
Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

УДК 630.52; 630.111; 631.524.85; 557.4

МОДЕЛІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ СУКЦЕСІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЛІСОВИХ УГРУПОВАНЬ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

*В.І. Мокрий, канд. фіз.-мат. наук, доц.
(Національний лісотехнічний університет України)
В.Б. Капустяник, д-р фіз.-мат. наук, проф.
(Львівський національний університет ім. Івана Франка)
П.Г. Хомюк, канд. с.-г. наук, доц.
(Національний лісотехнічний університет України)*

Розроблено моделі опису сукцесійних переходів у лісових угрупованнях як фазові переходи першого і другого роду. Розглянуто зміни складу деревних ценозів сільватизованих і ренатуралізованих територій під впливом природних і антропогенних факторів. Запропонована і верифікована математична модель послідовного переходу сукцесійних станів деревних ценозів, що описують процес зміни листяного насадження на хвойне. Показано добру узгодженість моделі з даними натурних спостережень. Пропонований підхід до моделювання сукцесійних змін дозволяє визначити критичні значення фітомаси насадження, які обумовлюють сукцесійний перехід, необхідних для прогнозу кількісних і якісних параметрів лісотвірних процесів на територіях Західного Полісся.

Разработаны модели описания сукцессионных переходов в лесных сообществах как фазовые переходы первого и второго рода. Рассмотрены изменения состава древесного ценоза сільватизированных и ренатурализованных территорий под воздействием природных и антропогенных факторов. Предложена и верифицирована математическая модель последовательного перехода сукцессионных состояний древесного ценоза, который описывает процесс изменения листового насаждения на хвойное. Показана хорошая согласованность модели с данными

© В.І. Мокрий, В.Б. Капустяник, П.Г. Хомюк, 2011

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

натурных наблюдений. Предлагаемый подход к моделированию сукцессионных изменений позволяет определить критические значения фитомассы насаждения, которые обуславливают сукцессионный переход, необходимых для прогноза количественных и качественных параметров лесобразовательных процессов на территориях Западного Полесья.

The models of description of successive transitions in forest groupments are developed in terms of the first and second order phase transitions. The changes of composition of the arboreal cenosis of silvaticizations and renaturalizations territories are considered under the influence of natural and anthropogenic factors. The mathematical model of successive transition of the successive states of arboreal cenosis describing the process of change of the leafy planting on coniferous is proposed and verified. The fairly good correlatation of the model with the data of natural observations was found to be observed.

The proposed approach for description of the successive changes allows to define the critical values of the planting phytomass, triggering the successive transition, that are necessary for the prognosis of quantitative and qualitative parameters of of the forestry generating processes on the territories of Western Polissia.

Постановка наукової проблеми та її значення. Актуальною лісоекологічною проблемою Західного Полісся є прогноз лісо-твірних процесів на фоні постмеліоративних і резерватогенних ефектів, а також сільватизаційних і ренатуралізаційних явищ, на основі визначення кількісних і якісних параметрів сукцесійних процесів, властивих досліджуваним екосистемам.

Для процесів, які відбуваються в лісових екосистемах, властивий широкий спектр просторово-часових взаємодій. Застосовуючи методологію системного аналізу під час їх опису, зазвичай використовуються певні спрощувальні припущення, одними з яких є сукцесії. Лісові сукцесії в лісівництві та лісовій біогеоценології, як правило, характеризують процес зміни деревних порід – едифікаторів і субедифікаторів [1]. Зміну фітоценозів сільватизованих угідь можна розглядати як вторинну сукцесію рослинного вкриття аграрних, лугових та лужно-болотних екосистем.

Аналіз літературних джерел свідчить, що характер еколого-біотичних змін в екосистемах Західного Полісся внаслідок сільватизаційних сукцесій, їх тенденції та прояви практично не з'ясовані [2]. Не досліджено також динаміки лісопродукційних процесів та зміни біорізноманіття на сільватизованих територіях [3].

Враховуючи ключову значимість природоохоронних, водорегулюючих та кліматостабілізуючих функцій екосистем Західного Полісся, вивчення лісовідновлювальних явищ є актуальним, оскільки має надзвичайно важливе науково-практичне значення з точки зору цільового використання земель і формування киснево-вуглецевого балансу природними та антропогенізованими комплексами.

Мета і завдання. Метою досліджень є прогноз лісотвірних процесів на основі моделей, що відображають кінетичні зміни складу насаджень, густоти та запасу фітомаси рослин ренатуралізованих територій.

При цьому вирішувались такі завдання: розрахунок запасу деревостанів та оцінка запасів надземної фітомаси на основі аналізу матеріалів лісовпорядкування, маршрутних лісотаксаційних даних та комплексних лісоекологічних показників.

Об'єкт досліджень. Об'єктами досліджень були листяні й похідні хвойно-листяні ліси сільватизованих і ренатуралізованих територій меліорованих земель заплави р. Припять в межах Шацького національного природного парку (НПП) – модельного об'єкту мозаїчних лісорослинних умов, властивих Західному Поліссю.

Предмет досліджень. Предметом досліджень є прогностичні моделі еколого-математичної інтерпретації процесів заліснення лісомеліорованих територій. З'ясування природи сукцесійних переходів і розгляд результатів моделювання, необхідних для якісної оцінки біопродуктивності зелених насаджень та їх вкладу в киснево-вуглецевий баланс біосфери, становить предмет даної роботи.

Матеріали і методи. Методика формування моделі фазових переходів сукцесійних процесів лісових угруповань базується на вхідних даних густоти та запасу надземної фітомаси. Визначення узагальненого запасу та критичного значення надземної фітомаси листяних і хвойних порід виконана достатньо відомим в лісовій біогеоценології і лісовій таксації розрахунковим методом [4], який використовується при проведенні проектних робіт в лісовпорядкуванні, при оцінці запасів надземної фітомаси та біологічної продуктивності лісових насаджень.

Вихідна інформація опрацьовувалась впродовж 15 років за результатами маршрутних досліджень із закладанням тимчасових пробних площ і профілів, які представляють мозаїчні характерні

лісорослинні умови і дають змогу визначати найбільш поширені типи лісу та їх серії, ідентифікувати дані дистанційного моніторингу та виконувати полігонні завірково-калібрувальні роботи [5–11].

