



УДК 574.4

Потенціал продукції фотосинтезу лісових біогеоценозів у низькогір'ї Покуття (Українські Карпати)

С.Я. Мілевська

Інститут екології Карпат НАН України, Львів, Україна

Мета дослідження – випробування на прикладі модельного регіону методики оцінки продукційного потенціалу лісових екосистем і наслідків їх антропогенних змін. Досліджено типове для Карпат лісове низькогір'я у басейні річки Лючка, площею 14 806 га. Воно здавна зазнало значної агрокультурної трансформації. Дослідження базувалися на основі картографічного моделювання сучасного антропогенно трансформованого біогеоценотичного покриву із застосуванням великомасштабних космічних зображень території. Основні типи біогеоценотичного покриву виділено відповідно до висотної поясності рослинності, частин гірського рельєфу та переважних типів ґрунтово-гідрологічних умов. Для аналітичних процедур створено базу даних матеріалів подільного таксаційного опису лісів. Це дозволило виконати розрахунки середніх і потенційних біометричних показників деревостанів різних клімато-ґрунтово-гідрологічних умов. Побудовано картографічні моделі просторових структур основних типів біогеоценотичного покриву. Біологічну продуктивність основних типів лісових екосистем визначали на основі даних про продуктивність деревостанів. Масу сухої деревини визначали, беручи до уваги її об'єм і стандартні значення щільності деревини різних порід. Обчислення загальних обсягів фітомаси лісів виконано із застосуванням конверсійних коефіцієнтів відносно маси стовбурової деревини. Масу депонованого вуглецю приймали у розмірі 50% загального обсягу фітомаси. Середній річний приріст фітомаси та депонованого вуглецю визначали шляхом поділу відповідних обсягів деревостанів на їх середній вік. Розрахунок спожитого фітоценозами унаслідок реакції фотосинтезу CO_2 , H_2O та світлової енергії обчислено з урахуванням відповідних матеріально-енергетичних пропорцій. Загалом біогеоценотичний покрив модельної території низькогір'я упродовж року внаслідок фотосинтезу за умови відновлення потенційного рослинного покриву міг би депонувати вуглецю 43,3 тис. т, споживаючи при цьому CO_2 – 159 тис. т, H_2O – 65,2 тис. т, світлової енергії – $1724 \cdot 10^3$ ГДж, що рівнозначно 479 ГВт-год. При цьому в атмосферу надійшло б O_2 – 115,7 тис. т. У перерахунку на 1 га це становитиме: C – $2,92 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, CO_2 – $10,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, H_2O – $4,4 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, O_2 – $7,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, E – $116,4 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1}$, що рівнозначно $32,3 \text{ МВт} \cdot \text{год} \cdot \text{га}^{-1}$. Загальний потенціал продукції фотосинтезу сучасного біогеоценотичного покриву модельної території становить 38% від потенційно можливого. Унаслідок цього енергетичні втрати складають $20 \text{ МВт} \cdot \text{год} \cdot \text{га}^{-1}$ світлової енергії, на $1,9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ менше депонованого вуглецю, $6,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ менше використаного вуглекислого газу, не використано $2,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ води, не повернуто в атмосферу $3,9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ кисню. Великий питомий обсяг не використаних біогеоценотичним покривом ресурсів, вуглекислого газу та світлової енергії, а також не транспірованої у повітря вологи та не виділеного кисню можуть спричинити вагомий вплив на місцеві кліматичні умови.

Ключові слова: ліс; продуктивність; баланс; вуглець; кисень; енергія

Production potential of photosynthesis in forest ecosystems of the low mountain Pokuttya (Ukrainian Carpathians)

S.Y. Milevskaya

Institute of Ecology of the Carpathians of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

The aim of the study was testing on the example of a model region a method of estimation of the production potential of forest ecosystems and the consequences of anthropogenic changes there. The object of study is a typical Carpathian lower mountain forest in the basin of the river Lyuchka, an area of 14,806 ha. It has long undergone considerable agricultural transformations. Studies were based on cartographic modeling of modern anthropogenically transformed biogeocenotic cover using large scale satellite images. The main types of biogeocenotic cover were defined according to the altitudinal zonation of vegetation of the parts of the mountain terrain and the prevailing

Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, 79026, Україна

Institute of Ecology of the Carpathians of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kozelnicka Str., 4, Lviv, 79026, Ukraine

E-mail: svetmil20@gmail.com, ecoinst@mail.lviv.ua

types of soil and hydrological conditions. For analytical procedures a database of materials describing the biometric features of the forests was created. It is possible to perform calculations of average and potential biometrical parameters of stands growing in different climatic, soil and hydrological conditions. The structure and the biological diversity of different vegetation types was determined by construction of mapping models of spatial structures of the basic types of biogeocenotic cover. The biological productivity of the main types of forest ecosystems was determined on base of the volume of timber stands. The mass of dry wood was determined taking into account its size and standard density of wood of different tree species. Calculation of the total volume of forest biomass was performed using the conversion factors of weight relative to the trunk timber volume. The mass of carbon deposited accounted for 50% of the total biomass. The average annual growth of biomass and carbon deposited was determined by dividing the volume of the stands by their average age. Calculation of phytocenosis consumed as a result of photosynthesis reaction of CO₂, H₂O and light energy was performed taking into account corresponding material and energy ratios. In general, in the course of one year the biogeocenotic cover of the model lowland area could deposit as a result of photosynthesis for the restoration of potential vegetation cover 43.3 ths. tons of carbon, while consuming 159 ths. t of CO₂ and 65.2 ths. t of H₂O and 1,724 · 10³ GJ of light energy, which is equivalent to 479 GW · hour. During this process O₂ – 115.7 ths. t would be emitted into the atmosphere. In terms of 1 hectare, this is equal to C – 2.92 t · ha⁻¹, CO₂ – 10.7 t · ha⁻¹, H₂O – 4.4 t · ha⁻¹, O₂ – 7.8 t · ha⁻¹, E – 116.4 GJ · ha⁻¹, which is equivalent to 32.3 MW · h · ha⁻¹. The total production capacity of photosynthesis of the modern biogeocenotic cover model area is 38% of the potential. As a result, the energy loss is 20 MW · h⁻¹ · ha⁻¹ light energy to 1.9 t · ha⁻¹ less than the deposited carbon 6.7 t · ha⁻¹ less carbon dioxide used, 2.8 t · ha⁻¹ water is not used, 3.9 t ha⁻¹ oxygen is not returned to the atmosphere. The large specific amount of unused resources of productivity of biogeocenotic cover, carbon dioxide, light energy, untranspired moisture in the air and unemitted oxygen can cause a significant impact on local climatic conditions.

Keywords: forest; productivity; balance carbon; oxygen; energy

Вступ

Збалансоване використання ресурсів біосфери, а також підтримання та оптимізація її стану належать до кола особливо актуальних проблем сьогодення глобального масштабу. Відповідно до міжнародних зобов'язань, особливої уваги набувають питання регіонального та локального моніторингу продукційного процесу біогеоценотичного покриву (Bobyliov et al., 2014). Загалом це стосується оцінки його екологічного потенціалу та, зокрема, продуктивності сучасних антропогенно трансформованих екосистем. Така продуктивність порівняно з відповідними показниками потенційних природних комплексів може слугувати об'єктивною основою для оцінки та прогнозу наслідків антропогенних змін у навколишньому середовищі. Вона оцінюється показниками повної (валової) первинної продуктивності (GPP) частини біосфери чи регіону загалом та її окремих ділянок зокрема. Однак навіть методами супутникового моніторингу отримання таких показників дуже проблематичне. Особливе значення для вирішення цієї наукової проблеми має наземна інформація стосовно чистої первинної продуктивності (NPP) екосистем модельних полігонів (Newman et al., 2006, 2015), у тому числі вуглецевого балансу (Waring et al., 1998). Моделювання реакції чистої первинної продуктивності має вагоме теоретичне та прикладне значення, зокрема, для оцінки змін клімату та антропогенних впливів на довкілля. У Канаді його застосовують для контролю режимів локальних збурень, наприклад тих, що виникають унаслідок лісових пожеж (Peng and Apps, 1999). Ці проблемні питання актуальні для України (Golubec' et al., 2001; Moroz et al., 2011).

