

ных волоков. Проанализированы изменения водопроницаемости почвы под влиянием трелевки древесины. Оценена лесоводственная результативность разных способов рубок. Предложена классификация участков вырубок по вероятности развития на них поверхностного стока воды и эрозионных процессов.

Ключевые слова: подрост, почва, выборочные рубки, сплошные рубки, трелевка древесины, эрозия, водопроницаемость, сток воды.

Olijnyk V.S., Tkachuk O.M. Some Changes in Soil-protective Properties of Pre-Carpathian Forests Influenced by Selective and Continuous Felling

The number of seedlings indicators before and after the selective and continuous felling realization, damage and destruction are shown. The square and the depth of soil stripping at logging operations are characterized. The volumes of forest exploitation caused by soil erosion, depending on the degree of damage, especially in the tractor trail network are highlighted. The changes in the soil permeability under the influence of timber wood are analysed. The silvicultural effectiveness of different ways of cutting is reviewed. The classification of the log likelihood areas concerning water runoff and erosion is proposed.

Keywords: undergrowth, soil, selective cutting, solid logs, timber wood, erosion, permeability, water runoff.

УДК 630*[5+64](477.83./86)

ВУГЛЕЦЕВИЙ БАЛАНС ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

О.Г. Часковський¹, Ю.С. Миклуш², Тобіас Кюмерле³, Понтус Олофсон⁴

Землекористування є важливим фактором у глобальному циклі кругообігу вуглецю, зокрема внаслідок заростання лісом сільськогосподарських земель. Важливим є оцінювання впливу змін землекористування на обсяги депонування вуглецю в природних комплексах та їх вуглецевий потенціал.

З використанням карт змін площ лісів та сільськогосподарських земель з 1988 по 2007 рр., які базуються на супутникових знімках, статистичних даних, моделі обліку вуглецю проаналізовано обсяги депонування вуглецю залежно від змін у землекористуванні у ХХ ст. і змодельовано потенційне депонування вуглецю до 2100 р. за різних сценаріїв обсягів вирубки лісів, лісовідновлення та лісорозведення. Майбутня експансія лісів буде, швидше за все, зберігати або навіть підвищувати регіональний тренд стоку вуглецю до 1,48 ТгС/рік. Це може надати істотні можливості емісії вуглецю для індустриальних районів і розвитку сільських регіонів.

Ключові слова: лісова рослинність, лісозаготівлі, лісовідновлення, лісорозведення, депонування вуглецю, моделювання.

Вступ. Обсяг і структура землекористування відіграє важливу роль у глобальному кругообігу вуглецю та позначається на характері депонування вуглецю [13, 28, 62]. Збільшення викидів вуглецю відбувається внаслідок знеліснення [10, 15], але часто ліс відновлюється на сільськогосподарських угіддях, що не використовуються [36, 43]. Внаслідок зростання лісів на нелісових землях можуть поглинатись великі обсяги вуглецю, іноді повертаючи деякі регіони від виділення вуглецю до його стоку [19, 21, 60]. Однак вплив сільськогоспо-

дарських земель, що не використовуються, на потоки вуглецю залишається не достатньо вивченим у багатьох регіонах світу, тому що площа таких земель невизначена, а дані з лісорозведення істотно різняться [18].

Значні площі сільськогосподарських угідь не використовували за призначенням у Східній Європі наприкінці ХХ ст. [24]. Перехід від централізованої до орієнтованої на ринок економіки призвів до корінної перебудови сільськогосподарських секторів регіону [34, 46, 61]. Постсоціалістичні зміни у землекористуванні, ймовірно, порушили динаміку вуглецю регіону в глибокому розумінні [63]. Там, де ведення сільського господарства припиняється, значний обсяг вуглецю може бути поглинутим, оскільки замінюються сільськогосподарські угіддя на луки, чагарники, і, нарешті, ліси [31, 59, 60]. Незважаючи на значне невикористання сільськогосподарських угідь у Східній Європі та колишньому Радянському Союзі наприкінці ХХ ст., досліджень з оцінювання потоків вуглецю у природних комплексах небагато [45, 67]. Вони зосереджені виключно на орно-лугових перетвореннях, хоча потенціал росту обсягів депонування вуглецю у разі заліснення може бути значно вищим [26, 47]. У жодному дослідженні у Східній Європі не оцінено потоків вуглецю у комплексі сільськогосподарські угіддя – ліси, яке є необхідним для кількісної оцінки потоків вуглецю. Статистична інформація щодо землекористування постсоціалістичної епохи є часто сумнівної якості або була отримана непослідовно в часі, і як результат – неточності відносно темпів невикористання сільськогосподарських угідь у деяких регіонах Східної Європи. Статистична інформація щодо обсягів лісозаготівель іноді неповна [20, 29], а з ведення лісового господарства не відображає обсягів заліснення на територіях колишніх сільськогосподарських угідь та обсяги незаконних рубок, які були поширені протягом перехідного періоду [1, 41, 54].

Супутникове дистанційне зондування може вирішити деякі з цих проблем, оскільки дає змогу встановити дані про тип рослинності на певній площі та, відповідно, площі вкриті ліськовою рослинністю чи сільськогосподарські угіддя, а також їх зміну на великих територіях. Зокрема, архів зображень Landsat забезпечує безперервні дані з початку 1970-х років [14], що робить його цінним для кількісної оцінки постсоціалістичної зміни площ, що зайняті певною рослинністю [12, 48, 56], а також сільськогосподарських угідь, що не використовуються [40, 58].

Складністю для кількісної оцінки депонування вуглецю від землекористування також є потреба аналізу широких часових масштабів. Минуле знеліснення, створення лісів на сільськогосподарських землях, вирубування лісів може мати довгостроковий вплив на сьгоднішній бюджет вуглецю, тому що депонування вуглецю може бути поступовим або відставати в часі [17, 30, 31], і тому, що молоді ліси поглинають вуглець інтенсивніше, ніж зрілі [26, 32]. З іншого боку, перехід від ділянок із переважанням стиглого лісу, з високим нагромадженням вуглецю, до сільськогосподарських угідь або молодого лісу, сприяють вивільненню вуглецю в атмосферу [22]. Невикористання сільськогосподарських земель і подальше збільшення площ лісів впливають на низку процесів і функцій екосистем [44], підвищення деяких функцій (наприклад, якість води, стійкість ґрунту, зв'язування вуглецю) за одночасного зниження інших

¹ доц. О.Г. Часковський, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів;
² ст. викл. Ю.С. Миклуш, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів;
³ проф. Тобіас Кюмерле – Університет ім. Гумбольдта, м. Берлін;
⁴ др. Понтус Олофсон – Університет, м. Бостон

(наприклад, сільськогосподарське виробництво). Лісорозведення на сільськогосподарських землях може бути привабливим для землекористування у світлі стимулів, що надаються вуглецевими ринками, особливо в районах, де умови ведення сільського господарства несприятливі. Кількісні потоки вуглецю і в майбутньому потенціал поглинання на сільськогосподарських землях мають важливі наслідки для екологічної політики.

