

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ПІД ОЗИМУ ПШЕНИЦЮ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Ільїна В.Г., Нікітін П.С.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
agroecology87@gmail.com, Vilina653@gmail.com

Дослідження впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області має велике значення для забезпечення стабільного врожаю та підвищення його якості. У даній роботі проведено комплексний аналіз впливу різних кліматичних та метеорологічних умов на поглинання азотних добрив на ріст, розвиток та формування врожаю озимої пшениці. Моделювання проводилося на агрофоні України, що характеризується відносно сприятливим кліматом для вирощування цієї культури. Використаний апарат математичного моделювання включає аналіз фізіологічних показників рослин, визначення маси та якості врожаю, а також статистичну обробку отриманих даних.

Результати дослідження показали, що на поглинання азотних добрив в значній мірі впливають умови зволоження ґрунту та температурний режим. Виявлено оптимальні умови для поглинання азотних добрив в Одеській області з урахуванням функцій впливу фактичної та оптимальної температури повітря для ефективного внесення цих видів добрив. Також було встановлено, що на поглинання азотних добрив значний вплив мають фізико-хімічні характеристики ґрунтів. В умовах півдня України, найбільш розповсюдженими типами ґрунтів є південні чорноземи. Саме для цього типу ґрунтів проводилося математичне моделювання.

Отже, отримані результати свідчать про важливість урахування факторів навколишнього середовища для раціонального внесення азотних добрив при вирощуванні озимої пшениці в Одеській області. Це може сприяти підвищенню ефективності вирощування культури, забезпеченню стійкості до стресових умов та збільшенню прибутковості сільськогосподарського виробництва. Врахування отриманих даних дозволить оптимізувати технології вирощування озимої пшениці та забезпечити стабільні та високі врожаї. *Ключові слова:* озима пшениця, азотне живлення, ріст, розвиток, субмодель, прогнозування, оптимізація, продуктивність, температурний коефіцієнт, швидкість денітрифікації.

Modeling the influence of agrometeorological conditions on the efficiency of nitrogen nutrition for winter wheat in Odesa region. Iliina V., Nikitin P.

Studying the influence of agrometeorological conditions on the efficiency of nitrogen fertilization for winter wheat in the Odesa region is crucial for ensuring stable yields and enhancing their quality. This study conducts a comprehensive analysis of the impact of various climatic and meteorological conditions on nitrogen fertilizer uptake for the growth, development, and yield formation of winter wheat. Modeling was conducted in the agroclimate of Ukraine, characterized by a relatively favorable climate for this crop. The mathematical modeling apparatus used included the analysis of plant physiological indicators, determination of yield quantity and quality, as well as statistical processing of the obtained data.

The research results indicate that soil moisture conditions and temperature regime significantly affect nitrogen fertilizer uptake. Optimal conditions for nitrogen fertilizer absorption in the Odesa region were identified considering the functions of actual and optimal air temperature for the effective application of these fertilizers. It was also found that soil physicochemical characteristics have a significant impact on nitrogen fertilizer uptake. In the conditions of southern Ukraine, the most common soil types are southern chernozems. Mathematical modeling was specifically conducted for this soil type.

Therefore, the obtained results emphasize the importance of considering environmental factors for the rational application of nitrogen fertilizers in winter wheat cultivation in the Odesa region. This can contribute to increasing the efficiency of crop cultivation, ensuring resilience to stressful conditions, and enhancing the profitability of agricultural production. Incorporating this data will allow for the optimization of winter wheat cultivation technologies and ensure stable and high yields. *Key words:* winter wheat, nitrogen nutrition, growth, development, submodel, forecasting, optimization, productivity, temperature coefficient, denitrification rate.

