

ДИНАМІКА РОСТУ ОДНОРІЧНИХ ПАГОНІВ ВЕРБИ ШЕРСТИСТОПАГІНЦЕВОЇ (*SALIX DASYCLADOS WIMM.*) ЗА ВИСОТОЮ

АФОНІН О.О. – доктор сільськогосподарських наук, професор Брянського державного університету, РФ;
ФУЧИЛО Я.Д. – доктор сільськогосподарських наук, професор (ІБКіЦБ НААН України)

Актуальність. Верби широко використовуються при створенні протиерозійних, водорегулюючих, біоремедіаційних, медоносних, кормових, рекреаційно-декоративних насаджень і плантаційних культур [1, 10, 12, 14, 15]. У останні десятиліття вони розглядаються як енергетична культура другого покоління – джерело біомаси для потреб біоенергетики [13, 18, 19, 20, 30]. До найбільш продуктивних верб Європи належить верба шерстистопагінцева [6, 9, 20]. Це великий кущ, рідше дерево з сіруватими або бурими сильно опушеними річними пагонами. Багаторічні гілки (стовбури) темно-буро-сірі. Листкові пластинки великі, широко ланцетоподібні, опушені з великими прилистками. Росте швидко, використовується для закріплення берегів. Прут використовують на виробництво обручів і на грубе плетіння. Листя поїдається дикими та свійськими тваринами. Деякі форми декоративні й рекомендуються для озеленення [2, 3, 4, 5, 6, 11, 12]. За кордоном верба шерстистопагінцева використовується для отримання біомаси на плантаціях [17, 18, 20, 21, 23]. У останні 10 років інтерес до верб як джерела біоенергетичної сировини помітно знизився [4, 17]. Однією з головних причин цього є нестабільність врожайності плантацій. В той же час, відомо [19], що стабільний урожай біомаси може бути забезпечений шляхом створення поліклональних насаджень із використанням клонів із різними ритмами розвитку.

Метою досліджень було вивчення типів динаміки наростання лідерних пагонів верби шерстистопагінцевої на відносно вирівняному однорічному матеріалі, в однорідних едафо-фітоценоотичних умовах.

Матеріал і методи досліджень. Матеріал збирався шляхом спостережень за лінійним наростанням однорічних пагонів двох високопродуктивних сіянців верби шерстистопагінцевої – da 2 і da 5 – упродовж вегетаційного періоду 2012 р.; початок – 11.05 (початок інтенсивного росту пагонів), закінчення – 22.08 (до цього часу наростання пагонів у довжину практично завершується). Кожні 4–7 діб на кожному сіянці заміряли довжину (h, см) двох лідируючих пагонів. Фактичний середньодобовий лінійний приріст кожного пагона ($\Delta h(t)$, см/добу) для кожного розрахункового порядкового дня спостережень t розр (починаючи з 11.05.2012 р.) розраховувався за формулою:

$$\Delta h \text{ факт } (t \text{ розр}) = (hk+1 - hk-1) / (tk+1 - tk-1),$$

де h – поточна довжина пагона (см) для k – порядкового номера спосте-

реження; t – порядковий день спостережень. Цей підхід до розрахунку середньодобового приросту забезпечує згладжування емпіричних рядів. Детальніше методика отримання матеріалу й архівації початкових даних описана раніше [15]. Кожен емпіричний ряд динаміки Δh факт (t) розглядався як реалізація випадкової функції [8]:

$$\Delta H(t) = \varphi(t) + \varepsilon,$$

де $\Delta H(t)$ – випадкова функція, що описує динаміку середньодобового лінійного приросту, $\varphi(t)$ – математичні очікування Δh при заданих значеннях розрахункового дня спостережень (t розр), ε – випадкове відхилення Δh факт від математичного очікування. Математичні очікування $\varphi(t)$ випадкових функцій розглядалися як суми:

$$\varphi(t) = \Delta h_{\text{ср}} + \omega_1(t) + \dots + \omega_n(t),$$

де $\Delta h_{\text{ср}}$ – середній середньодобовий приріст упродовж вегетаційного

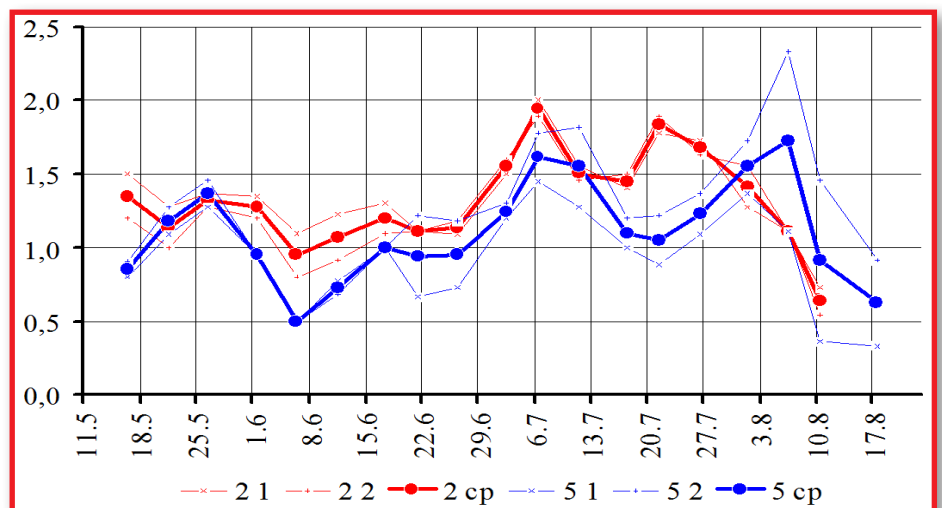


Рис. 1. Фактична динаміка середньодобового приросту пагонів верби шерстистопагінцевої

По осі абсцис – розрахункова дата спостережень, по осі ординат – середньодобовий лінійний приріст, см/добу.

В легенді – номери особин (перша цифра) і номери пагонів (друга цифра).

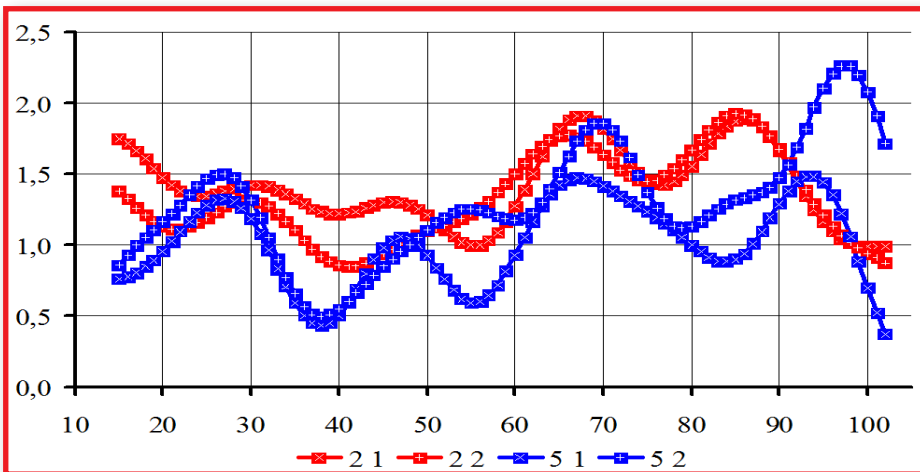


Рис. 2. Розрахункова динаміка середньодобового приросту пагонів верби шерстистопагінцевої

По осі абсцис – розрахунковий день періоду вегетації, по осі ординат – середньодобовий лінійний приріст, см/доба. В легенді – номери особин (перша цифра) і номери пагонів (друга цифра).

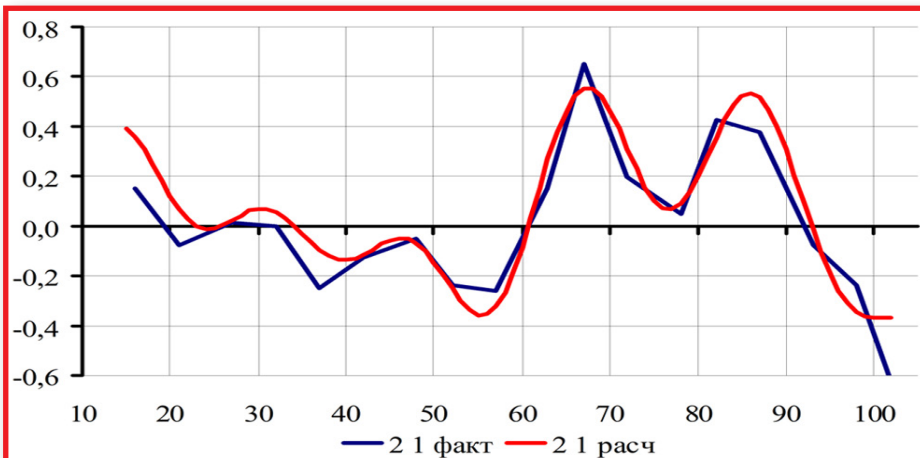


Рис. 3. Фактична й розрахункова динаміка середньодобового приросту 1-го пагона особини da 2.

По осі абсцис – розрахунковий день періоду вегетації, по осі ординат – відхилення середньодобового лінійного приросту від середнього значення, см/добу.

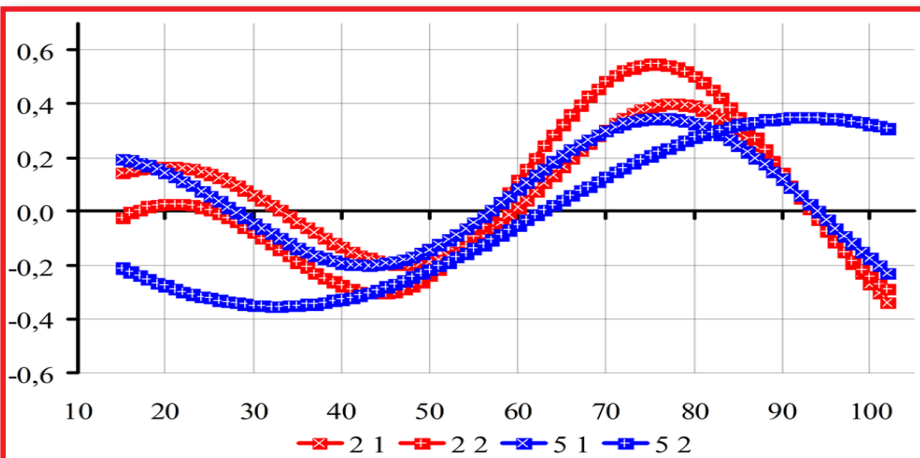


Рис. 4. Довгоперіодичні компоненти динаміки середньодобового приросту пагонів верби шерстистопагінцевої.

По осі абсцис – розрахунковий день періоду вегетації, по осі ординат – відхилення середньодобового лінійного приросту від середнього значення, см/добу. В легенді – номери особин (перша цифра) і номери пагонів (друга цифра).

періоду, $\omega_1(t) + \dots + \omega_n(t)$ – гармонійні функції, що описують відхилення Δh факт від розрахункових Δh .

Гармонійні функції розраховувалися як синусоїди: $\omega_n(t) = A \cdot \sin(n \cdot \pi \cdot (t \div t_{max}) + \tau)$,

де A – амплітуда коливання, n – порядковий номер гармоніки, π – число «пі», t – розрахунковий день спостережень, t_{max} – розрахована тривалість періоду вегетації для цього пагона, τ – зміщення фази.

Порядковий номер гармоніки задавався в інтервалі $n = 2-4$. Емпіричні параметри рівнянь – A , t_{max} і τ – обчислювалися ітераційним методом з використанням пакета Excel. Достовірність апроксимації емпіричних рядів визначалася з використанням F-критерію Фішера:

$$F = (SS_{заг.} \div v_1) \div (SS_{зал.} \div v_2),$$

де SS – сума квадратів відхилень; v_1 і v_2 – число ступенів свободи для K числа спостережень ($v_1 = K - 1$, $v_2 = K - 2$).

Період коливань (T , дів) для кожної синусоїди обчислювався за формулою:

$$T = (n \cdot t_{max}) \div n.$$

На підставі знайдених значень A , при заданих значеннях n , були побудовані амплітудні спектри коливань для кожного пагона. Шляхом візуальної кластеризації гармонік у координатах $A - n$ виділялися цикли різної періодичності.

Усі розраховані ряди динаміки $\Delta h(t)$ візуалізувалися у вигляді діаграм Excel.

Результати досліджень. Фактична динаміка середньодобового приросту пагонів ($\Delta h(t)$, см) показана на рис. 1.

Динаміка росту всіх чотирьох пагонів характеризується наявністю трьох чітко виражених максимумів. Перший максимум $\Delta h(t)$ в усіх пагонів припадає на кінець травня, а потім упродовж червня середньодобовий приріст виявляється мінімальним (із незначним збільшенням у середині місяця). В першій декаді липня з'являється другий максимум, який особливо яскраво виражений у особини da 5. У другій половині літа проявляються індивідуальні особливості в динаміці наростання пагонів: у особини da 2 третій максимум Δh припадає на кінець липня, а в особини da 5 – на першу декаду серпня. Індивідуальні особливості динаміки $\Delta h(t)$ проявляються й у тому, що відмінності між пагонами в особини da 2 найбільш помітні до середини червня, а в особини da 5, навпаки, – з другої половини червня. До середини серпня приріст усіх чотирьох пагонів стає мінімальним. Таким чином, динаміка

середньодобового приросту пагонів визначається як індивідуальними особливостями рослин, так і відмінностями між пагонами в межах особин. Розрахункова динаміка середньодобового приросту в усіх чотирьох пагонів (Δh (t), см) наведена на рис. 2, фактична й розрахункова динаміка Δh (t) для першого пагона особини da 2 – на рис. 3.

Візуальне порівняння фактичних і розрахункових рядів показало, що в усіх чотирьох випадках запропонований алгоритм добре описує динаміку лінійного приросту пагонів, зберігаючи усі мінімуми й максимуми Δh (t).

Довгоперіодичні компоненти динаміки середньодобового приросту, отримані шляхом підсумовування гармонік $n = 2-4$ кожного пагона, наведені на рис. 4.

Три з них (2-1, 2-2, 5-1) практично співпадають. В результаті фактичні максимуми Δh (t) в другій половині травня й у середині липня визначаються довгоперіодичними компонентами. Проте довгоперіодична компонента 2-ого пагона особини da 5 характеризується слабо вираженим весняним максимумом, а влітку – слабо вираженим максимумом на початку серпня. Таким чином, довгоперіодичними компонентами динаміки середньодобового приросту характеризуються не різні особини, а різні пагони. Короткоперіодичні компоненти динаміки середньодобового приросту, отримані шляхом підсумовування гармонік $n = 6-12$ кожного пагону, наведені на рис. 5.

Усі короткоперіодичні компоненти характеризуються наявністю чотирьох максимумів, які в цілому співпадають із фактичними максимумами Δh (t). Короткоперіодичні компоненти обох пагонів особини da 2 практично співпадають майже протягом усього терміну, тобто міжпагонові відмінності в динаміці середньодобового приросту, обумовлені короткоперіодичними циклами, в цієї особини незначні. Короткоперіодичні компоненти обох пагонів особини da 2 також схожі за конфігурацією й лише для другого (слабо вираженого) максимуму спостерігається зміщення по фазі. Розмах коливань короткоперіодичних компонентів пагонів особини da 2 помітно менші відповідного розмаху для пагонів особини da 5. Таким чином, саме короткоперіодичні цикли визначають індивідуальні відмінності в динаміці наростання пагонів.

Спільний вплив довгоперіодичних і короткоперіодичних циклів на динаміку середньодобового приросту пагонів показаний на рис. 6.

В усіх випадках довгоперіодич-

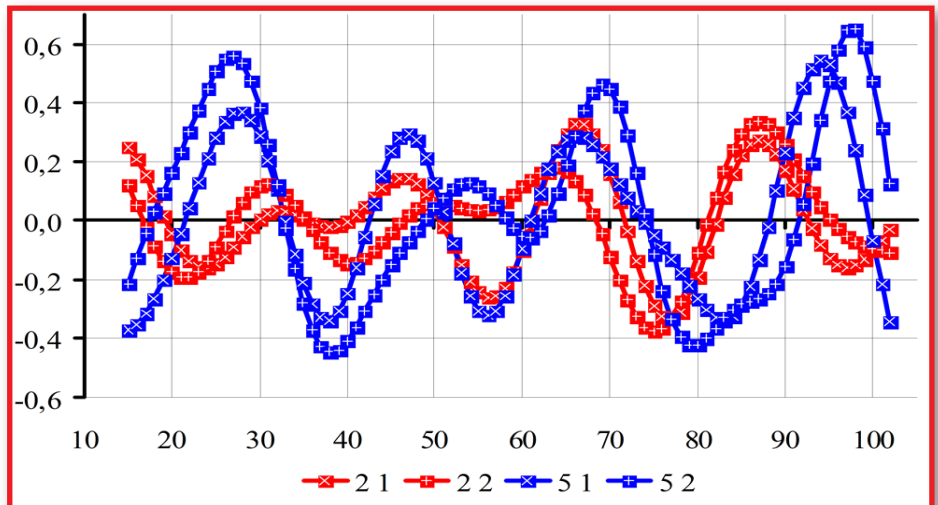


Рис. 5. Короткоперіодичні компоненти динаміки середньодобового приросту пагонів верби шерстистопагінцевої.

По осі абсцис – розрахунковий день періоду вегетації, по осі ординат – відхилення середньодобового лінійного приросту від середнього значення, см/добу.

В легенді – номери особин (перша цифра) і номери пагонів (друга цифра).

ні компоненти визначають загальний тренд розвитку пагонів: наявність слабо вираженого весняно-літнього піку й яскраво вираженого пізньолітнього піку середньодобового приросту, причому ці піки розділені періодом відносного спокою в червні. Для цієї закономірності індивідуальні відмінності не виявлені. Короткоперіодичні компоненти роблять модулюючий вплив на динаміку наростання пагонів. Перші та четверті максимуми припадають на початок і на закінчення періоду вегетації. Вони певною мірою співпадають із максимумами довгоперіодичних компонентів і посилюють їх. Другий і третій максимуми обумовлюють існування додаткових пі-

ків середньодобового приросту. Саме короткоперіодичні компоненти визначають індивідуальні відмінності в динаміці наростання пагонів.

Висновки:

Динаміка росту пагонів верби шерстистопагінцевої характеризується наявністю трьох чітко виражених максимумів. Перший максимум в усіх пагонів припадає на кінець травня, у першій декаді липня спостерігається другий максимум, а у другій половині літа проявляються індивідуальні особливості в динаміці наростання пагонів: у особини da 2 третій максимум припадає на кінець липня, а у da 5 – на першу декаду серпня.

Довгоперіодичними компонентами

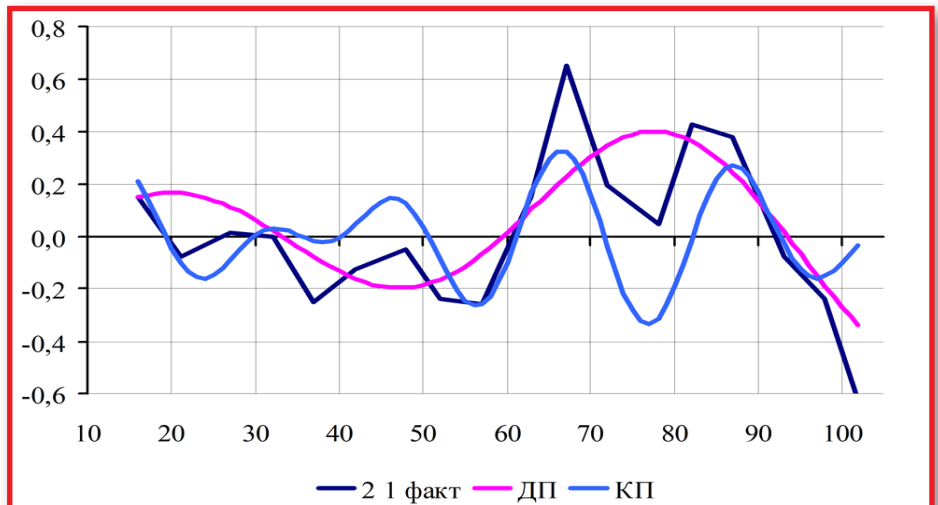


Рис. 6. Довгоперіодична та короткоперіодична компоненти динаміки середньодобового приросту 1-го пагона особини da 2.

По осі абсцис – розрахунковий день періоду вегетації, по осі ординат – відхилення середньодобового лінійного приросту від середнього значення, см/добу.

динаміки середньодобового приросту характеризуються не різні особини, а різні пагони. Усі короткоперіодичні компоненти характеризуються наявністю чотирьох максимумів, які, в цілому, співпадають із фактичними максимумами.

Довгоперіодичні компоненти визначають загальний тренд розвитку пагонів, а короткоперіодичні – роблять модулюючий вплив на динаміку наростання пагонів. Перші та четверті максимуми припадають на початок і на закінчення

періоду вегетації. Вони певною мірою співпадають із максимумами довгоперіодичних компонентів і посилюють їх. Саме короткоперіодичні компоненти визначають індивідуальні відмінності в динаміці наростання пагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Анциферов, Г.И. Ива. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 101 с.
2. Афонин, А.А. Ивы Брянского лесного массива. – Брянск: Изд-во БГУ, 2003. – 237 с.
3. Афонин, А.А. Изменчивость массовых видов ив Юго-Запада России: Теоретическая и прикладная саликология. – Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 182 с.
4. Афонин, А.А. Эколого-генетические проблемы «зеленой» энергетики / А.А. Афонин, Л.И. Булавинцева // Биология в школе. – 2011. – №6. – С. 16–24.
5. Афонин, А.А. Эколого-генетический потенциал природных популяций ивы шерстистопагобеговой / А.А. Афонин, Е.В. Борздыко, Л.Н. Анищенко // Фундаментальные науки и практика: Сб. научн. тр. 3-й Междунар. телеконфер. (Томск, 25 октября – 6 ноября, 2010). – Томск: СибГМУ, 2010. – С. 159–160. – <http://tele-conf.ru/aktualnyie-problemy-fiziologii-morfologii-zhizned/ekologo-geneticheskiy-potentsial-prirodnih-populyatsiy-ivy-sherstistopobegovoy.html>
6. Афонин А.А. Изменчивость морфологии листовых пластинок в онтогенезе различных форм ивы шерстистопагобеговой (*Salix dasyclados* Wimm. = *Salix gmelinii* Pall.) / А.А. Афонин, Я.Д. Фучило, А.А. Романов // Ежегодник НИИ ФПИ. Брянск: БГУ, 2014. – С. 35–40.
7. Валягина-Малютина, Е.Т. Ивы европейской части России. – М.: КМК, 2004. – 217 с.
8. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1999. – 479 с.
9. Логинова, Л.А. Продуктивность и энергетический потенциал ивовых ценозов на примере Воронежской области. – Автореф. дис... канд. биол. наук. – Воронеж, 2010. – 19 с. – <http://www.aspirant.vsu.ru/ref.php?cand=1672>
10. Правдин, Л.Ф. Ива, её культура и использование. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 168 с.
11. Скворцов, А.К. Ивы СССР. – М.: Наука, 1968. – 262 с.
12. Старова, Н.В. Селекция ивовых. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 206 с.
13. Фучило, Я.Д. Створення та вирощування енергетичних плантацій верб і тополь: Науково-методичні рекомендації / Я.Д. Фучило, М.В. Сбитна, О.Я. Фучило, В.М. Літвін. – К.: Логос, 2009. – 80 с.
14. Фучило, Я.Д. Ивы естественной дендрофлоры Украины / Я.Д. Фучило, М.В. Сбитная // Рациональное использование ресурсного потенциала регионов России и сопредельных государств. – Брянск: Изд-во «Курсив», 2011. – С. 175–180. – http://afonin-59-bio.narod.ru/mvl/25_Fuchylo.pdf
15. Фучило Я.Д. Селекційні основи виведення нових сортів родини Вербові (*Salicaceae* Mirb.) для створення енергетичних плантацій / Я.Д. Фучило, О.О. Афонін, М.В. Сбитна // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2016. – № 4. – С. 18–25.
16. Шилина Е.А. Динамика нарастания однолетних побегов ивы шерстистопагобеговой (*Salix dasyclados* Wimm.) в условиях Брянского лесного массива / Е.А. Шилина, А.А. Афонин // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки. Новосибирск: СибАК, 2014. – №10 (23). – С. 6–12. / [Электрон. ресурс] – URL: [http://www.sibac.info/archive/nature/10\(23\).pdf](http://www.sibac.info/archive/nature/10(23).pdf)
17. Fredga, K. Bioenergy: Opportunities and constraints / K. Fredga, K. Danell, K.H Frank, D. Hedberg, S. Kullander // Energy Committee Report. – 2008. – June. – 30 p.
18. Heinsoo, K. Fine root biomass and production in a *Salix viminalis* and *Salix dasyclados* plantation / K. Heinsoo, E. Merilo, M. Petrovits, A. Koppel // Estonian Journal of Ecology. – 2009. – 58 (1). – P. 27–37.
19. McCracken, A.R. Interaction of willow (*Salix*) clones growing in mixtures // Ann. Appl. Biol. – 1998. – 132, Suppl. – P. 54–55.
20. Möller, R. Crop platforms for cell wall biorefining: lignocellulose feedstocks / R. Möller, M. Toonen, J. van Beilen, E. Salentijn, D. Clayton. – CNAP, University of York, 2007. – 162 p.
21. Pohjonen, V. *Salix* «*Aquatica Gigantea*» and *Salix* × *dasyclados* Wimm. in biomass willow research. – *Seloste: Vesipaju* (*Salix* «*Aquatica Gigantea*») ja vannepaju (*Salix* × *dasyclados*) energiapajututkimuksissa. – *Silva Fennica* – 1987. – 21(2) – S. 109–122.

22. Szczukowski, S. Productivity of willow coppice plants grown in short rotations / S. Szczukowski, M. Stolarski, J. Tworkowski, J. Przyborowski, A. Klasa // Plant Soil Environ. – 2005. – 51 (9). – P. 423–430.
23. Weih, M. Genetic basis of phenotypic correlations among growth traits in hybrid willow (*Salix dasyclados* × *S. viminalis*) grown under two water regimes / M. Weih, A.C. Rönning-Wästjüng, C. Glynn // New Phytol. – 2006. – 170. – P. 467–477.

АНОТАЦІЯ

УДК 581.143.28 + 581.15 + 582.623 + 630*561.1 + 631.524.82

Динаміка росту однорічних пагонів верби шерстистопагінцевої (*Salix dasyclados* Wimm.) за висотою.

Афонін О.О. – доктор сільськогосподарських наук, професор (Брянський державний університет: 241036, вул. Бежицька, 20, корп. 4, кв. 904, м. Брянськ, Росія. E-mail: afonin.salix@gmail.com).

Фучило Я.Д. – доктор сільськогосподарських наук, професор (Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України; 03141, м. Київ, вул. Клінічна, 25. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net).

Мета. Вивчити типи динаміки наростання лідерних пагонів верби шерстистопагінцевої на відносно вирівняному одновіковому матеріалі, в однорічних едафо-фітоценотичних умовах. **Методи:** польовий, аналітичний, математичний. **Результати.** Встановлено, що динаміка росту пагонів верби шерстистопагінцевої характеризується наявністю трьох чітко виражених максимумів. Перший максимум в усіх пагонів припадає на кінець травня, у першій декаді липня спостерігається другий максимум, а в другій половині літа проявляються індивідуальні особливості в динаміці наростання пагонів: у особини да 2 третій максимум припадає на кінець липня, а у да 5 – на першу декаду серпня. **Висновки.** Довгоперіодичними компонентами динаміки середньодобового приросту характеризуються не різні особини, а різні пагони. Всі короткоперіодичні компоненти характеризуються наявністю чотирьох максимумів, які, в цілому, співпадають із фактичними максимумами. Довгоперіодичні компоненти визначають загальний тренд розвитку пагонів, а короткоперіодичні – роблять модулюючий вплив на динаміку наростання пагонів. Саме короткоперіодичні компоненти визначають індивідуальні відмінності в динаміці наростання пагонів.

Ключові слова: верба шерстистопагінцева (*Salix dasyclados* Wimm.), лідируючі пагони, середньодобовий приріст за висотою, максимумами приросту.

ABSTRACT

Growth dynamics in one-year-old wollytwig willow (*Salix dasyclados* Wimm.) in terms of height

Afonin O.O., Doctor of Agricultural Sciences, Professor Bryansk State University, 20/4 Bezhitskaya Str., ap.904, Bryansk 241036, Russia. E-mail: afonin.salix@gmail.com

Fuchylo Ya.D., Doctor of Agricultural Sciences, Professor Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine 25 Klinichna Str., Kyiv 03110. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Purpose. To study the types of growth dynamics of main sprouts in wollytwig willow using a relatively uniform one-year-old material under stable edaphofytocenotic conditions. **Methods.** Field, analytical, mathematical. **Results.** It was established that the growth dynamics of main sprouts in wollytwig willow had three clearly expressed maxima. The first maximum falls at the end of May, the second on early July, and in the second half of the summer individual peculiarities in the growth dynamics appear. Individuals da 2 have their third maximum in late July, while da 5 in early August. **Conclusions.** It is not a whole plant but individual sprouts that have their long-period components of average daily growth dynamics varied. All short-period components have four maxima, which in general coincide with the actual maxima. Long-period components determine the general trend of the sprouts development, whereas short-period make a modulating effect on the dynamics of sprouts growth. It is the short-period components that determine the individual differences in the dynamics of the growth of shoots.

Keywords: *Salix dasyclados* Wimm., main sprout, average daily height increment, maximum increment