Мета дослідження – з'ясувати історичні та сучасні потоки вуглецю і визначити потенціал поглинання вуглецю природними комплексами в Західній Україні, де ліси було інтенсивно експлуатовано в XIX і XX ст. [41, 54] і де значні площі сільськогосподарських угідь не використовували після 1991 р. [16, 65].

Методи і матеріали. Регіон дослідження охоплює чотири області Західної України (Львівську, Івано-Франківську, Закарпатську і Чернівецьку), площею 56 600 км². Перепади висоти н.р.м. у діапазоні від 100 до 2061 м. Клімат у регіоні, в основному, помірно-континентальний зі середньою річною температурою 6-20 °С (залежно від висоти н.р.м.), середня зимова температура від -10 до -3 °С і середньорічна кількість опадів 600-1200 мм [2, 3, 9]. Клімат і ґрунтові умови сприяють поширенню у регіоні досліджень соснових, дубових, букових, ялицевих та ялинових лісів [4, 5, 7, 37]. Регіон охоплює близько 25 % лісів України. Населення регіону становить 6,08 млн, 49 % з яких – міське населення.

Статистична інформація щодо лісового господарства. Інформація про стан лісового фонду колишніх повітів Королівства Галичини і Лодомерії (до Першої світової війни), зокрема показники лісового фонду, доступні за 1872 [57] і 1876 [33] рр. Вони охоплюють площу сучасної Львівської та Івано-Франківської обл. За період між Першою та Другою світовими війнами показники лісового фонду були доступні для тих же областей за 1923 та 1928 [51] і 1937 [50] рр. Для оцінювання зміни лісистості всього регіону припустили, що основні тенденції зміни лісового фонду залишались стабільними протягом XX ст. Лісистість регіону до масштабного антропогенного впливу прийняли за 75 % [5] та припустили, що великомасштабне вирубування лісів у регіоні не розпочиналась до XVII ст. [66]. Статистичну інформацію щодо ведення лісового господарства у радянський період взято зі статистичних щорічників Державного комітету статистики України за 1946, 1970, 1973, 1978 рр. Такі дані про лісовий фонд доступні тільки у вигляді відсотка лісистості, на підставі якого встановлено площі лісів та для кожної області розподіл площ лісів за віком (10-річні інтервали) державних підприємств [6].

Карти дистанційного зондування. Карта вирубаних лісів і заліснення площ між 1988 і 2007 рр. [41] охоплює близько 55 % території дослідження. Її отримано з Landsat Thematic Mapper і вдосконаленого тематичного картографу плюс (ETM+) зображень від 1988, 1994, 2000 і 2007 рр. із просторовою роздільною здатністю 30 м. Класифіковано ділянки "ліс" та "не ліс", для кожного зображення використовуючи 1500 випадкових наземних тренувальних точок (отримано з високороздільних знімків) і методу класифікації опорних векторів (SVM). Також встановлено тенденцію змін лісового фонду шляхом порівняння класифікованих зображень (визначено за зміною площ вкритих лісовою рослинністю ділянок обсяги вирубок до 1988 р., 1988-1994, 1994-2000 і 2000-

2007 рр., а також обсяги лісовідновлення та лісорозведення у 1988-2000 і 2000-2007 рр.). Заліснення лісів після рубок у 1988 р. відрізняли від заліснення на сільськогосподарських землях на підставі відмінностей у часі лісовідтворення і просторовому розподілі ділянок [41]. Для дослідження було розширено карту, щоб та відповідала межах регіону дослідження, з використанням тієї ж методики (додатково використано три знімки Landsat). Загалом використано 23 космічні знімки. Значення точності окремих карт ліс/не ліс становило 97,04 % (стандартне відхилення (SD) 1,39 %) зі значенням середнього k, що дорівнює 0,94 (SD=0,03). Точність карт змін у природних комплексах, визначена окремо, перевищила 83 % для всіх класів, де пройшли зміни. Карта змін вкритих лісовою рослинністю ділянок (рис. 1) показала, що близько 155 800 га лісу було зрубано у період між 1988 і 2007 рр., зі щорічними обсягами вирубок на площі 5460 га у 1988-1994 рр., 6720 га – у 1994-2000 рр. і 5950 га – у 2000-2007 рр. Близько 87,4 тис. га було вирубано до 1988 р. і заліснено у 1988-2007 рр. Заліснення колишніх сільськогосподарських угідь відбулося на площі 64400 га. Ці землі було визначено в період між 1988 і 2007 рр. за допомогою 32 космічних знімків, близько 87 400 га лісів було вирубано до 1988 р.

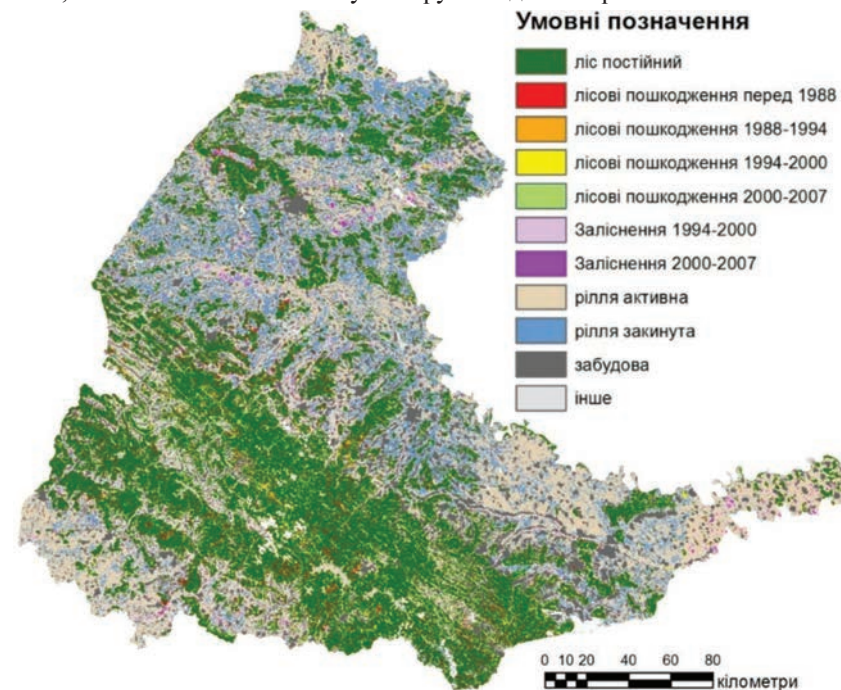


Рис. 1. Вкриті лісовою рослинністю ділянки і землі сільськогосподарського призначення та їх зміни упродовж 1988-2007 рр. у досліджуваному регіоні

Зміни площ вкритих лісовою рослинністю ділянок, ріллі, земель сільськогосподарського призначення, що не використовувалась, забудови дешифровано з Landsat TM і ETM-знімків.