Сильватизаційні явища описано на пробних площах, які репрезентують процеси заліснення досліджуваних територій. Пробні площі підібрано за такими критеріями, як ступінь представлення порід-піонерів, різноцільове призначення земель, різноманіття ґрунтових і лісорослинних умов. Закладання пробних площ виконано способом трансект довжиною 100 м, вздовж якої з обох сторін відмежовано пробні ділянки площею 4 м². Для контролю підібрані тест-ділянки з подібними умовами, на яких заліснення ще не почалося, а також ділянки із сформованим деревостаном.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів досліджень. Активізація сильватизації колишніх сільськогосподарських угідь, їх заліснення, нині спостерігається у різних аграрних екосистемах — на суходільних старооранках, колишніх сінокісних болотах після припинення їх використання, середлісових болотах буферної та заповідної зони Шацького НПП. Сильватизація призводить до зміни продукційних процесів в екосистемах, що ініціюють трансформації екосистем.

Сукцесійні процеси можна описувати як змінні в часі процеси для опису яких необхідні моделі, що враховують «кінетику» зміни складу насадження, густоти та запасу фітомаси рослин, або як послідовність дискретних станів ценозу. У цьому випадку необхідно визначити набір окремих станів насадження і послідовність зміни одного стану іншим (сукцесійний ряд).

Зазвичай набір таких станів (сукцесій) і переходів з одного стану в інший (сукцесійних переходів) визначається експертно, у зв'язку з чим в літературі існує значний різнобій у визначенні сукцесійної динаміки конкретних ценозів [3,12]. Можливість реалізації тих чи інших сукцесійних переходів зазвичай встановлюють виходячи з наявних спостережень сукцесійних процесів на даній території. Однак, неможливість порівняння характерних періодів сукцесії (десятки і сотні років) з характерними періодами спостережень за лісовими територіями, складність і суб'єктивність побудови генетичних рядів сукцесій ускладнює аналіз сукцесійних процесів в лісових ценозах.

Для опису сукцесійних процесів використано феноменологію екологічних фазових переходів (ФП) [13, 14]. Під фазою в фізичних системах розуміється частина системи, однорідної за своїм складом і властивостями [15, 16]. При фазовому переході фізичні властивості речовини змінюються [17, 18]. У фізичних системах виділяються фазові переходи першого і другого роду (ФП I і ФП II) [17]. Для ФП I в фізичних системах характерна наявність різких стрибків параметрів систем (таких як теплоємність, намагніченість, оптичне поглинання і пропускання, густина та ін), для ФП II властивості системи змінюються безперервно.

У екологічних системах розвиток рослинного угруповання також досить часто супроводжується різкими змінами як обсягу фітомаси окремих рослин, так і обсягів загальної фітомаси угруповання. Зокрема, такі різкі зміни (сукцесії) відбуваються в процесах зміни угруповання трав'янистих рослин на угруповання деревних рослин. При переході першого роду угруповання зі стану з переважанням трав'янистих рослин в стан з переважанням деревних рослин досить швидко (за кілька років) різко змінюється сумарна фітомаса угруповання, а також фітомаса рослин трав'янистих та деревних видів. Фітомаса трав'янистих угруповань в середньому становить кілька десятків тонн на гектар, тоді як фітомаса деревного насадження – величина порядку сотень тонн на гектар [18].

При сукцесійних переходах другого роду відбувається заміна дерев листяних порід (берези, осики) на хвойні. При цьому частка хвойних в насадженні та загальна деревна фітомаса повільно змінюються протягом десятиліть. Сукцесійні переходи такого типу можна розглядати як аналоги фазових переходів другого роду у фізичних системах. Дана робота присвячена розробці моделей, що описують сукцесійні переходи в лісових угрупованнях як фазові переходи першого і другого роду. При цьому в моделі екологічних фазових переходів будуть розглядатися можливості переходу з однієї фази в іншу.

Фазовий перехід першого роду – зміна трав'яного ценозу на деревний. Будемо вважати, що особини деякого виду з масою (чисельністю) $X(i)$ існують у межах парцели і займають певну частину $S(i)$ від загальної площі S ценозу. Припускаємо,

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

що між особинами даного виду існують взаємодії двох типів – кооперативні та конкурентні. У відсутності інших видів на території при заданій чисельності $X(i)$ кооперативна взаємодія буде сприяти «стягнанню» особин і зменшенню площі $S(i)$. Конкурентна ж взаємодія буде приводити до «відштовхування» особин і збільшенню площі $S(i)$ парцелли. Площа, яку займає вид, не буде змінюватися, якщо інтенсивність кооперативної та конкурентної взаємодій буде однаковою.

Інтенсивність конкурентного взаємодії I_1 для заданих видів будемо вважати прямо пропорційною щільності популяції (біомаси) і обернено пропорційною площі території, яку займає вид. При цьому необхідно врахувати, що ця площа не може бути нескінченно малою, тому що в будь-якому випадку особини не можуть розміщуватися в одній точці простору.

Введемо для врахування цієї обставини параметр b – мінімальну площу, на якій можуть розміщуватися особини даного виду з чисельністю X . Тоді

$$I_1 = \frac{kX}{S-b}, \quad (1)$$

де k – деяка константа.

Кооперативну взаємодію I_2 будемо вважати обернено пропорційною певній мірі величини площі парцелли:

$$I_2 = \frac{a}{S^w}. \quad (2)$$

У стаціонарному стані при відсутності зовнішнього впливу на особини в парцелі буде виконуватися рівність $I_1=I_2$, або

$$\frac{a}{S^w} = \frac{kX}{S-b}. \quad (3)$$

З рівняння (3) слідує, що в рівноважному стані зв'язок між чисельністю популяції X і площею S буде виражатися таким рівнянням:

$$X = \frac{a}{k} \cdot \frac{S-b}{S^w}. \quad (4)$$

З рівняння (4) слідує, що за відсутності зовнішнього впливу на вид можливе нескінченне число рівноважних станів виду з певними значеннями його чисельності (біомаси) та займаної площі, серед яких можна виділити стан з максимальною при даних значеннях параметрів рівнянь взаємодій та чисельністю популяції. Зокрема, при $w=2$ $S(i, opt)=2b$.

Однак, при аналізі необхідно врахувати вплив на даний вид інших видів, здатний призвести до зменшення площі, зайнятої цим видом, й навіть до витіснення його із угруповання. Фактично зовнішній конкурентний вплив буде діяти точно так само, як внутрішньовидова кооперативна взаємодія особин у парцелі, прагнучи «стягувати»—«обмежувати» особини в парцелі із зменшуючою площею. Рівноважний стан популяції в межах такої парцели при заданому зовнішньому впливі на i -ий вид $p(i)$ (екологічний тиск) буде виражатися рівнянням:

$$p(i) + \frac{a}{S(i)^w} = \frac{kX(i)}{S(i) - b}. \quad (5)$$

При $w = 2$ рівняння (5) можна розглядати як екологічний аналог рівняння Ван дер Вальса [17].

