

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра теоретичної та прикладної хімії

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**зі спеціальності 102 «Хімія»**  
**за освітньою програмою «Прикладна хімія»**

Тема роботи: Вплив температури на кінетичні показники розчинення складних  
мінеральних добрив

Виконав  
студент Гоменюк Віталій  
Володимирович

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

\_\_\_\_\_

оцінка, дата

Керівник  
канд. техн. наук, доцент,  
Большаніна Світлана Борисівна

Підпис \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Секретар ЕК

\_\_\_\_\_

прізвище, підпис

Суми 2023

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 розділів і загальних висновків. Загальний обсяг роботи 54 сторінки, зокрема 5 рисунків, 14 таблиць, 40 літературних джерел.

Предметом бакалаврської кваліфікаційної роботи є кінетичні показники розчинення складних комплексних добрив і концентрацій основних елементів, що вивільняються залежно від температури.

Робота складається з трьох частин : 1. Огляд літературних джерел; 2. Характеристика об'єктів та опис методик і методів дослідження; 3. Вивчення кінетичних закономірностей процесів вивільнення основних компонентів добрива для живлення рослин;

Об'єкт дослідження – вплив температури на кінетичні показники складних комплексних добрив.

Головною метою цієї кваліфікаційної роботи є визначення дії температури на процес розчинення добрив та вивчення кінетики вивільнення основних елементів при різних параметрах температури.

У роботі виконано дослідження впливу температури на кінетичні показники добрив та вивільнення з них основних компонентів.

Ключові слова: добрива, органо-мінеральні добрива, біочар, капсулювання, температура, фосфат, азот.

## **ABSTRACT**

Bachelor's degree qualifying work consists of entry, 3 sections and general conclusions. The complete volume of work 54 p., including 5 pict., 14 tabl., 40 literary sources.

The purpose of bachelor's degree qualifying work is the kinetic indicators of the dissolution of complex fertilizers and the concentrations of the main elements that are released depending on the temperature.

Work consists of four parts: 1. Review of literary sources; 2. Characterization of objects and description of research methods and methods; 3. Study of the kinetic regularities of the processes of release of the main components of fertilizer for plant nutrition;

A research object is the effect of temperature on the kinetic indicators of complex fertilizers.

The primary objective of this qualifying work is to determine the effect of temperature on the fertilizer dissolution process and to study the kinetics of the release of the main elements at different temperature parameters.

In this work is executed study of the effect of temperature on the kinetic indicators of fertilizers and the release of the main components from them.

Keywords: fertilizers, organo-mineral fertilizers, biochar, encapsulation, temperature, phosphate, nitrogen.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	7
1.1. Агрохімічні властивості основних типів ґрунтів Сумської області.....	7
1.1.1. Хімічний склад ґрунту .....	8
1.1.2. Вплив на родючість ґрунтів інших показників .....	15
1.2. Дослідження існуючих добрив .....	17
1.2.1. Огляд мінеральних добрив .....	18
1.2.2. Огляд органічних добрив .....	28
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ТА ОПИС МЕТОДИК І МЕТОДІВ ДОСЛІЖЕННЯ .....	31
2.1. Склад та формування гранул комплексного добрива .....	31
2.2. Технологічна схема процесу .....	32
2.3. Методи досліджень .....	33
2.4. Методики досліджень .....	35
2.4.1. Методика дослідження кінетики розчинення добрив .....	35
2.4.2. Методика визначення фосфатів фотометричним методом.....	36
2.4.3. Методика визначення азоту формальдегідним методом .....	37
РОЗДІЛ 3 ВИВЧЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИВІЛЬНЕННЯ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ДОБРИВА ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН .....	39
3.1. Вплив температурних режимів на процес розчинення комплексних добрив у модельних розчинах .....	39
3.2. Визначення вмісту розчинених азоту та фосфору у фільтраті.....	42
ВИСНОВОК .....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	49

## ВСТУП

Наразі добрива є незамінними джерелами основних поживних елементів для рослин, таких як фосфор, азот та калій, що відповідають за безліч життєво-важливих процесів рослин і тому впливають на їх ріст, розвиток та врожайність. Недостатня кількість основних елементів призводить до виснаження ґрунту, тобто він втрачає рухомі поживні речовини, що знижує його ефективну родючість і врожайність сільськогосподарських культур. Причому надмірне внесення добрив призводить до забруднення ґрунту шкідливими елементами, які знижують якість рослинницької продукції. Також відбувається підвищення концентрації мінеральних солей у ґрунті, внаслідок чого руйнується структура ґрунту, в овочах накопичуються шкідливі для здоров'я нітрати та фосфати. Водорозчинні компоненти добрива розмиваються і потрапляють до ґрунтових вод і водойм, що негативно впливає на навколишнє середовище [1].