До земель, що не використовуються у сільському господарстві, класифіковано сільськогосподарські угіддя (орні землі та господарські луки), що використовувалися наприкінці 1980-х років і до 2007 р. були перетворені в парк або зростала деревно-чагарникова рослинність. Для класифікації земель використано опрацьований двоетапний метод *changedetection* та розроблено карту земель, що не використовуються у сільському господарстві, користуючись мультитемпоральною класифікацією змін, що базується на SVM і випадкових точках (близько 10 000 контрольних точок). Точність класифікації – 93 % (SD51,59 %) зі значенням k 0,86 (SD50,03) для маски сільськогосподарських земель і 88,4 % (SD58,03 %) зі значенням k 0,74 (SD50,14) для карти земель, що не використовувались.

Вуглецева бухгалтерська модель. Для моделювання потоків депонування вуглецю через зміну землекористування використано вуглецеву бухгалтерську модель [27, 28, 52]. Модель відстежує рік до року зміни в запасах вуглецю внаслідок лісозаготівель та лісовідновлення, очищення лісу і лісорозведення [52]. Для кожної події розраховано реакції екосистем з погляду виділення і поглинання вуглецю. Обсяги рубок, очищення та лісорозведення передбачені в річних часових рядах, відстежують результатний потік вуглецю з плином часу [27, 28].

Заготівля деревини характеризується одночасним поглинанням і вивільненням вуглецю (рівняння (1)), тому модель передбачає, що відновлення лісу проходить услід за рубками. Модель розподіляє заготовлену деревину в три різні вуглецеві пули. Вуглець у першому пулі вивільняється негайно після збирання врожаю (тобто, протягом року), деревина, в основному, в якості дров. Короткоживучі продукти деревини (наприклад, пакувальний матеріал) відносять у другий пул, де частка початкового вмісту вуглецю в пулі розкладається в обсязі 10 % за рік¹. Третій пул містить довгоживучі вироби з дерева (наприклад, меблі, будівельний матеріал), де вуглець виділяється щорічно в обсязі 1 %. Рештки, що залишаються на лісосіці, поступово розкладаються і додаються до загального обсягу виділення вуглецю в атмосферу. У разі постійної заготівлі деревини (тобто, знезліснення), вуглець, що міститься в ґрунті і рослинності, вивільняється (рівняння (2)) Деревина, видалена з ділянки відповідно до присвоєного одного із трьох пулів, розкладається протягом певного часу (негайно, короткостроково і довгостроково), а порубні рештки, що залишили на місці, поступово розкладаються. На відміну від вирубок, які не мають послідовного впливу на потік вуглецю у ґрунті [35], створення лісів, зазвичай, спричиняє експоненціальні втрати ґрунтового вуглецю [68]. У разі лісорозведення, наприклад, унаслідок садіння лісів або природної зміни на сільськогосподарських угіддях, вуглець депонується в ґрунті і рослинності (рівняння (3)). Отже, чистий потік вуглецю внаслідок змін у землекористуванні розраховують як суму окремих потоків за допомогою таких рівнянь:

$$\text{Баланс } C_{\text{рубки}} = \text{Пул}_{1\text{рік}} + \text{Пул}_{10\text{ років}} + \text{Пул}_{100\text{ років}} + \text{Відходи} - \text{Лісовідновлення}; \quad (1)$$

$$\text{Баланс } C_{\text{розчищення}} = \text{Пул}_{1\text{рік}} + \text{Пул}_{10\text{ років}} + \text{Пул}_{100\text{ років}} + \text{Ґрунт}_{\text{вивільнення}} + \text{Відходи}; \quad (2)$$

$$\text{Баланс } C_{\text{лісова експансія}} = -\text{Заліснення} - \text{Ґрунт}_{\text{накопичення}}; \quad (3)$$

$$\text{Баланс } C_{\text{загальний}} = \text{Баланс } C_{\text{рубки}} + \text{Баланс } C_{\text{розчищення}} + \text{Баланс } C_{\text{лісова експансія}}. \quad (4)$$

Цю модель широко застосовують для оцінювання впливу землекористування на потоки вуглецю від регіональних до глобальних масштабів [30-32]. Її перевагою є використання об'єктивної інформації матеріалів дистанційного зондування Землі [15, 25, 56].

Параметризація моделі. Вхідними даними для моделі обліку вуглецю є дані обсягів лісозаготівель, суцільних рубок і лісорозведення від 1800 до 2007 рр., які встановлено на основі карт за матеріалами дистанційного зондування, статистичної інформації щодо ведення лісового господарства та поточного розподілу насаджень за віком. Для періоду 1988-2007 рр. обсяги лісокористування отримано із Landsat-карт змін вкритих лісовою рослинністю ділянок (див. рис. 1). Карта змін вкритих лісовою рослинністю ділянок також містить дані щодо вирубки до 1988 р., але точні їх обсяги невідомі. Розподіл площі лісів за віком показав, що у 1980-х роках щорічні вирубки становили близько 12 тис. га. Такі ж результати отримано за даними супутникових знімків, що підтверджує те, що обсяги лісозаготівель до 1988 р., визначені за супутниковою картою, характеризують період 1982-1988 рр., а також здатність за космічними знімками виявляти суцільні лісосіки (за відсутнім наметом насаджень) у лісах помірного поясу [23, 42].

Для реконструкції довгострокових тенденцій зміни лісового фонду за статистичною інформацією лісового господарства зроблено два припущення. По-перше, зміни площ вкритих лісовою рослинністю ділянок, що документовані в історичних статистичних даних, представляють вирубки та незначне заліснення і охоплюють тривалий період до 1923 р. Припускаємо лінійне зниження площ лісового фонду, оскільки зростання населення у другій половині XIX ст. було відносно лінійною величиною [64], а промислові рубки лісу не велись до початку наступного століття [11]. По-друге, тривалі експлуатаційні рубки лісів не були поширені після 1923 р. Це дало змогу розрахувати щорічні темпи вирубки лісів (до 1923 р.) і щорічного лісорозведення (після 1923 р.) за весь період часу, що не можна встановити за супутниковими зображеннями (рис. 2). Ці припущення узгоджуються з результатами інших розрахунків історичних змін у лісовому господарстві в регіоні [11, 39, 49, 65].