При заданому значенні чисельності $X(i)$ виду зв'язок між зовнішнім екологічним тиском $p(i)$ і площею $S(i)$, яку займає цей вид, відображена на рис. 1.

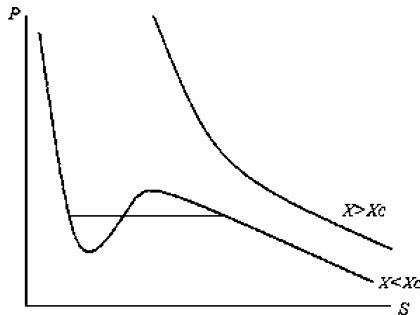


Рис. 1. Зв'язок між зовнішнім екологічним тиском p і площею S , яку займає вид.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Як видно з рис. 1, форма кривих $p(S)$ залежить від значення чисельності популяції X . При значеннях $X > X_0$ крива $p(S)$ монотонна. За певного значення $X = X_0$ крива $p(S)$ має перегин, при значеннях $X < X_0$ крива $p(S)$ немонотонна.

Припустимо, що інтенсивність зовнішнього екологічного тиску на популяцію, що знаходиться в даній парцелі, спочатку була великою, а потім стала зменшуватися. Якщо чисельність популяції $X > X_0$, то із зменшенням зовнішнього екологічного тиску площа, яку займає дана популяція в стаціонарних умовах, буде монотонно зростати. Навпаки, якщо при малому початковому екологічному тиску він починає зростати, то площа парцели, яку займає дана популяція в стаціонарних умовах, починає монотонно зменшуватися.

Якщо ж чисельність популяції $X < X_0$, то, починаючи з певного значення p , збільшення площі парцели, яку займає дана популяція, можна домогтися лише збільшуючи, а не зменшуючи зовнішній екологічний тиск. Відбувається це через немонотонну поведінку кривої $p(S)$ (рис. 1). Зворотньо, при збільшенні зовнішнього екологічного тиску, супроводжуваного зменшенням площі парцели, яку займає популяція, починаючи з деякої величини площі, для подальшого її зменшення, потрібно буде не збільшувати, а зменшувати зовнішній екологічний тиск. Така поведінка модельної системи є неможливою в реальних умовах.

Однак, цього парадоксу можна уникнути, якщо припустити, що на критичній ділянці (1, 2) кривої $p(S)$ реальна зміна змінних p і S відбувається так, як це показано на рис. 1 (пряма АВ). У цьому випадку $X < X_0$ і зміна площі парцели, яку займає популяція на ділянці (1, 2) буде відбуватися при постійному значенні зовнішнього екологічного тиску p . Після досягнення меж цієї ділянки знову буде присутній монотонний зворотній зв'язок між величиною зовнішнього екологічного тиску і площею території, яку займає популяція. У цьому випадку при постійному значенні p матиме місце стрибок величини площі, яку займає досліджуваний вид. У фізичних системах така поведінка відповідає ФП I.

Розглянемо використання феноменології моделей фазових переходів для опису сільватизаційних та ренатуралізаційних

взаємодій «трав'янисті рослини — ліс». Будемо розглядати сформований трав'яний фітоценоз загальною площею S_m , в якому трав'янисті рослини з фітомасою X займають площу S_g . Обмеження площі, яку займають деревні рослини, відбувається внаслідок зовнішнього екологічного тиску p з боку трав'янистої рослинності за рахунок викошування сіна та інших агротехнічних впливів.

Нехай, в деякий момент часу деревні рослини отримують максимально сприятливі умови для проростання і розвитку лісового самосіву (припинення агротехнічного впливу). У термінах вищевикладеної моделі це означає, що зовнішній екологічний тиск зменшився (можливо, до нуля). У цьому випадку, якщо фітомаса деревної рослинності велика (більша критичного значення X_0) буде спостерігатися заміщення трав'янистого ценозу лісовим і збільшення площі, займаної деревними рослинами (узлісся, старооранка, луг). Якщо ж фітомаса деревних рослин до деградації трав'янистої рослинності була мала, то у випадку, коли зовнішній екологічний тиск на деревні рослини зменшиться до значення P_0 , відбудеться різкий стрибок величини площі, займаної деревами. Стрибокподібний характер описаних сукцесійних змін свідчить про екологічний фазовий перехід першого роду.

Подібні явища властиві для ситуацій після «швидких» критичних явищ в екосистемах, таких, як зміна цільового використання земель, характерних для буферних і господарських зон національних парків, а також лісового та аграрного секторів економіки Західного Полісся.

Фазовий перехід другого роду — зміна порід у лісових ценозах. Поряд з фазовими переходами першого роду можна розглядати і фазові переходи другого роду, коли деяка характеристика (параметр порядку) у насадженні змінюється безперервно. Модель фазового переходу другого роду будемо використовувати для опису сукцесійного переходу «листяне насадження — хвойне насадження».

Введемо в якості параметра порядку величину $q(0=q=1)$, яка характеризує частку дерев хвойних порід у насадженні. Значення параметра порядку $q=1$ відповідає чистим хвойним насадженням, а значення $q=0$ — чистим листяним насаджен-

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

ням, проміжні значення q характеризують змішане насадження. Сукцесійний перехід «листяні — хвойні» буде починатися, коли в листяному насадженні з'являться хвойні дерева, відповідно параметр порядку q стане відмінним від нуля.

Введемо також поняття потенціалу лісоекологічного ризику G . Величина G характеризує вірогідність трансформації (сукцесійного переходу) ценозу. Чим більше значення G , тим більша вірогідність трансформації. Запис в загальному вигляді рівняння залежності G від різноманітних параметрів, що характеризують ценоз і вплив на нього зовнішніх чинників, дещо ускладнений широким спектром просторово-часових взаємодій природного та антропогенного характеру. Однак, незалежно від конкретної форми рівняння для G , можна ввести оптимізаційний принцип, який регулює процес сукцесійного фазового переходу, як умова $G \rightarrow \min$. Використання такого оптимізаційного принципу означає, що система (ценоз) прагне до досягнення стану, при якому екологічний ризик трансформації мінімальний.

Поблизу точки ФП II число чинників, що впливають на поведінку системи, зазвичай сильно зменшується і функція G залежить тільки від параметра порядку [13,14]. Залежність $G=f(q)$ функції лісоекологічного ризику від параметра порядку можна представити степеневим рядом, у якому опущені непарні члени ряду розкладу G (в протилежному випадку мав би місце стрибкоподібний ФП I), а також парні члени ряду зі степенями, більшими чотирьох (з огляду на їх малість, в порівнянні з першими членами розкладу функції $G=f(q)$):

$$G = G_0 + kq^2 + bq^4, \quad (6)$$

де G_0 , k , b — коефіцієнти.