Щоб уникнути цього, потрібно ефективно та раціонально використовувати мінеральні добрива, враховуючи можливий вплив температури на кінетичні показники розчинення та вивільнення основних поживних елементів при даних параметрах. Крім того розчинність добрива впливає на його тривалість, що являється суттєвим показником.

*Метою* даної роботи є визначення дії температури на процес розчинення добрив та вивчення кінетики вивільнення основних елементів при різних параметрах температури.

*Завдання роботи:*

- 1) розглянути агрохімічні властивості основних типів ґрунтів Сумщини;
- 2) провести огляд мінеральних та органічних добрив;
- 3) здійснити аналіз складу та формування гранул комплексного добрива;

4) визначити вплив температурних режимів на процес розчинення комплексних добрив у модельних розчинах та вихід з них NP;

5) проаналізувати отримані результати та порівняти отримані кінетичні залежності розчинення і надходження NP із відомими традиційними добривами.

*Об'єкт* – вплив температури на кінетичні показники складних комплексних добрив.

*Предмет* – кінетичні показники розчинення складних комплексних добрив і концентрацій основних елементів, що вивільняються залежно від температури.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1. Агрохімічні властивості основних типів ґрунтів Сумської області

Сумська область розташована в межах двох агрокліматичних зон - полісся та лісостепу. Полісся розташоване на півночі області і характеризується в основному дерново-слабо- і середньо-підзолистими ґрунтами, в тому числі глеюватими та оглеєними. Лісостеп займає більшу частину області та представлений переважно чорноземами типовими. У північній частині лісостепової зони виділяється перехідна зона. Ґрунтовий покрив перехідної зони представлений чорноземами опідзоленими та сіро-лісовими ґрунтами [2].

Більш детально основні типи ґрунтів області зображено на рисунку 1.1, на якому показано відношення основних агровиробничих ґрунтів орних земель у % до загальної площі Сумської області.



Рисунок 1.1 – Основні агровиробничі ґрунти орних земель Сумської області[3]

За рисунком наглядно видно, що ґрунтовий покрив складається більше із чорнозему типового – 55,3 %, темно-сірого опідзоленого та чорнозему опідзоленого – 14,2 %, дерново-підзолистого супіщаного та легкосуглинкового – 8,3 %, ясно-сірого, сірого опідзоленого – 8,1 % та лучно-чорноземного – 3,5 %. Інші ґрунти займають набагато меншу площу.

Якість ґрунту визначається агрохімічними властивостями ґрунту. До таких показників відноситься хімічний склад ґрунту (вміст гумусу, вміст основних поживних елементів) та значення рН.

Агрохімічна оцінка ґрунтів області є одним із найвищих в Україні та в середньому становить 51 бал (від 42 до 58 балів). Родючість ґрунтів області за вказаною шкалою вища за середню порівняно з іншими регіонами України [2].

Загалом агрохімічні властивості ґрунту є важливими показниками, які визначають можливості самого існування рослин, їх ріст та розвиток, і якість та кількість отриманого врожаю. Також вони дозволяють зрозуміти, які елементи ґрунту знаходяться в дефіциті і відносно цього використовувати відповідні мінеральні та органічні добрива.

### *1.1.1. Хімічний склад ґрунту*

Одним з основних компонентів ґрунту являється гумус. Вміст гумусу є одним з найважливіших критерієм родючості ґрунту, оскільки у ньому міститься до 98% ґрунтових запасів азоту, до 60 % фосфору та до 80 % сірки ґрунту, а також вітаміни та стимулятори росту. Вміст гумусу впливає на фізичні властивості ґрунтів, такі як їх структурний стан, водостійкість агрегатів, загальна пористість, вологемність, буферність та інші важливі показники [4].

Вилучення поживних елементів у мінеральну форму відбувається внаслідок мінералізації гумусу. Поновлення гумусу відбувається за рахунок надходження органічних речовин з післязбиральними залишками культур, органічними добривами, насінням, а також за рахунок мікроорганізмів [5].



Існує групування ґрунтів за вмістом гумусу, визначене методом Тюріна (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Групування ґрунтів за вмістом гумусу [6]

<b>Вміст гумусу</b>	<b>Показник, %</b>
Дуже низький	< 1,1
Низький	1,1-2,0
Середній	2,1-3,0
Підвищений	3,1-4,0
Високий	4,1-5,0
Дуже високий	> 5,0

Ґрунти з дуже низьким вмістом гумусу являють собою неродючі ґрунти та не можуть задовольнити потреби поживних елементів для рослин. Низький та середній вміст гумусу відповідають малородючим ґрунтам. Інші мають достатню родючість для повноцінного живлення рослин протягом їх життєвого циклу. Наприклад, для озимої пшениці, ярого ячменю, соняшнику оптимальний вміст повинен бути більший за 3,5%, а для жита, вівса, льону та картоплі – 3,0 % [6].