Обсяги рубок до 1982 р. реконструйовані на підставі розподілу лісів за віковими групами. Припустили, що віковий розподіл лісів державних підприємств та інших користувачів був однаковий і може бути перерахований на усю площу вкритих лісовою рослинністю ділянок регіону, що визначено за допомогою супутникових зображень. Не оцінювали рівень експлуатації до 1880 р., тому що великомасштабні лісозаготівлі не розпочалися до розширення мережі залізниць наприкінці XIX ст. [11], а перед 1880 р. рівень експлуатації лісів мав тільки незначний вплив на потоки вуглецю у XX ст., і не впливає на майбутні потоки вуглецю в моделі. Поряд з картами часових змін у лісах регіону, для бухгалтерської моделі вуглецю потрібні додаткові вхідні параметри (обсяги заготівлі деревини, обсяги порубних решток тощо) було взято з літературних джерел [1, 28, 56]. Для перевірки надійності моделі до змін в оцінках параметрів вибрали такі змінні "загальний вміст вуглецю стиглого лісу", "початок відновлення" і "повний час відновлення", які змінювали на ^{±5}, 10 і 20 % та порівнювали із теоретичними даними потоків вуглецю.

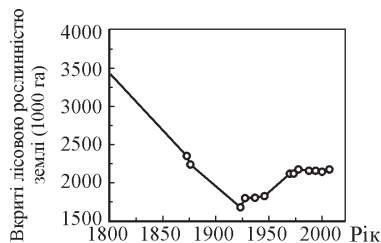


Рис. 2. Зміни площ вкритих лісовою рослинністю ділянок у Західній Україні упродовж 1800-2007 рр.

Майбутні сценарії. Майбутнє сільськогосподарських земель, що не використовуються, на цей час є невизначеним, як і майбутні темпи і методи лісозаготівель, тому просте екстраполювання нинішніх темпів змін у землекористуванні можуть передати неповну картину потенціалу подальшої динаміки вуглецю природних комплексів у регіоні. Для аналізу впливу майбутніх наслідків землекористування на чистий потік вуглецю опрацьовано різні сценарії обсягів лісозаготівель, лісовідновлення та лісорозведення. Як базовий рівень обсягу лісозаготівель прийнято лісосіку площею 10000 га/рік⁻¹ (приблизна площа лісосік упродовж 1991-2007 рр.) і сценарії зміни площі вирубок на 50, 100, 150 і 200 %. Моделювання також передбачає лісовідновлення кожної лісосіки головного користування. Для лісорозведення на колишніх сільськогосподарських угіддях розглянуто: один сценарій за умови його відсутності, шість сценаріїв, які передбачають різні рівні збільшення площ лісів на землях, що на цей час не використовуються у сільському господарстві (10, 20, 30, 40, 50, 75 і 100 % площі), а також два сценарії, які передбачають наступне невикористання сільськогосподарських угідь і подальше збільшення площ лісів у майбутньому (125 і 150 %, тобто, ± 40 і 48 % від загальної площі сільськогосподарських угідь у досліджуваному регіоні). Всього проаналізовано 50 сценаріїв.

Результати та обговорення. Землекористування має істотний вплив на потоки вуглецю у природних комплексах Західної України протягом останніх двох століть, в основному, внаслідок знеліснення території.

Площі вкритих лісовою рослинністю ділянок в Українських Карпатах інтенсивно зменшувались у XIX ст. (до 40 % від загальної площі лісів). Найменшу площу вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок зафіксовано на початку XX ст. (1923 р.), коли зростало трохи більше 1,7 млн га лісу. З 1930 по 1970 рр. площа лісів зростала з інтенсивністю 12 тис. га/рік. Після 1970 р. площа вкритих лісовою рослинністю ділянок у регіоні залишалась стабільною, близько 2,1 млн га. Лісозаготівля була найбільш інтенсивною протягом першої половини XX ст., досягнувши свого піку у 1940 і 1950 рр., коли щорічно вирубувалось до 30 тис. га (рис. 3). Від 1960 р. темпи вирубок істотно знизились і після короткого періоду зростання обсягів лісозаготівель у 1980-х роках, їх темпи знову помітно скоротилися (з 1991 р. – не більше 10 тис. га/рік). Обсяги заліснення були найвищими між 1940 і 1970 рр., коли досягали 12 тис. га/рік.

Виявлені тенденції у землекористуванні підтверджено за результатами моделювання потоків вуглецю в регіоні (рис. 4). Інтенсивне лісокористування

призвело до вивільнення великого обсягу вуглецю у першій половині XX ст., з річним обсягом чистих викидів до 2,94 ТгС (у 1900 р.). Викиди вуглекислого газу досягли свого піку після 1946 р. і тоді ж відбувся перехід регіону від джерела викидів до стоку вуглецю, незважаючи на відносно високі обсяги лісозаготівель (до 2,67 ТгС упродовж 1960-1970 рр.). Показники депонування вуглецю були найвищими у період з 1960 по 1980 рр., і становили 3,10 ТгС у середньому за рік.

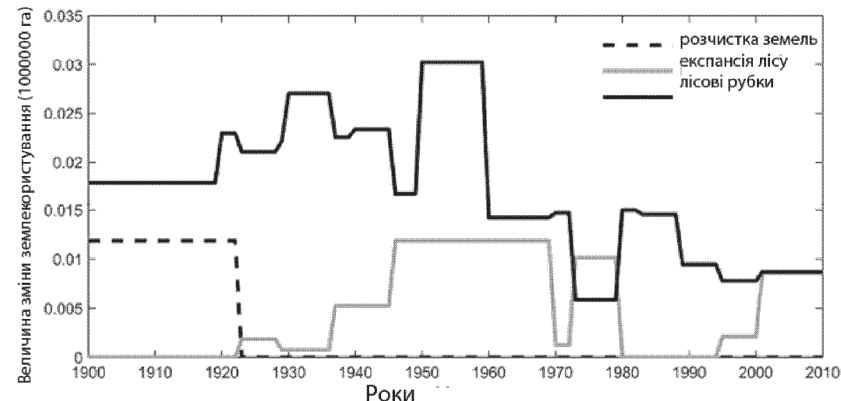


Рис. 3. Зміна площ вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок упродовж 1900-2010 рр. у Карпатському регіоні

