідок впливу цих чинників відбуваються прямі емісії таких парникових газів, як CO_2 , CO , CH_4 , N_2O , переміщення вуглецю біомаси в деревну продукцію та відмерлу органічну речовину. Зазначені чинники впливають також на вікову структуру лісів і подальшу динаміку вуглецю.

Оцінювання динаміки вуглецю у підсекторі лісового господарства можна проводити на трьох методологічних рівнях. На першому рівні застосовуються основний підхід і розрахункові коефіцієнти, які наведено у Керівних принципах МГЕЗК з урахуванням поновлень, які запропоновано до використання у Настановах МГЕЗК для сектору землекористування, змін землекористування та лісового господарства (2003). У рамках першого методологічного рівня використовуються дані про діяльність із достатньо низьким рівнем просторового розрізнення, такі, наприклад, як існуючі для країни оціночні дані щодо лісорозведення, знеліснення, статистичні дані про лісове господарство та лісові карти. Методи першого рівня застосовують у тих країнах, у яких або відповідна категорія (підкатегорія) земель не є ключовою, або бракує конкретних для країни даних про діяльність і коефіцієнтів викидів або абсорбції.

Для другого рівня розрахунків застосовують розрахункові коефіцієнти й параметри і дані про діяльність, які визначають на національному рівні для найважливіших видів діяльності. У рамках другого рівня можуть також застосовуватися методи й дані, які визначено на національному рівні, в межах країни, кліматичних районів і систем ведення господарства.

Під час застосування третього рівня розрахунків використовують методи вищого порядку, у тому числі моделі й системи вимірів, які адаптовано до конкретних національних умов. Також застосовують дані про діяльність високого рівня просторового розділення й деталізації до масштабів, крупніших за регіональні. Ці методи надають можливість отримувати результати розрахунків з вищим рівнем достовірності порівняно з методами, які застосовують на першому і другому рівнях, а також відображають тісніший зв'язок між динамікою біомаси, ґрунтів і вуглецю.

Основними інструментами для задоволення інформаційних потреб для аналізу парникових газів є інвентаризація та моніторинг лісів. Інвентаризація забезпечує статистичну оцінку ресурсів, тоді як моніторинг оцінює зміни та виявляє тренди у динаміці стану об'єктів моніторингу.

Труднощі полягають у тому, що статистичні звіти з лісового господарства наводять дані про склад та типів лісу, вік, бонітет, запас насадження, де враховано лише об'єм товарної деревини, а для розрахунків поглинання вуглецю потрібні вхідні дані про кількість біомаси на одиниці площі, яка включає в лісових екосистемах підлісок, підріст, надґрунтовий покрив, всі ці яруси мають ще й підземну частину, яка теж акумулює вуглець.

Модель для просторової інвентаризації викидів та поглинань парникових газів в лісовому господарстві. Аналіз сучасних тенденцій розвитку інформаційного забезпечення управління лісами свідчить, що у зв'язку з розвитком нових інформаційних технологій, розширенням можливостей дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та сучасного вимірювального обладнання для вивчення лісів, останнім часом відбулися істотні зміни у системі збору інформації про ліси. Низку доступних для дистанційного вимірювання фізичних характеристик (альbedo, температура і вологість) використовують як змінні у моделях оцінювання чистої первинної продукції, інтенсивності стоку вуглецю та його накопичення у біомасі. Для інвентаризації викидів і поглинання ПГ можуть застосовуватися дані, зібрані на різних рівнях: країни, регіонів, окремих ділянок. Важливим є застосування методу просторової інвентаризації викидів за наявними вихідними даними (у т.ч. цифровими картами). При цьому проводять умовний розподіл території на ділянки малого розміру, врахування джерел викидів і поглинання, інвентаризацію антропогенних викидів (поглинання). Використовуючи методіку IPCC, визначено кількість біомаси на окремих елементарних ділянках (для лісів виділи кварталів), а потім – на території окремої адміністративної одиниці за допомогою відповідних формул. Дані про господарську діяльність на n-й ділянці позначаємо як $F_{s,a,n}$ з відповідним індексом, а результати інвентаризації, загалом, або в окремо взятому секторі для цієї ділянки, як відповідно $\Delta E_n^{CO_2}$. У цьому випадку модель інвентаризації записуємо у вигляді:

$$\Delta E_n^{CO_2} = \sum_{s=1}^S \sum_{a=1}^A \left(F_{s,a,n} * E_n^{CO_2} \right), n=1, \dots, N \quad (1)$$

де $E_n^{CO_2}$ – коефіцієнт для обчислення емісій від a-ї категорії господарської діяльності в s-му секторі n-го елементарної ділянки, N – загальне число елементарних ділянок. У моделі інвентаризації найнижчого рівня (рівня елементарних ділянок, якими можуть виступати як цілісні ділянки лісу (виділи), так і елементи просторової сітки з певним кроком) вхідні і вихідні дані представляють у вигляді георозподіленої бази даних. Підсумовування результатів інвентаризації по всіх елементарних об'єктах дає результати традиційної інвентаризації в межах країни або регіону в цілому.