На 2019 рік Сумська область має наступні співвідношення площі області до вмісту гумусу:

Таблиця 1.2 – Розподіл ґрунтів Сумської області за вмістом гумусу [7,8]

<b>Вміст гумусу</b>	<b>Площа області, %</b>
Дуже низький	15,2
Низький	24,2
Середній	28,5
Підвищений	20,4
Високий	10,6
Дуже високий	1,1

В регіоні переважають ґрунти з середнім і низьким вмістом гумусу, що становить 52,7% території області. Також досить багато неродючих ґрунтів – 15,2%. Вони розміщуються на півночі області, а на півдні розташовані більш родючі ґрунти, що відповідає кліматичним зонам та відповідним їм ґрунтам. Це добре видно, якщо розглянути вміст гумусу в адміністративних районах (рис. 1.2).

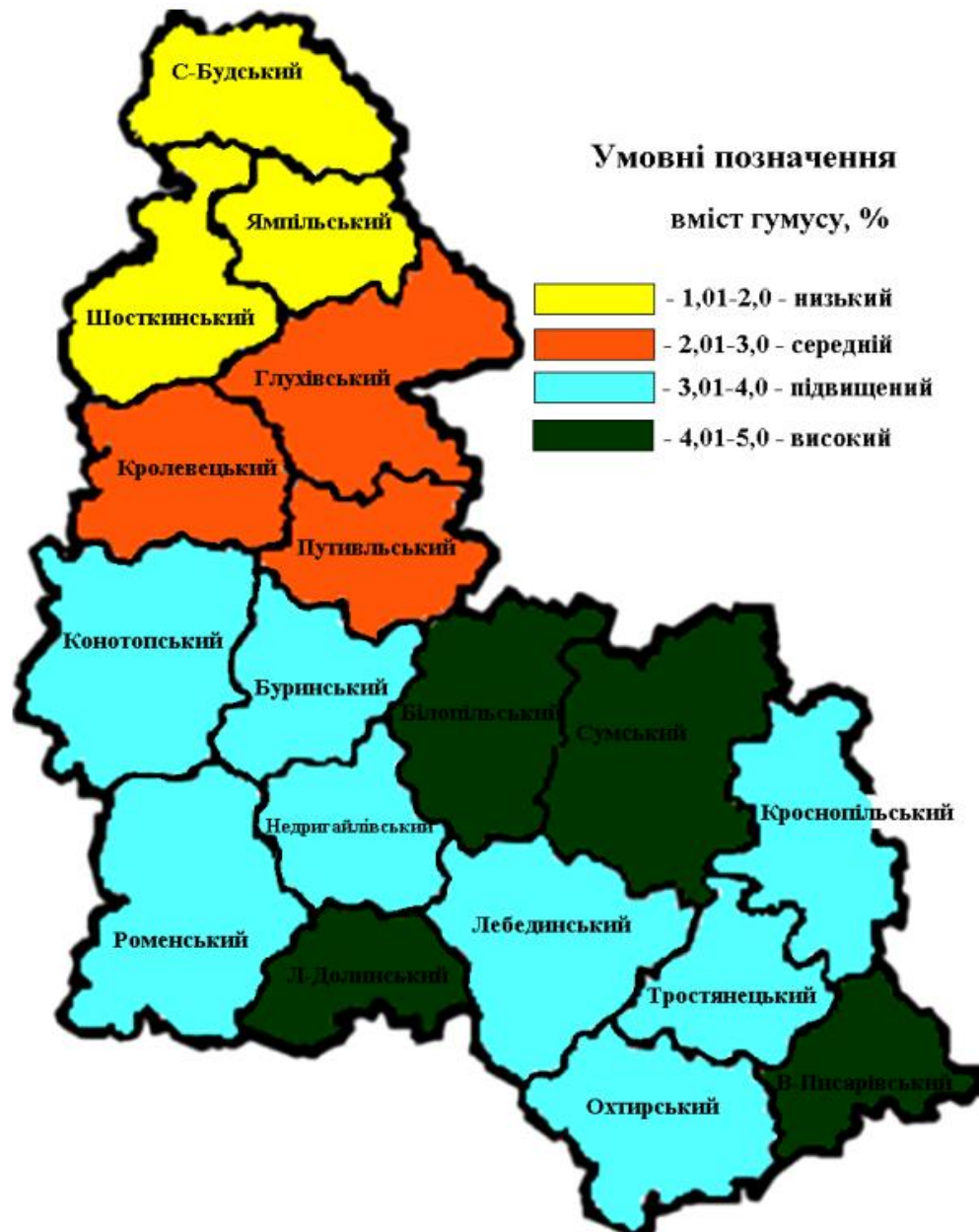


Рисунок 1.2 – Картосхема вмісту гумусу в ґрунтах Сумської області [7]

