

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ**

**БУТЕНКО ЯРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА**



УДК 631.671:631.559:633:634:635

**УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЗРОШЕННЯМ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ**

06.01.02 – сільськогосподарські меліорації  
(сільськогосподарські науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата сільськогосподарських наук

**Київ – 2021**

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Інституті водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

**Науковий керівник:** доктор сільськогосподарських наук, професор  
**ЖОВТОНОГ Ольга Ігорівна,**  
Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України»,  
провідний науковий співробітник відділу економічних проблем водокористування

**Офіційні опоненти:** доктор сільськогосподарських наук,  
професор, академік НААН  
**ТАРАПКО Олександр Григорович,**  
Інститут агроекології і природокористування НААН,  
головний науковий співробітник відділу радіоекології і дистанційного зондування ландшафтів

доктор сільськогосподарських наук, професор  
**МОРОЗОВ Олексій Володимирович,**  
Херсонський державний аграрно – економічний університет,  
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій

Захист відбудеться «7» травня 2021 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.362.01 в Інституті водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України за адресою: вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України за адресою: вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022.

Автореферат розіслано «02» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат сільськогосподарських наук,  
старший науковий співробітник

 Шевченко А.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** За умов зростання частоти та інтенсивності посух, що обумовлено глобальними змінами клімату, загострюється проблема підвищення ефективності управління водними ресурсами у зрошуваному землеробстві південного регіону України. Для забезпечення конкурентоздатності аграрних підприємств, що використовують інтенсивне зрошення дощуванням на великих за площею земельних масивах, розв'язання цієї проблеми є особливо нагальним у зв'язку з підвищенням цін на енергоносії, ростом тарифів на воду та нестабільними світовими цінами на сільськогосподарську продукцію. Крім того, незадовільний технічний стан водогосподарської мережі та чинна практика управління зрошенням обумовлюють значну просторову нерівномірність стану посівів, що не дозволяє повною мірою реалізувати агропотенціал зрошуваних земель. Тому, поряд із залученням інвестицій у технічну модернізацію зрошувальних систем, актуальними для господарств стають інвестиції у впровадження сучасних технологій управління зрошенням, які зможуть забезпечити повне врахування всього різноманіття чинників та умов реального виробництва. З цією метою необхідним є проведення у виробничих умовах спеціальних досліджень з удосконалення існуючих інформаційних систем оперативного планування зрошення на основі використання у їх складі сучасних методів космічного та наземного моніторингу. Управління зрошенням з використанням даних моніторингу, у тому числі для оцінки впливу та зменшення негативної дії посухи, є важливим заходом, що визначений у Концепції боротьби з деградацією земель та опустелюванням і Національному плані дій, (розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.10.2014 р. № 1024-р та 30.03.2016 р. № 271-р) на виконання міжнародних зобов'язань України як члена Конвенції Організації Об'єднаних Націй про боротьбу з опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження з теми дисертаційної роботи проводили у складі програм наукових НААН у період 2011-2017 рр.: ПНД НААН 04. «Сталий розвиток меліорації земель та водокористування» на 2011-2015 рр.: завдання № 04.01/4 «Апробація та впровадження у пілотних господарствах півдня України програмного комплексу інформаційної системи оперативного планування зрошення «ГІС Полив», № Держ. реєстр. 012U006371 (2012 р.) (дисертант – виконавець); ПНД НААН 04 «Стале водокористування та меліорація земель», завдання № 04.02.02.04 П «Розробити інформаційні системи планування та оперативного управління зрошенням», № Держ. реєстр. 011121004547 (2011-2013 р.) (дисертант – виконавець); завдання № 04.02.01.07 П «Розробити у складі ІС «ГІС Полив» підсистему використання даних космічних знімків для планування зрошення», № Держ. реєстр. 011121004547 (2014-2015 рр.) (дисертант – виконавець); завдання № 04.02.01.05 П «Розробити методичні рекомендації планування зрошення на територіях з урахуванням змін клімату та моделей агровиробництва», № Держ. реєстр. 0113U007805 (2014-2015 рр.)

(дисертант – виконавець); ПНД НААН 45 «Зрошуване землеробство»: завдання № 45.00.01.03 Ф «Встановити закономірності процесів енергомасообміну у системі «грунт-рослина-атмосфера», розробити науково-методичні основи планування зрошення в сучасних умовах аграрного виробництва», № Держ. реєстр. 0116U003969 (2016-2020 рр.) (дисертант – виконавець); завдання №45.00.02.05 П «Розробити методику та інструменти підтримки прийняття рішень в аграрному виробництві на зрошуваних землях за даними наземного та дистанційного моніторингу», № Держ. реєстр. 0116U003988 (2016-2018 рр.) (дисертант – виконавець).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка методів удосконалення управління зрошенням на основі використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у складі інформаційної системи оперативного планування поливів.

Для досягнення мети вирішено такі основні завдання:

- дослідити вплив екологічних факторів та фактичного рівня управління технологічними процесами у зрошуваному землеробстві на просторову мінливість стану розвитку сільськогосподарських культур при зрошенні із застосуванням методів ДЗЗ;

- обґрунтувати методи використання даних ДЗЗ для уточнення параметрів моделі сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур відповідно до фактичного стану їх біомаси;

- розробити алгоритм використання методів ДЗЗ та даних контрольних вимірювань вологості ґрунту для уточнення розрахунків планів поливів у складі програмного комплексу інформаційних систем оперативного планування зрошення;

- виконати апробацію та оцінити економічну ефективність алгоритму використання даних ДЗЗ та даних контрольних вимірювань вологості ґрунту у складі інформаційної системи оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив».

*Об'єкт дослідження:* просторова нерівномірність процесів водоспоживання, росту та розвитку сільськогосподарських культур на зрошуваних масивах.

*Предмет дослідження:* використання ДЗЗ та інформаційної системи ІС «ГІС Полив» для оперативного планування зрошення на площах великих господарств.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети застосовували польовий, лабораторний, математично-статистичного, кореляційного, розрахунково-порівняльного аналізу та математичного моделювання.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

*Вперше* на площах великих зрошуваних масивів господарств півдня України на основі використання даних ДЗЗ:

- встановлені закономірності формування просторової нерівномірності розвитку сільськогосподарських культур за умов зрошення

- дощуванням в залежності від ступеню та тривалості атмосферної посухи; варіації природних та господарських умов;
- розроблено метод уточнення розрахунку сумарного водоспоживання та динаміки вологозапасів ґрунту у складі інформаційних систем оперативного планування зрошення на основі врахування фактичного стан розвитку посівів;
  - запропоновано алгоритм коригування планів поливів у складі інформаційної системи оперативного планування зрошення, який заснований на використанні методів ДЗЗ для встановлення термінів настання атмосферної посухи та визначення полів із незадовільним станом розвитку біомаси сільськогосподарських культур для проведення контрольних вимірювань вологості ґрунту.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропонований алгоритм уточнення планів поливів із використанням методів ДЗЗ та наземних спостережень дозволяє підвищити якість оперативного планування зрошення в умовах виробництва на основі врахування просторової нерівномірності стану розвитку біомаси рослин та оперативного визначення інтенсивності та тривалості атмосферної посухи.

Впровадження алгоритму у складі ІС оперативного планування зрошення забезпечує високу продуктивність використання зрошувальної води та зменшує втрати врожаю внаслідок проведення поливів відповідно до фактичної водопотреби сільськогосподарських культур.

Основні положення роботи пройшли виробничу перевірку в ПрАТ «Фрідом Фарм Інтернешнл» і ТОВ «Фрідом Фарм Терра». Результати досліджень увійшли до навчального курсу, який розроблено Інститутом водних проблем і меліорації НААН спільно з Європейським банком реконструкції та розвитку за підтримки Європейського Союзу у рамках ініціативи EU4Business.