Повна первинна продуктивність включає в себе продукування органічної речовини (тобто NPP) плюс втрати на дихання ($\sum R$). Її обсяг може бути визначений лише безпосередньо в камерних експериментах, що здійснити надзвичайно складно. Зазвичай обмежуються визначенням чистої первинної продуктивності лісових біогеоценозів (NPP), яку оцінюють у річному обсязі (т·га⁻¹·р⁻¹). Тобто визначають біомасу, що залишається після вирачування безперервних втрат на дихання екосистеми (Pretzsch, 2009). У такому випадку повну первинну

продуктивність (GPP) визначають як похідну від обсягу продукування органічної речовини (NPP):

$$GPP = NPP + \sum R = NPP \times f_r, \quad (1)$$

тобто величина NPP множиться на певний коефіцієнт фактора дихання (f_r). Для регіонів помірного клімату прийнято вважати, що витрати дихання становлять близько 50% розміру GPP. Це відповідає величині $f_r = 2$. Таке значення коефіцієнта приймається як базове для відповідних розрахунків.

Процес дихання складний. Загалом він полягає в акумулюванні та продукуванні CO₂, а також O₂ і H₂O (транспірація). Унаслідок фотосинтезу та транспірації має місце споживання великої кількості теплової та світлової енергії. Це істотно впливає на формування місцевого клімату (вологості та температурного режиму повітря). У ширшому масштабі ці процеси зумовлюють регіональні, континентальні та глобальні зміни клімату, що виникають унаслідок антропогенної трансформації наземних екосистем, зокрема, зменшення лісистості та штучного заліснення (Calder et al., 2002; Nisbet, 2002, 2005; Kirschbaum, 2004; Nisbet, 2005; Schlesinger and Jasechko, 2014). Проте у більшості публікацій (у тому числі й у наведених) чомусь не йдеться про споживання сонячної енергії та пов'язані з ним зміни температурного та гідрологічного балансу, зокрема, про охолодження повітря унаслідок фотосинтезу та транспірації, що є похідним від продуктивності рослинного покриву (Energy and Climate Change, 2015).

Особливе значення для отримання об'єктивних узагальнень мають не лише стаціонарні балансові дослідження на прикладі окремих фітоценозів (ділянок лісових масивів, чагарникових або лучних фітоценозів, агроценозів), а також інтегровані моніторингові спостереження у масштабі великих територій: гірських масивів, окремих островів та річкових басейнів (Mercado et al., 2009). Найпридатніші об'єкти для моніторингових досліджень – лісові біогеоценози, оскільки NPP їх біомаси є, умовно, майже винятково наслідком багаторічного фотосинтезу. Це зумовлено відносною збалансованістю речовинного обігу між фітоценозом і ґрунтом, чого немає в антропогенно трансформованих екосистемах, до яких періодично вносять органічні та мінеральні добрива, додатково зрошують або осушують, а також регулярно вилучають із

них частину біомаси. NPP лісових біогеоценозів залежить, головним чином, від видового складу деревостанів та їх біометричних характеристик: віку едифікаторних ценопопуляцій, абсолютної повноти, запасу та приросту стовбурної деревини та біомаси загалом (Tretjak and Chemevij, 2011; Rajtík et al., 2013; Vasylyshyn et al., 2014). Вирішальне значення має площа деревостанів сучасного біогеоценотичного покриву. Величина його NPP у сучасному стані може бути порівняна до величини відповідного йому NPP у потенційно можливому (гіпотетичному) стані. У такому випадку можлива оцінка зміни його продукційного потенціалу унаслідок антропогенних змін. Водночас можливою є оцінка ΣR , як похідної величини від продуктивності (O_2 та H_2O транспірації). Може бути частково обчислений енергетичний баланс – депонування сонячної та теплової енергії унаслідок фотосинтезу, використання її на транспірацію, нагрівання повітря, поверхні ґрунту тощо. Такі моніторингові дослідження потребують розроблення відповідного методичного забезпечення та його апробації на прикладі модельних територій.

Наші дослідження власне передбачали на прикладі модельного річкового басейну розроблення та апробацію такої методики порівняльної оцінки матеріально-енергетичного балансу унаслідок фотосинтезу різного ступеня антропогенно трансформованого лісового покриву. Мета нашого дослідження – оцінити потенціал біологічної продуктивності унаслідок фотосинтезу сучасного та потенційного (гіпотетичного) лісового біогеоценотичного покриву.

Такий моніторинг біологічної продуктивності має особливе значення для оцінки екологічних наслідків антропогенних змін, що відбулися у біогеоценотичному покриві лісових гірських регіонів. У Карпатах це, насамперед, давня заселені людьми низькогір'я, де тривалий час практикувалося лісокористування та відбулося масштабне агрокультурне освоєння колишніх лісових земель. До таких регіонів належить і Покутське низькогір'я – невисокі гори, що простягнулися від верхів'я р. Лючка до долини р. Черемош. Його орієнтовна площа становить 75 тис. га. Лісові ландшафти цього району, давня заселені людьми, зазнали антропогенної трансформації. Особливо це стосується басейну р. Лючка, де сільські агломерації почали формуватися чи не найшвидше, упродовж щонайменше шести століть: тут давня розвинуте рільництво, скотарство, солеваріння та різні мануфактурні виробництва (Milevs'ka, 2002). Саме тому територію гірської частини басейну р. Лючка обрано модельним полігоном для досліджень антропогенної трансформації біогеоценотичного покриву лісистого низькогірного ландшафту (рис.). Його площа становить майже 15 тис. га, тобто приблизно 20% загальної площі Покутського низькогір'я. Отримані на його прикладі узагальнення, можна вважати, будуть репрезентативними для всього цього регіону.

Матеріал і методи досліджень

Картосхему сучасного антропогенно трансформованого біогеоценотичного покриву (рис.) побудовано на основі картографічних матеріалів масштабу 1 : 100 000, а також космічних зображень геоінформаційної системи

Google Планета Земля. Основні типи лісового біогеоценотичного покриву виділено відповідно до результатів аналізу особливостей структури сучасного лісового покриву залежно від висотної поясності, частин гірського рельєфу та переважаючих типів ґрунтово-гідрологічних умов на основі матеріалів таксаційного опису місцевих лісів (Березівське лісництво Державного підприємства «Кутське лісове господарство» (станом на 2011 р.), що ростуть у басейні гірської частини р. Лючка. Ґрунтово-гідрологічні умови розглядаємо за категоріями типів едафотопів: C_2 , C_3 , та C_4 – свіжі, вологі та сирі мезоевтрофні, D_2 , D_3 та D_4 – свіжі, вологі та сирі евтрофні. Для цього побудовано комп'ютерну базу даних, що містить характеристики 567 ділянок, на яких ростуть деревостани природного походження. Їх загальна площа становить 2 234 га, тобто охоплює понад 30% загальної площі лісової рослинності у межах дослідної території. На цій фактологічній основі за допомогою стандартних функцій групування, математичної та статистичної обробки інформації, отримано відповідні узагальнення (табл. 1 і 2). При цьому враховували також попередньо отримані матеріали та висновки стосовно просторової та фітоценотичної структури сучасного лісового та лучного біогеоценотичного покриву (Milevs'kaya, 2004, 2013, 2014, 2015).

На основі картосхеми сучасного біогеоценотичного покриву, відповідно до виявлених просторових особливостей кліматично-ґрунтово-гідрологічних та лісорослинних умов побудовано гіпотетичну модель його потенційної структури (рис.). Маємо на увазі його можливий сучасний стан за відсутності антропогенної трансформації не лише змінених лісових екосистем, а і сільських агломерацій, вторинних сінокісних лук і пасовищ, зрубаних лісів тощо. У цьому випадку для побудови структури потенційних природних біогеоценозів до уваги брали фрагментарні залишки лісових екосистем. На основі наведених картосхем визначено орієнтовні площі та співвідношення характерних типів біогеоценозів (табл. 3).