Як бачимо, в Сумській області сформувалися чітко виражені зональні групи районів з різним вмістом гумусу. Північні райони мають низький вміст гумусу; середній вміст – центральні-північні райони (Глухівський, Кролевецький та Путивльський). Підвищений вміст гумусу мають усі південні райони, за винятком чотирьох (Липоводолинського, Білопільського, Великописарівського та Сумського), де вміст гумусу в ґрунтах оцінюється як високий.

Окрім вмісту гумусу, до хімічного складу ґрунту належать основні поживні елементи рослин, що являються макроелементами: азот, фосфор та калій.

Азот є одним з біогенних елементом, який входить до складу багатьох органічних сполук (білок, хлорофіл, нуклеїнові кислоти тощо). Вміст азоту в рослинних білках досягає інколи 20 % . Вміст азоту з ґрунту на достатньому рівні забезпечує повний ріст та розвиток рослини, саме тому він є одним з основних показників родючості ґрунту.

Азот існує у багатьох формах, але використовувати рослини можуть лише азот у мінеральній формі - амонійний ( $\text{NH}_4^+$ ) та нітратний ( $\text{NO}_3^-$ ). Мінерального азоту від загального вмісту азоту в ґрунті міститься приблизно 1%. Інша частина знаходиться в різних формах органічних сполук, що входять до складу гумусу, рослинних решток, мікроорганізмів.

Для характеристики вмісту азоту, як критерій, в основному використовують мінеральний азот, що характеризує забезпеченість рослин на момент визначення, або азот, що легко гідролізується, що є найближчим резервом мінерального азоту і показує потенційне забезпечення азотом рослин.

Фосфор — один із найцінніших поживних елементів. Він бере участь у розвитку кореневої системи, процесі фотосинтезу, синтезу вуглеводів, білків і жирів. Міститься у тканинних молекулах, таких як нуклеїнові кислоти (ДНК і РНК пов'язані між собою фосфорними зв'язками), фосфоліпіди і аденозинтрифосфорна кислота (АТФ), що відповідає за енергетичну функцію. З

фосфором тісно пов'язана продуктивність рослин та якість сільськогосподарської продукції.

Фосфор в ґрунті зустрічається в двох формах - органічній і неорганічній. В органічних формах знаходиться приблизно від 30 до 65 відсотків загального фосфору ґрунту. Органічний фосфор знаходиться у складі гумусу, рослинних/тваринних решток, мікроорганізмів, і є недоступним для живлення рослин [9]. Основним джерелом фосфору для рослин являється неорганічний фосфор, а саме солі ортофосфатної кислоти ( $H_3PO_4$ ), що здатна дисоціювати на три рухливі аніони:  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ , які споживаються кореневими системами рослин.

На відміну від азоту та фосфору калій не входить до складу органічних сполук клітин і перебуває в іонній формі. Але він також відіграє важливу роль у життєдіяльності рослин. Калій пов'язаний з переміщенням води, поживних речовин і вуглеводів в тканинах рослин. Він бере участь в активації ферментів всередині рослини, що впливає на вироблення білка, крохмалю і АТФ. Через це під впливом калію підсилюється нагромадження крохмалю в бульбах картоплі, сахарози в цукровому буряку та моноцукрів у низці плодових та овочевих культур. Калій підвищує холодостійкість і зимостійкість рослин (у результаті збільшення осмотичного тиску клітинного соку), стійкість рослин до грибкових і бактеріальних захворювань.

Калій зустрічається в ґрунті в трьох формах: у вигляді обмінного (1-2%), необмінного (1-9%) та мінерального (90-98%).

Мінеральний калій міститься в польовому шпаті, слюдяному піску та гірських породах. Рослини не можуть використовувати його в цій кристалічно-нерозчинній формі. Згодом ці мінерали вивітрюються або руйнуються, виділяючи калій, однак цей процес занадто повільний, щоб забезпечити повні потреби цього елемента для рослин.

Необмінний калій являє собою більш доступну форму, але затримується між шарами глинистих мінералів. Тому він повільно поглинається рослинами, що також не вистачає для повного вегетаційного періоду.

Легкодоступним для рослин служить обмінний калій, що складається з розчиненого у ґрунтовому розчині калію і утримується на обмінних позиціях глини і органіки. Цей калій є "обмінним", оскільки його можна замінити іншими позитивно зарядженими іонами (катіонами), такими як водень, кальцій і магній. Цей обмін відбувається швидко та часто і таким чином рослини забирають калій з ґрунтового розчину [10, 11].