**Особистий внесок здобувача.** Авторка безпосередньо брала участь у плануванні та проведенні польових досліджень, спостережень, обробці експериментальних результатів досліджень, в аналізі результатів, обчисленні показників економічної ефективності, підготовці матеріалів до друку в наукових журналах, а також у перевірці результатів досліджень у виробничих умовах. Наукове обґрунтування основних положень дисертаційної роботи, розрахунок економічної ефективності та висновки розроблені й сформульовані авторкою особисто.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на 15 міжнародних і всеукраїнських конференціях, семінарах, а саме на міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Сучасні проблеми водогосподарсько-меліоративного комплексу та шляхи їх вирішення» (Херсон, ХДАУ, 2011 р.), науково-практичній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку управління водними ресурсами України» (Київ, ДІУЕВР, 2012 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Водні ресурси України

та меліорація земель» (Київ, ІВПМ, 2013 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Ефективність використання зрошуваних земель» (Херсон, ІЗЗ, 2013 р.), всеукраїнській науково-практичній конференції «Вода – основа життєдіяльності» (Херсон, 2014 р.), II міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій всесвітньому Дню Води (Вода і енергія) (Київ, ДІЕВР, 2014 р.), III міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 100-річчю від дня народження першого міністра меліорації і водного господарства України М.А. Гаркуші «Досягнення та перспективи розвитку водогосподарської галузі» (Київ, ДІЕВР, 2014 р.), науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню води (Київ, ІВПМ, 2015 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные направления развития водного хозяйства, строительства и землеустройства» (Херсон, 2016 р.), науково-практичній конференції «Управління водними ресурсами в умовах змін клімату», присвяченій Всесвітньому дню води (Київ, ІВПМ, 2017 р.), всеукраїнській науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому Дню водних ресурсів (Київ, ІВПМ, 2018 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Вода для всіх» (Київ, ІВПМ, 2019 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії» (Херсон, ХДАУ, 2019 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано в 25 наукових працях, зокрема 6 – статей в наукових фахових виданнях України та інших держав, які включено до міжнародних наукометричних баз, у тому числі участь у написанні розділу колективної монографії – 1, нормативних документів – 2 та 16 – матеріали наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційну роботу викладено на 210 сторінках загального тексту комп'ютерного набору, в тому числі – основного тексту – 168 сторінок. Рукопис дисертації містить вступ, перелік умовних позначень, символів, одиниць вимірювання, п'ять розділів, висновки, рекомендації виробництву, список використаних джерел та додатки. Робота містить 32 таблиці, 50 рисунків та 4 додатки. Список використаних літературних джерел налічує 166 найменувань, із них 59 – латиницею.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, наведено зв'язок із науковими програмами і планами, темами, сформульовано мету та завдання досліджень, зазначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

**У першому розділі «Розвиток оперативного планування зрошення»** наведено аналітичний огляд літературних джерел із питань історії розвитку зрошення на півдні України та результатів проведення досліджень щодо розробки методів управління водними ресурсами на зрошувальних системах та оперативного планування поливів такими вченими як Костяков О.М., Алпатьєв А.М., Алпатьєв С.М., Шумаков Б.А., Шаров І.А., Штойко Д.А.,

Собко О.О., Баєр Р.А., Остапчик В.П., Філіпенко Л.А., Шпак І.С., Коваленко П.І., Ромащенко М.І., Михайлов Ю.О., Жовтоног О.І., Шатковський А.П., Поліщук В.В. та інші. Значний внесок у розробку інформаційного забезпечення зрошуваного землеробства зробили Ушкаренко В.О., Лисогоров С.Д., Писаренко В.А., Коковіхін С.В., Писаренко П.В. та ін.

Як показав досвід розробки та впровадження декількох поколінь інформаційних систем оперативного планування поливів, що були розроблені в ІВПіМ у період 1975- 2018 роки (Остапчик В.П., Філіпенко Л.А., Костромін В.А., Бабич В.А., Деменкова Т.Ф., Жовтоног О.І., Поліщук В.В.), у тому числі досвід впровадження ІС «ГІС Полив» (2011-2013 рр.), для високої точності планування поливів із використанням ІС у сучасних виробничих умовах необхідним є постійне коригування параметрів моделей та оновлення нормативної бази інформаційних систем для врахування особливостей водоспоживання нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур, впливів нерівномірності прояву різноманітних факторів природного та антропогенного характеру.

В останні десятиріччя у складі інформаційних систем управління в аграрному виробництві та при оцінці ефективності водокористування на зрошуваних масивах набуло розповсюдження використання даних космічного моніторингу (Виноградов Б.В., Jackson R.D., Idso S.B., Bastiaanssen W., Roerink G.J., Zwart S.J., Wolters W., Murray-Rust D.H., Snellen W.B., Bos M.G., Жовтоног О.І., Гофман М., Поліщук В.В., Вишневський В. І., Шевчук С.А., Власова О.В., Даниленко Ю.Ю., Богаєнко В.О., Сайдак Р.В., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Тараріко О.Г., Кучма Т.Л., Адамчук-Чала Н.І., Білоконь О.А. та ін.). Дані космічних знімків дозволяють одночасно оцінити стан розвитку рослин та ґрунтів на значних територіях. З розвитком доступності космічних знімків та методів їх обробки, а також появи інформаційних систем агрокосмічного моніторингу з'явилась реальна можливість використання цих напрацювань для удосконалення інформаційних систем оперативного планування зрошення.

**У другому розділі «Методи та умови проведення дослідження»** наведено характеристику природних і господарських умов об'єктів досліджень.

Дослідження проведено за методикою пасивного експерименту протягом 2012-2017 років у зоні Південного Степу України на виробничих полях у трьох господарствах Херсонської та Запорізької областей на загальній площі 7236,7 га. Ґрунтово-кліматичні умови на території досліджень є типовими для зони Південного Степу України, так само як і практика застосування інтенсивного зрошення. Обрані господарства є репрезентативними для цієї зони, як за природними, так і за господарськими умовами ведення зрошення методом дощування. Ґрунти на територіях досліджень представлені чорноземами південними та темно-каштановими ґрунтами.

Кліматичні умови протягом вегетації сільськогосподарських культур характеризуються недостатньою кількістю атмосферних опадів, високою

денною температурою, низькою вологістю повітря та високою швидкістю вітру.

Метеорологічні умови років досліджень повною мірою характеризують агроекологічні та кліматичні ресурси Півдня України, що дозволяє використовувати одержані залежності, висновки й рекомендації для всього регіону. За умовами природного зволоження роки досліджень характеризувались як вологий (2015 р.), середньо посушливі (2013, 2014, 2016, 2017 рр.) та дуже посушливий (2012 р.).

Методика досліджень включала: аналіз та обробку даних автоматичних метеостанцій, проведення водно-балансових досліджень, спостереження за станом розвитку сільськогосподарських культур та їх вологозабезпеченістю (натурні спостереження та дані космічних знімків), моделювання сумарного випаровування, визначення строків та норм поливів із використанням інформаційної системи оперативного планування зрошення «ГІС Полив»; обробку даних сумарного випаровування та оцінку стану посівів за даними інформаційної системи космічного агромоніторингу «Fieldlook»; використання різних типів вегетаційних індексів, що отримані на основі обробки космічних знімків. Дані досліджень оброблялись із використанням методів математичної статистики. Основні результати отримані для посівів сої, яка є найбільш розповсюдженою культурою на зрошенні в зоні досліджень.