Як фактори, що впливають на можливість фазового переходу від листяного насадження до хвойного, введемо величину фітомаси X листяної частини насадження. Вплив такого фактора можна ввести у формі лінійної залежності від X коефіцієнта k при квадратичному члені рівняння (1): $k=a(X-X_r)$. Тоді з рівняння (6) маємо:

$$G=G_0 + a(X-X_r)q^2 + bq^4 - pq \quad (7)$$

де a, b – постійні коефіцієнти, X – фітомаса листяної частини насадження, X_r – критичне значення фітомаси листяної частини насадження, при досягненні якого у насадженні з'являються хвойні дерева і починається сукцесійний фазовий перехід, pq – зовнішній вплив.

Виходячи з оптимізаційного принципу, сталому стану ценозу має відповідати мінімальне значення G . Умова мінімуму функції (7) запишеться стандартним чином:

$$\frac{\partial G}{\partial q} = 2a(X - X_r)q + 4bd^3 = 0; \quad \frac{\partial^2 G}{\partial q^2} > 0. \quad (8)$$

Рівняння (8) має два розв'язки:

$$q_1 = 0 \quad (G = G_0; X \geq X_r) \quad (9)$$

і

$$q_2^2 = \frac{a(X_r - X)}{2b} = A - BX \quad (G = G_0 - \frac{a^2}{4b}(X_r - X)^2; \\ X < X_r; \quad A = \frac{aX_r - X}{2b}; \quad B = \frac{a}{2b}X) \quad (10)$$

Оскільки відповідно до моделі при $X = 0$ $q^2 = 1$, то в (10) коефіцієнт $A=1$.

Стійкий розв'язок $q = 0$ відповідає випадку, коли запас листяних насаджень більше деякого критичного значення X_r .

Другий розв'язок реалізується, коли запас листяного насадження стає меншим X_r , і воно починає трансформуватися в змішане. Згідно рівнянь (9) і (10), значення функції лісоекологічного ризику G для змішаного насадження менше, ніж для листяного насадження ($G = G_0 + a^2/4b(X_r - X)^2 < G_0$), тобто хвойні насадження більш стійкі. Для змішаних насаджень, згідно (10), існує лінійний зв'язок між квадратом параметра порядку q^2 і запасом X листяної частини насадження. Коли сукцесійний перехід від листяних до хвойних закінчився і запас листяної частини насадження стає рівним нулю, то $q^2 = 1$.

Для верифікації моделі необхідно застосувати методи регресійного аналізу, що дозволить за величиною коефіцієнта де-

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

термінації R^2 визначити ступінь узгодженості натурних даних з лінійною моделлю (10) і знайти коефіцієнти лінійного регресійного рівняння зв'язку між X і q^2 . Величину критичного запасу X_r (10) можна обчислити через параметри рівняння (10) за формулою $X_r = A/B$.

Таким чином, в моделі сукцесійного фазового переходу другого роду, зв'язок між фітомасою листяної частини насадження та квадратом параметра порядку виражається двома прямими зі зломом в точці $\{X_r, 0\}$ (рис. 2).

Відповідно до моделі фазових переходів, якщо фітомаса листяних у насадженні перевищує критичне значення X_r , то в таких насадженнях не будуть зустрічатися дерева хвойних порід. При зменшенні фітомаси листяних нижче критичного значення, в насадженні мають з'явитися хвойні дерева, а зв'язок між квадратом параметра порядку насадження та фітомасою листяних в цьому насадженні має бути лінійним.

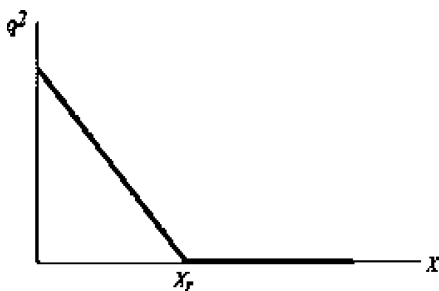


Рис. 2. Теоретичний зв'язок між параметром порядку q^2 і фітомасою X листяної частини насадження.

Для верифікації моделі використано лісотаксаційні дані про стан природного поновлення лісів і розрахунки, виконані із застосуванням пакету прикладних програм та лісотаксаційних таблиць [19,20], а також дані лісоупорядкування Мельниківського, Шацького і Пульмівського лісництв Шацького НПП, виконаного із застосуванням програмно-методичних матеріалів і схем типів лісу, укладених Науковим центром заповідної справи Міністерства охорони навколишнього середовища України в 2005 р.

Верифікація моделі виконана на основі систематизації результатів періодичних щорічних маршрутних досліджень із закладанням тимчасових пробних площ і профілів, які представляють мозаїчні характерні лісорослинні умови і характеризують найбільш поширені типи лісу та їх серії, а також даних вимірювань морфологічних параметрів рослин на експериментальних і фонових посадках лісових культур при дистанційному моніторингу і полігонних завірково-калібрувальних роботах [5, 21].

Отримані результати дозволяють оцінити масштаб зміни листяних порід хвойними і представити загальні сценарії відновлювальних змін, які відбуваються при природному залісенні сільватизованих і ренатуралізованих земель. В аналіз включені дані [22] таксаційних описів для шести пробних площ (ПП), описи надґрунтового рослинного вкриття і розрізів ґрунту, в якості прикладу представлених на рис. 3–7 для ПП-1.

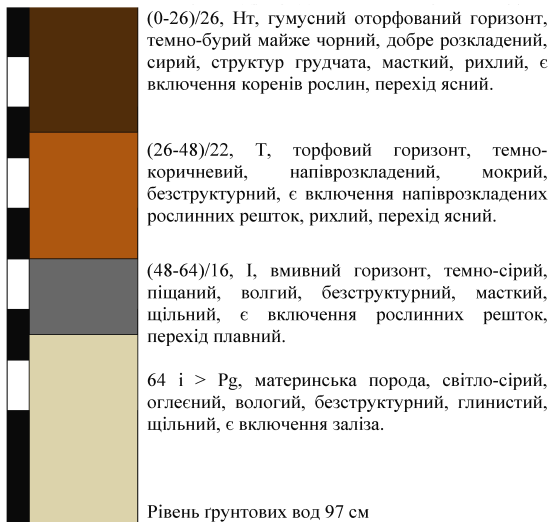


Рис. 3. Опис ґрунтового розрізу на ПП-1 – урочище Кулевицьке (Шацький НПП), меліоровані землі заплави р. Прип'ять: старооранка, відбувається залісення березою повислою з незначними домішками інших порід, переважаюча рослинність – осоково-злакова, ґрунт торфово-болотний з ознаками мінералізації, тип умов – С₄

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Досліджено зміну розподілу породного складу насаджень за розрядами висот і ступенями товщини (600 виділів в межах прadolини р. Прип'ять) в ході сукцесійних переходів у різнотравних серіях типів лісу. Характеристика пробних площ і результати їх досліджень за переліком природного поновлення з розподілом за породами, замірами висот (градація 0,1 м) і діаметрів (градація 0,1 см) наведені на рис. 4–7.

