

А.М. Польовий, д.г.н.

Одеський державний екологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ РОСТУ ЛІСОВОЇ ЕКОСИСТЕМИ В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

*Розглядається моделювання впливу факторів зовнішнього середовища на ріст посадок верби корзинової (*Salix Viminalis L.*) в умовах радіоактивного забруднення, поглинання радіонуклідів кореневою системою і накопичення їх у кореневій системі, листях та деревині пагонів.*

Ключові слова. *верба корзинова, біомаса, корені, листя, пагони, деревина, транспірація, сумарне випаровування, радіонукліди, поглинання.*

Вступ. Успіхи в розвитку моделювання природних лісових екосистем в умовах радіоактивного забруднення [1], глибоке вивчення закономірностей накопичення радіонуклідів штучними посадками швидкозростаючої рослинності [2], моделювання її росту [3], газообміну [4] і водного режиму [5] створили передумови для розробки моделі функціонування створюваної штучно лісової екосистеми на території з високими рівнями радіоактивного забруднення. Модель описує формування гідрометеорологічного режиму в системі "грунт – рослина – атмосфера" і вплив цього режиму на ріст швидкозростаючої рослинності, зокрема, посадок верби корзинової (*Salix Viminalis L.*) в умовах радіоактивного забруднення. Теоретичні питання побудови моделі розглянуті в роботі [6].

Методи і матеріали дослідження. Зупинимося коротко на основних положеннях моделювання росту верби корзинової і накопичення радіонуклідів у її рослинній масі. В основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового і водного балансів, балансу біомаси (вуглеводів та азоту) і радіонуклідів у рослинному покриві.

Основні концептуальні положення такі:

- ріст і розвиток рослин визначається генотипом і факторами зовнішнього середовища;
- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу і поглинених елементів мінерального живлення з урахуванням потреб для росту в асимілятах надземної і підземної частин рослин;
- моделюється радіаційний, тепловий і водний режими системи "грунт – рослина – атмосфера";
- моделюється трансформація форм азоту у ґрунті й азотне живлення рослин;
- моделюється кореневе засвоєння радіонуклідів рослинами та їх розподіл між окремими органами рослин і їх складовими частинами;
- моделюється гідроліз рослинної тканини при старінні рослин і в стресових умовах та перетікання продуктів гідролізу з листя у пагони;
- моделюється перетікання частини радіонуклідів у пагони при старінні і відмиранні листя.

Розглядається, що рослина складається з двох функціонально зв'язаних частин: надземної (*shoot*) і підземної (*root*), які в свою чергу розділяються на окремі органи або їхні складові частини. Виділяються функціонуючі листки (l_{func}), пожовклі листки (l_{yel}), відмерлі листки (l_{mor}), зелені пагони (s_{gr}), задеревілі пагони (s_{wood}), функціонуючі корені (r_{func}), опробковані корені (r_{sub}), задеревілі корені (r_{wood}), корені відмерлі (r_{mor}). Маса (m) окремих i -их органів і їхніх частин складається з двох компонентів – маси вуглеводів

(С) і маси азоту (N). У цій масі рослиною накопичується кожний з розглянутих нами f -видів радіонуклідів – A_f . Моделюється, що під впливом екзогенних і ендегенних факторів у рослині відбувається формування єдиного фонду вільних вуглеводів C_{lab} , єдиного фонду вільного азоту N_{lab} і єдиного фонду радіонуклідів A_{lab}^f . Розглядається наявність у пагонах і коренях рослин резервних фондів запасних вуглеводів C_{pool} і азоту N_{pool} , які ефективно використовуються на початку вегетаційного періоду.

У моделі приймається, що ґрунт складається з 22-х шарів: 0–2, 2–5, 5–10, 10–20 см і так далі через 10 см до глибини 200 см. Моделюються потоки води й азоту у ґрунті, які розглядаються нами одночасно як насичене і ненасичене вологою середовище.

Модель реалізована в двох варіантах – з добовим кроком за часом і з декадним кроком.

Результати дослідження.