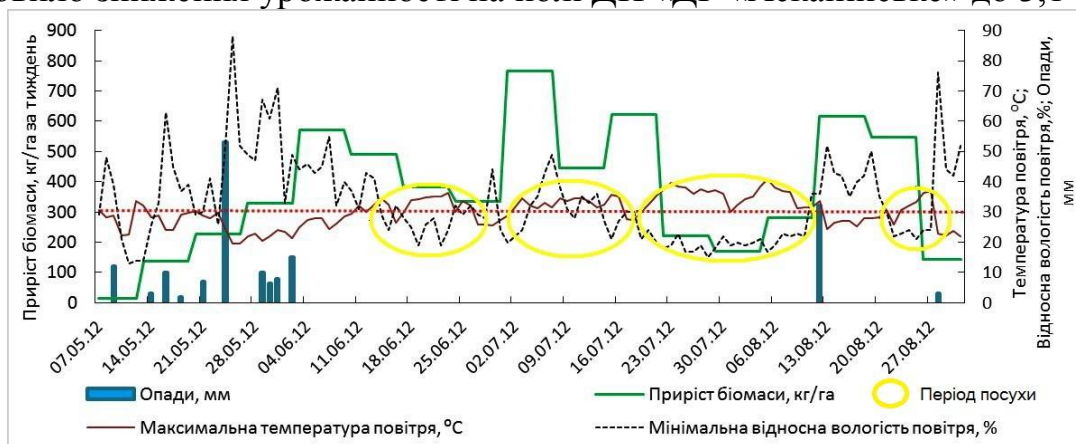
**У третьому розділі «Використання ДЗЗ для оцінки впливу просторової нерівномірності природних та господарських умов на стан розвитку сільськогосподарських культур на масивах зрошення»** за результатами досліджень визначені особливості застосування різних методів ДЗЗ для оцінки стану розвитку сільськогосподарських культур та проведена класифікація факторів, що впливають на просторову нерівномірність розвитку сільськогосподарських культур. Виконано детальний аналіз впливу природних та антропогенних чинників на стан посівів сої. Встановлено, що протягом років спостережень лише на 50 % полів забезпечувались оптимальні умови вирощування. Основною причиною погіршення стану посівів одночасно на всій площі господарств був вплив атмосферної посухи (максимальна температура повітря  $\geq 30$  °С, мінімальна відносна вологість повітря  $\leq 30\%$ ). На приріст біомаси рослин на частині полів негативно діяли також інші природні (складний рельєф), технічні (технічний стан дощувальних машин та зрошувальної мережі) та технологічні (якість управління технологічними процесами зрошеного землеробства) фактори.

Проведена загальна оцінка впливу атмосферної посухи на стан розвитку біомаси, яка в зоні досліджень спостерігалась щороку, проте різної інтенсивності та тривалості. Для поливних сезонів 2012-2014 рр. за періодами вегетації сої було виконано детальний аналіз та оцінку тривалості прояву атмосферної посухи: встановлено загальну кількість днів та тривалість безперервних періодів із денними температурами повітря вище 30 °С, відносною вологістю повітря менше ніж 30 % та швидкістю вітру понад 5 м/с. Найбільшу кількість днів із посухою було встановлено в критичний період на



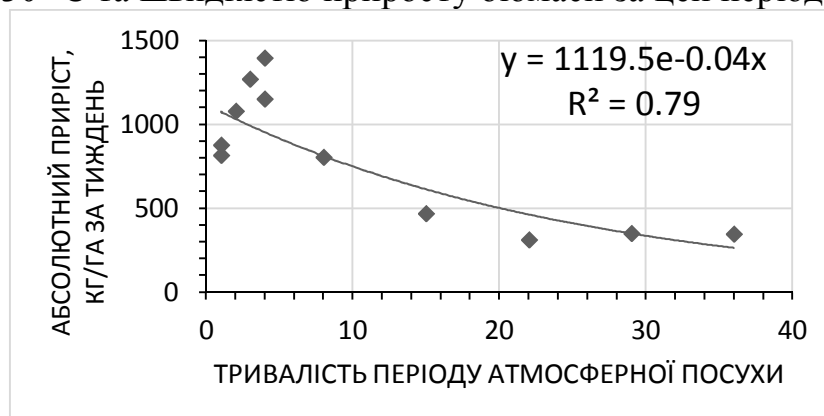
фазах бутонізації та цвітіння (14 днів) та в період дозрівання (30 днів) у 2012 р., а в 2013 р. вона проявилась також і на початку вегетації рослин (12 днів). Найдовші безперервні періоди прояву посухи спостерігались у періоди дозрівання сої в 2012 р. (22 днів) та 2013 р. (36 днів).

Для оцінки впливу встановлених періодів прояву посухи на ріст та розвиток сої в дослідженнях було використано значення приросту біомаси рослин (кг/га за сухої речовини тиждень), що були отримані за допомогою ІС «Fieldlook». На основі аналізу динаміки біомаси за вегетаційний сезон сої виявлені періоди уповільнення її приросту в умовах прояву атмосферної посухи. Вплив посухи вивчався на полях, де забезпечувалось дотримання оптимальних технологій зрошуваного землеробства. На рис. 1 наведено приклад уповільнення приросту біомаси в періоди прояву посухи, що обумовило зниження урожайності на полі ДП «ДГ «Асканійське» до 3,1 т/га.



**Рис.1. Динаміка приросту біомаси сої середньостиглої у 2012 р. на фоні метеорологічних показників в ДП «ДГ «Асканійське»**

За результатами досліджень із використанням даних ДЗЗ побудовано залежність між кількістю днів протягом тижня з денними температурами повітря вище 30 °C та швидкістю приросту біомаси за цей період (рис.2).



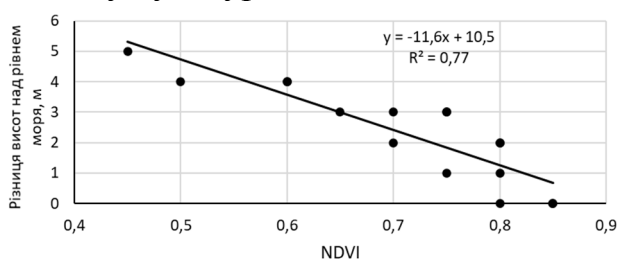
**Рис. 2. Залежність між абсолютним приростом біомаси та тривалістю періоду атмосферної посухи**

Значне зниження швидкості накопичення біомаси (понад 25 %) відбувається, коли тривалість прояву посухи перевищує 10 днів. При тривалому періоді (більш як 20 днів) приріст за тиждень зменшується більше, ніж на 50%. Отже, хоча використання зрошення й зменшує негативний вплив високих

температур та створює сприятливий мікроклімат у посівах, при тривалих проявах атмосферної посухи та її високій інтенсивності відбувається негативний вплив на фізіологічні процеси в рослинах.

Дані ДЗЗ дозволяють також оцінювати вплив на розвиток біомаси сільськогосподарських культур складного рельєфу, який спричиняє нерівномірний їх розвиток та запізнення в настанні вегетаційних фаз. При поливі в понижених частинах схилу дуже часто відбувається вимокання культур, що значно впливає на густоту та загальний стан розвитку рослин. При зміні висот у межах поля відбувається зміна показника нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) відповідно (рис. 3).

Для визначення впливу технічних та технологічних факторів ведення зрошувального землеробства на стан та розвиток сільськогосподарських культур використовували карти приросту біомаси за даними ІС «Fieldlook», карти вегетаційного індексу NDVI, польові обстеження та інформація від фахівців господарств. Так, на окремих полях із незадовільним технічним станом дощувальної техніки, на картах NDVI чітко прослідковуються зони недополиву (рис. 4), що дозволяє оперативно здійснювати ремонт машин та своєчасно вирівнювати розбіжності в розподілі поливної води по полю та відповідно стан розвитку культур на полі.