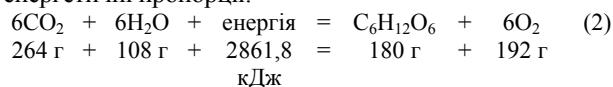
Для оцінки можливої продуктивності деревостанів потенційного лісового покриву до уваги брали середні значення запасів стовбурової деревини повних деревостанів у 80 і більше років ($Mp80$), які визначали з матеріалів бази даних таксаційного опису лісів. Для цього фактичні запаси таких деревостанів старшого віку приводили до повноти 1.0, тобто ділили на фактичні значення відносної повноти, а отримані результати усереднювали. Для сучасного біогеоценотичного покриву до уваги брали середнє значення фактичних запасів стовбурової деревини всіх деревостанів відповідних біогеоценозів різного віку ($Mф$). Для перерахунку запасу деревини в одиниці маси сухої деревини застосовували стандартні значення її густини для різних порід (Kolomynova, 2010): бук – 650, вільха – 495, граб – 760, дуб – 655, ялина – 420, ялиця – 350, ясен – $650 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$. Середню густину сухої деревини для мішаних деревостанів визначали за відсотками представництва едифікаторних порід у їх складі. Обчислення загальних обсягів фітомаси лісів виконували, застосовуючи конверсійні коефіцієнти фітомаси відносно маси стовбурової деревини (Ph/M). Для цього використали відповідні матеріали щодо структури фітомаси лісових біогеоценозів Карпатського національного природного

парку (Vasylyshyn et al., 2012). Його територія межує з басейном р. Лючка. Окрім цього, для потенційно можливих деревостанів дуба, що мали б рости у прирусловій долині, за основу взяли відповідні показники для деревостанів дуба III бонітету, які ростуть в умовах Поділля (Lashhenko, 2004). Тамтешні кліматично-грунтово-гідрологічні умови подібні до міжгірських долин на висоті 300–400 м н. р. м. Для ялинових лісів із домішкою ялиці та бука прийнято усереднене значення конверсійного коефіцієнта – 1,6, для ялиново-ялицево-букових лісів – 1,7, грабово-буково-дубових – 2,0, а вільхово-ясеневих-дубових – 2,2. Отже, для отримання показників загальної фітомаси (PhM) у випадку потенційного біогеоценологічного покриву величину маси стовбурової деревини повних деревостанів у віці понад 80 років (Mп80) множили на відповідне значення конверсійного коефіцієнта (Ph/M). Подібну процедуру виконували також у випадку сучасного лісового біогеоценологічного покриву, при цьому до уваги брали середнє значення фактичних запасів стовбурової деревини всіх деревостанів (Mф), яке також множили на відповідне значення конверсійного коефіцієнта (табл. 2).

На основі отриманих показників загальної фітомаси (PhM) для кожного типу біогеоценозів у різних типах едафічних умов розраховано масу депонованого вуглецю (C), яку зазвичай приймають у розмірі 50% загальної фітомаси (Pretzsch, 2009), що відповідає загальновідомій пропорції хімічного складу сухої деревини. Середній річний приріст фітомаси (ZPhM) та депонованого вуглецю (Zc) визначали також шляхом поділу загального обсягу фітомаси чи депонованого у ній вуглецю на середній вік деревостанів. Для потенційного біогеоценологічного покриву у випадку деревостанів із переважанням дуба звичайного він становив 110 років, а інших видів дерев – 80 років. Такі значення передбачають сьгоднішні норми віку стиглості деревостанів цих порід. Для сучасного біогеоценологічного покриву брали до уваги середній вік

деревостанів: ялинових – 50 років, ялиново-ялицево-букових – 70 років, грабово-буково-дубових, що ростуть в умовах едафотопів C₂₋₃ – 110 років, а в D₃ – 70 років, C₄ – 40 років.

Обчислення спожитого фітоценозами унаслідок реакції фотосинтезу вуглекислого газу, води та світлової енергії, а також отриманих продуктів (глюкози та кисню) виконали, беручи до уваги відповідні матеріально-енергетичні пропорції:



Унаслідок фотосинтезу фітоценоз поглинає з атмосфери 264 г вуглекислого газу та 108 г води, а також споживає енергії 2 861,8 кДж або 477 кДж·моль⁻¹. При цьому утворюється 180 г глюкози та виділяється в атмосферу 192 г кисню. На цій основі виконано відповідні обчислення матеріально-енергетичних показників продукційного потенціалу біогеоценологічного покриву модельної території (табл. 6 та 7). У випадку агрокультурних типів біогеоценозів такі розрахунки виконано на основі місцевих середньостатистичних показників продуктивності сільськогосподарських культур і сінокосів.

Результати

Природно-кліматичні умови низькогір'я Покуття сприятливі для успішного росту та розвитку мішаних багатовидових широколистяних лісів. Лише у горах ростуть типові азональні ялиново-ялицево-букові деревостани, а на висотах понад 900 м – здебільшого ялинові ліси з домішкою ялиці та бука. Сучасні природно-кліматичні та ґрунтово-гідрологічні умови (табл. 1) зумовлюють помітні тенденції висотно-кліматичної та ґрунтово-гідрологічної диференціації структури деревостанів за складом едификаторів та їх біометричними характеристиками (табл. 2).

Таблиця 1

Розподіл лісових земель (%) гірської частини басейну р. Лючка за ґрунтово-гідрологічними та висотно-поясними умовами

Висота над рівнем моря, м	Типи ґрунтово-гідрологічних умов (едафотопів)							Разом
	B ₂	B ₃	C ₂	C ₃	C ₄	D ₂	D ₃	
901–1000	0	0	0	2,8	0	0	3,1	5,9
801–900	0	0	0	8,4	0	0	9,5	17,9
701–800	0	0	0	2,4	0	0	2,7	5,0
601–700	0	0	4,6	10,2	0	1,7	3,8	20,3
501–600	1,1	0,1	13,1	14,8	0,1	4,1	1,7	35,0
401–500	0,3	0,1	6,0	7,6	0,0	1,4	0,5	15,9
Разом	1,4	0,2	23,7	46,2	0,1	7,1	21,3	100,0

Сучасний біогеоценологічний покрив істотно змінений господарською діяльністю. Найбільші площі нині займають сільські агломерації (понад 30%). Луки та пасовища займають майже 20% території, а ділянки зрубаних лісів лише 2%. Решта територій представлена відносно мало зміненими лісовими біогеоценозами, частка яких становить майже 48% (табл. 3). Сучасні ліси загалом відображають кліматично-ґрунтово-гідрологічну диференціацію лісового покриву. У межах територій, де панують антропогенно змінені біогеоценози, залишки лісових екосистем можуть слугувати лише прототипами колишніх або потенційно можливих сучасних природних лісових угруповань. Ці матері-

али дозволяють вважати, що, вірогідно, нині за умов відсутності антропогенно змінених біогеоценозів, на цій території харатерні чотири типи лісових біогеоценозів (табл. 4, 5 та 6).

Біогеоценози ялинових лісів у пригребеневій частині гірських масивів займають верхні частини схилів, що розташовані вище 900 м н. р. м. У таких місцях ростуть теперішні такі ліси. Геологічне підґрунтя тут – вапнисті піщано-глинисті продукти вивітрювання глинисто-піщаникового флішу, а також зрідка – кам'яністі розсипи та брилисті піщаники. Ґрунти середньої потужності буроземні нейтральні або слабокислі переважно свіжі.

За даними ґрунтово-лісотипологічного обстеження, такі лісорослинні умови діагностуються як свіжі «сугруди» або свіжі мезо-евтрофні едафотопи. Локальні кліматичні

умови прохолодні та вологі зі значною вітровою діяльністю та високим сніговим покривом узимку.