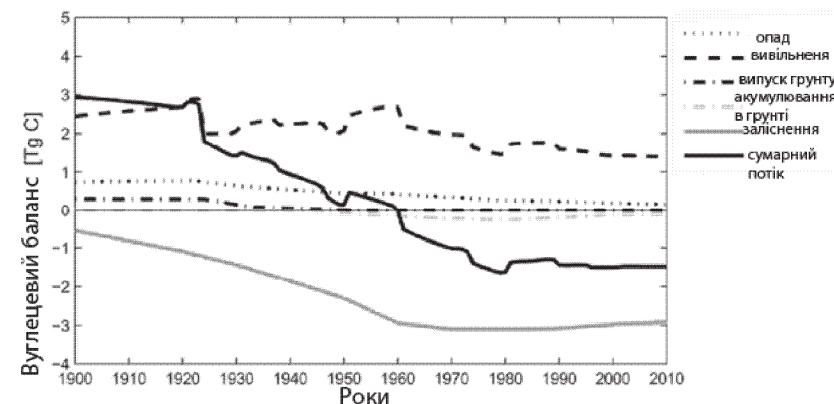


Рис. 4. Потоки вуглецю внаслідок змін у землекористуванні у Західній Україні упродовж 1900-2007 рр.

Незважаючи на високі темпи лісорозведення у 1990-х роках інтенсивність поглинання вуглецю внаслідок створення нових лісів дещо знизилась (на 5 % упродовж 1980-2007 рр.), тому що у першій половині XX ст. ліси на значних площах досягли зрілості. Загалом, заліснення сільськогосподарських земель, що не використовуються, істотно впливає на результатний потік вуглецю. Дані досліджень альтернативних сценаріїв динаміки вуглецю передбачають, що природні комплекси Західної України, ймовірно, залишаться поглиначами вуглецю протягом наступних 100 років (рис. 5).

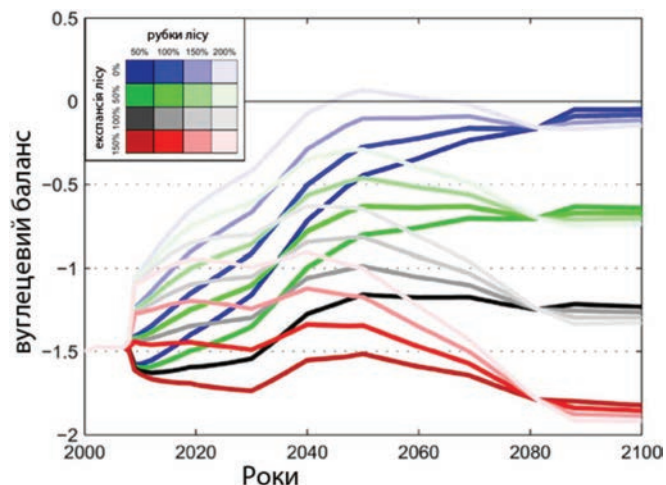


Рис. 5. Баланс вуглецевих потоків для різних сценаріїв обсягів заготівлі деревини та лісорозведення

Чисті викиди вуглецю внаслідок землекористування встановлено тільки в одному із 50 сценаріїв і були дуже малими (до 0,1 ТгС/рік¹) та обмежуються періодом часу 2040-2060 рр. Вуглецевий баланс, однак, істотно відрізняється за різних сценаріїв, починаючи з випуску 0,07 ТгС /рік (сценарій незначного збільшення площ лісів) до стоку 1,98 ТгС/рік (сценарій найбільших площ лісів). Інтенсивні темпи збільшення площ лісозаготівель спочатку знижують стік вуглецю, але високий приріст на заліснених вирубках підвищує інтенсивність стоку вуглецю у другій половині періоду моделювання, внаслідок отримуємо більш високі темпи поглинання вуглецю до 2100 р. для сценаріїв із вищими показниками обсягів лісозаготівель.

Аналізовані сценарії припускають, що природні комплекси Західної України мають значний потенціал для поглинання вуглецю (рис. 6) із загальним обсягом потенційного поглинання вуглецю у діапазоні від 22,37 ТгС (20 000 га річної лісосіки без подальшого лісорозведення) до 167,20 ТгС (без лісозаготівель та за річних обсягів лісорозведення 12 000 га).

Якщо припустити, що обсяг рубок головного користування буде на сьогоднішньому рівні, а всі сільськогосподарські землі, що не використовуються, будуть заліснені до 2100 р., то депонування вуглецю досягне 111,24 ТгС. Різниця в обсягах депонування вуглецю між сценаріями без будь-яких лісозаготівель і найвищим обсягом площ лісозаготівель буде становити 46,11 ТгС, а різниця в обсягах депонування вуглецю між сценаріями з малим і високим обсягами заліснення становитиме 98,71 ТгС.

Кілька комбінацій різних площ лісосік та обсягів заліснення показують однакові обсяги депонування вуглецю, що поглинається в період між 2008 і 2100 рр. Як правило, збільшення площі лісосік на 50 % (тобто, по 5000 га/рік) потребує збільшення інтенсивності заліснення на 17,51 % (тобто, від 1400 га/рік), щоб зв'язати ту ж кількість вуглецю до 2100 р., іншими словами,

викиди вуглецю внаслідок вирубування 1 га лісу будуть компенсовані поглинанням вуглецю залісненими ділянками 0,27 га на сільськогосподарських землях, що не використовуються.

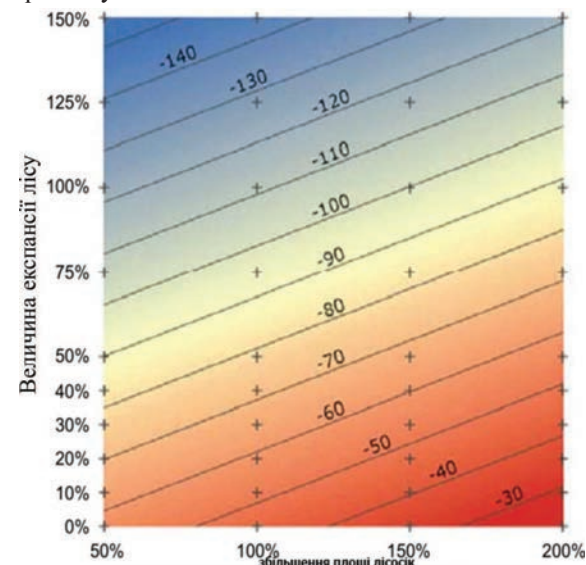


Рис. 6. Загальний обсяг стоку вуглецю [ТгС] упродовж 2008-2100 рр. для різних сценаріїв інтенсивності рубок (100 % = 5000 га/рік¹) і лісової експансії (100 % = всі наявні невикористовувані сільськогосподарські землі ≈ 728 000 га). Знак + показує модельовані сценарії; ізолінії позначають ідентичні значення стоку вуглецю для різних сценаріїв