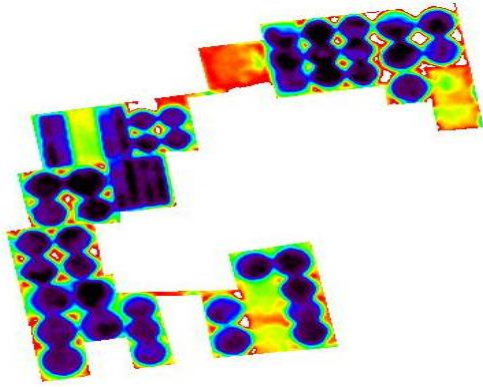
**Рис. 3. Залежність NDVI сої від мінливості рельєфу**



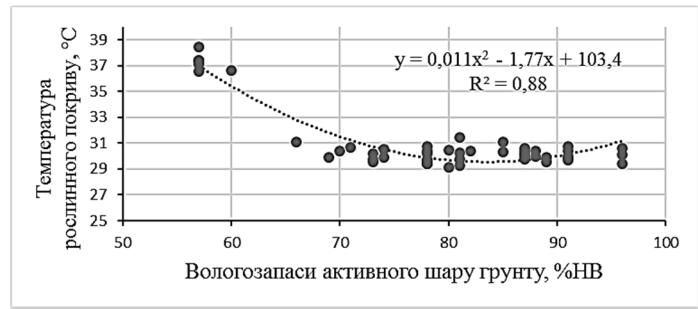
**Рис. 4. Вплив нерівномірного поливу на розвиток сої представлений на карті NDVI станом на 09.07.2016 р.**

Якість управління зрошенням (своєчасність проведення поливів нормою, що забезпечує покриття дефіциту водоспоживання) оцінювалась за картами температури рослинного покриву (LST), що характеризують просторову нерівномірність інтенсивності транспірації культур. Це обумовлено тим, що в процесі транспірації відбувається теплообмін рослини та атмосфери, температура фотосинтезуючих рослин в оптимальних умовах зволоження на знімку (колір інтенсивно-фіолетовий) нижче за температуру відкритого ґрунту (червоний колір) чи температуру на полях із неоптимальними умовами теплообміну внаслідок недополивів (світло-зелений колір) (рис. 5).

Порівнюючи взаємозв'язок LST та вологість ґрунту на різних глибинах, що розрахована за ІС «ГІС Полив», встановлено, що найвища кореляційна залежність між цими показниками спостерігається для кореневмісного 40 сантиметрового (активного) шару ґрунту (рис. 6).



**Рис. 5. Карта температури рослинного покриву за даними ДЗЗ станом на 17 липня 2016 р.**

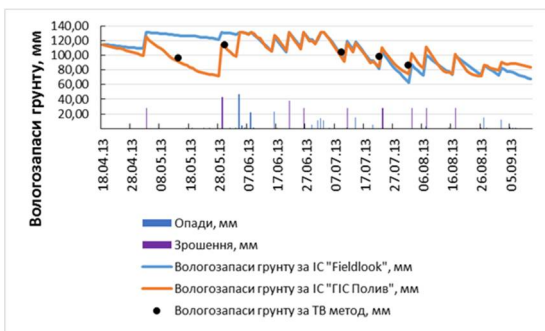


**Рис. 6. Залежність вологозапасів активного шару ґрунту з температурою рослинного покриву станом на 17 липня 2016 р.**

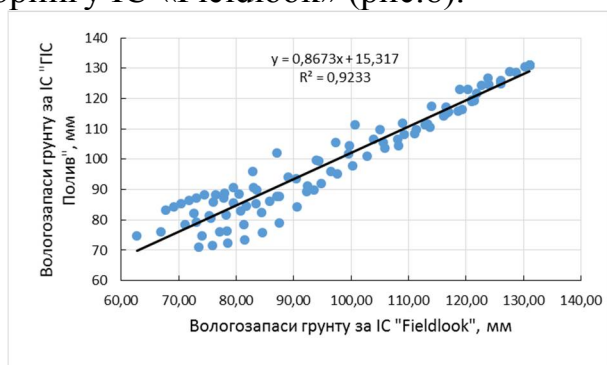
З агрономічних факторів на відмінності у стані та розвитку рослин на площах досліджень впливала наявність різних груп стиглості сої та відмінності в морфологічних особливостях кожного сорту чи гібриду цієї культури. За результатами аналізу динаміки вегетаційних індексів та спостережень за технологіями зрошувального землеробства можна оцінювати, які сорти більш резистентні до впливу атмосферної посухи та які з них потребують коригування параметрів технологій зрошувального землеробства.

У четвертому розділі «Удосконалення інформаційної системи оперативного планування зрошення з використанням даних ДЗЗ» представлено результати уточнення розрахунків сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур за даними наземного та дистанційного моніторингу.

Дослідженнями встановлено, що в оптимальних умовах розвитку сої розрахунок сумарного випаровування цієї культури за ІС «ГІС Полив» має високу точність, що підтверджується термостатно-ваговим методом визначення вологості ґрунту (рис. 7) та даними визначення сумарного водоспоживання на основі системи космічного агромоніторингу ІС «Fieldlook» (рис.8).

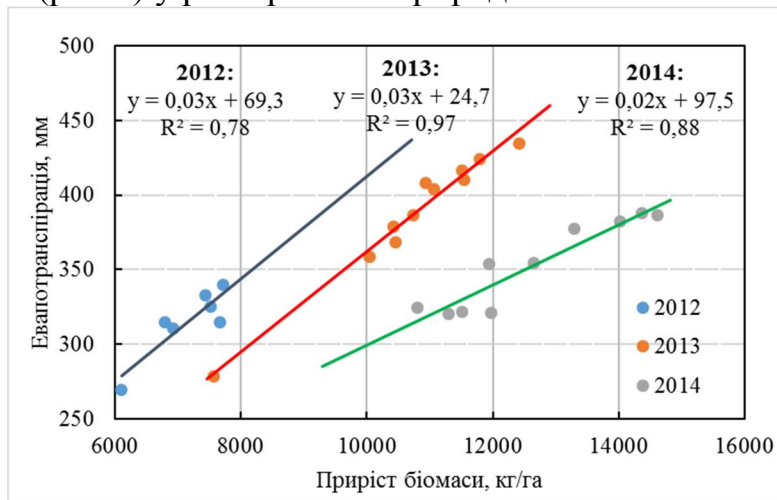


**Рис.7. Вологозапаси активного шару ґрунту на полі сої у 2013 р. в ДП «ДГ «Асканійське», визначені за трьома різними методами**



**Рис.8. Кореляційна залежність між змодельованими даними вологості активного шару ґрунту та даними ДЗЗ в оптимальних умовах**

Оскільки точність розрахунків системи в умовах атмосферної посухи та при нерівномірності дотримання параметрів технологій зрошеного землеробства по площі значно знижується, тому це вимагає постійного коригування результатів розрахунків за даними наземних спостережень та на основі контактів із фахівцями господарств. ІС не враховує відхилення розвитку культур від оптимального з нерівномірною по площі дії природних та господарських умов. За даними досліджень, в таких умовах ІС «Fieldlook» надає більш адекватні результати визначення сумарного випаровування, про що свідчать отримані залежності між сумарним випаровуванням (евапотранспірацією) за даними «Fieldlook» та даними фактичного приросту біомаси на полях (рис.9) у роки різного природного зволоження.