Інформація, що визначається на інвентаризаційних ділянках, охоплює основні компоненти лісових екосистем і складається з понад 100 показників. Інформаційна система має бути цільною, взаємозалежною та інтегрованою, але водночас також відкритою для редагування. Такою, що дає змогу доповнення або корегування даних, потреба в яких може виникнути при повторних інвентаризаціях. У ході цих інвентаризацій можна (за необхідності) змінювати, актуалізувати й доповнювати дані, враховуючи при цьому необхідність забезпечення послідовності даних у часі. Для визначення необхідних даних національної інвентаризації лісів (НІЛ) користуються різними методами: прямого вимірювання

(дендрометричні дані), експертної оцінки, використання зібраної інформації з існуючих джерел, зокрема, використовують бази даних лісовпорядкування ВО "Укрдержліспроєкт", розрахунків, тощо. Показники та методичні прийоми їх отримання, використані у НІЛ, визначені й підібрані таким чином, щоб максимальною мірою враховувати вітчизняні та міжнародні стандарти для забезпечення необхідного рівня узгодженості з існуючими національними даними та НІЛ у країнах Європи. Основною одиницею дослідження є інвентаризаційна ділянка, яка призначена для визначення показників НІЛ на місцевості. Для кожного виділеного елемента інвентаризаційної визначають і вносять до бази даних інформацію про категорію ділянки, орографічні характеристики (експозиція, схил), обрані характеристики насадження (вертикальна структура, стан насадження і ступінь його природності). Вказуються також чинники впливу на лісові насадження.

Для розрахунку динаміки запасів вуглецю за даними інвентаризації застосовують формулу "різниці запасів". Для цього потрібні дані інвентаризації вуглецю за всіма компонентами екосистем на заданій території у два різних моменти часу. Річні зміни органічної маси – це різниця між запасами у моменти часу t_2 і t_1 , розділена на кількість років між кадастрами [3]:

$$\Delta C_B = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

де ΔC_B – річні зміни запасів вуглецю (враховуючи наземну і підземну складові) для земель, що лишаються у тій самій категорії, т C рік⁻¹;

C_{t_2} – загальна кількість вуглецю у біомасі у момент часу t_2 , т C ;

C_{t_1} – загальна кількість вуглецю у біомасі у момент часу t_1 , т C .

Запропоновані підходи до проведення інвентаризації лісів дають змогу визначати запаси вуглецю за компонентами лісових екосистем, а за умови проведення повторної інвентаризації відстежувати потоки вуглецю. Застосування ДЗЗ та ГІС-технологій надають можливість оцінювати запаси та проводити їх картування. Застосування ГІС технологій для звітності у підсекторі лісового господарства є однією з вимог Кіотського протоколу.

Висновки. Для належної підтримки функціонування національного кадастру парникових газів у лісовому секторі господарства необхідно забезпечити постійним моніторингом лісів в Україні, запровадити вибірково-статистичну інвентаризацію лісів у якості базового компоненту системи моніторингу, провести удосконалення інформаційної системи лісовпорядкування на основі ГІС-технологій. Можливості геоінформаційних систем (напр. [4]) дозволяють будувати цифрові карти лісів за різними лісівничо-таксаційними характеристиками, обчислювати загальний запас надземної та підземної частин деревостанів залежно від породного складу, вікової структури тощо, а в остаточному результаті оцінювати кількість депонованого вуглецю та емісії парникових газів під час ведення лісового господарства.

Список літератури

1. IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (Eds). Published: IGES, Japan.
2. The IPCC software for estimating greenhouse gas emissions. IPCC Version 1.1, 1998.-<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>.
3. Пастернак В.П. Структура та продуктивність лісів Деркульського сектора / В. П. Пастернак, В. Ю. Яроцький // Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи : м-ли наук. конф., присвяченої 80-річчю від дня заснування УкрНДІЛГА, 12-14 жовтня 2010 р. – Х. : УкрНДІЛГА, 2010. – С. 50-51.
4. Білецький Б.О., Загребя Т.О. Концептуальна будова серверної геобазы даних лісовпорядкування // Матеріали восьмої наук.-практ. конф. з міжнар. участю "Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика (СППР 2012)". - Київ: ПІММС НАНУ, 2012. - С. 148 – 152.