Величина стоку вуглецю в регіоні досягає 1,48 ТгС/рік й аналізовані сценарії вказують, що обсяги секвестрування вуглецю можуть бути збережені або навіть збільшаться, особливо за умови ефективного ведення лісового господарства. Поглинання вуглецю природними комплексами регіону компенсує приблизно 2 % від загального обсягу викидів вуглецю в Україні (94 ТгС/рік [66]), а збільшення площі лісових насаджень на колишніх сільськогосподарських угіддях, що не використовуються, можуть бути привабливим і відповідно недорогим варіантом виконання Україною міжнародних угод, таких як Кіотський протокол та Паризький договір зі зміни клімату, 2015 [8, 53, 55]. Крім цього, за умови виваженої природоохоронної політики щодо збільшення обсягів поглинання вуглецю можна створити безпрограшні ситуації і забезпечити додатковий дохід [38, 53, 55], що є важливим для України.

Література

1. Букша І.Ф. Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві / І.Ф. Букша, В.П. Пастернак. – Харків, 2005. – 124 с.
2. Ващенко П.Т. Природні ресурси західних районів УРСР / П.Т. Ващенко. – Львів : Книжково журнальне вид-во, 1959. – 132 с.
3. Геренчук К.І. Ландшафти / К.І. Геренчук // Природа Українських Карпат. – Львів : Вид-во Львів. ун-ту. – 1968. – С. 208-238.

4. Геренчук К.І. Природа Львівської області / К.І. Геренчук. – Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 1972. – 150 с.

5. Геренчук К.І. Природа Українських Карпат / К.І. Геренчук. – Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 1968. – 264 с.

6. Державне агентство лісових ресурсів. [Електронний ресурс. – Доступний з <http://dkg.kmu.gov.ua>.

7. Малиновський К.А. Рослинність високогір'я Українських Карпат / К.А. Малиновський. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1980. – 280 с.

8. Паризький договір. Зміна клімату. [Електронний ресурс. – Доступний з <http://www.ecoclubua.com/2016/01/paryzkyj-dohovir/>.

9. Шелях-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування рівнинної частини заходу України / Ю.Р. Шелях-Сосонко, Г.С. Куковія // Ботанічний журнал. – 1971. – Вип. 56, № 10. – С. 1388-1395.

10. Achard F. Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990 s. / F. Achard, H.D. Eva, P. Mayaux [et ol] // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2004. – Vol. 18, GB2008, doi: 10.1029/2003GB002142. – 26 p.

11. Augustyn M. Anthropogenic changes in the environmental parameters of the Bieszczady Mountains / M. Augustyn // *Biosphere Conservation*. – 2004. – Vol. 6. – Pp. 43-53.

12. Bergen K.M., Changing regimes: forested land cover dynamics in Central Siberia 1974 to 2001 / K.M. Bergen, T. Zhao, V. Kharuk [et ol] // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2008. – № 74. – Pp. 787-798.

13. Bondeau A. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance / A. Bondeau, P.C. Smith, S. Zaehle S. [et ol] // *Global Change Biology*. – 2007. – № 13. – Pp. 679-706.

14. Cohen W.B. Landsat's role in ecological applications of remote sensing / W.B. Cohen, S.N. Goward // *Bioscience*. – 2004. – Vol. 54. – Pp. 535-545.

15. DeFries R.S. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980 s and 1990 s / R.S. DeFries, R.A. Houghton, M.C. Hansen [et ol] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2002. – Vol. 99. – Pp. 14256-14261.

16. Elbakidze M. Implementing sustainable forest management in Ukraine's Carpathian Mountains: the role of traditional village systems / M. Elbakidze, P. Angelstam // *Forest Ecology and Management*. – 2007. – Vol. 249. – Pp. 28-38.

17. Foster D. The importance of land-use legacies to ecology and conservation / D. Foster, F. Swanson, J. Aber [et ol] // *Bioscience*. – 2003. – Vol. 53. – Pp. 77-88.

18. Franklin J.F. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example / J.F. Franklin, T.A. Spies, R.V. Pelt [et ol] // *Forest Ecology and Management*. – 2002. – Vol. 155. – Pp. 399-423.

19. Gimmi U. Quantifying disturbance effects on vegetation carbon pools in mountain forests based on historical data / U. Gimmi, A. Wolf, M. Burgi [et ol] // *Regional Environmental Change*. – 2009. – Vol. 9. – Pp. 121-130.

20. Grainger A. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area / A. Grainger // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2008. – Vol. 105. – Pp. 818-823.

21. Grau H.R. Trends and scenarios of the carbon budget in postagricultural Puerto Rico (1936-2060) / H.R. Grau, T.M. Aide, J.K. Zimmerman, J.R. Thomlinson // *Global Change Biology*. – 2004. – Vol. 10. – Pp. 1163-1179.

22. Harmon M.E. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests / M.E. Harmon, W.K. Ferrell, V. Franklin // *Science*. – 1990. – Vol. 247. – Pp. 699-702.

23. Healey S.P. Comparison of Tasseled Cap based Landsat data structures for use in forest disturbance detection / S.P. Healey, W.B. Cohen, Z.Q. Yang, O.N. Krankina // *Remote Sensing of Environment*. – 2005. – Vol. 97. – Pp. 301-310.

24. Henebry G.M. Carbon in idle croplands / G.M. Henebry // *Nature*. – 2009. – Vol. 457. – Pp. 1089-1090.

25. Houghton R. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon / R. Houghton, D. Skole, C. Nobre [et ol] // *Nature*. – 2000. – Vol. 403. – Pp. 301-304.

26. Houghton R.A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance / R.A. Houghton // *Global Change Biology*. – 2005. – Vol. 11. – Pp. 945-958.

27. Houghton R.A. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere / R.A. Houghton, J.M. Hobbie, J.M. Melillo // *Ecological Monographs*. 1983. – Vol. 53. – Pp. 236-262.