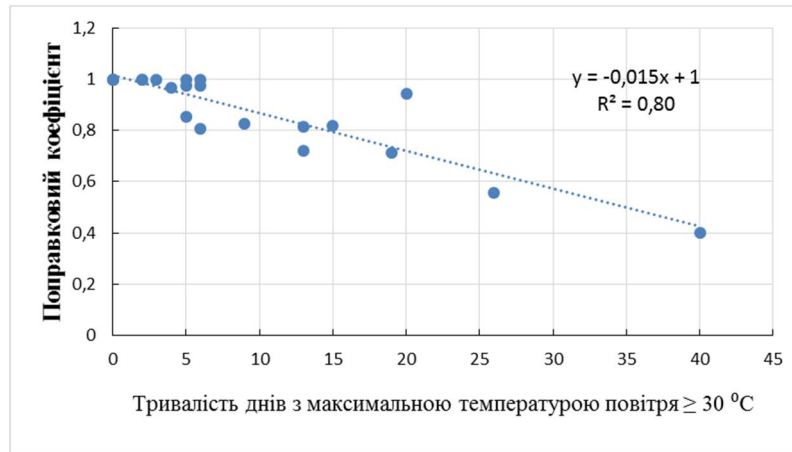
**Рис.9. Залежність між приростом біомаси сої та сумарним випаровуванням за даними ІС «Fieldlook» за вегетаційні періоди 2012-2014 рр.**

Модель розрахунку сумарного випаровування (SEBAL), що застосована у складі ІС «Fieldlook», враховує морфологічні, біохімічні та фізіологічні зміни в розвитку сої при тепловому стресі під час посухи. Зміна продуктивності характеризується оберненою пропорційністю зміни кута нахилу встановленого відношення. На рис. 9 показаний вплив на дану залежність різних умов формування посухи та сорту сої:

- у 2012 р. в неоптимальних умовах, коли на фоні посухи спостерігаються також зниження вологості в активному шарі ґрунту;
- у 2013 р. при оптимальних умовах зволоження ;
- у 2014 р. при вирощуванні селекційно поліпшеного сорту сої.

Однак, в умовах атмосферної посухи навіть за дотримання оптимального діапазону вологозапасів у ґрунті може спостерігатись сповільнення або зупинка росту біомаси. За таких умов для визначення обсягів водопотреби культур при уповільненні приросту біомаси внаслідок редукції сумарного випаровування та зменшення її обсягів необхідно вносити поправкові коефіцієнти до біокліматичних коефіцієнтів водоспоживання культур. Поправкові коефіцієнти визначались як відношення між сумарним випаровуванням за даними космічних знімків (ІС «Fieldlook») та сумарним випаровуванням, що розраховано за ІС «ГІС Полив».

Встановлена залежність тривалості днів із температурами понад 30 °С та величинами поправкових коефіцієнтів до біокліматичних коефіцієнтів водоспоживання. Ця залежність дає можливість визначати поправкові коефіцієнти залежно від тривалості посухи (рис. 10).



**Рис.10. Залежність між поправковим коефіцієнтом до біокліматичного коефіцієнта культур та тривалістю періоду з денними температурами понад 30 °С**

Як показують дослідження, у господарствах щороку змінюється сполучення дії різних природних та господарських факторів, що впливають на стан та розвиток біомаси сільськогосподарських культур на площах полів. У зв'язку з цим, для уточнення розрахунків евапотранспірації потрібний гнучкий підхід до використання різних методів ДЗЗ при плануванні поливів у складі інформаційних систем:

- використання даних сумарного випаровування, що отримані за допомогою моделі радіаційного балансу поверхні землі SEBAL у складі ІС «Fieldlook» та коригування фактичних біокліматичних коефіцієнтів для кожного поля;
- використання ретроспективних даних ІС «Fieldlook» та даних розрахунків сумарного випаровування для визначення поправкових коефіцієнтів до нормативних біокліматичних коефіцієнтів культур залежно від тривалості атмосферної посухи;
- визначення на основі карт нормалізованого диференційного вегетаційного індексу полів і незадовільним станом розвитку посівів для проведення контрольних вимірювань вологості ґрунту та уточнення, за необхідності, розрахунків динаміки вологозапасів у складі ІС оперативного планування поливів.

Для обґрунтування такого підходу виконано SWOT-аналіз наведених варіантів використання методів ДЗЗ та доведено доцільність їх сумісного застосування у складі ІС оперативного планування зрошення.



У п'ятому розділі «Алгоритм та економічна оцінка удосконалення оперативних планів поливів із використанням даних ДЗЗ» викладено результати інтеграції запропонованих методів використання ДЗЗ та даних наземних спостережень для уточнення оперативних планів поливів у складі інформаційної системи оперативного планування зрошення, результати його апробації та економічна оцінка.

У ході впровадження ІС «ГІС Полив» доведено, що використання оперативних карт сумарного випаровування із застосуванням даних ІС «Fieldlook» є економічно недоцільним унаслідок високої вартості даних (вартість варіює залежно від обсягу впровадження від 190 до 400 грн/га в рік) та сучасних умов ведення зрошення в Україні. Тому на полях, де спостерігається неоднорідний стан посівів унаслідок порушення технологій зрошувального землеробства, для уточнення планів поливу найбільш доречним є використання карт NDVI, а в умовах атмосферної посухи також ретроспективних даних ІС «Fieldlook». На рис. 11 представлено схему алгоритму використання методів ДЗЗ та наземних спостережень для уточнення планів поливів ІС «ГІС Полив».



**Рис. 11. Схема алгоритму уточнення планів поливів із використанням даних ДЗЗ та наземних спостережень у складі ІС «ГІС Полив»**

Алгоритм удосконалення оперативних планів поливу включає п'ять етапів, які необхідні для врахування впливу природно-господарських умов на розвиток сільськогосподарських культур.

Перший етап передбачає налагодження постійного моніторингу за станом посівів за картами NDVI та динамікою метеоумов для визначення початку настання атмосферної посухи.

Другий етап включає: відокремлення полів за станом розвитку культур на поля з оптимальним і незадовільним станом посівів, коли спостерігається відхилення значень NDVI для культур певної групи стиглості чи сорту від середнього значення цього показника за всією площею більше ніж на 15 %;

оцінку умов посушливості – наявності атмосферної посухи чи її відсутності за критерієм її прояву (максимальна температура повітря більш як 30 °С, мінімальна вологість повітря менше ніж 30 % та швидкість вітру  $\geq 5$  м/с) та тривалістю безперервного періоду понад 10 днів.

Третій етап полягає в отриманні вхідних даних для коригування результатів моделювання сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур на полях із незадовільним станом посівів та за умов прояву атмосферної посухи на основі проведення контрольних вимірювань вологості ґрунту на полях з незадовільним станом розвитку рослин та розрахунків поправкових коефіцієнтів до нормативних біокліматичних коефіцієнтів залежно від інтенсивності та тривалості атмосферної посухи.

Четвертий етап - уточнення результатів моделювання на полях у періоди, за умов коли сумісно проявляється дія атмосферної посухи та спостерігається незадовільний стан розвитку посівів; уточнення результатів моделювання динаміки вологості ґрунту на даний період та коригування розрахунків водоспоживання та вологості ґрунту на наступний період; коригування розрахунку сумарного водоспоживання на основі використання поправкових коефіцієнтів до нормативних біокліматичних коефіцієнтів в умовах атмосферної посухи.

П'ятий етап – коригування планів поливів за уточненими даними розрахунків сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур та вологості ґрунту для всіх наведених сполучень природних та господарських факторів.

Уточнення за допомогою даного алгоритму планів поливів в умовах просторової нерівномірності розвитку посівів та прояву посухи дозволяє уникнути зайвих витрат водних та енергетичних ресурсів, одержати вищий рівень врожаю та покращити загальну якість процесу управління зрошенням (оперативність, зменшення витрат робочого часу та обсягів наземних обстежень, покращення процесу організаційного менеджменту, поінформованості фахівців та керівників господарств), що доведено на основі впровадження даного алгоритму в ТОВ «Фрідом Фарм Терра» у 2017 та 2019 рр.