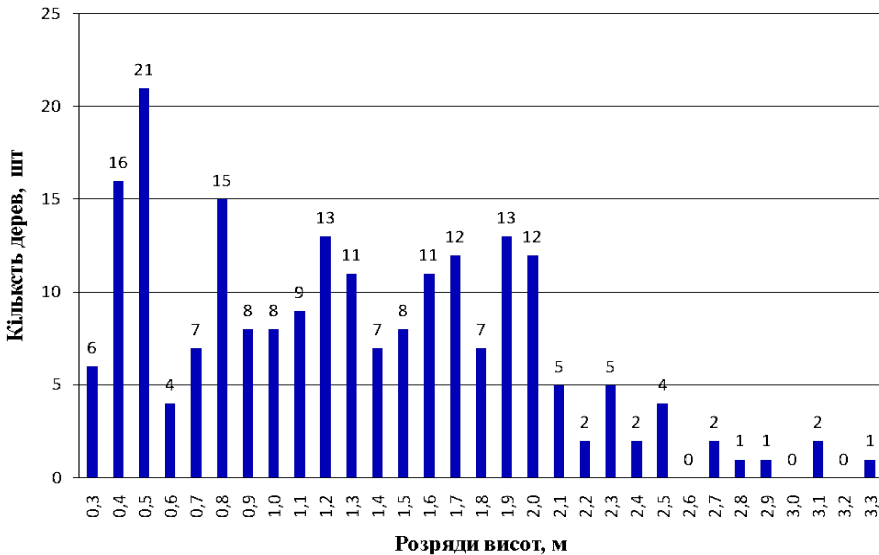


Рис. 4. Розподіл дерев за розрядами висот на ПП-1.

Загалом при оцінці сучасного стану заростання старооранок та інших сільськогосподарських земель, які вибули з користування, за наявності добре сформованих деревостанів з перевагою берези або сосни, напрошуються висновки про цілковиту зміну екосистем цих територій на лісові екосистеми. Основну участь у залісненні беруть види дерев-анемохорів, такі як береза повисла, сосна звичайна, верби та осика. Припускається багаторазовість занесення діаспор дерев, хоча в літературі є твердження, що така градація розмірів особин є результатом диференціації одновікових дерев [23–25].

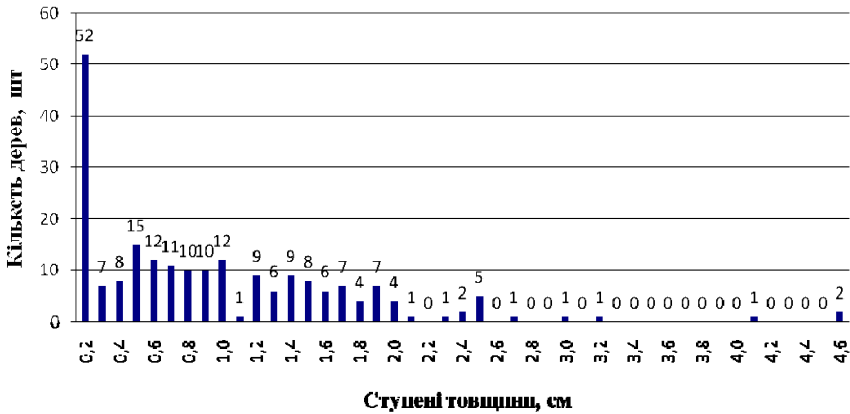


Рис. 5. Розподіл дерев за ступенях товщини на ПП-1.

У трав'яному вкритті березняків на старооранках у долині Прип'яті, незважаючи на те, що осушення долини Прип'яті відбулось на поч. 80-х рр. [26], все ще потужним залишається комплекс видів колишнього болота, зокрема спостерігається переважаюча роль очеретянки (до 60%), куничника наземного та осоки високої, тоді як на незаліснених ділянках очеретянка часто виступає домінуючим видом угруповань зі 100% проективним вкриттям (ПП-1 і тестова ділянка).

У випадку випасання худоби переважаючим видом травостою на незаліснених ділянках є перстач гусячі лапки (до 70%) та медова трава шорстка (до 20%), тоді як на ділянці, де відбувається заліснення, проективне покриття перстачу значно менше (до 30%) і спостерігаються види залишково-болотного комплексу (ПП-2 і тестова ділянка).

Зокрема, на суходолах – урочище Макошин і окраїна болота Рипицьке (ПП-3, ПП-4 та ПП-6) спостережувані сільватизаційні ефекти (заростання сільськогосподарських угідь) є проявом ренатуралізації екосистем. У долині р. Прип'яті та на болоті Рипицькому (ПП-1, ПП-2 та ПП-5) зафіксовані сільватизаційні ефекти – заліснення колишніх агротехнічних територій є відображенням антропогенно-зумовленої сукцесії рослинності.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

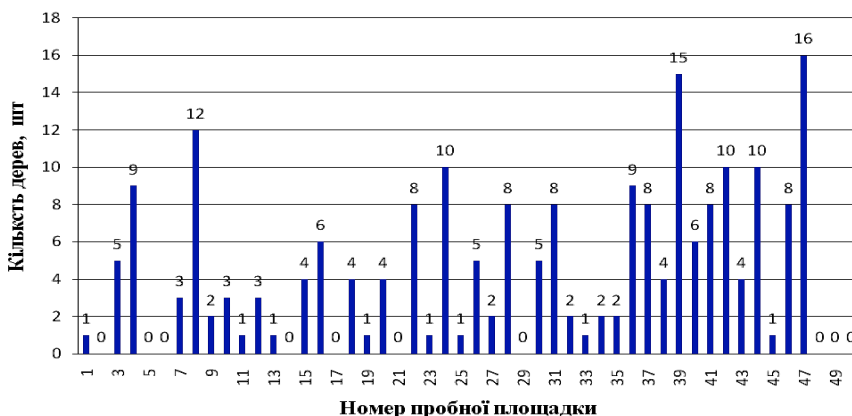


Рис. 6. Розподіл кількості дерев на ПП-1.

На основі дистанційних даних, комплексу лісоекологічних показників, екологічно ємнісних індикаторів фізіологічного стану та активності фотосинтетичного апарату рослин [5–11, 21] можна стверджувати, що на сільватизаційних ділянках відбувається формування типового лісового середовища, властивого мозаїчному прояву лісорослинних умов, характерних для Західного Полісся.