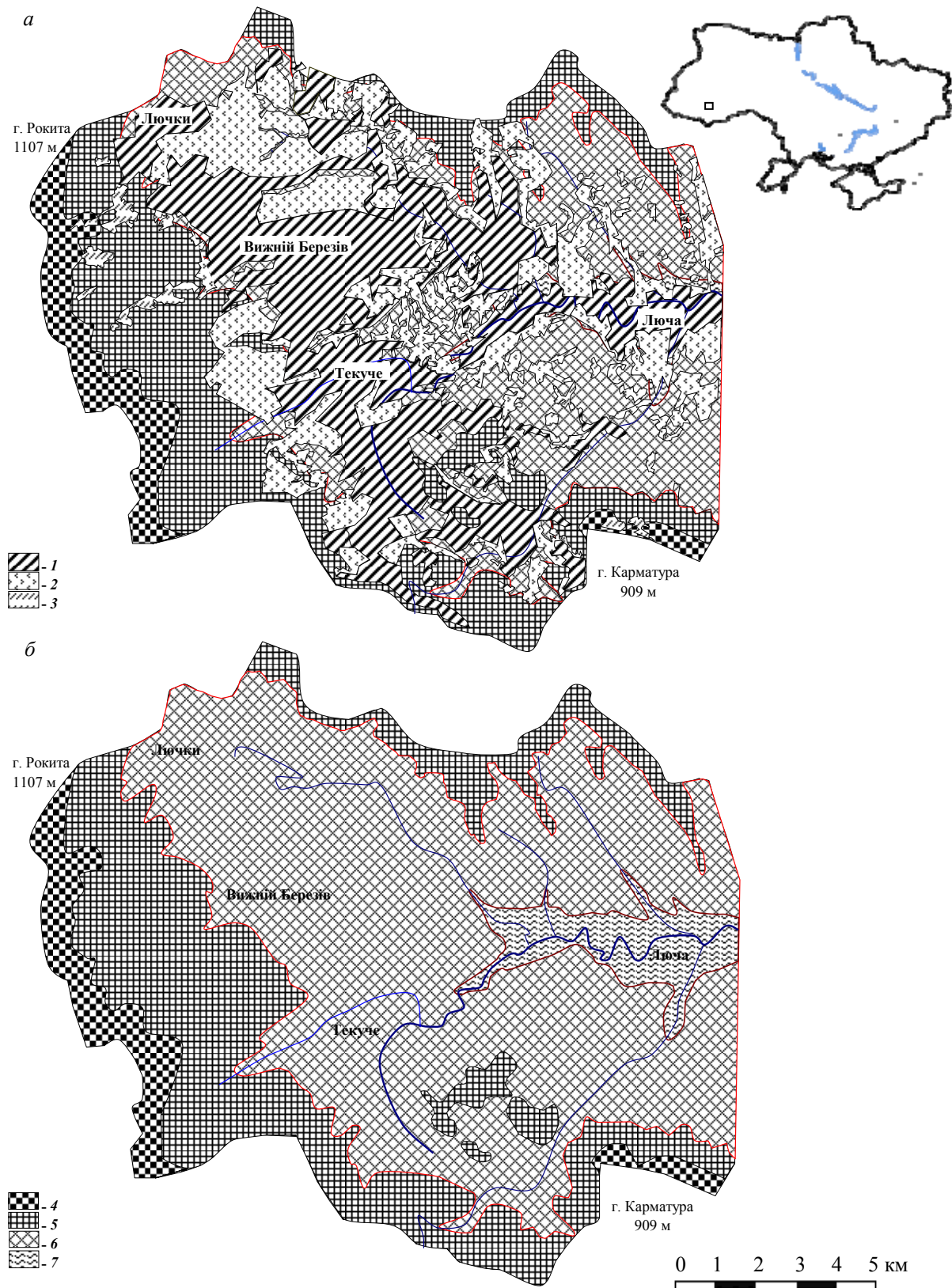


Рис. Сучасний антропогенно трансформований (а) та гіпотетичний потенційний (б) біогеоценозний покрив у гірській частині басейну р. Лючка: 1 – сільські агломерації, 2 – вторинні сінокісні луки та пасовища, 3 – площі зрубаних лісів, 4 – ялинові ліси, 5 – ялиново-ялицево-букові ліси, 6 – грабово-буково-дубові ліси; 7 – заплавні та прируслові вільхово-ясеневі-дубові ліси

Розподіл деревостанів у гірській частині басейну р. Лючка за едифікаторними деревними видами та висотою над рівнем моря (кількість досліджених ділянок та їх площі, а також усереднені біометричні показники)

Висота над рівнем моря, м	Деревостани з перевагою						
	бука лісового	ялини європейської	ялиці білої	дуба звичайного	вільхи сірої	граба звичайного	вільхи клейкої
901–1000	n = 40; S = 158; A = 65; P = 0,7; M = 293; MP = 421	n = 13; S = 23; A = 53; P = 0,6; M = 274; MP = 447	n = 7; S = 16; A = 57; P = 0,6; M = 260; MP = 416	0	0	0	0
801–900	n = 81; S = 451; A = 63; P = 0,7; M = 312; MP = 443	n = 22; S = 44; A = 54; P = 0,6; M = 279; MP = 464	n = 21; S = 70; A = 60; P = 0,7; M = 291; MP = 443	0	0	0	0
701–800	n = 23; S = 108; A = 67; P = 0,7; M = 295; MP = 447	n = 14; S = 36; A = 54; P = 0,6; M = 270; MP = 454	n = 7; S = 21; A = 53; P = 0,6; M = 259; MP = 404	0	0	0	0
601–700	n = 84; S = 350; A = 74; P = 0,7; M = 260; MP = 381	n = 58; S = 111; A = 49; P = 0,6; M = 251; MP = 450	n = 56; S = 152; A = 56; P = 0,6; M = 259; MP = 440	n = 1; S = 2; A = 56; P = 0,6; M = 240; MP = 369	n = 1; S = 0; A = 15; P = 0,5; M = 50; MP = 100	0	0
501–600	n = 228; S = 798; A = 75; P = 0,7; M = 240; MP = 354	n = 64; S = 114; A = 48; P = 0,6; M = 243; MP = 417	n = 1; S = 1; A = 47; P = 0,7; M = 330; MP = 471	n = 9; S = 9; A = 66; P = 0,6; M = 159; MP = 288	n = 3; S = 14; A = 55; P = 0,5; M = 90; MP = 176	n = 7; S = 12; A = 65; P = 0,6; M = 133; MP = 215	n = 1; S = 6; A = 45; P = 0,7; M = 130; MP = 186
401–500	n = 111; S = 369; A = 65; P = 0,7; M = 234; MP = 341	n = 30; S = 67; A = 52; P = 0,6; M = 252; MP = 446	n = 1; S = 0; A = 16; P = 0,8; M = 50; MP = 67	n = 15; S = 50; A = 66; P = 0,6; M = 165; MP = 286	n = 2; S = 4; A = 52; P = 0,6; M = 120; MP = 220	n = 3; S = 5; A = 57; P = 0,6; M = 147; MP = 243	n = 4; S = 8; A = 59; P = 0,6; M = 140; MP = 229
Разом	n = 567; S = 2234	n = 201; S = 395	n = 93; S = 260	n = 25; S = 61	n = 6; S = 18	n = 10; S = 17	n = 5; S = 14

Примітки: n – кількість ділянок, S – загальна площа (га), A – середній вік деревостанів (роки), P – середня відносна повнота деревостанів, M – середній запас деревостанів ($\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), MP – потенційний середній запас деревостанів ($\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Таблиця 3

Розподіл площ основних типів сучасного та потенційного біогеоценотичного профілю у межах гірської частини басейну р. Лючка

Типи біогеоценозів	Сучасний		Потенційний	
	га	%	га	%
Сільські агломерації	4 504	30,4	–	–
Луки та пасовища	2 927	19,8	–	–
Зруби	277	1,9	–	–
Ялинові ліси пригребневих частин гірських масивів	892	6,0	910	6,1
Ялиново-ялицево-букові ліси середніх частин схилів гірських масивів	3 352	22,6	3 737	25,2
Грабово-буково-дубові ліси нижніх частин схилів та гірських долин	2 751	18,6	9 355	63,2
Заплавні та прируслові вільхово-ясеневі-дубові ліси	102	0,7	804	5,5
Разом	14 806	100,0	14 806	100,0

Річна сума активних температур 1 400–1 800 °С, а опадів 800–1 000 мм. У таких умовах переважно формуються лісові біогеоценози природних ялинових лісів із домішкою бука та ялиці, інколи явора. За флористичними критеріями їх можна зарахувати до асоціації *Salmagrostio villosae-Riceetum*. Максимальні запаси стовбурової деревини таких повних деревостанів у віці понад 80 років можуть сягати $535 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. За умови представництва в таких деревостанах ялини 60%, бук 30% та ялиця 10% усереднена густина сухої деревини становитиме $482 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. У такому випадку маса стовбурової деревини становить $258 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а загальна фітомаса – $413 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. У переважній більшості це найменше трансформовані господарським впливом лісові біогеоценози (за винятком тих, які прилягають до антропогенних лук; останні займають незначні площі у цих висотних межах). Сучасні тутешні лісові біогеоценози загалом відзна-

чаються нижчими показниками (40% від потенційно можливих). Загалом сучасні обсяги матеріально-енергетичного потенціалу становлять 60–65% від потенційно можливих (табл. 4–6). Біогеоценози ялиново-ялицево-букових лісів середніх частин схилів гірських масивів у межах 650–900 м н. р. м. Загалом склад сучасних лісів наближений до природних, за винятком штучно створених ялинових і ялицевих деревостанів на невеликих площах. Ці біогеоценози лише частково трансформовані у післялісові луки (до 10% площі). Більшість сучасних лісів зазнали декількаразового вирубування, природного та штучного лісовідновлення. Унаслідок цього більшість із них є лісовими біогеоценозами, щонайменше дво- або триразової регенерації. На окремих ділянках тепер ростуть штучно створені ялиново-ялицеві середньовікові деревостани. Геологічне підґрунтя представлене переважно продуктами вивітрювання тонко-

шаруватих аргелітів та пісковиків, а також вапнистих глинистих сланців, що сприяють формуванню глибоких гли-

нисто-дрібнощелебенистих справжніх нейтральних або слабокислих буроземів.