Короткий опис гідрометеорологічної частини моделі. Радіаційний баланс рослинного покриву (РП) можна представити у вигляді суми довгохвильової і короткохвильової радіації:

$$R_L = Q_L + F_L ; \quad (1)$$

$$R_S = Q_S + F_S , \quad (2)$$

де R_L і R_S – радіаційний баланс рослинного покриву і поверхні ґрунту (ПГ); Q_L , Q_S – кількість поглиненої короткохвильової радіації РП і ПГ; F_L , F_S – величини балансу довгохвильової радіації РП і ПГ.

Кількість поглиненої короткохвильової радіації рослинного покриву і поверхні ґрунту визначається за допомогою співвідношень:

$$Q_L = Q_o (1 - \alpha_{LS}), \quad (3)$$

$$Q_S = Q_o a_Q (1 - \alpha_S), \quad (4)$$

де Q_o – сумарна короткохвильова радіація над верхньою межею РП; α_{LS} і α_S – альbedo РП і ПГ; a – функція пропускання сумарної радіації РП.

Альbedo рослинного покриву розраховується за формулою Ю.К. Росса [7]:

$$\alpha_{LS} = \alpha_{Lh_o} + (\alpha_S - \alpha_{Lh_o}) \exp[-L(1 + ctgh_o) / \pi] , \quad (5)$$

де

$$\alpha_{Lh_o} = \frac{0,4084}{1 + 1,1832 \sin h_o} .$$

Альbedo поверхні ґрунту визначається в залежності від зволоження ґрунту за формулою А.Т. Нагієва:

$$\alpha_S = \begin{cases} \alpha_S^{\max} & npu \quad W_{SS} < W_{WP} \\ \alpha_S^{\max} - (\alpha_S^{\max} - \alpha_S^{\min}) \frac{W_{SS} - W_{WP}}{W_{FC} - W_{WP}} & npu \quad W_{WP} \leq W_{SS} \leq W_{FC} , \\ \alpha_S^{\min} & npu \quad W_{SS} > W_{FC} \end{cases} \quad (6)$$

де α_S – альbedo поверхні ґрунту; $\alpha_S^{\max}, \alpha_S^{\min}$ – альbedo сухого і достатньо зволоженого ґрунту; W_{SS} – вологість поверхневого шару ґрунту; W_{WP} – вологість стійкого в'янення; W_{FC} – найменша вологоємність ґрунту.

Функція пропускання сумарної радіації визначається за формулою Тоомінга-Росса:

$$a_Q = (1 - c_2) \exp\left(-\frac{k_S^L L}{\sinh o}\right) + c_2 \exp\left(-c_3 \frac{k_S^L L}{\sinh o}\right), \quad (7)$$

де c_2 і c_3 – емпіричні постійні; k_S^L – емпірична постійна, яка характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації.

Величина балансу довгохвильової радіації визначається аналогічно [8] за допомогою слідуючих формул:

$$F_L = (F_A + \varepsilon_S \sigma T_S^4 - 2\varepsilon_L \sigma T_L^4)(1 - e^{-kL}), \quad (8)$$

$$F_S = F_A e^{-kL} - \varepsilon_S \sigma T_S^4 + \varepsilon_L \sigma T_L^4 (1 - e^{-kL}), \quad (9)$$

де F_A – противипромінювання атмосфери; ε_L і ε_S – коефіцієнти сірості листя і ґрунту; σ – постійна Стефана-Больцмана; T_L і T_S – температура листя і ґрунту; k – емпіричний параметр орієнтації листя.

Противипромінювання атмосфери визначається за виразом:

$$F_A = \varepsilon_a \sigma T_a^4, \quad (10)$$

де T_a – температура повітря; ε_a – коефіцієнт довгохвильового випромінювання, який визначається за емпіричною формулою

$$\varepsilon_a = 0,398 \cdot 10^{-5} \cdot T_a^{2,148}. \quad (11)$$

Температура листя визначається як

$$T_L = T_a. \quad (12)$$

Потік тепла у ґрунт приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

$$B_S = c_{BS} R_S, \quad (13)$$

де c_{BS} – емпірична постійна.

Вологоперенесення у ґрунті моделюється аналогічно роботі [9], при цьому рівняння потоку води в системі "ґрунт – коріння" розглядається одночасно як для насиченого так і ненасиченого середовища

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{C(\psi)} \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(\psi)}{C(\psi)}, \quad (14)$$

де ψ – потенціал тиску ґрунтової вологи; $C(\psi) = \frac{d\Theta}{d\psi}$ – диференціальна вологоємність; $K(\Theta)$ – гідравлічна провідність; Θ – об'ємна вологість; $S(\psi)$ – поглинання вологи коренями; t – час; z – вертикальна координата.

