

МОДЕЛЮВАННЯ АГРОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИНОГРАДНИКІВ ЗА РІЗНИХ УМОВ ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДЕЛІ AQUACROP

ШТІРБУ А.В. – доктор філософії

orcid.org/0000-0003-4072-5826

ПАЛАРІЄВ В.О. – здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти

(доктор філософії)

orcid.org/0009-0000-7271-0069

ННЦ «Інститут виноградарства і виноробства імені В. Є. Таїрова» НААН

Постановка проблеми. Глобальні кліматичні зміни, що супроводжуються зростанням аридності, підвищенням температурного фону та частішими тривалими посух, становлять серйозну загрозу для сталого функціонування виноградарства в зоні Північного Причорномор'я. В умовах вирощування винограду на богарі (без зрошення) дефіцит вологи є головним лімітуючим чинником, що пригнічує ріст вегетативної маси, обмежує формування асиміляційного апарату та знижує підсумкову продуктивність насаджень.

Для розробки адаптивних елементів агротехніки та збереження продукційного потенціалу виноградників виникає необхідність переходу від емпіричного спостереження до точного розрахунку й прогнозування динаміки вологозабезпечення та фізіологічного стану рослин. Ефективним інструментом для розв'язання цього завдання є застосування математичних моделей, зокрема моделі AquaCrop (FAO), яка базується на моделюванні водного балансу в континуумі «ґрунт–рослина–атмосфера».

Проте застосування AquaCrop у виноградарстві має свою специфіку та невирішені аспекти. Оскільки модель початково створювалася для однорічних польових культур, її використання для багаторічних деревних насаджень вимагає коректного урахування часових меж продуктивного періоду вегетації (від початку росту до господарської стиглості) та специфіки просторової архітектури листового полог. Особливо гостро постає питання параметризації моделі для нових сортів винограду (зокрема сорту Загрей), які мають специфічні морфофізіологічні реакції на водний стрес. Відсутність верифікованих моделей функціонування виноградників за контрастних за вологозабезпеченням років (від помірного до надмірного дефіциту) обмежує можливість точного прогнозування втрат урожаю та оцінки ефективності використання води.

Таким чином, виникає науково-практична потреба в обґрунтуванні вхідних параметрів та математичному моделюванні агробіологічних процесів винограду за різних умов зволоження для розробки агротехнічних заходів мінімізації впливу посух у регіоні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Періодичні посухи, суховітри та зростання аридності клімату в Південному Степу та Північному Причорномор'ї завдають істотних збитків сільськогосподарському

виробництву [1; 2]. В умовах богарного землеробства, де природні опади та ґрунтові запаси є єдиними джерелами покриття транспіраційних потреб агроценозів, оцінка водного режиму та прогнозування продуктивності є ключовими завданнями для забезпечення сталості галузі рослинництва [3]. На тлі глобальних кліматичних змін підвищення ефективності використання води рослинами та збереження продукційного потенціалу культури вимагають глибокого розуміння фізіологічних механізмів адаптації винограду до обмеженого вологозабезпечення [4; 5].

Реакція виноградної лози на дефіцит води супроводжується комплексними фізіологічними перебудовами, серед яких вирішальне значення мають регуляція прорихової провідності, обмеження росту асиміляційного апарату та перерозподіл біомаси [6; 7]. Водночас формування врожайності та якості винограду суттєво залежить від початкових запасів продуктивної вологи в ґрунті, накопичених у міжвегетаційний період, що визначає чутливість культури до водного стресу вже на ранніх етапах вегетації [8].

Для науково обґрунтованої оцінки продукційного процесу сільськогосподарських культур в умовах дефіциту води широкого застосування набула математична модель AquaCrop, розроблена FAO [9; 10]. Вона симулює врожайність на основі водного балансу континууму «ґрунт–рослина–атмосфера», інтегруючи кліматичні параметри, гідрофізичні властивості ґрунту, специфічні біологічні характеристики культури та елементи агротехніки [11; 12; 13].

У більшості наявних публікацій щодо застосування AquaCrop у виноградарстві модель використовували переважно для оцінки водоспоживання столового [14] та технічного винограду [15] в умовах штучного зволоження. Натомість особливості симуляції агробіологічних процесів винограду під час вирощування на богарі в умовах природно-кліматичного дефіциту вологи залишаються недостатньо вивченими. Висока чутливість вегетативних і генеративних органів винограду до дефіциту ґрунтової вологи зумовлює необхідність адаптації вхідних блоків AquaCrop для точного відтворення реакцій насаджень у роки з різним рівнем аридності.

Мета. Обґрунтувати особливості перебігу агробіологічних процесів та оцінити продукційний потенціал культури винограду за різних умов вологозабезпечення



шляхом параметризації та застосування моделі AquaCrop в умовах богари Північного Причорномор'я.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження виконано на базі ННЦ «ІВІВ ім. В.С. Таїрова» (Одеська обл.). Об'єкт досліджень – плодonoсні насадження технічного сорту винограду нового покоління Загрей (пізній строк досягання), що культивується на богарізазагальноприйнятою агротехнікою. Схемасадіння кушів – $3 \times 1,5$ м (щільність 2 222 куш/га). Моделювання агробіологічних процесів та продуктивності винограду виконували за допомогою моделі AquaCrop (v7.1, FAO) на основі чотирьох блоків вхідних даних [9; 13]:

Клімат. Добові агрометеорологічні показники (опадів, T_{max} , T_{min} , еталонна евапотранспірація ET_0 , розрахована за допомогою FAO ET_0 Calculator за вегетаційні періоди 2018 р. (помірний дефіцит вологи, індекс аридності $AI = 0,40$) та 2020 р. (надмірний дефіцит, $AI = 0,21$).

Культура. Вхідні параметри адаптовано за результатами польових спостережень у межах продуктивного періоду вегетації (від початку росту до господарської стиглості). Максимальне покриття пологів (за його горизонтальною проекцією) становило $CC_{max} = 16,5\%$. Біологічні константи моделі: нормована продуктивність води $WP = 17,0$ г/м², індекс врожаю $HI = 50\%$, ефективна глибина кореневої системи – 2,0 м.

Ґрунт. Фізико-гідрологічні характеристики шару 0–100 см (важкий суглинок): середня об'ємна маса – 1,22 г/см³, загальна доступна волога – 152 мм/м. Початкову вологість ґрунту на фазу розпускання бруньок визначали термостатично-ваговим методом.

Управління. У моделі враховано елементи агротехніки, спрямовані на збереження вологи (осінньо-зимовий обробіток, утримання ґрунту під чорним паром).

Результати досліджень. Тривалість продуктивного періоду вегетації для середньопізннього сорту Загрей становила 143 доби. Оцінка агрометеорологічних умов залучених вегетаційних періодів виявила подібну потенційну випаровуваність атмосфери: сумарна еталонна

евапотранспірація (ET_0) досягала 547–552 мм, з добовими коливаннями 1,6–5,7 мм/добу. Загальний обсяг опадів безпосередньо за продуктивний період також виявився подібним – 135–142 мм, з максимальними добовими значеннями 15,9–20,3 мм відповідно.

Проте визначальними у формуванні водного режиму насаджень стали міжвегетаційні опади та температурний фон. У 2018 р. річна сума опадів становила 543 мм, а тепловий ресурс вегетації забезпечував суму ефективних температур 1 767 °С·доба. У 2020 р. річний обсяг опадів зменшився вдвічі – до 271 мм, а сума ефективних температур становила 1 581 °С·доба. Нерівномірний розподіл опадів протягом вегетації 2020 р. у поєднанні з обмеженням осінньо-зимовим вологонакопиченням зумовили формування вираженого водного дефіциту (табл. 1).

Розрахунок доступної для рослин вологи здійснювали для метрового шару ґрунту за показників польової вологості ($FC = 300$ мм/м) та точки в'янення ($WP = 150$ мм/м). На початок продуктивного періоду 2018 р. загальний вміст води у ґрунті (TWC) становив 253 мм, що відповідало близько 70% від загального запасу продуктивної вологи. До моменту збору врожаю TWC знизився до 200 мм, залишаючись вище критичного порогу стресу.

У 2020 р. через брак опадів у міжвегетаційний період початковий запас становив лише 217 мм. Протягом продуктивного періоду, незважаючи на поодинокі опади, ґрунтові запаси вологи поступово виснажувалися до 187 мм на фазу технічної стиглості. Отже, насадження у 2020 р. розпочинали вегетацію в умовах сформованого дефіциту ґрунтової вологи, який утримувався впродовж усього продуктивного періоду.

Рівень вологозабезпечення визначив особливості розвитку асиміляційного апарату та інтенсивність транспірації лози. На початку вегетації проективне покриття пологів (CC) в обидва роки становило 1,6–1,7%. За помірний дефіцит вологи (2018 р.) площа пологів поступово

Таблиця 1

Розрахункові показники моделі AquaCrop за різних умов вологозабезпечення

Показник	Од. вим.	2018 рік (помірний дефіцит)	2020 рік (надмірний дефіцит)
1. Агрометеорологічні показники			
Сума опадів за рік	мм	543	271
Сума опадів за продуктивний період	мм	135	142
Сума ефективних температур	°С·доба	1767	1581
Еталонна евапотранспірація	мм	552	547
2. Показники водного режиму та фізіологічного стану рослин			
Випаровування з поверхні ґрунту	мм	123	138
Сумарна транспірація	мм	122	66
Середній температурний стрес	%	5	16
Середній стрес росту пологів	%	8	83
Середній продиговий стрес	%	9	22
3. Показники продуктивності культури			
Наземна суха біомаса	т/га	5,65	2,96
Індекс урожаю	%	54,7	54,1
Урожай сухої речовини	т/га	3,01	1,60
Продуктивність використання води	кг/м ³	1,26	0,79

зростала до максимального значення $CC_x = 17,0\%$, зберігаючись на рівні $15,7\%$ наприкінці періоду. Фактична транспірація (Tr) коливалася в межах $0,1\text{--}1,5$ мм/добу.

За надмірного дефіциту вологи (2020 р.) розвиток листової поверхні зазнав істотного пригнічення: CC_x досягло лише $11,8\%$, що на $30,6\%$ нижче за рівень 2018 р., а наприкінці вегетації знизилося до $10,9\%$. Відповідно, інтенсивність транспірації скоротилася до $0,0\text{--}0,9$ мм/добу. Отже, уповільнення приросту листового покриття є ключовою морфологічною адаптацією винограду до посухи, спрямованою на зниження витрат води, що одночасно обмежує фотосинтетичну продуктивність насаджень.

Аналіз структури водоспоживання у 2018 р. засвідчив збалансоване співвідношення між випаровуванням ґрунтом ($E = 123$ мм) та транспірацією рослин ($Tr = 122$ мм). У 2020 р. спостерігалось переважання непродуктивних втрат вологи: випаровування ґрунтом зросло до 138 мм, тоді як сумарна транспірація скоротилася майже вдвічі – до 66 мм.

Моделний оціночний аналіз зафіксував зростання середнього температурного стресу з 5% (2018 р.) до 16% (2020 р.) та продигового – з 9% до 22% . Найбільш вираженою реакцією стало понад десятиразове збільшення стресу росту пологів – з 8% у 2018 р. до 83% у 2020 р., що підтверджує високу чутливість процесів формування листового апарату до дефіциту доступної вологи.

Унаслідок обмеження асиміляційної поверхні та транспіраційної активності у 2020 р. відбулося суттєве падіння продуктивності: суха надземна біомаса зменшилася на $47,6\%$, а сухий урожай ягід – на $46,8\%$.

Стабільність індексу урожаю (HI) свідчить про збереження характеру розподілу асимілятів, підтверджуючи, що зниження врожайності зумовлене загальним зменшенням обсягу синтезованої органічної речовини.

Ефективність використання води (WP) знизилася з $1,26$ кг/м³ до $0,79$ кг/м³ або на $37,3\%$. Це підтверджує погіршення продукційної віддачі витраченої вологи за умов посухи.

Висновки. Моделювання в середовищі AquaCrop підтвердило, що вирішальним чинником продуктивності сорту винограду Загрей за умов богарного вирощування в Північному Причорномор'ї є початкові запаси продуктивної вологи, сформовані в міжвегетаційний період.

- Зниження початкового запасу продуктивної вологи з 103 мм (помірний дефіцит вологи, 2018 р.) до 67 мм (надмірний дефіцит, 2020 р.) зумовлює тривалу депресію ростових процесів, скорочуючи максимальне проєктивне покриття пологів на $30,6\%$ та провокуючи понад десятиразове зростання стресу росту пологів, з 8% до 83% .

- Дефіцит ґрунтової вологи на початку вегетації зміщує водний баланс агроценозу в бік непродуктивних втрат, зменшуючи сумарну транспірацію лози в $1,85$ разів порівняно з відносно сприятливим роком.

- Морфологічні обмеження асиміляційного апарату призводять до зменшення сухої надземної біомаси на $47,6\%$ та сухого врожаю ягід на $46,8\%$ за збереження стабільного індексу врожаю. Ефективність використання води при цьому знижується на $37,3\%$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Вожегова Р. А., Нетіс І. Т., Онуфран Л. І., Сахацький Г. І., Шарата Н. Г. Зміна клімату та аридизація Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 16–20. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.7.3>
2. Вожегова Р. А. Зрошення – головний елемент сучасних агротехнологій в умовах Південного Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 11. С. 67–74. <https://doi.org/10.31073/agrovishnyk201911-10>
3. Ромашенко М. І., Гусев Ю. В., Шатковський А. П., Сайдак Р. В., Яцюк М. В., Шевченко А. М., Матяш Т. В. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація і водне господарство*. 2020. № 1. С. 5–22. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>
4. Flexas J., Galmés J., Gallé A., Gulías J., Pou A., Ribas-Carbo M., Tomás M., Medrano H. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2010. Vol. 16. P. 106–121. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00057.x>
5. Tomás M., Medrano H., Brugnoli E., Escalona J. M., Martorell S., Pou A., Ribas-Carbo M., Flexas, J. Genotypic variability of mesophyll conductance. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2014. Vol. 20. P. 272–280. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12069>
6. Bonada M., Petrie P. R., Phogat V., Collins C., Sadras V. O. Benchmarking Water-Limited Yield Potential and Yield Gaps of Shiraz in the Barossa and Eden Valleys. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2023. No. 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1155/2023/5807266>
7. Torres N., Yu R., Martínez-Lüscher J., Kostaki E., Kurtural S. K. Effects of irrigation at different fractions of crop evapotranspiration on water productivity and flavonoid composition of Cabernet sauvignon grapevine. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.712622>
8. Munitz S., Netzer Y., Schwartz A. Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2017. Vol. 23. No. 1. P. 87–94. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12241>
9. Steduto P., Hsiao T. C., Raes D., Fereres E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101. No. 3. P. 426–437. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronj2008.0139s>
10. Raes D., Steduto P., Hsiao T. C., Fereres E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101. No. 3. P. 438–447. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0140s>
11. Hsiao T. C., Heng L., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes D., Fereres E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101. No. 3. P. 448–459. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0218s>
12. Steduto P., Hsiao T. C., Fereres E., Raes D. Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Rome: FAO, 2012. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fb1683eb-df22-438f-b997-a34d44b86ba7/content>

13. Raes D., Steduto P., Hsiao T. C., Fereres E. Reference Manual AquaCrop Version 7.1. Rome: FAO, 2023. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1479f444-c112-4faa-b3dc-bc73b0637332/content>
14. Er-Raki S., Bouras E., Rodriguez J. C., Watts C. J., Lizarraga-Celaya C. Parameterization of the AquaCrop model for simulating table grapes growth and water productivity in an arid region of Mexico. *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106585>
15. Shtirbu A., Palariev V. Assessment of the Impact of Deficit Irrigation on Grapevines in the Semi-Arid Region of Ukraine Using the AquaCrop Model. *Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem (JSTIE)*. 2026. No. 1. P. 25–36. <https://izlik.org/JA92FT87YL>

REFERENCES:

1. Vozhehova, R. A., Netis, I. T., Onufran, L. I., Sakhaty, G. I., & Sharata, N. H. (2021). Zmina klimatu ta arydyzatsiia Pivdennoho Stepu Ukrainy [Climate change and aridization of the Southern Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, (7), 16–20. <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2021.7.3> [in Ukrainian].
2. Vozhehova, R. (2019). Zroshennia – holovnyi element suchasnykh ahrotekhnolohii v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Irrigation – The main element of modern agricultural technologies in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 97(11), 67–74. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-10> [in Ukrainian].
3. Romashchenko, M. I., Husiev, Yu. V., Shatkovskiy, A. P., Saidak, R. V., Yatsiuk, M. V., Shevchenko, A. M., & Matias, T. V. (2020). Vplyv suchasnykh klimatychnykh zmin na vodni resursy ta silskohospodarske vyrobnytstvo [Impact of climate change on water resources and agricultural production]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, (1), 5–22. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235> [in Ukrainian].
4. Flexas, J., Galmés, J., Gallé, A., Gulías, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomás, M., & Medrano, H. (2010). Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 106–121. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00057.x>
5. Tomás, M., Medrano, H., Brugnoli, E., Escalona, J. M., Martorell, S., Pou, A., Ribas-Carbo, M., & Flexas, J. (2014). Genotypic variability of mesophyll conductance. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20, 272–280. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12069>
6. Bonada, M., Petrie, P. R., Phogat, V., Collins, C., & Sadras, V. O. (2023). Benchmarking Water-Limited Yield Potential and Yield Gaps of Shiraz in the Barossa and Eden Valleys. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, (1), 1–15. <https://doi.org/10.1155/2023/5807266>
7. Torres, N., Yu, R., Martínez-Lüscher, J., Kostaki, E., & Kurtural, S. K. (2021). Effects of irrigation at different fractions of crop evapotranspiration on water productivity and flavonoid composition of Cabernet sauvignon grapevine. *Frontiers in Plant Science*, (12). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.712622>
8. Munitz, S., Netzer, Y., & Schwartz, A. (2017). Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(1), 87–94. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12241>
9. Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426–437. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronj2008.0139s>
10. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2009). AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101(3), 438–447. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0140s>
11. Hsiao, T. C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101(3), 448–459. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0218s>
12. Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Crop yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fb1683eb-df22-438f-b997-a34d44b86ba7/content>
13. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2023). Reference Manual AquaCrop Version 7.1. Rome: FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1479f444-c112-4faa-b3dc-bc73b0637332/content>
14. Er-Raki, S., Bouras, E., Rodriguez, J. C., Watts, C. J., & Lizarraga-Celaya, C. (2021). Parameterization of the AquaCrop model for simulating table grapes growth and water productivity in an arid region of Mexico. *Agricultural Water Management*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106585>
15. Shtirbu, A., & Palariev, V. (2026). Assessment of the Impact of Deficit Irrigation on Grapevines in the Semi-Arid Region of Ukraine Using the AquaCrop Model. *Journal of Science-Technology-Innovation Ecosystem (JSTIE)*, (1), 25–36. <https://izlik.org/JA92FT87YL>

Штірбу А.В., Паларієв В.О. Моделювання агробіологічних процесів виноградарства за різних умов вологозабезпечення із застосуванням моделі AquaCrop