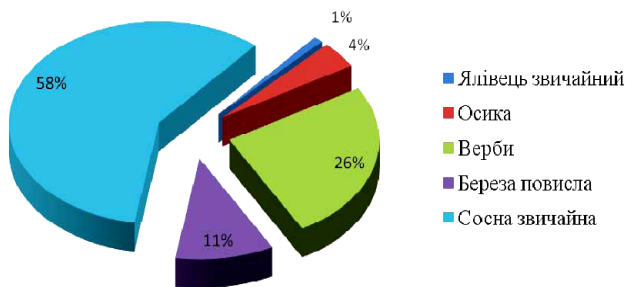


Рис. 7. Породний склад на ПП-4 – урочище Макошин (Шацький НПП): старооранка, відбувається заліснення сосною звичайною з незначною домішкою інших порід, переважаюча рослинність – верес звичайний, злакові, ґрунт дерново-підзолистий, тип умов – А₁.

Описані серії лісорослинних умов обрані для лісотаксаційного аналізу як типові, що відображають сукцесії на меліорованих землях заплави р. Прип'ять. Для кожного типу лісу сумувались частки порід у складі насадження і обчислювалася частка даної породи в кожному ступені товщини. Запас кожного вікового класу обчислювався як середнє значення для виділів.

На основі натурних вимірювань показників діаметра, висоти, кількості і розподілу стовбурів за ступенями товщини, попередньо визначено запас деревостану сосни та інших деревних порід на вибраних пробних площах.

Запас деревостану в сироростучому стані (маса стовбурів, м³/га) можна визначати будь-яким відомим в таксації способом. Оскільки сільватизаційні ефекти досліджуються на 20-річних лісових культурах, в основному сформованих тонкомірними деревами з переважанням сосни звичайної, то запас деревостану, на основі вимірних показників розраховується за формулою об'єму ростучих дерев:

$$M = GHF, \quad (11)$$

де M – запас деревостану, м³/га; G – сума площ поперечного перерізу всіх дерев, м²/га; H – середня висота, м; F – середнє видове число.

Надземну фітомасу в абсолютно сухому стані оцінено за формулою [4]:

$$P_{\text{н.ф.}} = K_{\phi} M, \quad (12)$$

де $P_{\text{н.ф.}}$ – надземна фітомаса деревостану, т/га; K_{ϕ} – коефіцієнт ємності фітомаси, т/м³; M – запас деревостану, м³/га.

Коефіцієнт K_{ϕ} характеризує кількість надземної фітомаси, яка приходить на запас деревостану. Для сосни він є константою і дорівнює 0,5126 незалежно від регіону і параметрів деревостану [4]. Статистичний аналіз відхилень і обчислені похибки розрахунків даним способом показують, що систематична і випадкова похибки способу не перевищують 9–10%, а похибка для всіх випадків (m) становила 1,3–4,3%.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Точність оцінки запасу надземної фітомаси повністю залежить від дослідника: чим якісніше буде визначений запас деревостану, тим точніше буде оцінена фітомаса. Найкращі результати дає застосування способу при оцінці фітомаси в чистих і умовно чистих сосняках (частка сосни у складі 7 і більше одиниць) з незначною домішкою інших порід, які характерні для Західного Полісся.

Лісогаксаційний аналіз виконано для кожної пробної ділянки. В табл. 1 наведена узагальнена таксаційна характеристика досліджуваних сільватизаційних ділянок. Аналіз показує, що сукцесійний перехід від листяних до хвойних насаджень виражається в спряженій зміні породного складу насадження і запасу деревини в ньому.

Якщо модель сукцесійних фазових переходів другого роду коректна, то відповідно до рівняння (10) має існувати лінійний зв'язок між квадратом параметра порядку насадження і запасом листяних в змішаному насадженні. На основі даних щодо пробних площ, була отримана залежність q^2 від запасу X листяної частини насаджень на цих об'єктах (рис. 8). Параметри рівнянь сукцесійного переходу від листяних до темнохвойних насаджень приведено на вставці рис. 8.

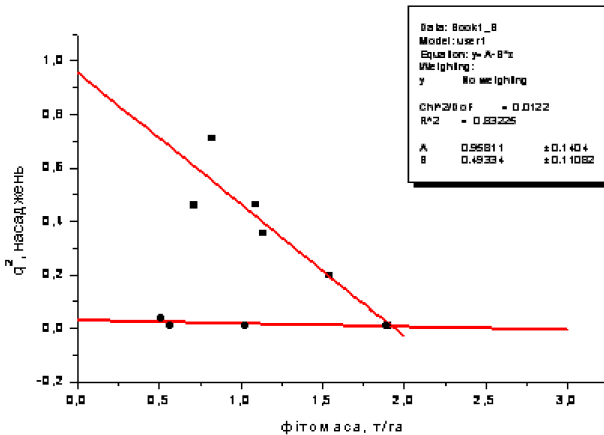


Рис. 8. Залежність квадрата параметра порядку q від запасу X листяної частини насаджень для змішаних і листяних насаджень досліджуваних серій типів лісу Шацького НПП (критичне розрахункове значення $X_r=1,8$ т/га): ● — листяні насадження, ■ — хвойні насадження.

Таблиця 1 — Таксаційна характеристика природного поновлення на пробних площах сильватизаційних територій Шашького НПП

Пробна площа	Урочище	ТЛУ	Площа, га	Склад	Поряд	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Абсолютна повнота, м ² /га	Густина, шт/га	Запас, м ³ /га	Надземна маса, т/га	q	q ²	
ПП-1	Кулевийське	С ₄	0,02	10Бл+С ₃	Бл	1,2	1,3	1,3	10650	2,0	1,0252	0,1	0,01	
ПП-2	Дубовець	С ₄	0,02	10Бл+Врк, С ₃ , Д ₃	Бл	2,0	1,5	2,3	7450	3,7	1,896	0,1	0,01	
ПП-3	Макошин	А ₁	0,02	10С ₃ +Бл, Ябл, Ос	С ₃	1,6	0,9	1,1	5300	1,6	0,82	0,9	0,71	
ПП-4	Макошин	А ₁	0,02	6С ₃ Врк1Бл+Ос, Ялз	Врк Бл	1,8 1,4 1,6	1,1 0,9 1,2	0,7 0,2 0,1	3000 1200 500	1,1 0,2 0,1				
Разом на ПП-4														
ПП-5	Рипицьке	В ₅	0,02	5Бл5Врк+С ₃ , Влч	Бл Врк	0,6 0,6	0,5 0,4	0,5 0,4	17350 14800	0,7 0,4				
Разом на ПП-5														
ПП-6	Рипицьке	В ₃	0,0064	7Бл2С ₃ 1Врк	Бл С ₃ Врк	0,3 0,3 0,3	0,3 0,3 0,2	0,6 0,1 0,1	80469 18281 14688	0,7 0,2 0,1				
Разом на ПП-6														
									0,8	113438	1,0	0,5126	0,2	0,04