28. Houghton R.A. Effects of land use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems / R.A. Houghton, C.L. Goodale // *Ecosystems and Land Use Change* (eds Defries RS, Asner GP, Houghton RA. // *American Geophysical Union, Washington, DC, 2004. – Pp. 85-98.*

29. Houghton R.A. Mapping Russian forest biomass with data from satellites and forest inventories / R.A. Houghton, D. Butman, A.G. Bunn [et ol] // *Environmental Research*. – 2007. – Letters 2. – Pp. 45-62.

30. Houghton R.A. Net flux of carbon dioxide from tropical forests in 1980 / R.A. Houghton, R.D. Boone, J.M. Melillo [et ol] // *Nature*. – 1985. – Vol. 316. – Pp. 617-620.

31. Houghton R.A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990 / R.A. Houghton // *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*. 1999. – Vol. 51. – Pp. – 298-313.

32. Houghton R.A. The US carbon budget: contributions from land-use change / R.A. Houghton, J.L. Hackler, K.T. Lawrence // *Science*, 1999. – Vol. 285. – Pp. 574-578.

33. Hozowkiewicz E. Flora lesna i przemysł drzewny w Galicji [Forest Flora and Timber Industry in Galicia] / Hozowkiewicz E / – Drukarnia W. yozin' ski [Press of W. yozin' ski], Lwow, 1877. – Pp. 67-73 (in Polish).

34. Ioffe G. I From spatial continuity to fragmentation: the case of Russian farming / G. Ioffe, T. Nefedova, I. Zaslavsky // *Annals of the Association of American Geographers*. – 2004. – Vol. 94. – Pp. 913-943.

35. Johnson D.W. Effects of forest management on soil C and N storage: meta-analysis / D.W. Johnson, P.S. Curtis // *Forest Ecology and Management*. – 2001. – Vol. 140. – Pp. 227-238.

36. Kauppi P.E. Returning forests analyzed with the forest identity / P.E. Kauppi, J.H. Ausubel, J.Y. Fang [et ol] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2006. – Vol. 103. – Pp. 17574-17579.

37. Keeton W.S. Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce-fir stands in the eastern Carpathian Mountains, Ukraine / W.S. Keeton, M. Chernyavskyy, G. Gratzner [et ol] // *Plant Biosystems*. – 2010. – Vol. 144. – Pp. 148-159.

38. Klooster D. Community forest management in Mexico: carbon mitigation and biodiversity conservation through rural development / D. Klooster, O. Masera // *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*. – 2000. – Vol. 10. – Pp. 259-272.

39. Kozak J. Forest cover changes in the northern Carpathians in the 20th century: a slow transition. / J. Kozak, C. Estreguil, M. Troll // *Journal of Land Use Science*. – 2007. – Vol. 2. – Pp. 127-149.

40. Kuemmerle T. Cross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians. / T. Kuemmerle, P. Hostert, V.C. Radeloff [et ol] // *Ecosystems*. – 2008. – Vol. 11. – Pp. 614-628.

41. Kuemmerle T. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 / T. Kuemmerle, O. Chaskovskyy, J. Knorn [et ol] // *Remote Sensing of Environment*. – 2009. – Vol. 113. – Pp. – 1194-1207.

42. Kuemmerle T. Post-socialist forest disturbance in the Carpathian border region of Poland, Slovakia, and Ukraine / T. Kuemmerle, P. Hostert, V.C. Radeloff [et ol] // *Ecological Applications*. – 2007. – Vol. 17. – Pp. 1279-1295.

43. Lambin E.F. Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change / E.F. Lambin, P. Meyfroidt // *Land Use Policy*. – 2010. – Vol. 27. – Pp. 108-118.

44. Land abandonment, biodiversity, and the CAP. Land abandonment and biodiversity in relation to the 1st and 2nd pillars of the EU's Common Agricultural Policy; Outcome of an international seminar in Sigulda, Latvia, October 7-8, 2004 // DLG, 2005. – 112 p.

45. Larionova A.A. Land-use change and management effects on carbon sequestration in soils of Russia's South Taiga zone / A.A. Larionova, L.N. Rozanova, I.V. Yevdokimov [et ol] // *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*. – 2003. – Vol. 55. – Pp. 331-337.

46. Lerman Z. Evolving farm structures and land-use patterns in former socialist countries / Z. Lerman, C. Csaki, G. Feder // *Quarterly Journal of International Agriculture*. – 2004. – Vol. 43. – Pp. 309-335.

47. Luysaert S. Old-growth forests as global carbon sinks / S. Luysaert, E.D. Schulze, A. Börner [et ol] // *Nature*. – 2008. – Vol. 455. – Pp. 213-215.

48. Main-Knorn M. How pollution legacies and land use histories shape post-communist forest cover trends in the Western Carpathians / M. Main-Knorn, P. Hostert, J. Kozak, T. Kuemmerle // *Forest Ecology and Management*. – 2009. – Vol. 258. – Pp. 60-70.

49. Mather A.S. The forest transition / A.S. Mather // *Area*. – 1992. – Vol. 24. – Pp. 367-379.

50. Mapy Rocznik Statystyczny. [Small Statistical Yearbook]. Nakzadem Gzownego Urzedu Statystycznego [under the imprint of the Central Statistical Office. – Warszawa, 1939. – 37 p. (in Polish).

51. Miklaszewski J. Lasy i lesnictwo w Polsce [Forests and Forestry in Poland]. Nakzadem Zwiazku Zawodowego Lesnikow w Rzeczpospolitej Polskiej [under the imprint of the Association of Professional Foresters in the Polish Republic] / Miklaszewski J. – Warszawa, 1928. – 72 p. (in Polish).

52. Moore B. A simple model for analysis of the role of terrestrial ecosystems in the global carbon budget / B. Moore, B. Boone, J. Hobbie, R. Houghton, J. Melillo // Modelling the Global Carbon Cycle. – 1981. – SCOPE 16 (ed. Bolin B). – Pp. 365-385.

53. Nijnik M. Economics of climate change mitigation forest policy scenarios for Ukraine / M. Nijnik // Climate Policy. – 2005. – Vol. 4. – Pp. 319-336.

54. Nijnik M. Forestry in the Ukraine: the road ahead? / M. Nijnik, G.C. Van Kooten // Forest Policy and Economics. – 2000. – Vol. 1. – Pp. 139-151.

55. Nijnik M. Responding to the Kyoto Protocol through forestry: a comparison of opportunities for several countries in Europe / M. Nijnik, L. Bizikova // Forest Policy and Economics. – 2008. – Vol. 10. – Pp. 257-269.

56. Olofsson P. Implications of land use change on the national terrestrial carbon budget of Georgia / P. Olofsson, P. Torchinava, A. Baccini [et al] // Carbon Balance and Management. – 2010. – Vol. 5. – Pp. 4-14.