Найбільш популярними показниками забезпеченості фосфору та калію у ґрунті є рухомий калій та рухомий фосфор. Вони визначаються за кількома методиками (Кірсанова, Чирікова або Мачигіна). Як і для вмісту гумусу, так і для вмісту основних поживних елементів існує групування ґрунтів (табл. 1.3-1.4).

Таблиця 1.3 - Групування ґрунтів за вмістом фосфору та калію [6]

Показник	Метод визначення	Ступінь забезпеченості				
		Низький	Середній	Підвищений	Високий	Дуже високий
$P_2O_5$ , мг/кг						
Вміст рухомого фосфору	Кірсанова	< 50	51-100	101-150	151-250	250 >
	Чирікова	< 50	51-100	101-150	151-200	200 >
	Мачигіна	< 15	16-30	31-45	46-60	60 >
$K_2O$ , мг/кг						
Вміст обмінного калію	Кірсанова	< 80	81-120	121-170	171-250	250 >
	Чирікова	< 40	41-80	81-120	121-180	180 >
	Мачигіна	< 100	101-200	201-300	301-400	400 >

Таблиця 1.4 - Групування ґрунтів за вмістом азоту [6]

Ступінь забезпеченості	Вміст гідролізованого азоту		Мінеральний азот (NH <sub>4</sub> + NO <sub>3</sub> )
	За Тюрнім Коновою	За Корнфілдом	
	N, мг/кг		
Дуже низький	< 30	< 100	< 10
Низький	31-40	101-150	11-15
Середній	41-50	151-200	16-24
Підвищений	51-70	200 >	25-30
Високий	71-100	-	31-35
Дуже високий	100 >	-	35 >

Середньозважений показник вмісту азоту, що гідролізується, за Корнфілдом в сумській області за 2017 рік становить 104,6 мг/кг [8]. Що говорить про низький вміст азоту в області.

Фактичний вміст фосфору та калію відносно групуванню ґрунтів за 2017 рік наведено у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 - Частка (%) ґрунтів з відповідним вмістом фосфору та калію, визначеного за методикою Чирікова [7,8]

Площа ґрунтів, %					Середньозважени й показник, мг/кг
Низький	Середній	Підвище ний	Високий	Дуже високий	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
0,18	55,06	43,9	0,7	0,2	88,6
K <sub>2</sub> O					
0,02	50,4	47,0	1,8	0,99	86,2

Найбільше ґрунтів із середнім та підвищеним вмістом цих поживних елементів. Що ніби виглядає добре, але не є достатнім для життєдіяльності рослин. Так, середньозважений показник фосфору та калію дорівнює 88,6 і 86,2 мг/кг відповідно, а оптимальним вміст цих елементів для різних сільськогосподарських культур має бути в межах 120-130 і 100-170 мг/кг [4,6]. Це означає, що в області фосфор та калій також знаходяться у недостатку.

Для поповнення вмісту основних поживних елементів треба вносити до ґрунту органічні та мінеральні добрива.

### *1.1.2. Вплив на родючість ґрунтів інших показників*

Для використання ґрунту в сільськогосподарській діяльності, вони повинні володіти певними властивостями та бути продуктивними.

Ґрунт повинен мати оптимальну реакцію ґрунтового розчину, інакше кажучи рН розчину. Загалом рН – це логарифмічний показник концентрації іонів водню. Використовується через незручність застосування абсолютних показників, вони мають дуже малі значення.

Показник впливає на кількість поживних речовин і хімічних речовин, розчинних в ґрунтовій воді, а значить, і на кількість поживних речовин, доступних рослинам. Деякі поживні речовини більш доступні в кислому середовищі, тоді як інші більш доступні в лужному. Наприклад при значенні рН близько 8,0 у вапняних ґрунтах відбувається осадження фосфору у вигляді малорозчинних фосфатів кальцію. В кислотних умовах фосфор випадає в осад у вигляді Fe або Al фосфатів, що мають низьку розчинність [12]. Це все говорить про те, що концентрація іону водню повинна бути в оптимальному діапазоні.

Бажаний діапазон рН для оптимального росту рослин варіюється серед сільськогосподарських культур. Але найбільш сприятливою для росту і розвитку більшості сільськогосподарських культур вважається нейтральна або близька до нейтральної (слабокисла і слаболужна) реакція ґрунтового розчину (рН=6,5-7,5).

До того ж нейтральна реакція ґрунтового розчину позитивно впливає на корисні ґрунтові мікроорганізми [4].

