

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ВОДЯНОГО РЕЖИМУ ШАВЛІЇ ЛІКАРСЬКОЇ

М.І.ФЕДОРЧУК – к.с.-г.н., Херсонський ДАУ

Як культурну рослину, шавлію лікарську вирощують у багатьох країнах Європи, Америки й Азії. Всі органи цієї рослини містять ефірну олію (більше за все в листках – 0.5-2.5%), що має широке застосування в медицині як протизапальний і дезінфікуючий засіб.

Дані про врожаї і вміст ефірної олії в шавлії лікарській наведені в [1,3,4,5,9,13] і показують, що врожайність свіжих листків досягає 150 ц/га, з них одержують приблизно 50 кг ефірної олії на гектар.

Ботанічна характеристика шавлії лікарської наведена в [3,4]. Шавлія лікарська засухостійка рослина і добре зимує навіть у районах, де температура повітря узимку досягає -30°C . Цвіте шавлія в травні, а насіння дозріває у липні. Шавлія не особливо вимоглива до ґрунту. Як багаторічну культуру шавлію вирощують протягом 6-8 років, а розмножують насіннями. Після того як рослини утворять 4-5 листів, вони проріджуються й одночасно з цим вноситься азотне добриво. Під час вегетаційного періоду проводиться 2-3 культивації, а восени, після останнього збору листя, рослини підготовують фосфорними добривами. Збір листів проводять у період бутонізації, стебла зрізують на висоту приблизно 10-15 см від землі. Після цього листи відокремлюють від стебел і сушать при температурі $50-60^{\circ}\text{C}$. Після жнив рослини знову розвиваються і до осені проводять друге збирання.

В останні роки вивченню цієї культури приділяється велика увага, у науковій літературі є багато інформації про різні процеси її життєдіяльності, однак майже немає інформації про її водяний режим.

Метою наших досліджень було вивчення особливостей динаміки водяного режиму шавлії лікарської протягом вегетаційного періоду і його взаємозв'язок з факторами зовнішнього середовища для створення динамічної моделі цього процесу, що має прогностичне значення.

Методика. Рослини шавлії лікарської вирощувалися у вегетаційних посудинах ємністю 10 літрів. Рослини 1-2-го року посадки. Досліди проводилися у 3-кратній повторності (1997-2002).

Експерименти проводилися у факторостатних умовах і в умовах вегетаційного дослідження.

У кліматичній камері один з параметрів являвся незалежною змінною, а інші – стабілізувалися.

Для проведення експериментів використовувалася фітотрична система «Екоплант» [2,6,7,11,12], що дозволяла реєструвати параметри зовнішнього середовища і рослини. Одержувана інформація надходила в базу даних ЕОМ, потім оброблялася різними пакетами прикладних математичних програм (наприклад, у «Windows-97», «Ex-

cel» та ін.). При цьому інформація є неперервною або одержуваною із заданою дискретністю, рослини не ушкоджуються, а застосовані методи вимірів не роблять впливу на навколишнє середовище.

Система дозволяє вимірювати температуру листків рослини, різницю температур лист-повітря, відносну швидкість [2,6,7,11,12] кислемного і флоемного потоків у пагонах (стеблах) рослин і зміну їх тургесцентності (діаметра), дифузійний опір листка, біоелектричну різницю потенціалів, водяний потенціал листків, ріст різних органів рослини в довжину, інтенсивність CO₂-газообміну й інші параметри.

Крім фітометричних перетворювачів у систему входять кілька алгоритмічних датчиків (вимір сумарної сонячної радіації, дифузійного опору листка, водяного потенціалу листків і ґрунту), розрахунок показань яких проводиться по спеціальних програмах, містить у собі кілька вимірів і вимагає часу не менше 600 сек. Для виміру устячного опору листа використовували методи, описані в [11].

Транспірацію вимірювали ваговим методом.

З параметрів зовнішнього середовища система дозволяє вимірювати температуру і вологість повітря, температуру крапки роси, сумарну сонячну радіацію, температуру ґрунту на глибині 3 і 11 см, водяний потенціал ґрунту.