Постановка проблеми, актуальність. Озима пшениця є однією з найважливіших зернових культур в Україні, а Одеська область – одним з основних її виробників. Зростання потреб населення та постійне оновлення сортів озимої пшениці зумовлюють необхідність удосконалення, які б забезпечували високу продуктивність та якість

зерна. Традиційні методи дослідження впливу азотного живлення на ріст та розвиток озимої пшениці є трудомісткими, затратними та не дають можливості прогнозувати їх розвиток в мінливих умовах середовища, тому математичне моделювання може стати ефективним інструментом для вирішення цієї проблеми.

Розробка та впровадження математичної моделї впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області:

1. Оптимізувати систему удобрення та підвищити ефективність використання добрив.
2. Прогнозувати вплив різних факторів (грунту, клімату, сорту) на ріст та розвиток озимої пшениці.
3. Розробити рекомендації по оптимальним умовам внесення азотних добрив з урахуванням процесів денітрифікації.
4. Зменшити негативний вплив добрив на якісні характеристики врожаю озимої пшениці.

Метою роботи є оцінка впливу метеорологічних та кліматичних умов на ефективність азотного живлення для росту та розвитку озимої пшениці за допомогою математичного моделювання, що є найсучаснішим методом дослідження в агроекологічній науці. Об'єктом дослідження є посіви озимої пшениці в Одеській області.

Виклад основного матеріалу. Моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області є ключовим аспектом для підвищення виробництва рослинної продукції та оптимізації сільського господарства. Успішне вирощування рослин вимагає глибокого розуміння кліматичних та агрометеорологічних умов, а також ефективне використання цієї інформації для вибору відповідних сортів рослин.

Одним з ключових елементів успішної аграрної діяльності є вибір сортів рослин, що найкраще адаптовані до конкретного клімату. Інформація про температурні режими, опади та властивості ґрунту дозволяє підібрати оптимальні сорти культур, які будуть найбільш продуктивними в даному регіоні [1].

Крім того, планування сільськогосподарських робіт неможливе без урахування кліматичних умов. Аналіз даних про клімат допомагає визначити оптимальний час для посіву, обробки полів, зрошення або водоочищення, що забезпечує максимальний врожай та допомагає уникнути втрат через негативні погодні умови.

Розуміння агрокліматичних ресурсів також дозволяє ефективно розвивати сільське господарство. Адаптація до кліматичних змін та вирощування стійких та продуктивних культур є ключовими для забезпечення стабільного виробництва та внеску сільського господарства в харчову безпеку та економіку країни. Прогнозування обсягів виробництва на основі цих даних допомагає забезпечити ефективне використання ресурсів та стабільний розвиток галузі [2].

Для моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області використано інформацію про вміст основного складового мінерального добрива у ґрунтах районів Одеської області за 2010–2021 роки, яка наведена на рисунку 1 [3, 4].

Спостерігається загальне зростання норм внесення азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області з 2010 по 2021 рр. Це може бути пов'язано з низкою факторів, до яких відносяться збільшення потреби у продуктах харчування, до яких належить зерно озимої пшениці, що і стимулює аграріїв до інтенсифікації виробництва. Впровадження нових технологій вирощування озимої пшениці, які передбачають більш високі норми внесення добрив призводить до урахування впливу факторів, які визначають отримання більш високих та стійких врожаїв цієї культури.

Норми внесення азотних добрив відрізняються між різними районами Одеської області. Найвищі

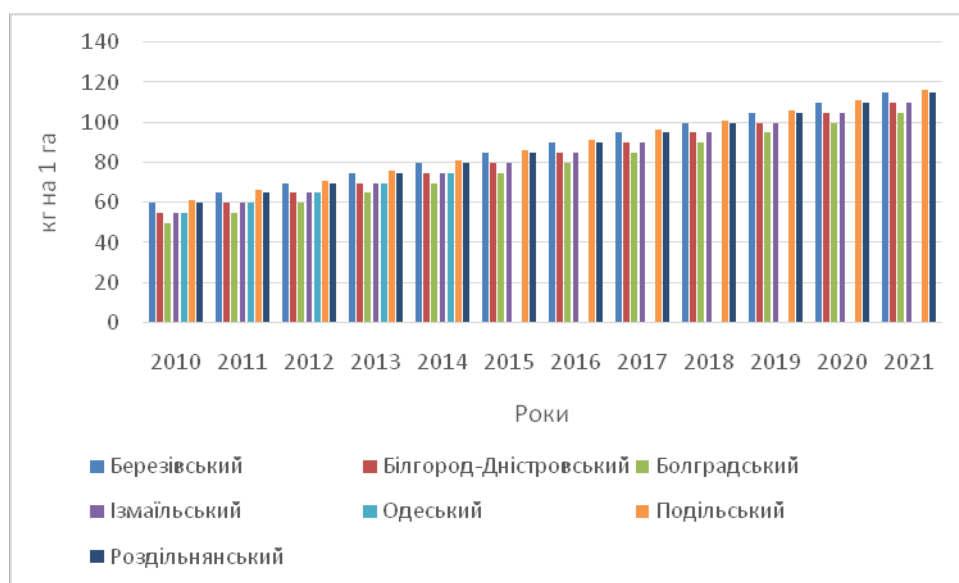


Рис. 1. Внесення азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області

норми зазвичай вносяться в Березівському, Білгород-Дністровському, Подільському та Роздільнянському районах. Найнижчі норми – в Одеському та Болградському районах. Це може бути пов'язано з різними факторами, такими як ґрунтово-кліматичні умови, особливості сівозмін та інші. Внесення азотних добрив має свої варіації в залежності від етапів росту рослин.

Для моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області було використано математичну модель, яка наведена у [5].

Для визначення забезпеченості рослин азотом використовується субмодель азотного живлення. Застосування субмоделей, які досить докладно описують перетворення азотних сполук у ґрунті, обмежується відсутністю необхідних початкових даних. У зв'язку з цим для моделі «погода – урожай 3» розроблено спрощений азотний блок, який використовує для розрахунку початкових даних процентний вміст гумусу у ґрунті й умови навколишнього середовища за осінньо-весняний період.

Вміст доступного рослинам мінерального ґрунтового азоту N_k для трьох ґрунтових шарів 0–20, 20–50 і 50–100 см визначається шляхом розв'язання системи рівнянь [5]:

$$\frac{dN_k}{dt} = H_k + \delta_k U_N - h_k + V_{k-1} - V_k - A_k, \quad (1)$$

де H_k – мінералізація легкогідролізуемого органічного азоту k -го шару ґрунту; U_N – кількість мінеральних добрив з урахуванням їх іммобілізації; δ_k – логічна перемінна, яка має значення $\delta_k = 1$ для першого шару ґрунту в день внесення добрив і $\delta_k = 0$ у всіх інших випадках; V_{j-1} і V_k – потоки мінерального азоту з водою через верхню і нижню межі k -го шару ґрунту: для $k = 1$ величина $V_{k-1} = 0$; h_k – денітрифікація; A_k – поглинання азоту рослинами з k -го шару ґрунту.

Основне поповнення запасів доступного мінерального азоту у ґрунті відбувається за рахунок мінералізації (різниця мінералізації й іммобілізації) легкогідролізуемого органічного азоту N_G , що міститься у ґрунті. При записі виразу для швидкості мінералізації приймається, що вона залежить від наявності субстрату N_G , здатності ґрунту перетворювати субстрат – легкогідролізуемий органічний азот у мінеральний C_H , а також температури і вологості ґрунту:

$$H_k = C_{Hk} N_{Hk} \Phi_{Hk} \Psi_{Hk}, \quad (2)$$

де Ψ_{Hk} – коефіцієнт вологості для мінералізації; Φ_{Hk} – температурний коефіцієнт мінералізації, який дорівнює:

$$\Phi_{Hk} = \exp \left[-a_\phi \left(T_{pk} - T_p^{opt} \right)^2 \right], \quad (3)$$

де a_ϕ – параметр; T_{pk} – середня температура k -го шару ґрунту, яка розраховується на підставі

отриманих напівемпіричних співвідношень, що зв'язують різницю температури ґрунту і середнє багаторічне її значення з площею фітомаси і відхиленнями температури повітря і кількості годин сонячного сяйва від відповідних середніх багаторічних величин; T_p^{opt} – оптимальна для мінералізації температура ґрунту.

Аналогічно (2) записується рівняння для розрахунку швидкості денітрифікації:

$$h_k = C_{hk} N_k \Phi_{hk} \Psi_{hk}, \quad (4)$$

де C_{hk} N_k – можлива швидкість денітрифікації; C_h – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту; Φ_{hk} – температурний коефіцієнт;

Ψ_{hk} – коефіцієнт вологості.

При моделюванні впливу погодних умов на поглинання азотних добрив ідентифіковані параметри моделі стосовно агрометеорологічних умов Одеської області з урахуванням потреб озимої пшениці у факторах навколишнього середовища та норм і видів внесення азотних добрив.

На рисунку 2 проаналізовано температурний коефіцієнт мінералізації при внесенні азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області.

На рисунку 2 представлено графік динаміки температурного коефіцієнта мінералізації (ТКМ) ґрунту при внесенні азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області протягом вегетаційного періоду. Графік відображає дані для трьох районів Одеської області.

Згідно з графіком, ТКМ протягом вегетаційного періоду має нелінійний характер. У період третьої декади квітня спостерігається незначне зниження ТКМ у всіх агрокліматичних зонах. У першій декаді травня ТКМ починає зростати, досягаючи максимуму у другій та третій декаді травня. У першій декаді червня ТКМ поступово знижується.

Зростання ТКМ у травні можна пояснити підвищенням температури ґрунту. Згідно з даними багаторічних спостережень, середня температура ґрунту в Одеській області в цей період становить 10–15°C. При таких температурах активізуються процеси мінералізації органічних речовин, що призводить до збільшення концентрації розчинених мінеральних добрив у ґрунті.

Внесення азотних добрив також може впливати на ТКМ. Азотні добрива стимулюють ріст і розвиток мікроорганізмів, які беруть участь у процесах мінералізації. Це може призводити до додаткового збільшення ТКМ. Динаміка ТКМ у різних агрокліматичних зонах може відрізнятися. Це може бути обумовлено різними факторами, такими як тип ґрунту, вміст органічних речовин, вологість ґрунту, агротехнічні прийоми тощо.

На рисунку 3 приведена динаміка швидкості денітрифікації внесених азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області. Денітрифікація – це природний процес, в якому азотні сполуки, зокрема

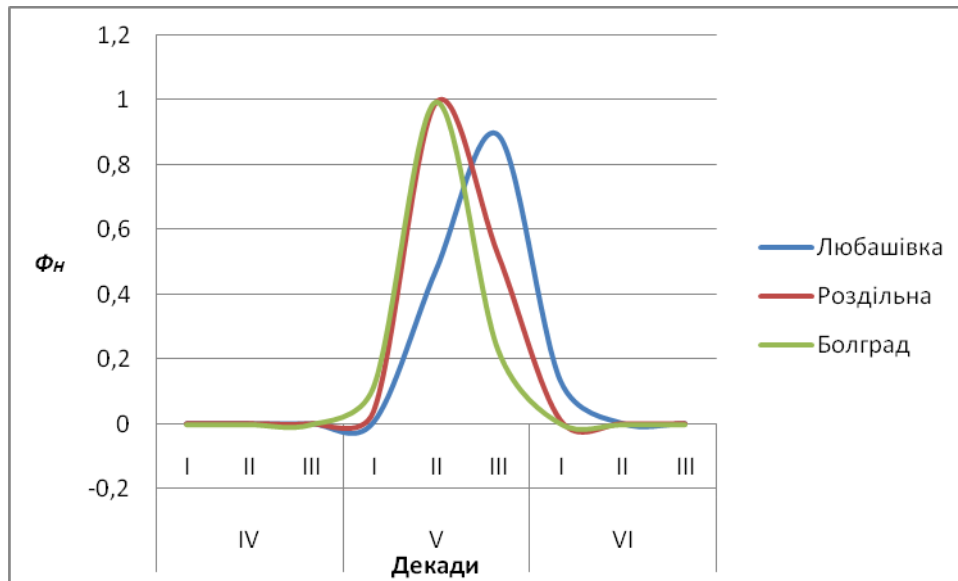


Рис. 2. Температурний коефіцієнт мінералізації азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області

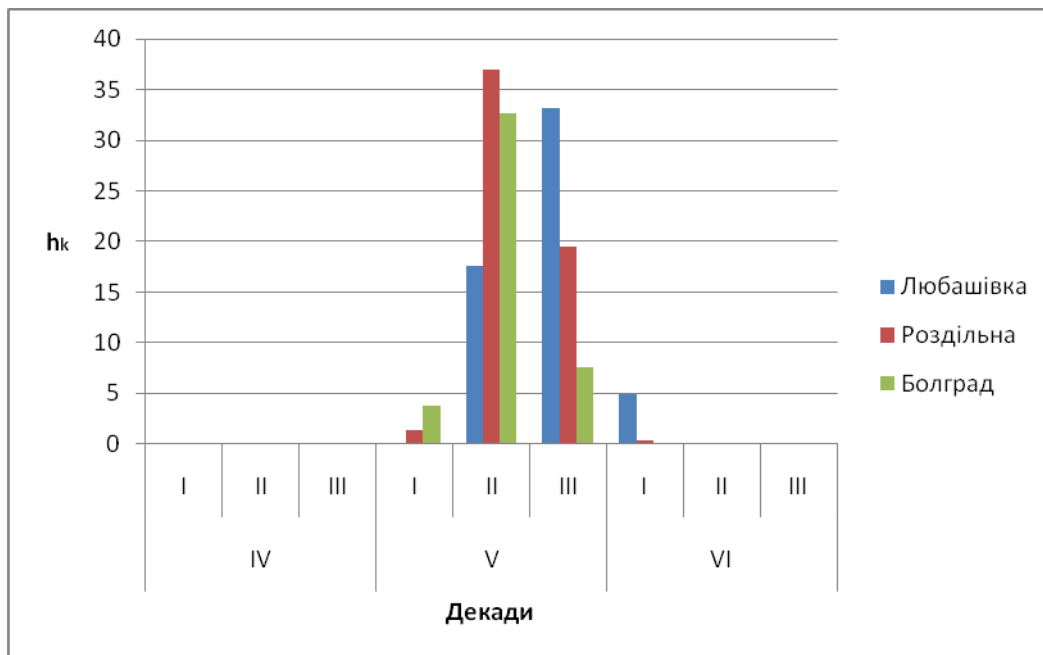


Рис. 3. Динаміка швидкості денітрифікації внесених азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області

нітрати і нітрити, перетворюються на азотні гази і виводяться з ґрунту або водного середовища.

Цей процес здійснюється денітрифікуючими бактеріями, які відсутні в органічних системах. Денітрифікація є одним з екологічно важливих процесів в природних екосистемах, оскільки вона допомагає підтримувати баланс азоту та запобігати надмірній концентрації азотних сполук, яка може мати негативний вплив на екосистеми і здоров'я людей.

З рисунку видно, що швидкість денітрифікації азотних добрив під озиму пшеницю в Одеській області значно змінюється протягом вегетаційного

періоду. Найвища швидкість денітрифікації спостерігається в травні-червні коли відбувається максимальний вегетативний ріст рослин озимої пшениці, і накопичення максимальної маси рослин. Це пов'язано з тим, що в цей період рослини активно поглинають азот, що призводить до накопичення нітратів і нітритів у ґрунті.

У першій декаді травня швидкість денітрифікації нижча, ніж у другій та третій декаді травня. Це пов'язано з тим, що в цей період рослини ще не так активно поглинають азот. У третій декаді травня та в першій декаді червня швидкість денітрифікації

знову зростає. Це пов'язано з тим, що в цей період озима пшениця нагромаджується в стеблі, що призводить до розкладання органічних речовин і вивільнення азоту в ґрунт.