Як початкова умова ($t = 0$) задається

$$\psi(z, t=0) = \psi_0(z) \quad (15)$$

За граничні умови приймається:

– на нижній межі (z_{so}) потенціал тиску задається як

$$\psi(z = z_{so}, t) = \psi_{so}(t), \quad (16)$$

– на рівні ґрунтових вод величини $C(\psi) = 0$ і $\psi(z_{so}, t) = 0$;

– на поверхні ґрунту z_o (верхня межа):

$$P_s - E = -K(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad \text{при } P_s - E < J_{\max}; \quad (17)$$

$$\Theta = \Theta_{\max} \quad \text{при } P_s - E \geq J_{\max},$$

де P_s – кількість опадів, що досягли поверхні ґрунту; E – випаровування із поверхні ґрунту; J_{\max} – максимально можлива інтенсивність інфільтрації при вологості ґрунту на його поверхні, дорівнює Θ_{\max} .

Кількість опадів, що досягли поверхні ґрунту, визначається так:

$$P_s = P_o - P_L, \quad (18)$$

де P_o – кількість опадів, що випали; P_L – кількість опадів, перехоплених рослинним покривом, яка залежить від величини листкового апарата:

$$P_L = 0,2 L, \quad (19)$$

де L – відносна площа листкової поверхні (листяний індекс).

Величина джерельно-стокового члена $S(\psi)$ визначається в залежності від потенціалу тиску і максимальної швидкості поглинання вологи S_{\max} за таким виразом:

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi) S_{\max} / f_{depth}^{root} \quad (20)$$

приймаємо, що

$$S_{\max} = T_r, \quad (21)$$

де T_r – транспірація; f_{depth}^{root} – функція розподілу коренів по глибині; $\alpha_s(\psi)$ – функція впливу водного потенціалу ґрунту на поглинання вологи кореневою системою.

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана:

$$T_r = \frac{\Delta \left(\frac{R_L}{\lambda} \right)}{\Delta + \gamma_{ef}} + \frac{ET_{pot}}{\Delta + \gamma_{ef}}, \quad (22)$$

де Δ – нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря; γ_{ef} – ефективна психрометрична постійна; R_L – радіаційний баланс РП; ET_{pot} – випаровуваність; λ – прихована теплота пароутворення.

Випаровуваність визначається за допомогою рівняння:

$$ET_{pot} = \frac{(e_s - e_a) \rho c_p}{r_a}, \quad (23)$$

де e_s – тиск насиченої пари при даній температурі повітря; e_a – фактичний тиск водяної пари; ρ – густина повітря; c_p – теплоємність повітря; r_a – опір прилежого шару.

Ефективна психрометрична постійна знаходиться як:

$$v_{ef} = v \frac{r_a + r_{st}}{r_a}, \quad (24)$$

де v – психрометрична постійна; r_{st} – продиховий опір дифузії водяної пари для листа.

Опір прилежого шару визначається за виразом:

$$r_a = \frac{\ln[(z - d_o) / z_o]^2}{\chi^2 u}, \quad (25)$$

де d_o – висота шару витіснення; z_o – висота шару шорсткості; χ – постійна Кармана; u – швидкість вітру на висоті z .

Продиховий опір визначається за формулою:

$$r_{st} = \frac{1}{g_n + \frac{g_x Q_o}{Q_o + p_r}}, \quad (26)$$

де g_n , g_x , p_r – емпіричні параметри.

Випаровування із поверхні ґрунту E_S визначається як:

$$E_S = \frac{(\Delta R_S) \cdot 1,26}{\Delta + \gamma}. \quad (27)$$

Рівень ґрунтових вод в період після припинення затоплення визначається за методом Шебеко:

$$H_{gr.w.}^{j+1} = H_{gr.w.}^j + \Delta H_{gr.w.}^j; \quad (28)$$

$$\Delta H_{gr.w.} = \frac{I_w}{k_w 10} \quad (29)$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -\frac{V_p}{k_w 10}, \quad (30)$$

де

$$I_w = W_n + P_o - Et_{opt} - W_{FC} \quad (31)$$

і величина V_p знаходиться як

$$0 \leq W_{PC} - (W_n + P_o - ET_{act}) \geq V_p \leq V_{max}$$

де $H_{gr.w.}$ – рівень ґрунтових вод; I_w – інфільтрація; V_p – розрахункове підживлення в зону аерації з ґрунтових вод; W_n – початковий вміст вологи у ґрунті; ET_{act} – сумарне випаровування; V_{max} – максимально можливе підживлення в зону аерації з ґрунтових вод; k_w – коефіцієнт водовіддачі.