При проведенні експериментів в умовах вегетаційного дослідження протягом усього періоду вегетації ми використовували дані метеостанції Никитського ботанічного саду (див. нижче):

- температура повітря, град.;
- сумарні опади, мм;
- тривалість сонячного сяйва, година;
- температура ґрунту, град.;
- відносна вологість повітря, %.

Результати й обговорення. Дослідження проводили протягом усього періоду вегетації шавлії лікарської, що має наступні фенофази розвитку (див. табл.).

Таблиця 1 – Фенофази розвитку шавлії лікарської

Фенофази	Середня дата	Відхилення
1. Початок відростання	10/4	± 6,0
2. Бутонізація	6/5	± 4,0
3. Початок цвітіння	21/5	± 4,0
4. Кінець цвітіння	5/8	± 6,3
5. Дозрівання плодів	10/8	± 12,3
6. Кінець вегетації	8/11	± 20,0

Раніше [6] нами була розроблена мультиплікативна динамічна модель транспірації саджанців плодових культур, яку можна представити в наступному виді:

$$I(t) = I_{\max} * f_1(Q) * f_2(\text{пов.}) * f_3(W_{\text{ґрун.}}) * f_4(d \text{ кс.})$$

де :

$I(t)$ – поточне значення інтенсивності транспірації за досліджуваний період часу;

I_{\max} – максимальне значення інтенсивності транспірації за досліджуваний період часу;

$f_1(Q)$ – залежність приведеної інтенсивності транспірації (нормованої до одиниці) від сумарної сонячної радіації;

$f_2(d_{\text{пов}})$ – залежність приведеної інтенсивності транспірації від дефіциту вологості повітря;

$f_3(W_{\text{грун.}})$ – залежність приведеної інтенсивності транспірації від вологості ґрунту;

$f_4(d_{\text{кс.}})$ – залежність приведеної інтенсивності транспірації від дефіциту вологості ксилеми.

Розроблена модель має досить високу точність (10-15%) і має прогностичне значення. Однак цілком застосувати модель у наших дослідженнях ми не змогли через відсутність конструкції датчиків, що дозволяють робити виміри $d_{\text{кс.}}$ на трав'янистих рослинах. Замість цієї залежності ми спробували використовувати іншу. Відомо, що різниця температур лист повітря ($T_{\text{л.}} - T_{\text{пов.}}$) є непрямою характеристикою інтенсивності транспірації [6,8] і ми застосували цей параметр у даній моделі (див. вище).

На Рис.1. представлено природний хід цього параметра за світлий час доби.

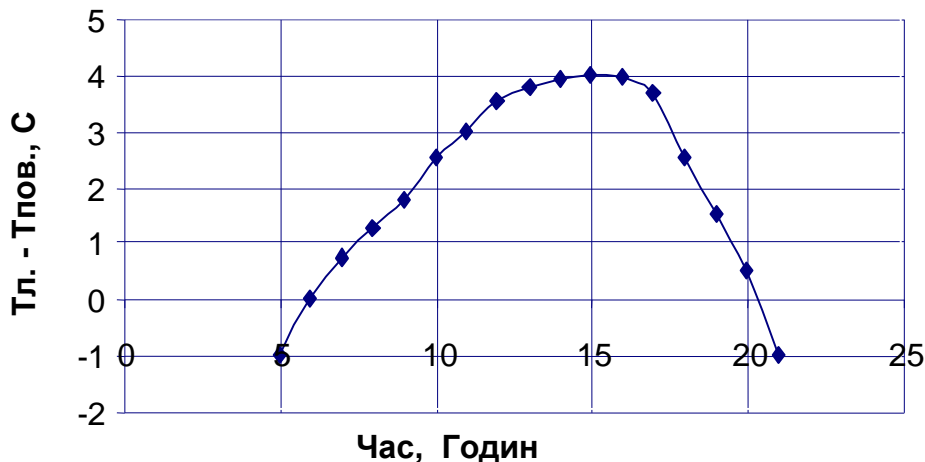


Рис. 1. Зміна різниці температур лист – повітря ($T_{\text{л.}} - T_{\text{пов.}}$) шавлії лікарської за світлий час доби

З цього рисунка видно, що в ранкові години (5-6) різниця температур негативна, тобто лист холодніше повітря, потім при підвищенні сонячної радіації лист поступово нагрівається і його температура стає вище температури повітря навіть не дивлячись на охолоджуючий вплив транспірації. Максимальну температуру лист має приблизно о 15 годині – вона вище температури повітря на 4°C . Величина цієї різниці залежить від особливості будівлі листка і напруженості усіх факторів зовнішнього середовища й у першу чергу від вологості

ґрунту [6].