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Аналіз розрахованих даних показує, що для змішаних насаджень прогнозований в моделі фазових переходів зв'язок між квадратом параметра порядку і запасом листяної частини, відображений на рис. 8, добре узгоджується з теоретичним графіком на рис. 2. Як видно з рис. 8, зв'язок між q^2 і запасом листяної частини змішаних насаджень добре описується лінійним регресійним рівнянням. Величина коефіцієнта детермінації $R^2=0,83225$ близька до теоретичного значення $R^2 = 1$ для лінійних рівнянь, а вільний член регресійного рівняння $A=0,95811\pm 0,1404$ близький до теоретичного значення $A = 1$.

Наявні дані по об'єктах досліджуваних серій типів лісу в Шацькому НПП характеризують досить поширені в Західному Поліссі серії листяно-хвойних насаджень, тому на рис. 8 спостерігається злам прямої $q^2=A-BX$, передбачений теоретично (рис. 2).

Для досліджуваних лісорослинних умов, де присутні як змішані, так і листяні насадження, при різних значеннях запасу листяних порід величина параметра порядку q насадження близька або дорівнює нулю (рис. 8). Цей результат добре узгоджується з моделлю на рис. 2. Зв'язок між квадратом параметра порядку і запасом листяної частини змішаного або хвойного насадження для всіх серій і типів лісу лінійна. Коефіцієнти детермінації R^2 і значення вільного члена регресійних рівнянь в більшості випадків перевищують 0,9. Все це говорить про високий ступінь кореляції моделі фазових сукцесійних переходів і натурних даних.

Узгодження отриманих результатів з даними [27], дають підстави для детермінації критичних значень фітомаси при сукцесійному переході як констант для конкретних лісорослинних умов. Прогнозовані величини критичних значень запасу листяного насадження, коли в ньому з'являються хвойні дерева, для різних типів і серій типів лісу змінюються в широких межах – від 205 м³/га в різнотравно-осоково-зеленомошній серії типів лісу до величини 95 м³/га для осоково-сфагнового. Порівняльний аналіз отриманих результатів з даними [26] для насаджень однієї серії типів лісу, але різних бонітетів показує, що критичне значення запасу листяних монотонно зменшується від насаджень першого бонітету до насаджень третього бонітету. Таким чином, прогнозована

величина критичної фітомаси листяних, при якій в лісах Західного Полісся відбувається сукцесійний перехід від листяних до хвойних насаджень, залежить як від типу лісу, так і бонітету.

Застосування запропонованої моделі допускає певні відхилення натурних даних від розрахункових. Неточності можуть бути обумовлені певними причинами, наприклад, віднесенням до переліку досліджуваних молодих насаджень існуючих окремих крупномірних дерев, що збереглися від попередніх поколінь. Фітомаса таких дерев може бути досить великою, що при малому вкладі облікових дерев у величину параметра порядку, призведе до зміщення експериментальної точки, яка характеризує насадження, відносно теоретичної прямої на площині $\{X, q^2\}$.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Модель сукцесійних фазових переходів дозволяє ідентифікувати особливості сільватизаційних і ренатуралізаційних процесів у лісових екосистемах Західного Полісся, охарактеризувати прояв генетичної пам'яті екосистем різних ступенів гемеробії, запропонувати шляхи їхнього раціонального господарського використання, визначити напрямки природоохоронної діяльності у регіоні [28, 29].

Аналіз та порівняння моделей екологічних фазових переходів першого і другого роду з експериментальними результатами досліджень сукцесійних змін рослинності, показали високий рівень узгодженості між моделлю і натурними лісотаксаційними даними. Модель дозволяє пояснити спрямованість сукцесійних явищ, а також визначити на якому етапі розвитку екологічних процесів слід очікувати сукцесійних переходів.

Модель екологічного фазового переходу першого роду описує зміну трав'янистого ценозу на деревний. Зростання фітомаси видів у рослинних угрупованнях передбачає два стійких стани з фіксованим стрибкоподібним характером переходу з одного в інший. Перший стан характеризує величину фітомаси трав'янистого угруповання, другий – фіксує величину фітомаси природного поновлення деревного насадження. Сукцесійний перехід зі стану з переважанням трав'янистої рослинності до стану з переважанням деревних рослин відбувається стрибкоподібно, коли фітомаса насадження перевищить певне критичне значення.

Лісові сукцесії в лісовій біогеоценології та лісівничій практиці характеризують процес зміни деревних порід. Тому, модель

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

фазового переходу другого роду доцільно використовувати для опису сукцесійного переходу «листяне насадження – хвойне насадження», коли характеристика насадження – параметр порядку лісоекологічного потенціалу змінюється безперервно.

Модель екологічних фазових переходів адекватна з феноменологічною моделлю росту лісових культур. Істотна відмінність полягає в тому, що модель фазових переходів дозволяє обґрунтувати існування критичної точки зміни характеристик лісового ценозу, а також зафіксувавши точку фазового переходу, розрахувати величину критичної біомаси насаджень.

Аналіз даних натурних спостережень з використанням запропонованого підходу дозволяє для конкретних типів лісорослинних умов обчислити критичні значення фітомаси насаджень, при досягненні яких починається сукцесійними перехід. Знання цих величин важливо для середньо- і довгострокових прогнозів лісотвірного процесу, характеристики формування позитивного киснево-вуглецевого балансу територій.

* * *

1. Сукачев В.Н. Динамика лесных биогеоценозов / В.Н. Сукачев // Основы лесной биогеоценологии. Под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. – М.: Наука, 1964. – С. 458–486.

2. Ященко П.Т. Сильватизація як процес і фактор ренатуралізації природних екосистем Західного Полісся / П.Т. Ященко, О.Я. Надорожняк // Науковий вісник. Лісівницькі дослідження в Україні (IX-ті Погребняківські читання). Збірник науково-технічних праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2003. – Вип. 13.3. – С. 171–176.

3. Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова / В.Д. Александрова // Полевая геоботаника. – М.—Л.: Наука, 1964. – Т.3. – С. 300–447.

4. Аткин А.С. Способ определения запасов надземной фитомассы сосновых насаждений / А.С. Аткин, Л.И. Аткина // Патент Российской федерации, № 2073420, А01G23/00, 1997.