Короткий опис біологічної частини моделі. Фонд вільних вуглеводів рослин на кожному часовому кроці представляє собою баланс продуктів фотосинтезу, резервного фонду запасних вуглеводів пагонів і коренів, які використовуються на початку вегетації, і продуктів розпаду старіючих тканин, а також витрат на дихання:

$$\frac{dC_{lab}}{dt} = \Phi + C_{pool} + C_{hydr} - R, \quad (32)$$

де C_{lab} – фонд вільних вуглеводів; Φ – сумарний фотосинтез рослин; C_{hydr} – маса вуглеводів, що утворюються при розпаді старіючих тканин; C_{pool} – резервний фонд запасних вуглеводів у пагонах і коренях, які використовуються навесні; R – витрати вуглеводів на дихання.

Приймається, що формування фонду вільного азоту на кожному часовому кроці йде за рахунок поглинання азоту з ґрунту, резервного фонду запасного азоту у пагонах і коренях, який використовується на початку вегетації, продуктів розпаду тканин і витрат на відновлення життєдіяльних структур тканин:

$$\frac{dN_{lab}}{dt} = N_{abs} + N_{pool} + N_{hydr} - N_{sen}, \quad (33)$$

де N_{lab} – фонд вільного азоту; N_{abs} – кількість поглиненого з ґрунту азоту; N_{pool} – резервний фонд запасного азоту у пагонах і коренях, який використовується навесні; N_{hydr} – кількість азоту, який утворюється при розпаді білків; N_{sen} – витрати на відновлення білків.

Вважається, що фонд вільних радіонуклідів у рослині формується за рахунок надходження кореневим шляхом і перетікання їх з листя у пагони при старінні листя:

$$\frac{dA_{lab}^f}{dt} = A_r^f + A_{old}^f, \quad (34)$$

$$f \in {}^{90}\text{Sr}, {}^{137}\text{Cs},$$

де A_{lab}^f – фонд вільних радіонуклідів; A_r^f – надходження радіонуклідів у рослину кореневим шляхом; A_{old}^f – перетікання радіонуклідів із старіючих листків у пагони.

Потік радіонуклідів через поверхню коренів розраховується за методом В.М. Прохорова. Корені розглядаються при цьому як поглинаюча площа

$$\frac{dA_r^f}{dt} = \frac{\bar{A}_{soil}^f}{2} \left\{ \frac{2k^f v^f}{v^f} \exp \left[\frac{(k^f - v^f)k_l^f}{D^f} \right] \operatorname{erfc} \left(\frac{2k^f - v^f}{2} \sqrt{\frac{f}{D^f}} \right) + 1 + \operatorname{erf} \left(\frac{v^f}{2} \sqrt{\frac{t}{D^f}} \right) \right\} \quad (35)$$

$$\frac{dA_{lab}^f}{dt} = A_{lab}^f \quad (f \in {}^{90}\text{Sr}, {}^{137}\text{Cs}),$$

де $\frac{dA_r^f}{dt}$ – швидкість поглинання радіонуклідів кореневою системою рослин; \bar{A}_{soil}^f – вміст радіонуклідів у шарі ґрунту, де мешкає коренева система; v^f – швидкість конвективного перенесення радіонуклідів у ґрунті під дією потоку вологи, яка поглинається рослиною; k^f – коефіцієнт кореневого поглинання; D^f – коефіцієнт дифузії радіонуклідів у ґрунті; t – термін початку вегетаційного періоду.