Головні висновки. Озима пшениця, як ключова зернова культура в Україні, вимагає постійного удосконалення вирощування для забезпечення високої продуктивності та якості зерна. Зростання потреб населення та постійне оновлення сортів створюють необхідність в пошуку ефективних методів удобрення та дослідження їх впливу на ріст та розвиток культури. Розробка та впровадження моделювання впливу агрометеорологічних умов на ефективність азотного живлення під озиму пшеницю в Одеській області є кроком у напрямку оптимізації системи удобрення, прогнозування впливу різних факторів та розвитку нових продуктивних сортів. Математичне моделювання дозволяє оптимізувати систему удобрення та підвищити ефективність використання добрив, що є ключовим для підвищення врожайності та зниження впливу на довкілля. Моделювання надає можливість прогнозувати вплив різних факторів, таких як ґрунтові та кліматичні умови, на ріст та розвиток озимої пшениці, що сприятиме кращому розумінню та плануванню вирощування. Результати дослідження, отримані за допомогою моделювання, можуть використовуватися для вирощування нових сортів озимої пшениці з підвищеним потенціалом продуктивності та стійкістю до змін у середовищі. Дослідження динаміки азотного живлення та його впливу на ґрунтові процеси в Одеській області підкреслюють важливість системного підходу до вирощування озимої пшениці, що включає в себе як агротехнічні, так і екологічні аспекти.

Використання результатів дослідження. Результати цього дослідження мають значний потенціал для практичного використання в аграрному секторі, зокрема для оптимізації вирощування озимої

пшениці в Одеській області з урахуванням умов для денітрифікації.

1. Підвищення ефективності внесення добрив: З урахуванням динаміки температурного коефіцієнта мінералізації (ТКМ) ґрунту та швидкості денітрифікації азотних добрив можна розробити оптимальний графік внесення добрив, що дозволить максимізувати їх ефективність та знизити ризик надмірного витрати.

2. Адаптація агротехнік: З урахуванням різниці в нормах внесення добрив між різними районами області можна розробити рекомендації з агротехніки, що враховуватимуть специфіку кожного району і допоможуть оптимізувати вирощування пшениці.

3. Моделювання ризиків та планування: На основі динаміки ТКМ та швидкості денітрифікації можна розробити рекомендації для оптимізації та прогнозування ризиків, пов'язаних з надмірним або недостатнім внесенням добрив, що допоможе аграріям планувати свої дії з вирощування культур.

4. Екологічні аспекти: Розуміння процесів денітрифікації також може сприяти розробці агрокультурних практик, спрямованих на зменшення негативного впливу аграрного виробництва на навколишнє середовище.

5. Дослідження та інновації: Отримані дані можуть послужити основою для подальших досліджень та інновацій у галузі сільського господарства, наприклад, розробки оптимальних методів внесення добрив та створення умов для отримання більш високих та стійких врожаїв озимої пшениці, які будуть більш адаптовані до специфіки ґрунтів та кліматичних умов Одеської області.

Ці можливості показують, що результати дослідження можуть бути корисними для практичного використання в аграрному секторі, сприяючи підвищенню врожайності та стійкості сільськогосподарського виробництва.

Література

1. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса. ТЕС, 2012. 612 с.
2. Кирнасівська Н.В. Землеробство та рослинництво: конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2008. 283 с.
3. Звіти / Департамент екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації. Офіційний веб-портал. URL: <https://ecology.od.gov.ua/zvity/> (дата звернення: 12.09.2023).
4. Статистична інформація. Сільське, лісове та рибне господарство. Рослинництво (1995–2022) / Головне управління статистики в Одеській області. Офіційний веб-портал. URL: <http://od.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 02.10.2023).
5. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: підручник. Одеса: Екологія, 2013. 436 с.