5. Капустяник В.Б. Оптико-спектральні методи в науково-технічній експертизі: Практикум / В.Б. Капустяник, В.І. Мокрий. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 207 с.

6. Кучерявий В.П. Оптико-спектральні методи експрес-діагностики рослин Шацького національного природного парку / В.П. Кучерявий, В.І. Мокрий, Н.А. Пиць // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки: Присвячений 25-річчю Шацького НПП. – Луцьк : Редакційно-видавничий відділ «Вежа» ВНУ ім. Лесі Українки, 2009. – № 2. – С. 58–63.

7. Кучерявий В.П. ГІС/ДЗЗ технології проектування ландшафтно-рекреаційних районів Шацького національного природного парку / В.П. Кучерявий, В.І. Мокрий, Н.А. Пиць // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: Ландшафтна архітектура в контексті сталого розвитку. – Львів: НЛТУ України, 2008. – Вип. 18.12. – С. 114–118.

8. Мокрий В.І. Геопросторові інформаційні технології управління заповідними та рекреаційними комплексами Західного Полісся / В.І. Мокрий, М.І. Пшевлочський, Р.Ф. Федорів // Матеріали науково-практичної конференції «Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся: історія стан, перспективи розвитку». – Березне : НСІ, 2007. – С. 118–119.

9. Мокрый В.И. Использование ДЗЗ/ГИС технологий для экологического картографирования территорий Шацкого НПП / В.И. Мокрый, В.П. Кучерявый, Н.А. Пиць, Р.Ф. Федорив // Эколого-экономический механизм сохранения биоразнообразия особо охраняемых природных территорий. Материалы II международной научно-практической конференции. – Брест : Альтернатива, 2007. – С. 266–269.

10. Мокрий В.І. Ідентифікація космознімків для моніторингу лісових екосистем Шацького НПП / В.І. Мокрий, Р.Ф. Федорів // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : зб. наук. праць за матеріалами VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Київ – Харків – Крим, 2007. – С. 249–253.

11. Капустяник В.Б. Прикладна спектроскопія : Навчальний посібник / В.Б. Капустяник, В.І. Мокрий. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009. – 302 с.

12. Миркин, Р.М. Фитоценология. Принципы и методы / Р.М. Миркин, Г.С. Розенберг. – М.: Наука, 1978. – 212 с.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

13. Soukhovolsky, V.G. Models of phase transition in forest ecosystems / V.G. Soukhovolsky // ЕСЕМ'07, Conference proceedings. Trieste, Italy, 2007. — P. 505–506.

14. Исаев А.С. Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход / А.С. Исаев, В.Г. Суховольский, Р.Г. Хлебопрос // Лесоведение, 2005. — № 1. — С. 1–9.

15. Брус А. Структурные фазовые переходы / А. Брус, Р. Каули. — М.: Мир, 1984. — 408 с.

16. Ландау Л.Д. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Наука, 1964. — 567 с.

17. Дмитриев, А.В. Основы статистической физики материалов / А.В. Дмитриев. М.: Изд-во МГУ, Наука, 2004. — 668 с.

18. Лакида П.І. Фітомаса лісів України / П.І. Лакида. — Тернопіль: Вид-во «Збруч», 2002. — 256 с.

19. Горошко М.П. Лісова таксація: практикум / М.П. Горошко, П.Г. Хомюк. — Львів: УкрДЛТУ, 2000. — 132 с.

20. Горошко М.П. Типологічні зміни на профілі А.Пясецького / М.П. Горошко, П.Г. Хомюк // Науковий вісник УкрДЛТУ: Збірник наукових праць. — Львів: УкрДЛТУ. — Вип. 3.1. — 1995. — С. 41–45

21. Мокрий В.І. Ідентифікація лісорослинних умов росту сосни звичайної на основі аналізу космознімків / В.І. Мокрий, Я.В. Генник, А.П. Дида, О.В. Альохіна, Н.А. Піць, Р.Ф. Федорів // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: Міжвідомчий науково-технічний збірник. — Львів: Національний лісотехнічний університет України, 2006. — Вип. 32. — С. 44–47.

22. Корусь М.М. Сильватизація аграрних екосистем Шацького Поозер'я як прояв їх ренатуралізації / М.М. Корусь, П.Т. Ященко // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Присвячений 25-річчю Шацького НПП. — Луцьк: Редакційно-видавничий відділ «Вежа» ВНУ ім. Лесі Українки, 2009. — № 2. — С. 64–71.

23. Ященко П.Т. Сильватизація як процес і фактор ренатуралізації природних екосистем Західного Полісся / П.Т. Ященко, О.Я. Надорожняк // Науковий вісник. Лісівницькі дослідження в Україні (ІХ-ті Погребняківські читання). Збірник науково-технічних праць. — Львів: УкрДЛТУ, 2003. — Вип. 13.3. — С. 171–176.

24. Особливості спонтанного заліснення верхів'я долини річки Прип'яті / П.Т. Ященко, А.А. Горун, В.І. Матейчик, О.В. Ткачук // Науковий вісник. Лісівницькі дослідження в Україні (ІХ-ті Погребняківські читання). Збірник науково-технічних праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2003. – Вип. 13.3. – С. 257–263.

25. Ященко П.Т. Ренатуралізація водно-болотних угідь Шацького національного природного парку: сучасний стан реалізації / П.Т. Ященко, А.А. Горун, В.І. Матейчик, Н.В. Хомік // Шацький національний природний парк: наукові дослідження 1994–2004рр. Матеріали науково-практичної конференції до 20-ліття парку. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2004. – С.15–18.

26. Ященко П.Т. До історії становлення Шацького національного природного парку / Ященко П.Т. // Шацький національний природний парк: наукові дослідження 1994–2004 рр. Матеріали науково-практичної конференції до 20-ліття парку. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2004. – С. 7–10.

27. Исаев А.С. Сукцессионные процессы в лесных сообществах: модели фазовых переходов / А.С. Исаев, В.Г. Суховольский, А.И. Бузыкин, Т.М. Овчинникова // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – № 1–2. – С. 9–15.

28. Красовський Г.Я. Актуальність інформаційно-технічного забезпечення управління Шацьким національним природним парком / Г.Я. Красовський, В.І. Мокрий // Екологія і ресурси: зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки. – К.: ІПНБ, 2006. –№ 13. – С. 101–111.

29. Мокрий В.І. Інформаційне забезпечення формування транскордонного біосферного резервату «Західне Полісся» / В.І. Мокрий, О.М. Трофимчук, Р.Ф. Федорів // Екологія і ресурси: зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки. – К. : ІПНБ, 2007. – № 17. – С. 66–73.

Отримано: 1.07.2011 р.