57. Orzechowski K. Przewodnik statystyczny i skorowidz obejmujacy wszystkie miejscowosci z przysiozkami w Krolestwie Galicyi W.X. Krakowskiem i X. Bukowinie, wedlug najswieszych skazowek urzedowych [The Statistical and Topographical Companion and Index of all Towns with Hamlets in the Kingdom of Galicia, the Grand Duchy of Krakow and the Duchy of Bukovina, According to the Newest Official Instructions. – Krakow : Press W. Kornecki, 1872. – 110 p. (in Polish).

58. Peterson U. Changes in agricultural land use in Estonia in the 1990s detected with multitemporal Landsat MSS imagery / U. Peterson, R. Aunap // Landscape and Urban Planning. – 1998. – Vol. 41. – Pp. 193-201.

59. Post W.M. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential / W.M. Post, K.C. Kwon // Global Change Biology. – 2000. – Vol. 6. – Pp. 317-327.

60. Rhemtulla J.M. Historical forest baselines reveal potential for continued carbon sequestration / J.M. Rhemtulla, D.J. Mladenoff, M.K. Clayton // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2009. – Vol. 106. – Pp. 6082-6087.

61. Rozelle S. Success and failure of reform: insights from the transition of agriculture / S. Rozelle, J.F.M. Swinnen // Journal of Economic Literature. – 2004. – Vol. 42. – Pp. 404-456.

62. Schulp C.J.E. Future carbon sequestration in Europe – effects of land use change / C.J.E. Schulp, G.-J. Nabuurs, P.H. Verburg // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2008. – Vol. 127. – Pp. 251-264.

63. Smith P. Changes in mineral soil organic carbon stocks in the croplands of European Russia and the Ukraine, 1990-2070; comparison of three models and implications for climate mitigation / P. Smith, J. Smith, U. Franko [et al] // Regional Environmental Change. – 2007. – Vol. 7. – Pp. 105-119.

64. Soja M. Population Growth Cycles in the Polish Carpathian Mountains During the 19th and 20th Centuries / M. Soja. – Krakow : Institute of Geography and Spatial Management, 2008. – 102 p. (in Polish).

65. Turnock D. Ecoregion-based conservation in the Carpathians and the land-use implications / D. Turnock // Land Use Policy. – 2002. – Vol. 19. – Pp. 47-63.

66. United N.N. Nations CO₂ emissions estimates. Data from the UNSD Millennium Development Goals Indicators database / U.N. United. – 2007. [Electronic resource. – Mode of access http://unstats.un.org/unsd/environment/air_co2_emissions.htm (accessed 1 March, 2010).

67. Vuichard N. Carbon sequestration due to the abandonment of agriculture in the former USSR since 1990 / N. Vuichard, P. Ciais, L. Beletti, P. Smith, R. Valentini // Global Biogeochemical Cycles / – 2008. – Vol. 22, GB4018, doi: 10.1029/2008GB003212. – 88 p.

68. Yanai R.D. Soil carbon dynamics following forest harvest: an ecosystem paradigm reconsidered / R.D. Yanai, W.S. Currie, C.L. Goodale // Ecosystems. – 2003. – Vol. 6. – Pp. 197-212.

Надіслано до редакції 24.02.2016 р.

Часковський О.Г., Миклуш Ю.С., Кюмерле Тобиас, Олофссон Понтус.
Углеродний баланс природних комплексів Західної України

Землепользование является важным фактором в глобальном цикле круговорота углерода, в частности вследствие зарастания лесом сельскохозяйственных земель. Важна оценка влияния изменений землепользования на объемы депонирования углерода в природных комплексах и их углеродный потенциал.

С использованием карт изменений площадей лесов и сельскохозяйственных земель с 1988 по 2007 гг., базирующихся на спутниковых снимках, статистических данных, модели учета углерода, проанализированы объемы депонирования углерода в зависимости от изменений в землепользовании в XX в. и смоделирован потенциал депонирования углерода к 2100 г. по различным сценариям объемов вырубки лесов, лесовосстановления и лесоразведения. Будущая экспансия лесов будет, скорее всего, сохранять или даже повышать региональный тренд стока углерода в 1,48 ТгС/ч. Это может оказать существенные возможности эмиссии углерода для индустриальных районов и развития сельских регионов.

Ключевые слова: лесная растительность, лесозаготовительные работы, лесовосстановление, лесоразведение, депонирование углерода, моделирование.

Chaskovskyy A.G., Myklush Yu.S., Tobias Kyumerle, Pontus Olofsson The Carbon Balance of Natural Systems in Western Ukraine

Land use is a critical factor in the global carbon cycle, especially as a result of overgrowing of farmlands by forests. It is important to estimate the influence of land use on volume of carbon sequestration in natural complexes and their carbon potential. Carbon fluxes basing on land use in the 20th century were analyzed and potential future carbon fluxes until 2100 for a range of forest expansion and logging scenarios were modeled by using maps of change in forest and farmland cover from 1988 to 2007. These maps are based on satellite images, statistical data and carbon accounting model. Future forest expansion will most likely maintain or even increase trend of the region's carbon sink to 1.48 TgCyr⁻¹.

Keywords: forest vegetation, lumbering, reforestation, afforestation, carbon sequestration, modeling.

УДК 630*174.754:631

МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ ЦІННИХ ГЕНОТИПІВ TAXUS BACCATA L.

М.М. Лісовий¹

Проаналізовано низку літературних джерел, які стосуються тематики досліджень. Наведено перелік найпоширеніших у садово-парковому господарстві декоративних відмін *Taxus baccata* L. Охарактеризовано основні етапи застосованої методики проведення досліджень: схему проведення стерилізації експлантів; склад живильних середовищ для ініціації, мультиплікації та укорінення *in vitro*; субстрат для адаптації рослин-регенерантів до ґрунтових умов. Представлено отримані результати експериментальних досліджень з розмноження мікроклонуванням тиса ягідного типової форми та двох його декоративних відмін: 'Fastigiata' та 'Aurea'. Узагальнено та проаналізовано отримані результати.

Ключові слова: *Taxus baccata* L., мікроклонування, експлант, стерилізація, ініціація, мультиплікація, живильне середовище.

Вступ. Тис ягідний (*Taxus baccata* L.) – реліктовий вид мезозойської ери, який занесено до Червоної книги України з присвоєним природоохоронним статусом "вразливий" [11]. Також досліджуваний вид є досить стійким до умов урбанізованого середовища та поліморфним, що робить його незамінним в озеле-

¹ Докторант М.М. Лісовий, доц., канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів