

7. Сторчоус В. Н. Влияние капельного орошения на изменения почв / В. Н. Сторчоус. – Харьков, 2002. – Кн. 2. – С. 48-49.

REFERENCES:

1. Balyuk, S.A., Kukoba, P.I., & Fateev, A.I. (1990). Rol' orosheniya v sovremennoy evolyutsii chernozemov tipichnykh Levoberezhnoy Lesostepi USSR [The role of irrigation in the modern evolution of chernozems typical of the left-bank forest-steppe of the USSR]. *Agrokimiya i pochvovedenie. – Agrochemistry and pedology*, 53, 57-68 [in Russian].

2. Berezhnov, M.F. (1968). Oroshenie kak faktor izmeneniya vneshney sredy [Irrigation as a factor in changing the environment]. *Nauchnye trudy NIISKh Yugo-Vostoka – Scientific Works of Research Institutes of Agriculture*, 25, 13-26 [in Russian].

3. Mirskhulava, Ts.E. (2001). Degradatsiya pochv i puti predskazaniya neblagopriyatnykh situatsiy pri oroshenii [Soil degradation and ways of prediction of unfavorable situations during irrigation]. *Pochvovedenie – Soil Science*, 12, 151-153 [in Russian].

4. Polupan, N.I., & Kovalev, V.G. (1993). Tempy i prognoz razvitiya osolontsevaniya v oroshaemykh

pochvakh yuga Ukrainy [The rate and prognosis of development of solonetzation in irrigated soils of the south of Ukraine]. *Pochvovedenie – Soil Science*, 5, 75-83 [in Russian].

5. Budanov, M.F. (1956). Vliyanie orosheniya mineralizovannymi vodami na pochvy [Influence of irrigation with mineralized waters on soils]. *Ukrainskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrotekhniki i melioratsii – Ukrainian Research Institute of Hydraulic Engineering and Reclamation*, 73/3, 77-109 [in Russian].

6. Zolotun, V.P., Zhukov, V.A., Malinovskaya, N.M., & Babushkina, R.A. (1990). Izmenenie meliorativnykh svoystv pochv yuga Ukrainy v usloviyakh orosheniya i ikh melioratsii [Changes in meliorative properties of soils in the south of Ukraine under conditions of irrigation and their melioration]. *Tezy dokladov 3-go s"ezda pochvovedov i agrokhimikov Ukrainskoy SSR – Theses of the reports of the 3rd Congress of Soil Scientists and Agrochemists of the Ukrainian SSR*, 41-45 [in Russian].

7. Storchous, V.N. (2002). Vliyanie kapel'nogo orosheniya na izmeneniya pochv [Effect of drip irrigation on soil changes]. Kharkiv [in Russian].

УДК 626.84:633.635:631.6

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР
КОРОТКОРОТАЦІЙНОЇ ЗРОШУВАНОЇ СІВОЗМІНИ З ВРАХУВАННЯМ
ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ ТА ГОСПОДАРСЬКО-ЕКОНОМІЧНИХ ЧИННИКІВ**

МАРКОВСЬКА О.Є. – кандидат с.-г. наук, с.н.с.

ЗОРІНА Г.Г.

КОКОВІХІНА О.С.

ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

ГАЛЬЧЕНКО Н.М. – кандидат с.-г. наук

МЕЛЬНИК А.П.

Асканійська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту зрошуваного землеробства НААН

Постановка проблеми. Отримання високих та якісних урожаїв сільськогосподарських культур з використанням знижених поливних і зрошувальних норм є актуальною проблемою інноваційних технологій зрошення в Україні та багатьох інших країнах світу. За цим напрямом протягом останніх десятиліть були розроблені численні інструменти підтримки прийняття рішень в області зрошуваного землеробства, які забезпечували можливість нормування витрат поливної води та інших ресурсів на одиницю рослинницької продукції. Цей науковий та практичний напрям змушує вирішувати проблему застосування новітніх методів зрошення в усьому світі з врахуванням природно-кліматичних та господарсько-економічних чинників. Як результат, протягом останніх десятиліть були розроблені численні інструменти підтримки прийняття рішень в області зрошуваного землеробства, які ще не знайшли впровадження у виробничих умовах півдня України [1-3].

Стан вивчення проблеми. В теперішній час існує багато імітаційних моделей продуктивності сільськогосподарських культур, які можуть бути використані для оцінки ефективності застосування

зрошення в сівозмінах з різним ступенем насичення різними культурами за умов водоощадних режимів зрошення та підвищити ефективності використання води, добрив і пестицидів на рівні кожного поля, сівозміни та господарства. Практичне значення при цьому мають імітаційні моделі росту й розвитку рослин, які можна створити в програмних комплексах DSSAT та CropWat, проте жодна з цих програм не дозволяє контролювати параметри родючості ґрунту, його еколого-меліоративний стан, оптимізувати сівозміну на основі комплексного аналізу вихідних даних [4].

Одним із стратегічних рішень цих проблем проблеми стала розробка Відділу земельних і водних ресурсів ФАО (Продовольча і сільськогосподарська організація) Об'єднаних Націй спеціального програмного комплексу AquaCrop для моделювання продуктивності води та реакції оптимальне та ресурсоощадне зрошення різних за біологічними параметрами сільськогосподарських культур.

Завдання і методика досліджень. Завданням досліджень було здійснити моделювання технології вирощування сільськогосподарських культур короткоротаційної сівозміни за допомогою програмного ком-

плексу AquaCrop та порівняти отримані змодельовані сценарії продуктивності рослин за обсягами використаної води в умовах півдня України.

Для моделювання використано експериментальні дані з виробничих досліджень, що проводились протягом 2011-2015 років у ДП «ДГ «Асканійське» Інституту зрошувального землеробства НААН. Вхідними показниками щодо температурних даних, швидкості вітру, опадів та тривалості сонячного світла до програми були взяті дані місцевої метеостанції з архівів баз даних погодних умов з Інтернет-ресурсу [7]. Еталонна евапотранспірація була розрахована за допомогою програмно-інформаційного комплексу CROPWAT.

Результати досліджень. Для моделювання складових елементів технології вирощування, норм витрат поливної води, добрив та інших ресурсів, а також рівнів продуктивності культури короткоротаційної зрошуваної сівозмін формували бази даних вихідних показників. Після введення цих характеристик програма автоматично розраховує густоту стояння культур і розмір «покриву» культури СС. Дата посадки в нашому дослідженні співпадає з датою початку моделювання (симуляції), тобто початком вегетаційного періоду.

Враховуючи, що у досліджуваній короткоротаційній сівозміні використовували інтенсивні технології вирощування, у блоці програми з управління родючістю ґрунту не було вказано на можливість мульчування поверхні полів. Родючість ґрунту була визначена на рівні оптимальних параметрів (рис. 1).

Стрес від впливу бур'янів на розвиток культури був умовно встановлений на рівні 3% протягом всього вегетаційного періоду, що пов'язано із застосуванням інтегрованої системи захисту рослин, яка забезпечує високу ступінь ефективності боротьби з бур'янами.

Необхідні гідравлічні характеристики темно-каштанових ґрунтів були прийняті з польових вимірювань (дані найменшої польової вологоємності, точки в'янення) та зіставлені з характеристиками класів текстури ґрунтових ресурсів бази даних AquaCrop у відповідності до властивостей місцевих середньосуглинкових ґрунтів на трьох ґрунтових рівнях.

ґрунтові води на досліджуваному зрошуваному масиві залягають на глибині понад 18 м, тому вони не впливають водний режим активного шару ґрунту. При цьому вміст солей у ґрунтових водах знаходився на низькому рівні.

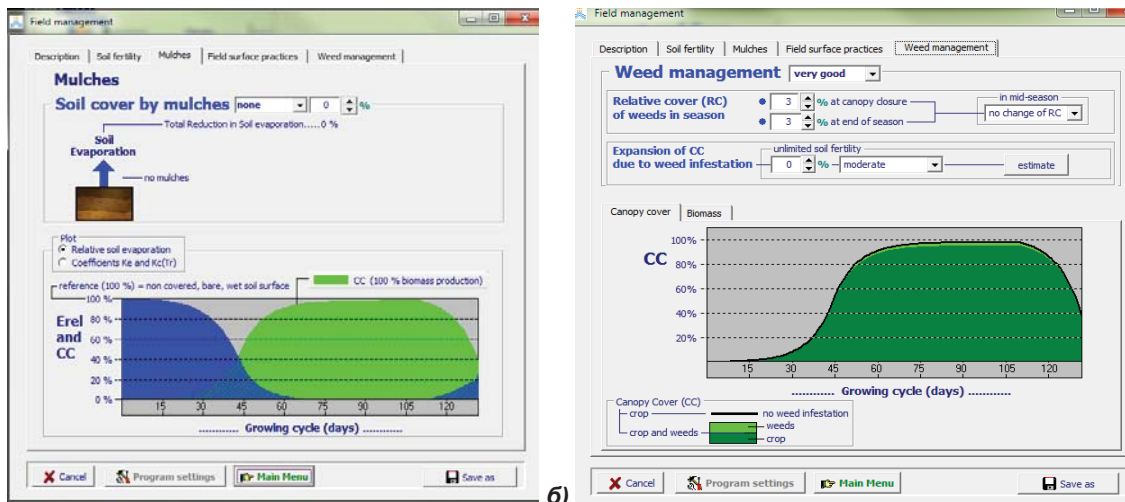


Рисунок 1. Копія екрану вибору параметрів програми AquaCrop з опціями управління родючістю ґрунту (а) та рівнями забур'янення (б) посівів

Показник найменшої вологоємності (FC) визначали на рівні 22,3% для темно-каштанового ґрунту, вологість в'янення (WP) – 9,75%, показник TAW приймали на рівні 80%, оскільки у весняний період ґрунт насичений вологою, електропровідність прийняли на рівні статистичних величин ФАО для середньосуглинкового ґрунту – 1,5 dS/m.

Дата початку моделювання для таких культур сівозміни як кукурудза, ячмінь ярий, соя прийнята за дати їх сівби на дослідних ділянках – це відповідно 3 травня, 10 березня, 10 травня 2015 року. Після адаптації вищевказаних показників для планування конкретної стратегії зрошення, був обраний режим «автоматичної генерації графіків зрошення», спосіб поливу – дощування за критеріями часу й глибини.

В подальшому було здійснено імітаційне моделювання існуючого графіку штучного зволоження з

різними характеристиками та варіантами показників допустимого виснаження ґрунту від показника RAW – порогового передполивного рівня вологості ґрунту. Тобто це вода, яку рослина може легко спожити з ґрунту та опцій «повернення до обсягу найменшої польової вологоємності поля». Перевагою цього режиму зрошення є нормування графіків поливу, які чітко враховують динаміку вмісту ґрунтової вологи в діапазоні від найменшою польовою вологоємністю (FC) і передполивним порогом (RAW), втрати води через глибоке промочування обмежені, а стрес від дефіциту води й втрати врожайності повністю виключаються.

Після формування груп діаграм «Клімат-Культура-ґрунтова волога» з кількісними характеристиками врожайності біомаси та зерна, були проаналізовані оптимальні співвідношення між введеними параметрами режимами зрошення та

отриманням найвищої урожайності за використання поливної води для кожної культури сівозміни.

Програма AquaCrop надає можливість формувати графіки зрошення з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних та господарсько-економічних чинників залежно від обраної у господарстві стратегії ведення зрошення. Для підвищення продуктивності короткоротаційної зрошуваної сівозміни та ощадливого використання поливної води була обрана стратегія формування як біологічно опти-

мального, так і водозберігаючого графіків зрошення, щоб показати можливість програми.

Для кукурудзи з прогнозованим вегетаційним періодом 132 дні найвигіднішим виявився сценарій з прогнорованим рівнем урожайності зерна на рівні 14,16 т/га (біомаси – 29,49 т/га), для формування якого за біологічно оптимальним режимом зрошення необхідно передбачити використання 290 мм поливної води (еквівалентно 2900 м³/га) (рис. 2).

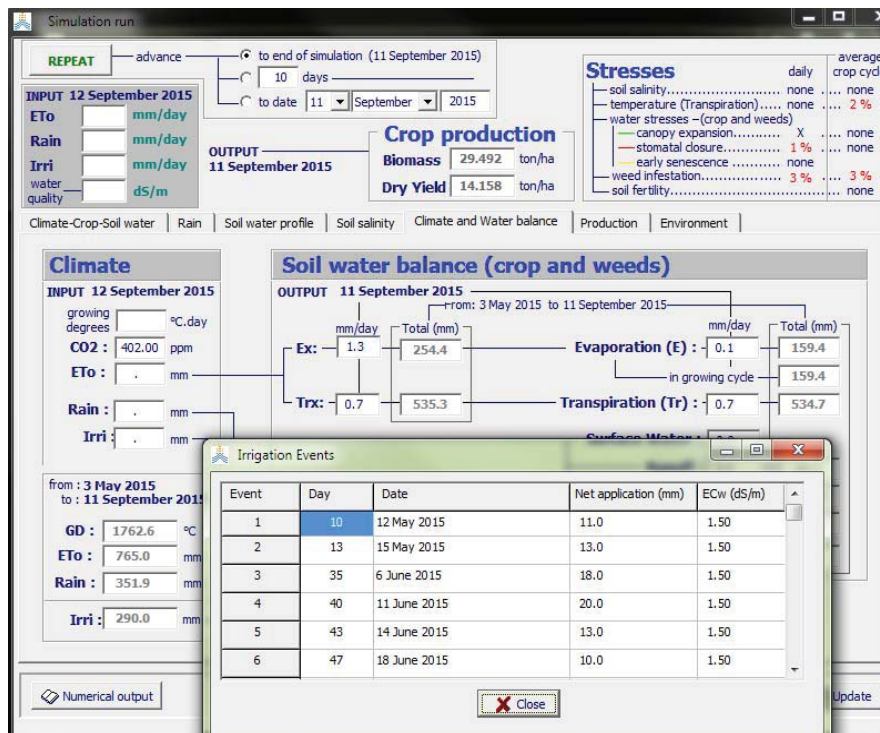


Рисунок 2. Змодельований режим зрошення кукурудзи на зерно за використання біологічно оптимального режиму зрошення

Моделювання в режимі так званого «дефіцитного» зрошення (тобто водоощадного режиму зрошення) дозволило одержати водозберігаючий графік вегетаційних поливів з величиною зрошувальної норми за вегетаційний період кукурудзи – 264,6 мм (2646 м³/га). При цьому запланований рівень урожайності зерна культури складатиме 13,67 т/га з величиною біомаси – 28,33 т/га.

Співвідношення між реально отриманою біомасою сої на дослідних ділянках і змодельованими з обліком стресів за період розвитку культури при біологічно оптимальному режимі зрошення становило 96%, а при водозберігаючому – 92%. За подібною технологією були сформовані імітаційні моделі врожайності, графіків зрошення та внесення мінеральних добрив ячменю ярого за вегетаційний період з 10 березня по 1 липня 2015 року, що збігається з розрахунковим періодом моделювання.

В режимі формування водозберігаючого графіку зрошення (рис. 3) на глибину зрошення 164 мм (1640 м³/га протягом всього циклу росту ячменя) була змодельована врожайність на 4,19 тон на гектар (біомаса 11,19 т/га).

Продовжуючи моделювання врожайності, нами було сформовано біологічно оптимальний режим зрошення за умов 50% від допустимого зниження показників RAW з нормою зрошення 231,2 мм та з максимальною врожайністю зерна на рівні 4,43 т/га (біомаса 11,85 т/га). Співвідношення між реально отриманою та потенційною біомасою ячменя ярого з обліком стресів за період розвитку культури при водозберігаючому режимі зрошення склало 96%, індекс врожайності зменшився до 37%.

Дуже зручним інструментом програми AquaCrop є те, що на кожному кроці моделювання є можливість контролю водного та сольового балансів, вмісту поживних речовин, врахування впливу всіх видів стресів на певному проміжку розвитку культури в окремі фази росту й розвитку, в процесі якого можна послабити або повністю подолати стрес шляхом застосування зрошення з розрахунковими нормами, або зміни строків сівби, коригування густоти стояння рослин, змін доз мінеральних добрив тощо.

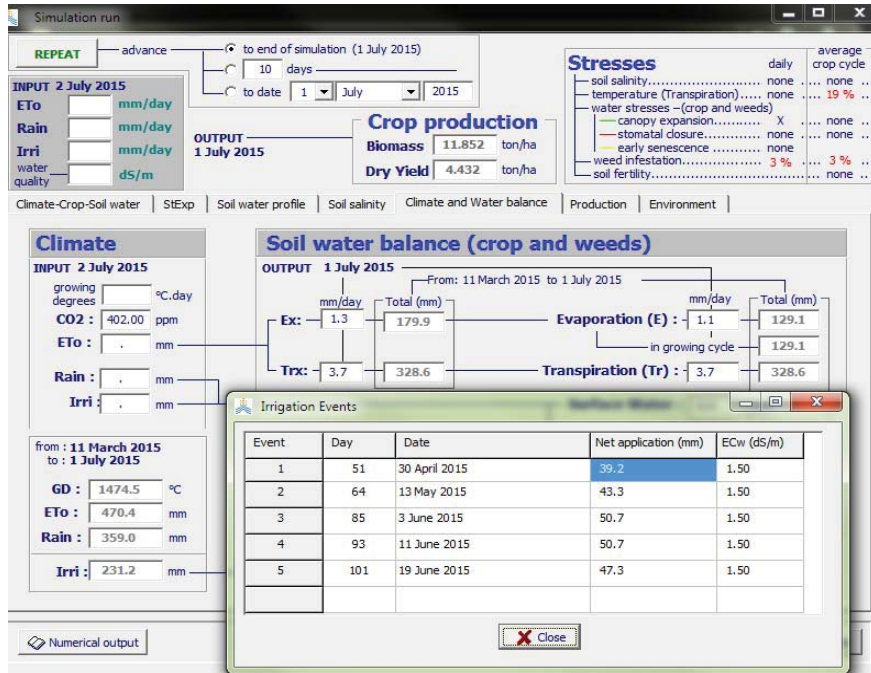


Рисунок 3. Біологічно оптимальний графік зрошення ячменя ярого при вирощуванні в коротко ротаційній зрошуваній сівозміні

При моделюванні зрошення сої було також змодельовані два сценарії режимів зрошення – водоощадний з поливною нормою 359 мм та програмованим рівнем врожайності зерна 4,70 т/га і біомаси – 11,670 т/га, а також – біологічно оптимальний з величиною зрошувальної норми 383 мм і врожайністю 4,92, біомаси – 12,21 т/га).

Співвідношення між реально отриманою та потенційною біомасою сої з врахуванням стресів за вегетаційний період культури при біологічно оптимальному режимі зрошення склало 96% при індексі врожайності 39,3% (рис. 4).

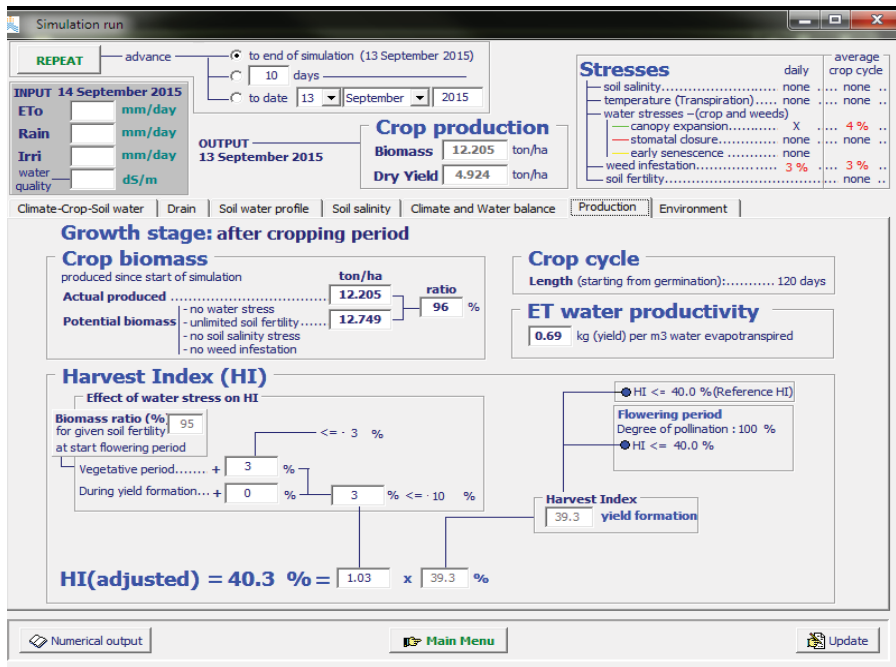


Рисунок 4. Характеристика продуктивності отриманої біомаси, індексу врожайності сої при моделюванні продуктивності культури

Після проведення імітаційного моделювання користувачі мають змогу оцінити результати такого моделювання за допомогою розрахункових даних «зеленого покриття» культури (CC), показників

надземної біомаси (B) та вмісту вологи в прикорневому шарі ґрунті (SWC). Всі ці дані зберігаються у вигляді баз даних в окремих файлах програми AquaCrop. Після запуску процесу моделювання

програмний комплекс порівнює показники моделювання з польовими даними і надає в графічному форматі результати у вигляді наступних статистичних даних: коефіцієнт кореляції Пірсона (r); середня квадратична похибка (RMSE); звичайна кореляційна середня квадратична похибка (CV (RMSE)); коефіцієнт корисної дії моделі (NF); індекс діапазону Вільмота (d).

Математичний аналіз програми дозволяє отримати динамічні відображення результатів оцінки змодельованих (лінії) та спостережуваних (крапки) даних, а також порівняти їх зі стандартними відхиленнями (вертикальні лінії) у меню «Оцінка результатів моделювання» для посівів кукурудзи, ячменю ярого та сої.

Висновки. Встановлено, що в розробленій короткоротаційній сівозміні розрахунковий рівень урожайності зерна сої становить близько 4,2 т/га з витратами води на зрошення на рівні 5510 м³/га, причому формування графіку поливів за водоощадною схемою дозволяє знизити водовитрати на 17%. Для кукурудзи потенційна врожайність зерна складає – 13,2 т/га з економією поливної води на 13%, а по ячменю ярому ці показники дорівнюють відповідно 2,9 т/га та 10%. За результатами наших досліджень функціональні можливості програмно-інформаційного комплексу AquaCrop є адаптованими для умов півдня України. Використання цієї програми дозволяє проводити моделювання природних та агротехнологічних чинників, зокрема режиму зрошення на рівні короткоротаційної сівозміни, швидко та достовірно оцінювати і обирати найекономічніші варіанти графіків поливу для кожної культури із зниженням витрат поливної води на 10-17%, програмувати врожайність на основі врахування параметрів ґрунту, набору агротехнологічних операцій, характеристик сортів і гібридів, змін погодних умов тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Игнатъев В. М. Моделирование продуктивности орошения на мелиоративных системах Северного Кавказа : автореф. дис.. доктора тех. наук: (06.01.02) / ФГОУ «НГМА» / В. М. Игнатъев. – Новочеркасск, 2008. – 47 с.
2. Задорожний А. І. Дослідження динаміки процесів підтоплення сільськогосподарських угідь в

системі еколого-меліоративного моніторингу : автореф. дис. к.т.н.: 06.01.02 / А. І. Задорожний. – К.: УкрІНТЕІ, 2006. – 18 с.

3. Ромащенко М. І. Зрошення земель в Україні / М. І. Ромащенко, С. А. Балюк. – К.: Світ, 2000. – 112 с.

4. AquaCrop – The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles / [Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., Fereres D.] // *Agronomy Journal*. – 2009. – Vol. 101(3). – P. 26-37.

5. AquaCrop Reference manual (Version 4.0). Chapter 1. / Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E. – 2012. – P. 1-7.

6. Архив погоды в Тавричанке Каховского района Херсонской области [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rp5.ru>.

REFERENCES:

1. Ignatiev, V.M. (2008). Modelyrovanye produktyvnosti orosheniya na melioratyvnyh sistemah Severnogo Kavkaza [Modeling of irrigation productivity on the meliorative systems of the North Caucasus]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. FGOU "NGMA" [in Russian].

2. Zadorozhnyj, A.I. (2006). Doslidzhennja dynamiky procesiv pidtoplennja sil'skogospodars'kyh ugid' v systemi ekologo-melioratyvnogo monitoryngu [Research of dynamics of processes of flooding of agricultural lands in the system of ecological and land reclamation monitoring]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv: UkrINTEI [in Ukrainian].

3. Romaschenko, M.I., & Baljuk, S.A. (2000). *Zroshennja zemel' v Ukrajinі* [Irrigated land in Ukraine]. Kyiv: Svit [in Ukrainian].

4. Steduto, P., Hsiao, T., Raes D., & Fereres, D. (2009). AquaCrop – The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles [in English].

5. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T., & Fereres, E. (2012). AquaCrop Reference manual [in English].

6. Arhyv pogody v Tavrychanke Kahovskogo rajona Hersonskoj oblasti [Weather archive in Tavricanka, Kakhov district, Kherson region] (n.d.) *rp5.ru*. Retrieved from: <https://rp5.ru/> Arhyv_pogody_v_Tavrychanke [in Russian].

УДК 631.95:631.452:631.8(477.72)

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

ДИМОВ О.М. – кандидат с.-г. наук, с.н.с.,
Інститут зрошуваного землеробства НААН
ДИМОВ В.О.
Херсонський державний університет

Oleksandr Dymov – <http://orcid.org/0000-0002-7839-0956>

Постановка проблеми. В процесі здійснення земельної реформи в Україні було роздержавлено й передано у власність більше 5 млн га деградованих або малопродуктивних орних земель, вико-

ристання яких в економічному значенні є збитковим, а в екологічному – шкідливим, що негативно впливає на навколишнє середовище. Тобто, в сучасних умовах розвитку сільського господарства