Таблиця 4

Структура потенційного та сучасного лісового біогеоценотичного покриття у гірській частині басейну р. Лючка

Типи біогеоценозів	Висотні межі, м н. р. м.	Панівні едафотопи	Потенційний					Сучасний				
			S		M _{п80}		PhM	S		Mф		PhM
			га	%	м ³ ·га ⁻¹	т·га ⁻¹	т·га ⁻¹	га	%	м ³ ·га ⁻¹	т·га ⁻¹	т·га ⁻¹
Ялинові ліси у пригребеневій частині гірських масивів	>900	C ₂	910	6,1	535 ± 123	258	413	892	6,0	211	102	163
Ялиново-ялицево-букові ліси середніх частин схилів	650–900	C ₂₋₃ (68%)	2 541	17,2	450 ± 151	245	417	2 279	15,4	257	140	238
		D ₂₋₃ (32%)	1 196	8,1	517 ± 91	281	478	1 073	7,2	314	171	290
Дубово-грабово-букові ліси нижніх частин схилів і долин	400–650	C ₂₋₃ (87%)	8 139	55,0	350 ± 123	236	472	2 393	16,2	167	113	225
		D ₃ (13%)	1 216	8,2	380 ± 151	257	514	358	2,4	210	142	284
Вільхово-ясенено-дубові долинні та прирусліві ліси	325–400	C ₄	402	2,7	380 ± 45	236	519	102	0,7	70	44	96
		D ₄	402	2,7	460 ± 51	286	629	–	–	–	–	–
Разом	–	–	14 806	100,0	–	–	–	7 097	47,9	–	–	–

Примітки: M_{п80} – середнє значення обсягу стовбурової деревини повних деревостанів віком понад 80 років, PhM – загальна фітомаса, Mф – середнє значення фактичних запасів стовбурової деревини всіх деревостанів, інші позначення – див. табл. 2.

Таблиця 5

Розрахунок обсягів та річного приросту фітомаси та депонованого вуглецю лісового біогеоценотичного покриття у гірській частині басейну р. Лючка

Абревіатури типів біогеоценозів	Тип едафотопу	S, га	Питомий обсяг на 1 га				Загальний обсяг на всю площу			
			PhM, т·га ⁻¹	C, т·га ⁻¹	Z _{PhM} , т·га ⁻¹ ·рік ⁻¹	Z _C , т·га ⁻¹ ·рік ⁻¹	PhM, тис. т	C, тис. т	Z _{PhM} , тис. т·рік ⁻¹	Z _C , тис. т·рік ⁻¹
Гіпотетичний потенційний біогеоценотичний покрив										
Ялинові ліси у пригребеневій частині гірських масивів	C ₂	910	413	206,5	5,16	2,58	375,8	187,9	4,7	2,3
Ялиново-ялицево-букові ліси середніх частин схилів	C ₂₋₃	2 541	417	208,5	5,21	2,61	1 059,6	529,8	13,2	6,6
	D ₂₋₃	1 196	478	239,0	5,98	2,99	571,7	285,8	7,1	3,6
Дубово-грабово-букові ліси нижніх частин схилів і долин	C ₂₋₃	8 139	472	236,0	4,29	2,95	3 841,6	1920,8	34,9	24
	D ₃	1 216	514	257,0	4,67	3,21	625,0	312,5	5,7	3,9
Вільхово-ясенено-дубові долинні та прирусліві ліси	C ₄	402	519	259,5	4,72	3,24	208,6	104,3	1,9	1,3
	D ₄	402	629	314,5	5,72	3,93	252,9	126,4	2,3	1,6
Разом	–	14 806	–	–	–	–	6 935,2	3467,5	69,8	43,3
Сучасний біогеоценотичний покрив										
Ялинові ліси у пригребеневій частині гірських масивів	C ₂	892	163	81,5	3,26	1,63	145,4	72,7	2,9	1,5
Ялиново-ялицево-букові ліси середніх частин схилів	C ₂₋₃	2 279	238	119,0	3,40	1,83	542,4	271,2	7,7	4,2
	D ₂₋₃	1 073	290	145,0	4,14	2,23	311,2	155,6	4,4	2,4
Дубово-грабово-букові ліси нижніх частин схилів і долин	C ₂₋₃	2 393	225	112,5	2,05	1,41	538,4	269,2	4,9	3,4
	D ₃	358	284	142,0	4,06	1,78	101,7	50,8	1,5	0,6
Вільхово-ясенено-дубові долинні та прирусліві ліси	C ₄	102	96	48,0	2,40	0,60	9,8	4,9	0,2	0,1
	D ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Разом	–	7 097	–	–	–	–	1 648,9	824,4	21,6	12,2

Примітки: C – маса депонованого вуглецю, Z_{PhM} – середній річний приріст фітомаси, Z_C – середній річний приріст депонованого вуглецю, інші позначення – див. табл. 1 і 2.

Локальні кліматичні умови – перехідні від помірно теплого до прохолодно вологого клімату. Лісорослинні умови за матеріалами ґрунтово-лісотипологічного обстеження представлені переважно свіжими та вологими сугрудами та грудями (мезоевтрофними та евтрофними едафотопами). У таких природно-кліматичних умовах типові – мішані ялиново-ялицево-букові деревостани асоціації *Dentario glandulosae-Fagetum* та *Luzulo luzuloidis-Fagetum*. За даними лісовпорядкування, максимальні запаси стовбурової деревини таких повних деревостанів віком понад 80 років у мезоевтрофних умовах сягають 450 м³·га⁻¹, а в евтрофних –

517 м³·га⁻¹. За умов представництва у таких деревостанах бука 60%, ялини 20% та ялиці 20% усереднена густина деревини становитиме 544 т·м⁻³ сухої деревини. У такому випадку маса стовбурової деревини становить у мезоевтрофних умовах 245 т·га⁻¹, в евтрофних – 281 т·га⁻¹, а загальна фітомаса відповідно – 417 і 478 т·га⁻¹. Сучасні тутешні лісові біогеоценози загалом відзначаються значно нижчими показниками (57% від потенційно можливих). Загалом сучасні обсяги матеріально-енергетичного потенціалу становлять 62–70% від потенційно можливих (табл. 4–6).

**Річний баланс споживання та продукування матеріально-енергетичного ресурсу
унаслідок фотосинтезу лісовим біогеоценозом у гірській частині басейну р. Лючка**