Крім цього варто відмітити, що на врожайність сільськогосподарських культур впливає клімат, особливо температура. Більшість ґрунтових процесів, що визначають ефективну родючість ґрунту, тісно пов'язані з показниками вологозабезпеченості та температури (біологічна активність, синтез і мінералізація органічних речовин, рухливість елементів живлення та активність їх поглинання рослинами, біологічне накопичення азоту тощо) [13].

Збільшення температури призводить до зростання біологічної активності, що значить збільшення переробки органічної речовини, посилення процесу газообміну і переміщення вологи в ґрунті. Температура ґрунту впливає на газообмін між ґрунтом і атмосферним повітрям. Вона також визначає вологозабезпеченість рослин. При зниженні температури всі процеси сповільнюються, а при температурі нижче 0 °С волога замерзає в ґрунті і не може засвоюватися корінням рослин. При температурі нижче -10 °С практично вся волога замерзає, що є критичним для життєдіяльності рослин [14].

При збільшенні температури і зниженні вологості повітря зменшується рухливість поживних речовин і водночас уповільнюється ріст кореневої системи рослини. Більша частина необхідного азоту надходить через масообмінний потік, де його розчинні форми переміщуються з водою до коренів рослин і поглинаються ними. Надходження фосфору і калію в коріння відбувається шляхом дифузії. Такий рух поживних речовин значно сповільнюється в умовах посухи через зниження швидкості транспірації [13,15].

При низьких температурах значно послаблюється надходження до рослин азоту і фосфору. Так, засвоєння рослинами азотом і фосфором за температури ґрунту 5 °С у 3 рази нижча, ніж за температури 20 °С. При цьому за низьких температур підвищується відносно засвоєння кальцію і магнію, але послаблюється засвоєння калію [16].



Нестача основних елементів призводить до серйозних негативних наслідків у рослинництві, що спричиняє зниження врожайності та погіршення якості харчових продуктів і кормів. Наприклад, дефіцит фосфору викликає порушення процесу фотосинтезу (зниження вироблення АТФ та накопичення НАДФ у відновленій формі), що означає затримку росту [17].

Загалом оптимальна температура для посівів становить 15-30 °С. Але вона відрізняється в залежності від виду і сорту сільськогосподарських культур, зокрема оптимальна температура для проростання ячменю – 20° С, для пшениці і жита – 25° С, для кукурудзи і сорго – 32-35° С, для огірків – 35° С. За такої температури рослини ростуть і розвиваються найбільш інтенсивно [18].

## **1.2. Дослідження існуючих добрив**

Для забезпечення сільськогосподарських культур необхідних елементів застосовують добрива. Це неорганічні або органічні сполуки, що підвищують родючість ґрунту та збільшують врожайність і якість культурних рослин. На даний час існує велика кількість добрив, які використовують щодо ситуації з вмістом елементів у ґрунті. Так якщо в ґрунті недостатньо фосфору, то використовують фосфорні добрива.

Добрива класифікують за походженням, агрегатним станом, видами елементів, характером дії на рослини.

За походженням існує два основних типів добрив:

- мінеральні, що виробляють на хімічних підприємствах;
- органічні, які являють собою продукти органічного походження.

За агрегатним станом добрива розділяють на тверді, рідкі (наприклад, аміак, водяні розчини й суспензії) і газоподібні (наприклад, діоксид вуглецю). Тверді добрива бувають порошкоподібні і гранульовані.

За видами елементів виділяють азотні, фосфорні, калійні, комплексні та мікродобрива. Комплексні добрива мають декілька основних елементів.

Мікродобрива – це специфічні добрива локального застосування, що містять у своєму складі мікроелементи, в доступній для рослин формі. Ефективність таких добрив проявляється на ґрунтах з чітко вираженою нестачею певного мікроелемента і на культурах, які більше потребують окремих мікроелементів.

За характером дії на рослини бувають:

- Добрива прямої дії вносять безпосередньо в ґрунт для забезпечення рослин потрібними елементами живлення (азотні, фосфорні, калійні тощо).
- Добрива побічної дії застосовують для поліпшення властивостей ґрунту і мобілізації в них поживних речовин. Наприклад, для нейтралізації кислотності ґрунту вносять вапняні добрива, тим самим, покращується режим живлення рослин [19].

### ***1.2.1. Огляд мінеральних добрив***

#### *1.2.1.1. Азотні добрива*

Азотні добрива – це прості мінеральні добрива, в яких основним поживним елементом являється азот. Виділяють наступні основні форми азоту у складі добрив: амонійна (солі амонію — фосфати, сульфат тощо), нітратна (солі нітратної кислоти — кальцієва, калієва) і амідна (карбамід  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ).