Приріст маси вуглеводів, азоту і кількості радіонуклідів розподіляється між надземною і підземною частинами рослин за системою рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dmC(N, A^f)_{shoot}}{dt} = \left(1 - \beta_{root}^{mC(N, A^f)} \right) \frac{dmC(N, A^f)_{lab}}{dt}; \\ \frac{dmC(N, A^f)_{root}}{dt} = \beta_{root}^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{lab}}{dt}, \end{cases} \quad (36)$$

де $mC(N, A^f)_{shoot}$ і $mC(N, A^f)_{root}$ – кількість вуглеводів, азоту і радіонуклідів відповідно у надземній і підземній частинах рослин; $\beta_{root}^{mC(N, A^f)}$ – функція розподілу відповідно вуглеводів, азоту і радіонуклідів у підземну частину рослин.

Розподіл структуроутворюючих компонентів і радіонуклідів між надземними органами і їх окремими частинами виконується за допомогою системи рівнянь [10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dmC(N, A^f)_{l_{func}}}{dt} = \beta_l^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{shoot}}{dt} - \nu^{C(N, A^f)} mC(N, A^f)_{l_{func}}; \\ \frac{dmC(N, A^f)_{l_{yel}}}{dt} = \frac{dmC(N, A^f)_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N, A^f)}} n_{pu} \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N, A^f)_{s_{gr}}}{dt} = \beta_{s_{gr}}^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{shoot}}{dt} + \nu_l^{C(N, A^f)} mC(N, A^f)_{l_{func}}; \\ \frac{dmC(N, A^f)_{s_{wood}}}{dt} = \beta_{s_{wood}}^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{shoot}}{dt}, \end{array} \right. \quad (37)$$

де $mC(N, A^f)_{l_{func}}, mC(N, A^f)_{l_{yel}}, mC(N, A^f)_{s_{gr}}, mC(N, A^f)_{s_{wood}}$ – кількість вуглеводів, азоту і радіонуклідів відповідно у функціонуючих і поживтілих листках, зелених і задеревілих пагонах; $\beta_l^{mC(N, A^f)}, \beta_{s_{gr}}^{mC(N, A^f)}, \beta_{s_{wood}}^{mC(N, A^f)}$ – функції розподілу вуглеводів, азоту і радіонуклідів у зелені листки, зелені і задеревілі пагони; $\nu^{C(N, A^f)}$ – функція перетікання вуглеводів, азоту і радіонуклідів із листя при їхньому старінні.

Приріст маси окремого i -го органа або окремої його частини визначається як сума вуглеводів, які надійшли в цей орган, і азоту:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt}. \quad (38)$$

При моделюванні старіння листя зроблене допущення, що поживтілі листки опадають усі відразу при закінченні вегетаційного періоду:

$$m_{l_{fal}} = m_{l_{yel}} \quad \text{при} \quad t = t_{end}^{gr.s.}, \quad (39)$$

де $m_{l_{fal}}$ – маса опалого листя; $t_{end}^{gr.s.}$ – час закінчення періоду вегетації верби корзинової.

У кореневій системі рослин нами розглядається розподіл вуглеводів, що надійшли у підземну частину, азоту і радіонуклідів між функціонуючими, опробкованими і задеревілими коренями:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dmC(N, A^f)_{r_{func}}}{dt} &= \beta_{r_{func}}^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{root}}{dt} - \frac{dmC(N, A^f)_{r_{sub}}}{dt}; \\ \frac{dmC(N, A^f)_{r_{sub}}}{dt} &= \beta_{r_{sub}}^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{r_{func}}}{dt}; \\ \frac{dmC(N, A^f)_{r_{wood}}}{dt} &= \beta_{r_{wood}}^{mC(N, A^f)} \frac{dmC(N, A^f)_{root}}{dt}, \end{aligned} \right. \quad (40)$$

де $mC(N, A^f)_{r_{func}}$, $mC(N, A^f)_{r_{sub}}$, $mC(N, A^f)_{r_{wood}}$ – кількість вуглеводів, азоту і радіонуклідів відповідно у функціонуючих, опробкованих і задеревілих пагонах; $\beta_{r_{func}}^{mC(N, A^f)}$, $\beta_{r_{sub}}^{mC(N, A^f)}$, $\beta_{r_{wood}}^{mC(N, A^f)}$ – функції розподілу вуглеводів, азоту і радіонуклідів у функціонуючі, опробковані і задеревілі корені.

Маса кореневої системи визначається за рівнянням (38).