Абревіатури типів біогеоценозів	Тип едафотопу	S, га	Питомий обсяг на 1 га				Загальний обсяг на всю площу			
			CO ₂ , т·га ⁻¹	H ₂ O, т·га ⁻¹	O ₂ , т·га ⁻¹	E, ГДж·га ⁻¹	CO ₂ , 10 ³ т	H ₂ O, 10 ³ т	O ₂ , 10 ³ т	E, 10 ³ ГДж
Гіпотетичний потенційний біогеоценологічний покрив										
Ялинові ліси у пригребеневій частині гірських масивів	C ₂	910	9,46	3,87	6,88	102,7	8,6	3,5	6,3	93,5
Ялиново-ялицево-букові ліси середніх частин схилів	C ₂₋₃	2 541	9,56	3,91	6,95	103,7	24,3	9,9	17,7	263,5
	D ₂₋₃	1 196	10,95	4,48	7,97	118,8	13,1	5,4	9,5	142,1
Дубово-грабово-букові ліси нижніх частин схилів і долин	C ₂₋₃	8 139	10,82	4,43	7,87	117,3	88,1	36,1	64,1	954,7
	D ₃	1 216	11,78	4,82	8,57	127,8	14,3	5,9	10,4	155,4
Вільхово-ясеневі-дубові долинні та прируслові ліси	C ₄	402	11,89	4,87	8,65	129,0	4,8	2,0	3,5	51,9
	D ₄	402	14,41	5,90	10,48	156,4	5,8	2,4	4,2	62,9
Разом	–	14 806	–	–	–	–	159,0	65,2	115,7	1724,0
Сучасний біогеоценологічний покрив										
Ялинові ліси у пригребеневій частині гірських масивів	C ₂	892	5,98	2,45	4,35	64,8	5,3	2,2	3,9	57,8
Ялиново-ялицево-букові ліси середніх частин схилів	C ₂₋₃	2 279	6,71	2,75	4,88	72,8	15,3	6,3	11,1	165,9
	D ₂₋₃	1 073	8,18	3,35	5,95	88,7	8,8	3,6	6,4	95,2
Дубово-грабово-букові ліси нижніх частин схилів і долин	C ₂₋₃	2 393	5,16	2,11	3,75	55,9	12,3	5,0	9,0	133,8
	D ₃	358	6,51	2,66	4,73	70,6	2,3	1,0	1,7	25,3
Вільхово-ясеневі-дубові долинні та прируслові ліси	C ₄	102	2,20	0,90	1,60	23,9	0,2	0,1	0,2	2,4
	D ₄	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Разом	–	7 097	–	–	–	–	44,2	18,2	32,3	480,4

Примітки: CO₂ – споживання гідрокарбонату, H₂O – споживання води, O₂ – продукування кисню, E – витрати енергії світла.

Біогеоценози дубово-грабово-букових лісів зосереджені в нижніх частинах схилів та гірських долинах у межах висот 400–650 м н. р. м. Сучасний біогеоценологічний покрив тут переважно докорінно змінений господарською діяльністю. Майже 90% площі зайнято сільськими агломераціями та післялісовими луками. Невеликі лісові ділянки трапляються фрагментарно та містять ознаки антропогенної деградації (витоптування, вирубування тощо). Геологічне підґрунтя представлене переважно пухкими щербистими та дрібнокам'янистими глинистими схиловими відкладами дрібноритмічного флішу. Днище широкої та плоскої Березівської котловини збудоване вапнистими легко- та важкосуглинистими з піщаними прошарками відкладами продуктів вивітрювання аргелітів та алевролітів, а також кварцових і вапнистих пісковиків. Такі геологічні відклади сприятливі для формування глибоких глинистих справжніх частково оглеєних буроземів. Локальні кліматичні умови помірно теплі, вологі. Лісорослинні умови у матеріалах ґрунтово-типологічного обстеження діагностовано як свіжі та вологі сугруди, рідше вологі груди (мезо-евтрофні та евтрофні едафотопи). Панівними в таких природно-кліматичних умовах є грабово-букові ліси з дубом звичайним, які можна зарахувати до асоціації *Stellario holosteae-Carpinetum betuli*. За даними лісовпорядкування, максимальні запаси стовбурової деревини таких повних деревостанів віком понад 80 років у мезоевтрофних умовах сягають 350 м³·га⁻¹, а в евтрофних – 380 м³·га⁻¹. За умови представництва у таких деревостанах бука 60%, граба 20% та дуба 20% усереднена густина деревини становитиме 675 т·м⁻³ сухої деревини. У такому випадку маса стовбурової деревини становить у мезоевтрофних умовах 236 т·га⁻¹, а в евтрофних – 257 т·га⁻¹; загальна фітомаса відповідно – 472 і 514 т·га⁻¹. Сучасні тутешні

лісові біогеоценози відзначаються нижчими показниками (47% від потенційно можливих), а загалом сучасні обсяги матеріально-енергетичного потенціалу наявних лісових біогеоценозів становлять лише 14% від потенційно можливих (табл. 4–6).

Біогеоценози вільхово-ясеневі-дубових лісів (долинні та прируслові) імовірно в доагрокультурний період займали нижню частину долини р. Лючка (нижче устя притоки Акра) у межах висот 325–400 м н. р. м. Ця частина річкової долини заповнена переважно водоаккумулятивними гальково-піщано-глинистими відкладами. У минулому вони, мабуть, були перезволожені стічними та ґрунтовими водами. Природні ґрунти тут могли бути представлені сильнокам'янистими алювіально-аккумулятивними глеєвими буроземами та типовими гірськими перегнійними мадами. Останні – доволі потужні та перезволожені ґрунти. Вони містять розвинений гумусовий, нижче – світлий елювіальний, далі – перехідний до породи горизонт. Разом із гірською породою його підстеляє доволі потужний ілювіальний горизонт. Він збагачений глинистими елементами та сполуками відновного заліза та алюмінію. Нині ці ділянки річкової тераси майже повністю зайняті селами та агрокультурними угіддями. Вони локально меліоровані, а тому мало чим нагадують колишні заплавні екосистеми. Зважаючи на окремі залишки прируслових вільшняків і вербняків, а також орієнтуючись на структуру збереженої лісової рослинності в інших гірських місцевостях, можна передбачити, що у минулому тут були поширені переважно сирі та мокрі заплавні лісорослинні умови та росли вологолюбні високопродуктивні ліси за участю вільхи сирі, вільхи клейкої, ясеня звичайного, дуба звичайного, а також осики, в'язів гірського та граболистого. Це – типові угруповання союзу *Alno-Ulmion*, які можна зара-

хувати до асоціацій *Ficario-Ulmetum*, *Alnetum incanae*, *Caltho laetae-Alnetum* та *Ribo nigri-Alnetum*. За даними лісовпорядкування, максимальні запаси стовбурової деревини таких повних деревостанів віком понад 80 років у сирих мезоевтрофних умовах сягають $380 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а в сирих евтрофних – $460 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. За умови представництва у таких деревостанах дуба 60%, вільхи 20% та ясена 20% усереднена густина деревини становитиме $622 \text{ т} \cdot \text{м}^{-3}$ сухої деревини. У такому випадку маса стовбурової деревини становить у мезо-евтрофних умовах $236 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а в евтрофних – $286 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, загальна фітомаса відповідно – 519 і $629 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Сучасні тутешні лісові біогеоценози загалом відзначаються низькими показниками (18% від потенційно можливих), а обсяги матеріально-енергетичного потенціалу за рахунок наявних лісових біогеоценозів становлять лише 5% від потенційно можливих (табл. 4–6).

Антропогенно змінені біогеоценози займають 52% модельної території. Сільські агломерації, житлові та

господарські будівлі, транспортні шляхи, городи та сади, займають 30% території, луки та пасовища, а також незаліснені зрубні ділянки – 20%. Разом вони займають 7 708 га. Площа орних земель у 1990–1992 рр. складала орієнтовно 400 га. Вирощували тут традиційно переважно зернові культури та картоплю. За даними відомчих матеріалів Косівської районної державної адміністрації, середня багаторічна продуктивність сінокосів сухої маси складала приблизно сіна $1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, урожайність зернових – $3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, картоплі $10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Беручи до уваги ці дані, можна розрахувати орієнтовний матеріально-енергетичний баланс унаслідок процесу фотосинтезу цих агрокультурних угідь (табл. 7). Слід зазначити, що середній питомий обсяг матеріально-енергетичного ресурсу удвічі менший, ніж потенційно можливий (якби на цих площах росли мішані широколистяні ліси): споживання CO_2 – орієнтовно $4\text{--}5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{р}^{-1}$ (картопля, зернові) проти $10\text{--}14$ (дубові та букові ліси), депонування енергії – $40\text{--}60 \cdot 10^6 \text{ кДж} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{р}^{-1}$ проти $120\text{--}150$.