Амонійна форма ( $\text{NH}_4^+$ ) добре зв'язується з ґрунтом, поступово засвоюється рослиною, навіть за невисокої температури. Аміачна форма сприяє росту кореневої системи, кущінню, кращому засвоєнню фосфору, сірки, бору. Амонійні добрива являються фізіологічно кислими, тому добре засвоюються на лужних ґрунтах. В основному таку форму використовують для передпосівного внесення. Міститься у селітрі, аміачній воді, амофосі, нітрофосці.

Нітратна форма ( $\text{NO}_3^-$ ) засвоюється кореневою системою найшвидше, але не затримується ґрунтом, отже може швидко вимиватись у глибші шари. Такий процес називається вилуговуванням, який негативно впливає на живлення

рослин. Так 3 мм опадів вимивають нітрати на 1 см вглиб, тобто якщо за місяць випало 60 мм дощу, нітрати перемістяться на 20 см глибше. Нітратні добрива найкраще засвоюються при високих температурах і на кислих ґрунтах. Ця форма азоту сприяє кращому засвоєнню калію, магнію і кальцію. Вона є найкращою для додаткового живлення, тому її рекомендується застосовувати в періоди інтенсивного росту рослин.

Амідна форма ( $\text{NH}_2$ ) безпосередньо рослинами не засвоюється, але у ґрунті перетворюється спочатку до аміачної форми, а пізніше до нітратної. Амідні добрива характеризуються повільною дією та працюють швидше за вищих температур. Внесення амідної форми позитивно впливає на зменшення акумуляції нітратів у рослині. Така форма добре підходить для позакореневого підживлення, оскільки добре засвоюється рослинами через надземну частину. Для основного внесення кращим азотним добривом є сечовина, в якій нітроген перебуває в амідній формі і не вимивається в глиб ґрунту. Проте за низьких температур вона втрачає свою ефективність [20,21].

Найважливіші азотні добрива, їх хімічна формула та вміст азоту наведено у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Найважливіші азотні добрива [19,20]

Назва добрив	Хімічна формула	Вміст азоту, %
Аміак рідкий	$\text{NH}_3$	82,3
Аміак водний	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	16,5 – 20,5
Амоній сульфат	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	19,9 – 21
Амоній нітрат	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	32 – 35
Кальцій нітрат	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	13 – 15
Натрій нітрат	$\text{NaNO}_3$	15 – 16
Карбамід	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46 – 46,5
Карбамідо-формальдегід	$\text{NH}_2\text{CONHCH}_3$	33 – 42

Найбільше азоту міститься в аміаку рідкому (82,3%), але при внесенні цього добрива спостерігається найбільша частка втрати. Карбамід та карбамідоформальдегід мають також досить великий вміст азоту, враховуючи повільну дію амідної форми, вони можуть служити джерелом азоту в ґрунті протягом тривалого часу.

Варто відмітити амоній нітрат (аміачна селітра), яка має у своєму складі відразу нітратну та амонійну форми азоту. За рахунок цього воно володіє хорошими властивостями та показує добру ефективність. Так перша форма вступає в роботу відразу, а друга характеризується повільним поступовим засвоєнням. Амоній сульфат, крім азоту в амонійній формі, забезпечує сірку, яка впливає на синтез білків, вуглеводів та ферментів. Добриво відноситься до розчинних у воді, що дозволяє йому швидко проникати до кореневої зони рослин і стати доступним для їх живлення.

Кальцій та натрій нітрат менш популярні, оскільки, незважаючи на переваги, мають недоліки. Так вони у своєму складі мають натрій та кальцій, які є також необхідними елементами для вирощування культур. Але натрій нітрат являється досить дорогим, а значний вміст натрію може призвести до збільшення солевмісту в ґрунті. Кальцій нітрат належить до важко розчинних добрив та має у своєму складі значний вміст кальцію, що для деяких рослин може зменшити доступність інших макро- та мікроелементів.

#### *1.2.1.2. Фосфорні добрива*

Одними з основних простих добрив являються фосфорні добрива. Основним поживним елементом у фосфорних добривах виступає фосфор, який знаходиться у вигляді аніонів ортофосфатної кислоти. Загалом фосфорні добрива поділяють на 3 групи:

1) Водорозчинні. Вони є легкодоступними для всіх рослин. Сюди входять однозаміщені солі ортофосфатної кислоти (суперфосфати, суперфоси);

2) Напіврозчинні або цитраторозчинні, що є нерозчинними у воді, але розчинні у слабких кислотах. Такі добрива характеризуються частковою доступністю для живлення рослин. Це двозаміщені солі фосфорної кислоти – преципітат, знефторений фосфат;

3) Нерозчинні у воді та слабких кислотах. До цієї групи належать тризаміщені солі, що є важкодоступні для рослин. Наприклад фосфоритне і кісткове борошно.