Для побудови моделі ми провели серію дослідів у кліматичній камері з метою знайдення функцій, що входять в описану вище модель.

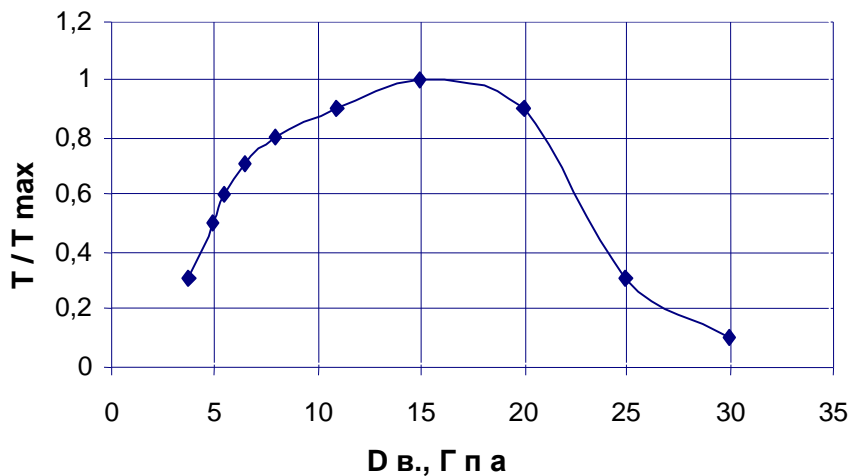


Рис.2. Залежність приведеної інтенсивності транспірації від освітленості

На Рис.2. показано залежність приведеної інтенсивності транспірації від освітленості ($Q = f(T/T_{max})$).

При вивченні цієї залежності для виключення впливу інших факторів зовнішнього середовища вони були стабілізовані і дорівнювали: вологість ґрунту - 90-70% НВ, $T_{пов.} = 22-24^{\circ}C$; $h_a = 0,7 - 0,8$. З цієї залежності видно, що світлова крива наближається до плато насичення при освітленості 0,5-0,6 квт/м², що є важливою характеристикою даної культури при її вирощуванні.

Ця залежність була апроксимована поліномом 5-го ступеня і були отримані наступні коефіцієнти:

$$C_0 = -0,068; C_1 = 7,33; C_2 = -25,07; C_3 = 45,781; C_4 = -41; C_5 = 14,029.$$

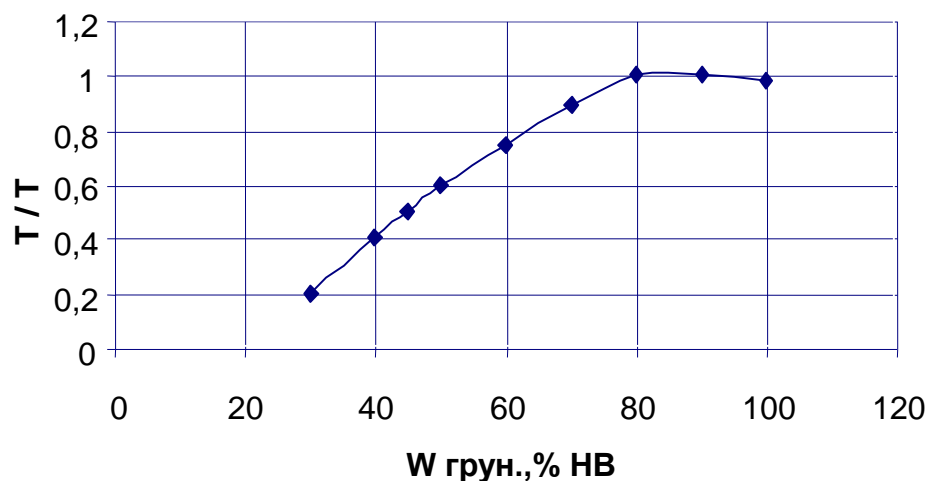


Рис. 3. Залежність приведеної інтенсивності транспірації від дефіциту вологості повітря

При вивченні цієї залежності вологість ґрунту в судинах підтримувалася 70-80% НВ, освітленість 0,5 квт/м².