Мета. Обґрунтувати особливості агробіологічних процесів та оцінити продукційний потенціал винограду за різних умов вологозабезпечення шляхом параметризації моделі AquaCrop в умовах богари Північного Причорномор'я. **Методи.** Дослідження проведено на експериментальній базі ННЦ «ІВІВ ім. В.Є. Таїрова» на плодonoсних насадженнях сорту Загрей. Для відтворення водного балансу континууму «ґрунт–рослина–атмосфера» використано модель AquaCrop (v.7.1). Розрахунки здійснювали за чотирма блоками вхідних даних для продуктивного періоду (143 доби). Вхідні параметри адаптовано за агрометеоданими 2018 р. (помірний дефіцит вологи, індекс аридності 0,40) та 2020 р. (надмірний дефіцит, 0,21). Фізико-гідрологічні властивості важкосуглинистого ґрунту (шар 0–100 см) визначали стандартними методами: об'ємна маса – 1,22 г/см³, загальна доступна волога – 152 мм/м. **Результати.** Встановлено, що за подібної еталонної евапотранспірації та суми опадів за вегетацію

вирішальну роль відігравали осінньо-зимове зволоження та річна сума опадів. Це зумовило різницю початкових запасів продуктивної вологи: 103 мм у 2018 р. та 67 мм у 2020 р. Недостатнє початкове зволоження у 2020 р. спричинило редукцію асиміляційного апарату: максимальне проективне покриття пологів скоротилося на 30,6%, а стрес росту пологів зріс з 8% до 83%. Зниження асиміляційної поверхні зумовило зміщення водного балансу: сумарна транспірація зменшилася в 1,85 разів, тоді як непродуктивне випаровування ґрунтом зросло. Унаслідок посилення продигового та температурного стресів формування сухої надземної біомаси знизилася на 47,6% за стабільного індексу врожаю. Ефективність використання води знизилася на 37,3%.

Висновки. За богарного вирощування в Північному Причорномор'ї визначальним чинником продуктивності насаджень є осінньо- зимова вологозарядка ґрунту. Дефіцит стартового зволоження обмежує формування листового апарату як головний адаптивний механізм, що супроводжується зростанням непродуктивних втрат води, падінням біопродуктивності майже вдвічі та погіршенням віддачі спожитої вологи.

Ключові слова: водний дефіцит, проективне покриття, транспірація, ефективність використання води, початкові запаси ґрунтової вологи.

Shtirbu A.V., Palariev V.O. Modeling agrobiological processes in vineyards under varying water supply conditions using the AquaCrop model

Purpose. To clarify agrobiological processes and evaluate the yield potential of grapevines under varying

water supply conditions by parameterizing the AquaCrop model under rainfed conditions in the Northern Black Sea region. **Methods.** The study was carried out at the National Scientific Center "Tairov Institute of Viticulture and Winemaking" on bearing vines of grape cultivar 'Zahrey'. AquaCrop (v.7.1) was used to simulate the soil-plant-atmosphere continuum water balance over a 143-day period. Input parameters were adapted using agrometeorological data from 2018 (moderate water deficit, aridity index 0.40) and 2020 (severe deficit, 0.21). Soil parameters (heavy clay loam, 0–100 cm layer) were: bulk density – 1.22 g/cm³, total available water – 152 mm/m. **Results.** Under similar reference evapotranspiration and growing season precipitation, autumn-winter moisture recharge played a decisive role, causing a difference in initial available water reserves: 103 mm in 2018 vs. 67 mm in 2020. Low initial moisture in 2020 reduced canopy cover by 30.6%, elevating canopy growth stress from 8% to 83%. Lower canopy cover shifted the water balance: plant transpiration fell 1.85-fold, while soil evaporation increased. Driven by stomatal and temperature stresses, dry aboveground biomass dropped by 47.6%, and dry grape yield fell by 46.8% at a stable harvest index. Water productivity decreased by 37.3%. **Conclusions.** Under rainfed conditions in the Northern Black Sea region, autumn-winter soil water recharge determines vineyard productivity. Initial moisture deficit limits canopy development as a primary adaptive response, driving non-productive water losses and cutting bioproductivity nearly in half.

Key words: water deficit, canopy cover, transpiration, water productivity, initial soil water reserves.

Дата першого надходження статті до видання: 10.08.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.09.2026