Використання методів ДЗЗ у складі інформаційної системи оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив» у цьому господарстві забезпечило підвищення урожайності сої на 0,26 т/га та зменшення витрат на зрошення на 158 грн/га порівняно з сусіднім зрошуваним масивом, де управління велось без залучення даних космічного моніторингу стану посівів. Загалом ефект від впровадження удосконаленої інформаційної системи ІС «ГІС Полив» склав 3056 грн /га.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішується актуальне науково-практичне завдання удосконалення управління зрошенням із використанням даних космічних знімків при оперативному плануванні поливів за допомогою інформаційних систем. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень можливо зробити такі висновки:

1. На основі використання методів дистанційного зондування Землі встановлена суттєва просторова нерівномірність стану та розвитку сільськогосподарських культур унаслідок впливу комплексу природних та господарських факторів (до 50% полів перебувають у неоптимальних умовах вирощування сільськогосподарських культур), який обумовлює варіацію значень урожайності за полями та зменшення продуктивності сільськогосподарських культур.

2. На основі використання даних ДЗЗ встановлено залежності, що визначають вплив дії конкретних природних та антропогенних факторів на погіршення стану та уповільнення приросту біомаси сільськогосподарських культур та зниження їх урожаю:

- за даними системи космічного моніторингу «Feildlook» встановлено вплив тривалості атмосферної посухи, що проявляється за максимальної денної температури повітря більш як 30 °С та мінімальній відносній вологості повітря менше ніж 30% на абсолютний приріст біомаси сої ( $R^2=0,79$ ) і обумовлює суттєве уповільнення приросту біомаси рослин при безперервній тривалості понад 10 днів;

- за картами нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу стану посівів (NDVI) встановлено залежність стану сільськогосподарських культур на територіях зі складним рельєфом від різниці у висотах поверхні Землі над рівнем моря ( $R^2=0,77$ ), що дозволяє визначити поля з неоптимальними умовами розвитку рослин;

- за картами індексів температури рослинного покриву (LST) визначено залежність між значеннями LST та мінливістю вологозапасів у ґрунті по площі полів ( $R^2=0,88$ ), яка дозволяє оцінити якість проведення поливу дощувальною технікою та скоригувати розрахункові значення вологозапасів для даного поля і вживати заходи із забезпечення рівномірного поливу;

- за даними NDVI на полях, де спостерігалось порушення технологій зрошувального землеробства, встановлено залежність впливу стану розвитку сої на її урожайність ( $R^2=0,83$ ).

3. Доведено, що ІС «ГІС Полив» забезпечує високу точність розрахунків сумарного випаровування та динаміки вологозапасів у ґрунті в оптимальних умовах вирощування культур та суттєві похибки у визначенні цих показників при відхиленні умов розвитку рослин від оптимального рівня (атмосферна посуха чи незадовільна якість управління технологіями зрошувального землеробства). Відносна похибка визначення вологозапасів за допомогою ІС «ГІС Полив» у таких умовах перевищує 10 %.



4. Для уточнення розрахунків сумарного випаровування сільськогосподарських культур в умовах атмосферної посухи встановлено поправкові коефіцієнти до нормативних біокліматичних коефіцієнтів сої, що визначені на основі використання карт сумарного випаровування за даними системи космічного моніторингу «Fieldlook», які найбільш точно відображають фактичний стан розвитку біомаси сільськогосподарських культур (залежність між сумарним випаровуванням та приростом фактичної біомаси  $R^2=0,88$ ).

5. Для уточнення планів поливів на полях із неоптимальним дотриманням технологій зрошеного землеробства (просіви, нерівномірність внесення добрив та гербіцидів) розроблено метод їх коригування на основі аналізу карт нормалізованих вегетаційних індексів. У разі відхилення значення NDVI від середнього значення по господарству для даного сорту  $\geq 15\%$  запропоновано проведення на цих полях контрольних вимірювань вологості ґрунту для оцінки точності моделювання сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур та відповідного коригування розрахунків динаміки вологозапасів та планів поливів.

6. За результатами SWOT-аналізу різних методів використання даних ДЗЗ розроблено та апробовано алгоритм їх поєднання у складі інформаційної системи оперативного планування зрошення, що дозволяє підвищити точність розрахунків сумарного водоспоживання (до 90%) і, як наслідок, розробити більш ефективні плани поливів сільськогосподарських культур, що враховують нерівномірність природно-господарських умов.

7. Встановлено економічну ефективність впровадження методу удосконалення оперативного планування зрошення із використанням даних ДЗЗ у складі ІС «ГІС Полив» на землях господарства ТОВ «Фрідом Фарм Терра» у 2017 та 2019 рр. порівняно з результатами її впровадження без використання методів ДЗЗ на контрольній сівозміні сусіднього господарства ТОВ «Магістраль-Сервіс» з аналогічними господарськими та метеорологічними умовами, отриманий прибуток в середньому 3056 грн/га шляхом зростання врожайності сої на рівні 0,26 т/га (у вартісному виразі продукції - 2898 грн/га) та різниці між затратами на проведення поливів між цими господарствами, що склали - 158 грн/га.

### **РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ**

Для впровадження інформаційної системи оперативного планування зрошення та алгоритму застосування ДЗЗ у господарстві необхідно вжити комплекс підготовчих заходів.

1. Створити необхідну матеріально-технічну базу для ефективного впровадження інформаційної системи оперативного планування зрошення, що містить: облаштування автоматичних метеостанцій з радіусом дії до 10 км та пунктів вимірювання опадів на кожній сівозміні господарства, придбання сенсорів вимірювання вологості ґрунту, визначення водно-фізичних властивостей ґрунту.

2. Забезпечити впровадження інформаційної системи оперативного планування зрошення, з використанням методів ДЗЗ та алгоритму коригування

планів поливів для врахування фактичних умов розвитку сільськогосподарських культур на площі господарства, а також провести навчання гідротехніків та агрономів господарства щодо методики впровадження ІС та методів ДЗЗ.

3. Після завершення вегетаційного сезону в господарстві рекомендовано проведення аналізу ефективності використання зрошення на полях господарства та розробка планів стратегічних дій для покращення умов управління зрошенням, а саме: модернізація насосної станції, заміна дощувальної техніки, вирівнювання поверхні полів, застосування препаратів для зменшення дії атмосферної посухи, додаткове навчання фахівців для розширення їх знань щодо отримання та оперативного аналізу даних космічних знімків, проведення на проблемних полях ґрунтових обстежень та коригування технологій внесення добрив, придбання додаткових приладів та ін., наприклад дронів.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Статті, які включено до міжнародних наукометричних баз даних (SCOPUS):*

1. Hoffmann, M., **Butenko, Y.** and Traore, S. Evaluation of Satellite Imagery to Increase Crop Yield in Irrigated Agriculture // *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 2018, Vol. 10, No. 3. PP. 45-55. ISSN 1804-1930. DOI 10.22004/ag.econ.281644. *(Наземні спостереження, аналіз результатів дослідження)*

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

2. Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Амарі А.О., **Бульба Я.О.**, Діденко Н.О., Салюк А. Ф. Нормування водопотреби у зрошенні сільськогосподарських культур з урахуванням сучасних умов водоземлекористування // Міжвідомчий тематичний наук. зб. Меліорація і водне господарство – Київ: Аграрна наука, 2015. – Вип. 102. – С. 49-53 – ISSN 0507-2166. *(Аналіз літературних джерел, узагальнення результатів досліджень)*

3. Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Поліщук В.В., **Бутенко Я.О.** Врахування змін клімату та інтенсивності посух при плануванні зрошення в зоні Південного Степу України // Міжвідомчий тематичний наук. зб. Меліорація і водне господарство – Київ: Аграрна наука, 2018. – Вип. 1 (107). – С. 37-46 <https://doi.org/10.31073/mivg201801-114> *(Аналіз літературних джерел, проведення досліджень узагальнення результатів досліджень, написання статті спільно)*

4. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Філіпенко Л.А., Салюк А.Ф., **Бутенко Я.О.**, Гофман М.В. Оперативне планування зрошення: сучасні виклики, реалії та бачення // Меліорація і водне господарство. 2019. №2. С.55-67. <https://doi.org/10.31073/mivg201902-185> *(Аналіз літературних джерел, проведення досліджень узагальнення результатів досліджень, написання статті спільно)*

5. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Філіпенко Л.А., Салюк А.Ф., **Бутенко Я.О.**, Чорна К.І. Дослідження прояву посухи та її впливу на тепловий режим вегетаційної поверхні сільськогосподарських культур при зрошенні // Меліорація і водне господарство. 2020. №2 С. 39-48. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-263> (Аналіз літературних джерел, проведення досліджень узагальнення результатів досліджень, написання статті спільно)

#### **Публікації за кордоном:**

6. Жовтоног О.И., Амари А.А., Диденко Н.А., **Бульба Я.А.** Методика комплексного подхода оценки природных ресурсов с использованием агромониторинга и агроэкологического моделирования для управления орошением // Сборник научных трудов Азербайджанского научно-производственного объединения Гидротехники и мелиорации за 2014 год, XXXIV том. – Баку, 2015 год, «Элм». – С. 182-186 – ISBN 5-80-66- 1223-6. (Експериментальна частина, обробка даних)

#### **Монографія:**

1. Жовтоног О.І., Шатковський А.П., Поліщук В.В., Філіпенко Л.А., Діденко Н.О., **Бульба Я.О.**, Деменкова Т.Ф., Салюк А.Ф., Гофман М., Чорна К.І., Амарі А.О. Планування та управління зрошенням // В кн. Меліоровані агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України (зони зрошення і осушення) / За ред.: М.І.Ромашенка, Ю.О.Тараріко. – К.; Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2017, С.657-675. (Експериментальна частина, обробка даних)

#### **Нормативні документи:**

1. Жовтоног О.І. Тимчасові районовані норми водопотреби сільськогосподарських культур для зрошення дощуванням / Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Поліщук В.В., Деменкова Т.Ф., Салюк А.Ф., Шостак І.К., Амарі А.О., Діденко Н.О., **Бульба Я.О.**, Чорна К.І. – К., 2015. – 30 с. (Збір та аналіз даних, участь у написанні розділів)

2. Методичні рекомендації з планування зрошення на територіях з урахуванням змін клімату та моделей аграрного виробництва / Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Філіпенко Л.А., Салюк А.Ф., Чорна К.І., **Бульба Я.О.**, Діденко Н.О., Деменкова Т.Ф., Гофман М., Тараріко Ю.О., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Розгон В.А. – К., 2015. – 55 с. (Збір та аналіз даних, участь у написанні розділів)

#### **Тези доповідей та матеріали конференцій:**

1. Жовтоног О.І. Поліщук В.В., **Бульба Я.О.** Впровадження контрольно-вимірювального комплексу у складі інформаційно-обчислювальної системи оперативного планування зрошення // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Сучасні проблеми водогосподарсько-меліоративного комплексу та шляхи їх вирішення», 28-29 квітня 2011 р. - Херсон: ХДАУ, 2011. – С. 144-146.

2. Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Болькіна О.П., **Бульба Я.О.** Інноваційні технології в управлінні зрошенням // Сучасний стан та

перспективи розвитку управління водними ресурсами України: матеріали наук.-практ. конф. 10-11 жовт. 2012 р; м. Київ / ред. кол.: В.А.Сташук та ін. – К.: ДПУЕВР, 2012. – С.61-63.

3. Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Бількіна О.П., **Бульба Я.О.** Використання даних космічних знімків у задачах оперативного планування зрошення // Водні ресурси України та меліорація земель: матеріали міжн. наук.-практ. конф. 22 березня. 2013 р; м. Київ / ред. рада: В.А.Сташук, М.І.Ромащенко та ін. – К.: ІВПіМ НААН України, 2013. – С.22-23.

4. Жовтоног О.І., **Бульба Я.О.**, Бількіна О.П. Застосування дистанційного зондування Землі та наземних спостережень в управлінні зрошенням // Ефективність використання зрошуваних земель: матеріали міжн. наук.-практ. конф. 24-26 червн. 2013 р; м. Херсон / ред. кол.: Р.А.Вожегова та ін. – Херсон: ІЗЗ НААН, 2013. – С.29-30.

5. Жовтоног О. І., Філіпенко Л.А., Найдъонов В.Г., Деменкова Т.Ф., **Бульба Я.О.**, Бількіна О.П., Ватаман А.О., Діденко Н.О. Перевірка та дослідне впровадження інформаційної системи оперативного планування зрошення «ГІС Полив» у ДП ДГ «Асканійське» // Ефективність використання зрошуваних земель: матеріали міжн. наук.-практ. конф. 24-26 червн. 2013 р; м. Херсон / ред. кол.: Р.А.Вожегова та ін. – Херсон: ІЗЗ НААН, 2013. – С.31-33.

6. Мінза Ф. А., Нестеренко В.П., Діденко Н.О., Ватаман А.О., **Бульба Я.О.**, Булигін Д.О. Ефективність застосування «ГІС-Полів» при обґрунтуванні режимів зрошення сої на півдні України // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Вода – основа життєдіяльності» / Випуск 7. – Херсон: РВВ «Колос», 19-20 березня 2014 р. – С. 51-52.

7. Жовтоног О.І., Амарі А.О., Діденко Н.О., **Бульба Я.О.** Застосування агроекологічного моделювання та методів сучасного моніторингу для планування зрошення // Матеріали II міжн. наук.-практ. конф., присвяченої всесвітньому Дню Води (Вода і енергія) / Держводагентство України. – Київ: ДПЕВР, 21 березня 2014 р. – С. 127-128.

8. Жовтоног О.І., Філіппенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Поліщук В.В., Діденко Н.О., **Бульба Я.О.**, Амарі А.О., Салюк А.Ф. Інформаційно-програмний комплекс планування зрошення ІС «Зрошення» // Матеріали III міжн. наук.-практ. конференції, присв. 100-річчю від дня народження першого міністра меліорації і водного господарства України М.А. Гаркуші (Досягнення та перспективи розвитку водогосподарської галузі) / Держводагентство України. – Київ: ДПЕВР, 11-12 вересня 2014 р.; м. Київ / ред. кол.: В.А.Сташук [та ін.] – К.: ДПУЕВР, 2014. – С. 77-79.

9. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., **Бульба Я.О.**, Діденко Н.О. Застосування методів ДЗЗ для цілей управління зрошуваним землеробством // Матеріали наук.-практ. конф., присв. Всесвітньому дню води (тематика 2015 року – «Вода і сталий розвиток»), ІВПіМ НААН, К., С. 46-47.

10. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Салюк А.Ф., **Бульба Я.О.** Впровадження інформаційних систем планування зрошення на засадах ресурсоефективності // Перспективні напрями розвитку водного господарства, будівництва і

землеустроювання: Сборник матеріалів Междун. научн.-практ. конф. – Херсон: Изд-во ПП «ЛТ - Оффис», 2016. – С. 214-217.

11. **Бульба Я.О.** Застосування методів космічного моніторингу у системах підтримки прийняття рішень з оперативного планування зрошення // Перспективні напрями розвитку водного господарства, будівництва та землеустроювання: Сборник матеріалів междун. научно-практ. конф. – Херсон: Изд-во ПП «ЛТ - Оффис», 2016. – С. 220-221.

12. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Діденко Н.О., **Бульба Я.О.**, Салюк А.Ф. Планування зрошення за даними наземного та дистанційного моніторингу у складі інформаційних систем // Матеріали наук.-практ. конф. «Управління водними ресурсами в умовах змін клімату», присв. Всесвітньому дню води, ІВПіМ НААН, Київ, 2017. – С.197-199.

13. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Діденко Н.О., Бульба Я.О., Салюк А.Ф. Інструменти підтримки прийняття рішень у зрошуваному землеробстві за даними наземного та дистанційного моніторингу // "Вода: проблеми та шляхи вирішення". Збірник статей Науково-практичної конференції із міжнародною участю, м. Рівне, 5-8 липня 2017 року. – Житомир: Вид-во ЕЦ «Укрєкобіокон», 2017. – С. 108-114.

14. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Деменкова Т.Ф., Гофман М., Салюк А.Ф., Філіпенко Л.А., **Бутенко Я.О.**, Чорна К.І. Покращення управління зрошенням на основі порівняльної оцінки стану його використання на окремих полях на зрошуваних масивах.// Природа для води: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., присв. Всесвітньому Дню водних ресурсів (Київ, 22.03.2018 р.)

15. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Філіпенко Л.А., **Бутенко Я.О.**, Салюк А.Ф. Вплив якості управління поливами на ресурсоефективність використання зрошення // Матеріали міжн. наук.-практ. конф. «Вода для всіх», 21 березня 2019, м. Київ, Київ: ТОВ ЦП Компрінт, 2019.- С.228-229.

16. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Філіпенко Л.А., **Бутенко Я.О.**, Салюк А.Ф., Хоменко А.В. Підтримка прийняття рішень у зрошуваному землеробстві за даними наземного та дистанційного моніторингу // Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: збірник наукових праць. – Херсон: ДВНЗ "ХДАУ", 2019. - С.68-72.

#### АНОТАЦІЯ

**Бутенко Я.О.** Удосконалення управління зрошенням з використанням даних космічних знімків – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.02 – сільськогосподарські меліорації (сільськогосподарські науки). – Інститут водних проблем і меліорації НААН України, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі наведено наукове обґрунтування використання даних космічних знімків для удосконалення управління зрошенням на площах великих господарств півдня України.

З метою розробки методів удосконалення управління зрошенням на площах великих господарств було проведено багаторічні комплексні дослідження з використанням даних космічних знімків та наземних спостережень.

Для досягнення поставленої мети в дослідженнях використовувались польові, статистичні й розрахунково-порівняльні методи. Польові дослідження виконували протягом 2012-2017 рр. на великій кількості виробничих полів у трьох господарствах Херсонської та Запорізької областей на загальній площі 7236,7 га, де велось впровадження ІС «ГІС Полив».

Основним результатом роботи є врахування просторової нерівномірності процесів росту біомаси та сумарного випаровування сільськогосподарських культур (за даними ДЗЗ) в інформаційних системах оперативного планування зрошення, що дозволяє підвищити точність розрахунків та відповідно ефективність прийняття управлінських рішень.

З цією метою розроблено та апробовано спеціальний алгоритм використання методів ДЗЗ у складі ІС «ГІС Полив», що найкращим чином дозволяє врахувати фактичний стан розвитку сільськогосподарських культур в умовах реального виробництва внаслідок:

- визначення поправкових коефіцієнтів до біокліматичних коефіцієнтів сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур в умовах атмосферної посухи;

- виявлення полів із незадовільним станом посівів для проведення контрольних вимірювань вологості ґрунту та при необхідності уточнення розрахунків планів поливів та прогнозу сумарного водоспоживання сільськогосподарських культур на наступний розрахунковий період.

Розроблений алгоритм було апробовано в ході впровадження ІС «ГІС Полив» у ТОВ «Фрідом Фарм Терра» Запорізької обл. протягом 2017- 2019 рр. На полях господарства ефект від впровадження методів ДЗЗ склав у середньому 3056 грн/га, шляхом прибавки врожаю сої та внаслідок різниці між затратами на проведення поливів порівняно з контрольною сівозміною сусіднього господарства.

**Ключові слова:** оперативне планування поливів, інформаційна система, дистанційне зондування Землі, управління зрошенням, дощування, соя

### **АННОТАЦІЯ**

Бутенко Я.А. Усовершенствование управления орошением с использованием данных космических снимков - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.01.02 - сельскохозяйственные мелиорации (сельскохозяйственные науки). - Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины, Киев, 2021.

В диссертационной работе приведено научное обоснование использования данных космических снимков для совершенствования управления орошением на площадях крупных хозяйств юга Украины.

С целью разработки методов совершенствования управления орошением на площадях крупных хозяйств были проведены многолетние комплексные исследования с использованием данных космических снимков и наземных наблюдений.

Для достижения поставленной цели в исследованиях использовались полевые, статистические и расчетно-сравнительные методы. Полевые исследования выполняли в течение 2012-2017 гг. на большом количестве производственных полей в трех хозяйствах Херсонской и Запорожской областей на общей площади 7236,7 га, где велось внедрение ИС «ГИС Полив».

Основным результатом работы является учет пространственной неравномерности процессов роста биомассы и суммарного испарения сельскохозяйственных культур (по данным ДЗЗ) в информационных системах оперативного планирования орошения, что позволяет повысить точность расчетов и соответственно эффективность принятия управленческих решений.

С этой целью разработан и апробирован специальный алгоритм использования методов ДЗЗ в составе ИС «ГИС Полив», который наилучшим образом позволяет учесть фактическое состояние развития сельскохозяйственных культур в условиях реального производства за счет:

- определения поправочных коэффициентов к биоклиматическим коэффициентам суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в условиях атмосферной засухи;

- выявления полей с неудовлетворительным состоянием посевов для проведения контрольных измерений влажности почвы и при необходимости уточнение расчетов планов поливов и прогноза суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур на следующий расчетный период.

Разработанный алгоритм был апробирован в ходе внедрения ИС «ГИС Полив» в ООО «Фридом Фарм Терра» Запорожской обл. в течении 2017 и 2019 гг. На полях хозяйства эффект от внедрения методов ДЗЗ составил в среднем 3056 грн/га за счет прибавки урожая сои и за счет разницы между затратами на проведение поливов в сравнении с контрольным севооборотом соседнего хозяйства.

**Ключевые слова:** оперативное планирование поливов, информационная система, дистанционное зондирование Земли, управление орошением, дождевание, соя

## SUMMARY

**Butenko Ya.O. Improving irrigation management via using remote sensing data** - Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy Degree in Agricultural Sciences on a specialty 06.01.02 agricultural ameliorations (agricultural sciences) - Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis provides a scientific substantiation for the use of space imagery data to improve irrigation management in the areas of large farms in the south of Ukraine.

To develop methods to improve irrigation management on large farms, long-term comprehensive studies were conducted using space imagery data and ground-

based observations.

To achieve this goal, field, statistical and computational methods were used in the research. Field research was performed during 2012-2017 in a large number of production fields on three farms in Kherson and Zaporizhia regions in a total area of 7236.7 hectares, where the Information System "GIS Polyv" was implemented.

The main result of the work is proving the necessity of taking into account the spatial unevenness of biomass growth and evapotranspiration of crops (according to remote sensing data) in the information systems of operational irrigation schedule, which improves the accuracy of calculations and, accordingly, the effectiveness of management decisions.

For this purpose, a special algorithm for the use of remote sensing methods in the IS "GIS Polyv" has been developed and tested, which best enables to take into account the actual condition of crops development in real production due to:

- determining correction factors to crop coefficients of total water consumption of crops in conditions of atmospheric drought;
- identifying fields with unsatisfactory condition of crops for control the measurements of soil moisture and, if necessary, clarifying the irrigation plans and forecast for total water consumption of crops for the next calculation period.

The developed algorithm was tested during the implementation of IS "GIS Polyv" in LLC "Freedom Farm Terra" in Zaporizhia region during 2017-2019. In the fields of the farm, the effect of the implementation of remote sensing methods averaged 3056 UAH/ha, due to the increase in soybean yield and due to the difference between the costs of irrigation compared to the reference crop rotation of the neighboring farm.

**Keywords:** operational irrigation schedule, information system, remote sensing, irrigation management, sprinkling, soybean