З отриманої залежності видно, що максимум інтенсивності транспірації на рівні 0,9Т/Т max відповідає 12-18 Гпа. Потім настає спад і при 25 Гпа Т/Т max складає лише 0,3.

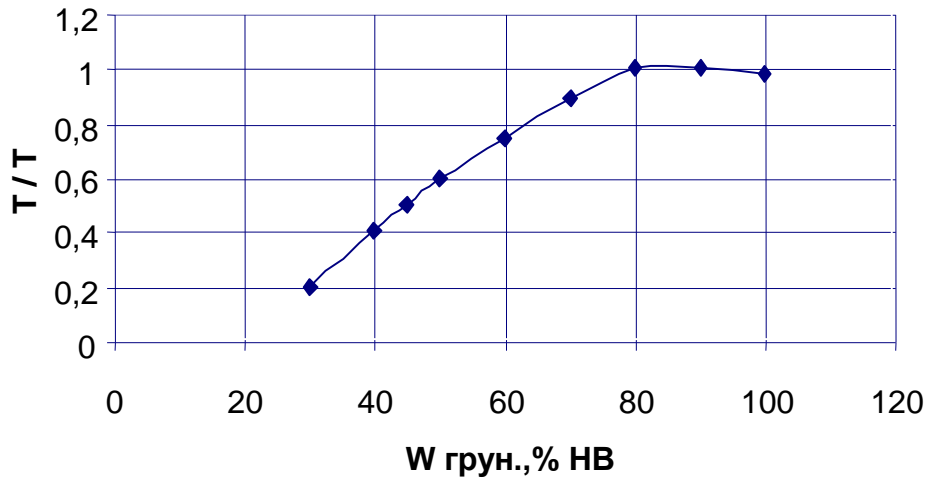


Рис.4. Залежність приведеної інтенсивності транспірації від вологості ґрунту

При вивченні цієї залежності для виключення впливу інших факторів зовнішнього середовища вони були стабілізовані і дорівнювали:

Тпов.=22-24°C; ha = 0,7-0,8, освітленість 0,5квт/ м².

З приведенного графіка видно, що Т/Тmax дорівнює 0,9 при 70% НВ, потім плавно знижується аж до значення 0,2 при 30% НВ.

Для вивчення залежності Тл.– Тпов.=f (Т/Т max), були стабілізовані основні фактори зовнішнього середовища:

Тпов.=22-24°C; ha = 0,7-0,8, освітленість 0,5квт/ м²,

Wґрун.=70-80 % НВ, а для зміни інтенсивності транспірації устячка листів замазувалися вазеліном.

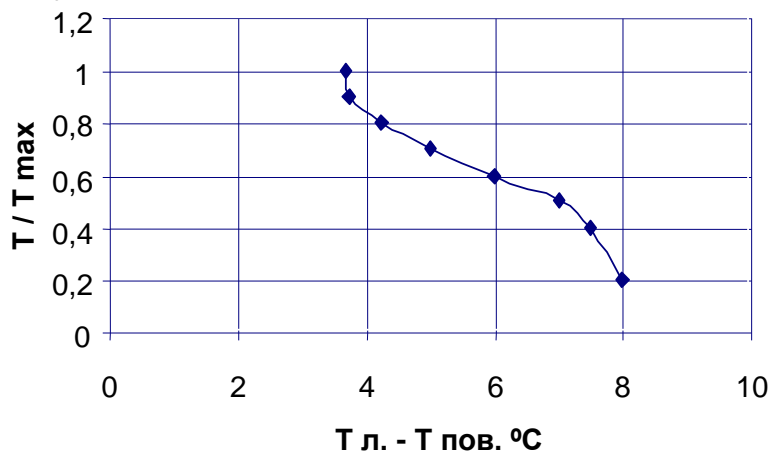


Рис 5. Залежність приведеної інтенсивності транспірації від різниці температур лист – повітря