Таблиця 7

Баланс споживання та продукування матеріально-енергетичного ресурсу унаслідок фотосинтезу агрокультурним біогеоценотичним покривом у гірській частині басейну р. Лючка

Тип агрокультури	S, га	Z_{PhM} , $\text{т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$	Z_c , $\text{т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$	Питомий обсяг				Загальний обсяг на всю площу			
				CO_2 , $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$	H_2O , $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$	O_2 , $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$	E, $\text{ГДж} \cdot \text{га}^{-1}$	CO_2 , 10^3 т	H_2O , 10^3 т	O_2 , 10^3 т	E, 10^3 ГДж
Сіно	7 000	1	0,5	1,83	0,75	1,33	19,93	12,81	5,25	9,31	139,51
Картопля	100	2	1,0	3,67	1,51	2,67	39,81	0,37	0,15	0,27	3,98
Зернові	300	3	1,5	5,52	2,25	3,99	59,72	1,66	0,68	1,20	17,92
Разом	7 708	–	–	–	–	–	–	14,83	6,08	10,77	161,41

Загальний обсяг річного балансу споживання та продукування матеріально-енергетичного ресурсу на всій модельній території сучасного біогеоценотичного покриву за підсумками даних таблиць 6 та 7 становить: споживання CO_2 – 59,1 тис. т, H_2O – 24,4 тис. т, енергії – $641 \cdot 10^3 \text{ ГДж}$, що рівнозначно $178 \text{ ГВт} \cdot \text{год}$, а продукування O_2 – 43,1 тис. т.

Обговорення

Загалом біогеоценотичний покрив модельної території низькогір'я, площа якого 14 806 га, упродовж року внаслідок фотосинтезу за умов відновлення потенційного рослинного покриву міг би депонувати вуглецю 43,3 тис. т, споживаючи при цьому CO_2 – 159 тис. т, H_2O – 65,2 тис. т, світлової енергії – $1724 \cdot 10^3 \text{ ГДж}$, що рівнозначно $479 \text{ ГВт} \cdot \text{год}$. При цьому в атмосферу надійшло б O_2 – 115,7 тис. т. У перерахунку на 1 га це становитиме: C – $2,92 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, CO_2 – $10,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, H_2O – $4,4 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, O_2 – $7,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, E – $116,4 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1}$, що рівнозначно $32,3 \text{ МВт} \cdot \text{год} \cdot \text{га}^{-1}$. Це високі показники, аналогічні до центральноєвропейських (Newman et al., 2006; Pretzsch, 2009). У випадку сучасного біогеоценотичного покриву ці показники у перерахунку на 1 га такі: C – $1,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, CO_2 – $4,0 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, H_2O – $1,6 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, O_2 – $2,9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, E – $43,3 \text{ МДж} \cdot \text{га}^{-1}$, що рівнозначно $12 \text{ МВт} \cdot \text{год} \cdot \text{га}^{-1}$. Загалом вони майже утричі нижчі, ніж узказані для потенційного стану.

Отримані результати можна перерахувати в одиниці потужності на 1 м^2 , беручи до уваги тривалість вегетаційного періоду 200 дб на рік і денну тривалість фотосинтезу 10 год, що разом становить $2 000 \text{ год} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Із такої умови питома потужність акумульованої енергії потенційним біогеоценотичним покривом становитиме $1,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, сучасним – $0,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, втрата не використаної потужності – $1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Водночас це означає, що ця частка не використаної у процесі фотосинтезу сонячної енергії не депонується у прирості сухої речовини, а витрачається на фізичне нагрівання поверхні ґрунту, води та приземного шару повітря. Очевидно, що це також одна з можливих причин потепління локального клімату. Такі показники могли б бути враховані для моніторингу енергетичного балансу. Зазвичай прийнято враховувати енергетичні витрати при емісії CO_2 промисловістю, транспортом, комунальним господарством тощо та пов'язувати із цим підвищення температури повітря (Energy and Climate Change, 2015). Отримані результати показують, що доцільно було б при цьому оцінювати також вилучення світлової та теплової енергії унаслідок депонування CO_2 у процесі фотосинтезу.

Водночас заслуговує на увагу потенціал можливого вилучення з атмосфери CO_2 . Він міг би становити у випадку гіпотетичного потенційного біогеоценотичного покриву $10,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{га}^{-1}$. Однак сучасний біогеоценотичний покрив загалом споживає на рік лише близько $4 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Таким чином, втрати неспожитого CO_2 становлять $6,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, або 167% від спожитої кількості.

Супутній процес до фотосинтетичної активності рослинного покриву – транспірація H_2O листковою поверхнею. На депонування одного кілограма сухої речовини рослин використовується $300\text{--}500 \text{ кг}$ води. Ця кількість у річному вимірі еквівалентна $300\text{--}500 \text{ мм}$ опадів. Для цього також необхідні відповідні витрати

енергії, потенціал якої становить приблизно $200 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (Heerwaarden and Teuling, 2014). У нашому випадку при річному депонуванні сухої рослинної речовини орієнтовно $5 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, що відповідно становить $0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$, витрачається $150\text{--}250 \text{ кг}$ води. У перерахунку на енергетичні витрати це становить орієнтовно $100\text{--}150 \text{ кВт}\cdot\text{год}\cdot\text{м}^{-2}$. За тривалості денного фотосинтезувального періоду 2000 год на рік це потребує його потужності $5,0\text{--}7,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Таким чином, необхідний енергетичний потенціал для забезпечення фотосинтезу та транспірації для нашого модельного району може становити $6\text{--}9 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Отже, часткове використання продукційного потенціалу біогеоценотичного покриву значно зменшує споживання енергії для цього сонячної енергії, а її невикористана частина спричинює нагрівання навколишнього середовища, повітря, води, ґрунту, рослин тощо. Ці порушення матеріально-енергетичного балансу, як відомо, можуть зумовити виникнення небезпечних геофізичних процесів у біосфері (Seidl et al., 2011). Радикальним шляхом запобігання таким явищам, як відомо, є збільшення площі лісів та їх продуктивності (Noormets et al., 2015).

Висновки

Природні кліматично-ґрунтово-гідрологічні умови низькогірного регіону сприятливі для формування високопродуктивного лісового біогеоценотичного покриву, здатного упродовж одного року депонувати у середньому майже $3 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ вуглецю, споживаючи при цьому $4,4 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ води та $32,3 \text{ МВт}\cdot\text{год}\cdot\text{га}^{-1}$ світлової енергії. Сучасний лісовий покрив відзначається нижчим матеріально-енергетичним потенціалом фотосинтезу, загальний обсяг якого становить ледве 28% від потенційно можливого. Це зумовлено удвічі меншою площею та продуктивністю сучасних лісів, ніж потенційно можливого лісового покриву. Річний баланс матеріально-енергетичного фотосинтезу агрокультурного біогеоценотичного покриву удвічі менший, ніж потенційно можливий для широколистяних лісів. Це – наслідок нижчої біологічної продуктивності цих угідь.

Загальний потенціал продукції фотосинтезу сучасного біогеоценотичного покриву модельної території становить 38% від потенційно можливого. Унаслідок цього енергетичні втрати складають $20 \text{ МВт}\cdot\text{год}\cdot\text{га}^{-1}$ світлової енергії, на $1,9 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ менше депонованого вуглецю, $6,7 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ менше використаного вуглекислого газу, не використано $2,8 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ води, не повернуто в атмосферу $3,9 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ кисню. Такі результати подібні до отриманих для території Канади (Greig and Bull, 2009), хоча значно нижчі, ніж дані для територій Африки та Азії (Justice et al., 2013; Haverd et al., 2013).

Великий питомий обсяг не використаних біогеоценотичним покривом ресурсів вуглекислого газу та світлової енергії, а також не транспірованої у повітря вологи та на ненадходження кисню можуть спричинити вагомий вплив на місцеві кліматичні умови. Наслідком цього може бути підвищення температури та зниження вологості повітря.