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r_{mor}} = \beta_{r_{mor}} m_{r_{func}}, \quad (41)$$

де $\beta_{r_{mor}}$ – функція відмирання функціонуючих коренів рослини.

Висновки. Цільовим призначенням запропонованої моделі є багатобічна оцінка і прогноз наслідків функціонування штучної лісової екосистеми на забруднених землях чорнобильської зони ЧАЕС. На її основі виконана оцінка процесу росту біомаси посадок верби корзинової в залежності від їх фізіологічного віку (дати посадки), розглянуті особливості формування елементів водного балансу цих посадок, поглинання радіонуклідів кореневою системою, їхнього виносу на денну поверхню, накопичення радіонуклідів у деревині пагонів рослин [11]. Рішення цієї задачі реалізовано на основі поєднання польових експериментів і теоретичних досліджень, пов'язаних з побудовою математичної моделі функціонування штучно створюваної лісової екосистеми в умовах радіоактивного забруднення.

Список літератури

1. Avila R., Moberg L. and Hubbard L. Modelling of radionuclide migration in forest ecosystems. A literature review. – SSI-report 98:07. Swedisch Radiation Protection Institute, ISSN 0282-4434, 1998. – 230 p.
2. PHYTOR. Evaluation of Willow Plantations for the Phytorehabilitation of Contaminated Arable Land and Flood Plane Areas. – Intermediary Report, #1 (edited by H. Vandenhove). December. 1999, INCO-COPERNICUS Project ERB IC15-CT98 0213. Cofunded by the Nuclear Fission Safety Programme of the European Commission. 1999. – 76 p.
3. Eckersten H. Modelling daily growth and nitrogen turnover for a short-rotation forest over several years. – Forest Ecology and Management, 1994. – Vol. 69. – P. 57-72.
4. Cienciala E., Lindroth A. Gas-exchange and sap flow measurements of *Salix viminalis*

- trees in short-rotation forest. – I. Transpiration and sap flow. – *Trees*, 1995, 9, p. 289–294.
5. Iritz Z. Energy balance and evaporation of short-rotation willow forest. //Dissertation. – Department for production ecology faculty of forestry, SLU, report 1996. – No.1. – 210 p.
6. Polevoy A.N. Model to assess willow growth and evapotranspiration potential. //In PHYTOR. Evaluation of Willow Plantations for the Phytorehabilitation of Contaminated Arable Land and Flood Plane Areas – Intermediary Report, #1 (edited by H. Vandenhove). Desember. INCO-COPERNICUS Project ERB IC15-CT98 0213. Cofunded by the Nuclear Fission Safety Programme of the European Commision, 1999. P. 61–70.
7. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектоника растительного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 342 с.
8. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.
- 9 Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока. – М.: Наука, 1983. – 216 с.
10. Полевой А.Н. Моделирование процесса формирования продуктивности зерновых культур в условиях радиоактивного загрязнения агроэкосистем. //Метеорология и гидрология, 1993. – № 3. – С. 97–105.
11. PHYTOR. Evaluation of Willow Plantations for the Phytorehabilitation of Contaminated Arable Land and Flood Plane Areas. //Final Report, (edited by H. Vandenhove). January. INCO-COPERNICUS Project ERB IC15-CT98 0213. Cofunded by the Nuclear Fission Safety Programme of the European Commision, 2002. – 76 p.

**Моделирование роста лесной экосистемы в условиях радиоактивного загрязнения.
Полевой А.Н.**

*Рассматривается моделирование влияния факторов внешней среды на рост посадок ивы корзиночной (*Salix Viminalis L.*) в условиях радиоактивного загрязнения, поглощение радионуклидов корневой системой и накопление их в корневой системе, листьях и древесине побегов.*

Ключевые слова: ива корзиночная, биомасса, корни, листья, побеги, древесина, транспирация, суммарное испарение, радионуклиды, поглощение.

**Modeling of growth forest ecosystem in conditions of radioactive pollution.
Polevoy A.**

*Is considered the modeling of the impact of environmental factors on basket willow growth (*Salix Viminalis L.*) in conditions of radioactive pollution, absorption radionuclides in root system and their accumulation in root system, leaves and wood.*

Keywords: basket willow, biomass, roots, leaves, wood, stems, transpiration, evapotranspiration, radionuclides, absorption.