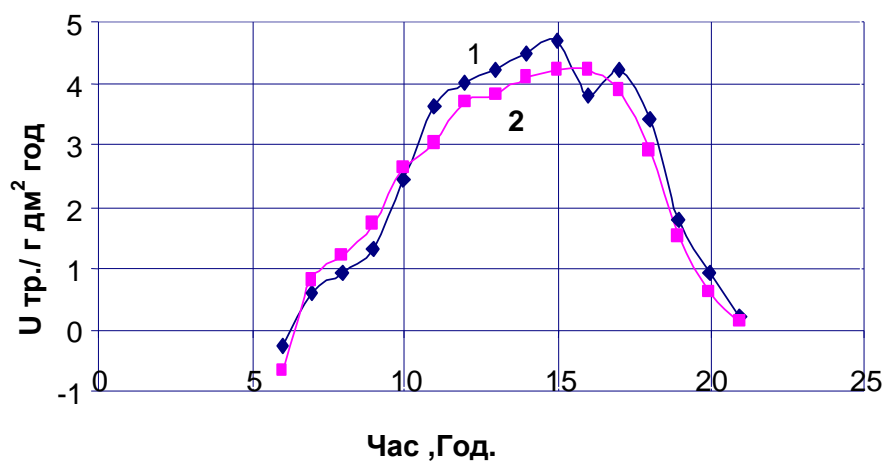
Як видно з приведенного графіка, при максимальній транспірації й освітленості $0,5 \text{ кВт/м}^2$, перегрів листка складав $3,7^\circ\text{C}$, потім у міру зменшення інтенсивності транспірації і, отже, зменшення її охолоджуючого впливу, відбувався перегрів листка і при $T/T_{\text{max}} = 0,2$ він склав 8°C . Інші залежності були також апроксимовані поліномом 5-го ступеня і відповідно дорівнювали:

Дпов. = $f(T/T_{\text{max}})$; $C_0 = -1,474$; $C_1 = 0,789$; $C_2 = -0,111$; $C_3 = 0,008$; $C_4 = 0$; $C_5 = 0$.

Wгрун. = $f(T/t_{\text{max}})$; $C_0 = -1,96$; $C_1 = 0,165$; $C_2 = -0,005$; $C_3 = 0$; $C_4 = -0$; $C_5 = 0$.

Тл. – Тпов. = $f(T/T_{\text{max}})$; $C_0 = 201,998$; $C_1 = -185,958$; $C_2 = 67,659$; $C_3 = -12,105$; $C_4 = 1,064$; $C_5 = -0,037$.

Отримані в такий спосіб залежності дозволяють розрахувати інтенсивність транспірації в будь-який момент часу з інтервалом у 1 годину.



**Рис. 6. Зміна інтенсивності транспірації шавлії лікарської за світлий час доби:
1 – експериментальна крива 2 – теоретична крива**

Як видно з наведеного графіка, експериментальна і теоретична криві близькі за формою, а розрахунок показує, що погрішність моделі не перевищує 15-20%. Така модель уже може мати прогностичне значення [6,7].

При проведенні досліджень в умовах вегетаційного досліді ми також досліджували взаємозв'язок між факторами зовнішнього середовища й інтенсивністю транспірації. У якості незалежних перемінних були взяті:

- Інтенсивність сумарної сонячної радіації, кВт/м^2 - X1
- Вологість повітря, % - X2
- Температура повітря, C - X3
- Температура ґрунту, C - X5
- Дефіцит вологості повітря, Гпа -X4
- Різниця температур лист-повітря, C -X6

У процесі експерименту рослини поливалися до 90-70% НВ.

Рівняння множинної регресії для інтенсивності транспірації – у (залежна перемінна) має вид:

$$y = 4,2473 + 4,2949X_1 - 0,00723X_2 - 0,0873X_3 + 4,731X_4 - 4,893X_5 + 0,286X_6;$$

Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 0,99666;$$

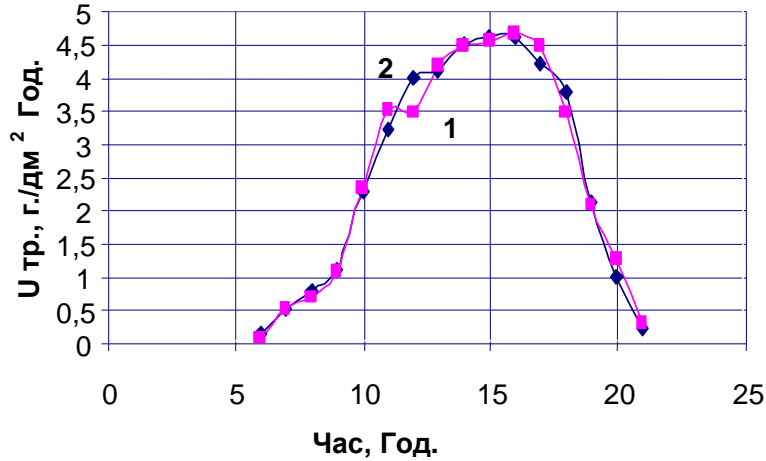


Рис. 7. Зміна інтенсивності транспірації шавлі лікарської за світлий час доби
1. Експериментальна залежність 2. Теоретична залежність

Як видно з Рис. 7, експериментальна і теоретична залежності дуже близькі за формою і ця модель також може мати прогностичне значення.

Весь період розвитку шавлі лікарської (див. таблицю) був розбитий нами на 16 декад. Для них були розраховані середні за декаду значення параметрів зовнішнього середовища (дані метеостанції Никитський сад) і наші виміри.

Ними були:

1. Температура повітря – град.С.
2. Сумарні опади – мм.
3. Тривалість сонячного саява – година.
4. Температура ґрунту – °С.
5. Відносна вологість повітря, %.
6. Різниця температур аркуш-повітря, °С. (наші виміри).

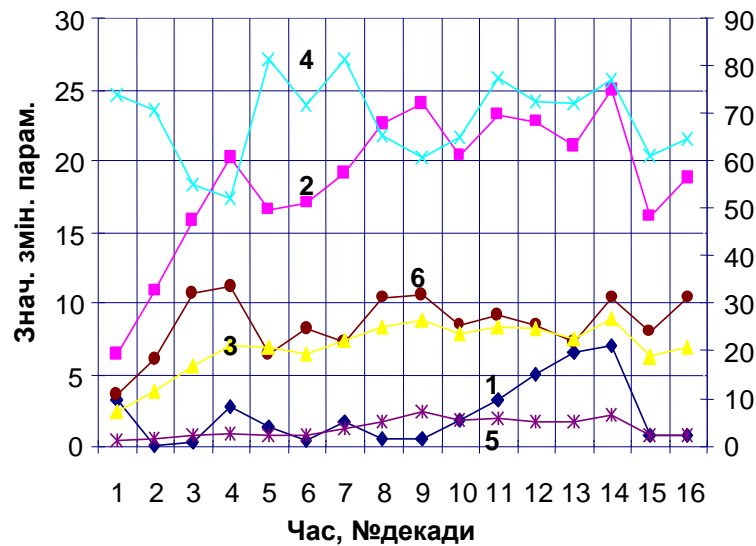


Рис. 8. Природні зміни (середніх за декаду) значень вимірюваних параметрів навколишнього середовища протягом періоду вегетації шавлії лікарської (позначення див. вище 1-6 відповідно)

Виходячи з цих даних, побудували математичну модель (рівняння множинної лінійної регресії) залежності інтенсивності транспірації від факторів зовнішнього середовища.

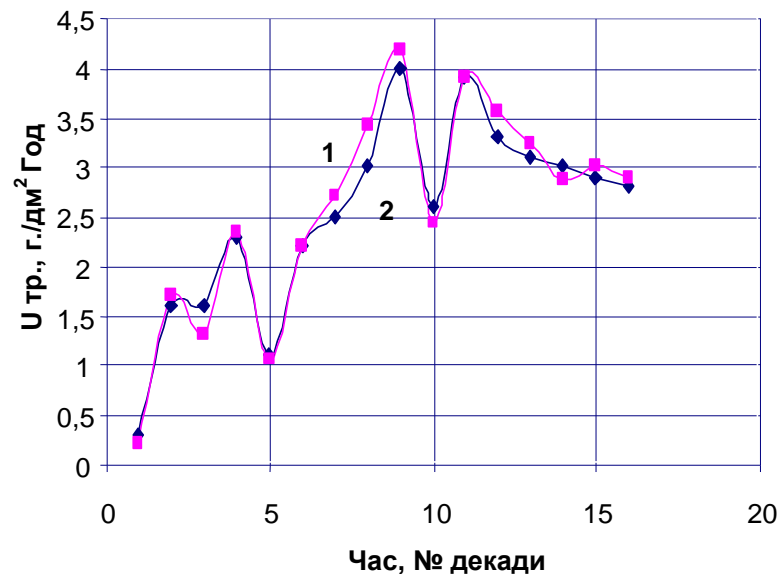
Рівняння має вид:

$$y = 2,548 + 1,208X_1 - 0,2895X_2 - 0,636X_3 - 0,749X_4 - 0,0201X_5 + 0,0241X_6;$$

Позначення незалежних перемінних X_1 - X_6 (див. вище - відповідно).

Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 0,96543$$



**Рис.9. Зміна інтенсивності транспірації протягом періоду вегетації шавлії лікарської:
1. Експериментальна залежність
2. Теоретична залежність**

Як видно з цього малюнка, експериментальна і теоретична залежності не сильно відрізняються.

Розрахунки показали, що максимальна помилка моделі складає 20-25%, що для біологічних об'єктів цілком прийнятно.

Проведені нами дослідження з вивчення особливостей динаміки водяного режиму шавлії лікарського у факторостатних умовах і в умовах вегетаційного досвіду дозволили вивчити залежність інтенсивності транспірації від основних факторів зовнішнього середовища, що дало можливість побудувати динамічну модель цього процесу з інтервалом часу в 1 годину. Помилка моделі склала 15-20%, що має прогностичне значення.

Розбивка всього періоду вегетації шавлії лікарської на 16 декад і перебування залежностей між середніми за декаду значеннями основних факторів зовнішнього середовища й інтенсивністю транспірації дозволило побудувати динамічну модель водяного режиму з вищевказаним кроком. Точність моделі, природно, нижче (20-25%), однак для біологічних об'єктів вона теж може мати прогностичне значення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бондаренко А.К., Чуб В.Г, Бондаренко Б.С., Овдиенко О.А. Лекарственные растения юга Украины.- Киев: Ассоциация украинских экспортеров печатной продукции.-1992.- 262 с.
2. Балыков Н.Г. Методы и устройства автоматической регистрации процессов роста древесных растений // Биофизические методы исследований в экофизиологии древесных растений - Л- Наука -1979- с.18-34.
3. Бекетовский Д.Н. Введение в изучение лекарственных и ароматических растений. - Москва. - Сельхозгиз.- 1937 .- с.121.
4. Гаммерман АФ., Кидаев ГН., Яценко-Хмелевский А.А. Лекарственные растения.- М.: Высшая школа.- 1984.- 400 с.
5. Илиева С. Лекарственные культуры.- София - 1981.-262 с.
6. Ильницкий О.А., Лищук А.И., Ушкаренко В.А. Фитомониторинг в растениеводстве.- Херсон.- 1987.- 235 с
7. Клейман Э.И. Водный режим растений при резких изменениях факторов среды- Автореф. Дис. канд биол наук- Кишинев-1988- 17с.
8. Козловский Т. Водный обмен растений //М- Колос-1969- 247с.
9. Работягов В.Д., Ушкаренко В.А., Федорчук М.И. Эфиромасличные и прянокусовые растения в народной медицине .-Херсон.- Айлант, -1998 .- 78с.
10. Тон Ю.Д., Клейман Э.И. Способ определения устьичного сопротивления листьев .- А. С. №1639497.- 1991.- Б. И. №40.
11. А.С. №1337645 Устройство для контроля относительного изменения тургесцентности - Балашов А.Н., Рубинштейн Д.С., Тон Ю.Д.-1987 - Б.И. №34.
12. Чернавин А.С. Руководство по применению удобрений под лекарственные и эфирноносные растения.- М.- Л.- 1933.- 82с.