Бібліографічні посилання

- Bobyliov, Y.P., Brygadyrenko, V.V., Bulakhov, V.L., Gaichenko, V.A., Gasso, V.Y., Didukh, Y.P., Ivashov, A.V., Kucheriavyy, V.P., Maliovanyi, M.S., Mytsyk, L.P., Pakhomov, O.Y., Tsaryk, I.V., Shabanov, D.A., 2014. Ekologija [Ecology]. Folio, Kharkiv (in Ukrainian).
- Calder, I.R., Reid, I., Nisbet, T., Armstrong, A., Green, J.C., Parkin, G., 2002. Study of the potential impacts on water resources of proposed afforestation. Loughborough University report to the Department for environment, food and rural affairs (Defra). Loughborough University, Loughborough.
- Energy and Climate Change, 2015. World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency. Paris.
- Golubev, M.A., Maryshevych, O.G., Kozlovs'kyj, M.P., Kozak, I.I., Krok, B.O., Javornyc'kyj, V.I., Proc', B.G., Shevchuk, A.I., Shpakivs'ka, I.M., Bashta, A.T.V., Kozlovs'kyj, V.I., 2001. Ekologichna sytuacija na pivnichno-shidnomu makrosylii Ukraїns'kyh Karpat [The ecological situation in the north-east macroslope of Ukrainian Carpathians Mts.]. Polli, L'viv (in Ukrainian).
- Greig, M., Bull, G., 2009. Carbon management in British Columbia's forests: Opportunities and challenges.
- Haverd, V., Raupach, M.R., Briggs, P.R., Canadell, J.G., Davis, S.J., Law, R.M., Meyer, C.P., Peters, G.P., Pickett-Heaps, C., Sherman, B., 2013. The Australian terrestrial carbon budget. *Biogeosciences* 10, 851–869.
- Heerwaarden, C.C., Teuling, A.J., 2014. Disentangling the response of forest and grassland energy exchange to heatwaves under idealized land-atmosphere coupling. *Biogeosciences* 11, 6159–6171.
- Justice, C., Wilkie, D., Zhang, Q., Brunner, J., Donoghue, C., 2001. Central African forests, carbon and climate change. *Climate Res.* 17, 229–246.
- Kirschbaum, M.U.F., 2004. Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and transpiration. *Plant Biology* 6, 242–253.
- Kolomyynova, M.V., 2010. Fizicheskie svojstva drevesiny: Metodicheskie ukazanija dlja studentov special'nosti 250401 «Lesoinzhenernoe delo» [Physical properties of wood: Methodical instructions for students of specialty 250401 "Forestry Engineer Business"]. UGTU, Uhta (in Russian).
- Lashhenko, A.G., 2004. Produktivnist', fitomasa ta deponovanyj vuglec' shtuchnyh dubovyh derevostaniv Podillya [Productivity, phytomass and deposited carbon artificial oak stands of Podillya]. *Nac. Agrarn. Univ., Kyiv* (in Ukrainian).
- Martin, J.H., Waldren, R.P., Stamp, D.L., 2006. Principles of field crop production. Pearson Prentice Hall, Boston.
- Mercado, L.M., Lloyd, J., Dolman, A.J., Sitch, S., Patino, S., 2009. Modelling basin-wide variations in Amazon forest productivity. Part 1: Model calibration, evaluation and scaling functions for canopy photosynthesis. *Biogeosci. Discuss.* 6, 2965–3030.
- Milevs'ka, S.J., 2002. Do istorii' osvojennja biogeocenochnogo pokryvu verhiv'ja basejnu richky Ljuchky [To the history of mastering of the biogeocenoctic cover upper reaches of the river Luchka drainage-basin]. *Naukovi Osnovy Zberezhennja Biotychnoi' Riznomanitnosti* 4, 65–69 (in Ukrainian).
- Milevs'ka, S.J., 2004. Suchasna transformacija lisiv verhiv'ja basejnu richky Ljuchky [Contemporary transformation forests of the river Luchka drainage-basin]. *Naukovyj visnyk UkrDLTU* 14(7), 49–51 (in Ukrainian).
- Milevs'ka, S.J., 2014. Cenotichna asocijovanist' pisljalisovih luk pokuts'kogo niz'kogir'ja [Coenotic associatively of after forest meadow in Pokuttia low mountains]. *Praci Naukovogo Tovarystva im. Shevchenka* 39, 141–150 (in Ukrainian).
- Milevs'kaya, S.Y., 2013. Zminy struktury lisiv hirs'koyi chastyny basejnu richky Lyuchky uprodovzh 1967–2010

- rokiv [Changes in the forests structure of the mountain part of Lyuchka river basin during 1967–2010]. *Naukovyy Visnyk of Natsional'nyy Lisotekhnichnyy Universytet Ukrayiny* 23(18), 22–27 (in Ukrainian).
- Milevskaya, S.Y., 2014. *Sovremennoe sostojanie lesnoj rastitel'nosti Berezovskogo lesnichestva (Pokutsko-Bukovinskie Karpaty)* [Current status of vegetation of Berezovsky forestry (Pokutya-Bucovina Carpathians)]. *Zarządzanie a ochroną przyrody w lasach. Management of Environmental Protection in Forests* 8, 179–187 (in Russian).
- Milevskaya, S.Y., 2015. *Osoblyvosti pohidnyh berezovyh molodnjakiv u nyz'kogir'i' Pokuttja (Ukrai'ns'ki Karpaty)* [Features of secondary birch young stands in low mountain Pokutya (Ukrainian Carpathian mts.)]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 23(2), 203–209 (in Ukrainian).
- Moroz, K.O., Brygadyrenko, V.V., Pakhomov, A.Y., 2011. *Formirovanije fauny napochvennykh bespozvonochnykh peschanoj terrasy r. Orel' v uslovijakh pirogennoj sukcesii* [Litter invertebrates fauna formation of the sandy terrace of Orel' river in condition of post-fire succession]. *Proc. of the Azerbaijan Soc. of Zool.* 3, 423–435 (in Russian).
- Neumann, M., Zhao, M., Kindermann, G., Hasenauer, H., 2015. *Comparing modis net primary production estimates with terrestrial national forest inventory data in Austria. Remote Sensing* 7, 3878–3906.
- Newman, G.S., Arthur, M.A., Muller, R.N., 2006. *Above- and belowground net primary production in a temperate mixed deciduous forest. Ecosystems* 9, 317–329.
- Nisbet, T.R., 2002. *Implications of climate change: Soil and water.* In: Broadmeadow M.S.J. (ed.). *Climate change and UK forests.* Forestry Commission, Edinburgh. Bulletin 125, 53–68.
- Nisbet, T.R., 2005. *Water use by trees. Information note of forest research.* Forestry Commission, Edinburgh.
- Noormets, A., Epron, D., Domec, J.C., McNulty, S.G., Fox, T., Sun, G., King, J.S., 2015. *Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. Forest Ecol. Manag.* 355, 124–140.
- Pajtik, J., Konôpka, B., Marušák, R., 2013. *Above-ground net primary productivity in young stands of beech and spruce. Lesnický časopis – Forestry Journal* 59(3), 154–162.
- Peng, C., Apps, M.J., 1999. *Modelling the response of net primary productivity (NPP) of boreal forest ecosystems to changes in climate and fire disturbance regimes. Ecol. Model.* 122, 175–193.
- Pretzsch, H., 2009. *From primary production to growth and harvestable yield and vice versa: Specific definitions and the link between two branches of forest science. Forest dynamics, growth and yield: From measurement to model.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 41–99.
- Schlesinger, W.H., Jasechko, S., 2014. *Transpiration in the global water cycle. Agr. Forest Meteorol.* 189–190, 115–117.
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Lexer, M.J., 2011. *Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. Glob. Change Biol.* 17, 2842–2852.
- Tretjak, P.R., Chernevij, J.I., 2011. *Pryrist derevostaniv starshogo viku: Ekologichnyj aspekt* [Increase of old-age stands: Ecological potential]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine* 6, 203–208 (in Ukrainian).
- Vasylyshyn, R.D., 2013. *Ocinka vmistu energii' u fitomasi derev golovnyh lisotvirnyh porid Ukrai'ns'kyh Karpat* [Evaluation of the energy content in phytomass of main forest form species trees in Ukrainian Carpathians]. *Bioresursy i Pryrodokorystuvannja.* 5, 102–110 (in Ukrainian).
- Vasylyshyn, R.D., Bokoch, V.V., Vasylyshyn, O.M., Terent'jev, A.J., 2012. *Struktura fitomasy lisovyh biocenoziv Karpats'kogo Nacional'nogo Pryrodnogo Parku.* [The structure of the phytomass of forest biocenoses of Carpathian National Park]. *Naukovyy Visnyk of Natsional'nyy Lisotekhnichnyy Universytet Ukrayiny* 22(4), 77–85 (in Ukrainian).
- Vasylyshyn, R.D., Domashovec', G.S., Vasylyshyn, O.M., 2014. *Bioproduktyvnist' hvoynyh nasadzen' Ukrai'ns'kyh Karpat* [Productivity conifer forests in the Ukrainian Carpathians]. *Naukovyj Visnyk Nacional'nogo Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannja Ukrai'ny.* 198(2), 9–15 (in Ukrainian).
- Waring, R.H., Landsberg, J.J., Williams, M., 1998. *Net primary production of forests: A constant fraction of gross primary production. Tree Physiol.* 18, 129–134.

Надійшла до редколегії 09.02.2016