В таблиці 1.7 представлені основні фосфорні добрива. Вміст фосфору розрахований у перерахунку на  $P_2O_5$ .

Таблиця 1.7 – Найважливіші фосфорні добрива [19,20]

Назва добрив	Хімічна формула	$P_2O_5$ , %
Суперфосфат простий	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + H_3PO_4 + CaSO_4$	14 – 21
Суперфосфат подвійний	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + H_3PO_4$	40 – 52
Преципітат	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	27 – 40
Знефторений фосфат	$3CaO \cdot P_2O_5 + 4CaO \cdot P_2O_5$	20 – 38
Фосфатні шлаки	$4CaO \cdot P_2O_5 + 5CaO \cdot P_2O_5 \cdot SiO_2$	14 – 20
Фосфоритне борошно	$Ca_3F(PO_4)_3$	16 – 35

Найпопулярнішим и поширенішим виступає суперфосфат, оскільки вважається найшвидше діючим і підходить абсолютно для всіх сільськогосподарських культур без обмежень. У своєму складі містить 14-21%  $P_2O_5$ . Таке добриво також є хорошим джерелом сірки і кальцію, які підтримують засвоєння азоту. Ці елементи знаходяться у формі сульфату кальцію, який не належить до легкорозчинних сполук, що обмежує швидку доступність компонентів та забезпечує їх повільне вивільнення впродовж усього вегетаційного періоду. Використовується як самостійне добриво або в складі сумішей. Прекрасно впливає на розвиток рослин, зростає їх стресостійкість і холодостійкість, підвищує врожайність усіх культур [22].

Суперфосфат подвійний (потрійний) - відрізняється від простого високою концентрацією фосфору до 52 % та відсутністю кальцію сульфату, що збільшує розчинність добрива. Подвійний суперфосфат рекомендують вносити для збагачення ґрунту восени, але можна використовувати і для прикореневої підгодівлі. За рахунок більш складного процесу, його ціна вища, ніж простого суперфосфату, однак, це компенсується більш високою концентрацією фосфору.

Преципітат - це концентроване добриво з вмістом фосфору 27 – 40 %. У складі добрива знаходиться двозаміщена сіль фосфорної кислоти, внаслідок чого добриво особливо ефективне на кислих ґрунтах. Його використовують на всіх видах ґрунтів для основного внесення і можуть додавати в суміші для підгодівлі. Обезфторений фосфат також відноситься до напіврозчинних добрив та має 20 – 38% цитраторозчинного фосфору. Знефторений фосфат використовують як основне добриво на кислих ґрунтах. За даними Географічної мережі дослідів з добривами на дерново-підзолистих ґрунтах від внесення знефтореного фосфату в основному удобренні під озимі та ярі культури, льон, картоплю й овочеві отримано такий самий приріст урожаю, як і від суперфосфату.

Ще одним представником напіврозчинних добрив являються фосфатні шлаки (фосфатшлак), що побічним продуктом у процесі виплавляння сталі з чавуну або залізних руд, багатих на фосфор. Масова частка  $P_2O_5$  становить 14–20 %, зокрема більша частина знаходиться у цитраторозчинній формі, що засвоюється рослинами. До складу фосфатшлаку входять значна кількість оксидів кальцію (до 38–59 %), кремнію, магнію, мангану та інших елементів. За рахунок великої кількості кальцію при взаємодії фосфатшлаку з ґрунтом відбувається зменшення кислотності ґрунту, підвищується доступність сполук фосфору для рослин, ґрунт збагачується на кальцій та інші елементи. Тому фосфатшлаки застосовують як основне добриво на кислих ґрунтах [23].

Фосфоритне борошно представляє собою дешеве фосфорне добриво, що посідає друге місце по виробництву й застосуванню після суперфосфату. Зміст фосфору в ньому складає від 16 до 35 %, який знаходиться у важкорозчинній

формі. Завдяки чому фосфор повільно перетворюється у доступні форми, що забезпечує сільськогосподарських культур фосфором протягом тривалого часу. На кислих ґрунтах добриво показує себе більш ефективно, тому що кисле середовище сприяє переходу фосфатів у засвоювану рослинами форму, одночасно це зменшує кислотність ґрунту.

Таке добриво можна змішувати з усіма видами органічних і мінеральних добрив. Так його суміш із хлористим амонієм у співвідношенні  $P_2O_5 : N = 1:1$  підвищує вміст розчинного фосфору в добриві та усуває розпушувальність. При внесенні в ґрунт сумісно з фізіологічно кислими добривами фосфор фосфоритного борошна стає більше доступним для рослин. Крім того фосфоритне борошно використовують при виготовленні торфонавозних компостів, при цьому підвищується якість компосту й збільшується засвоюваність фосфатів.

#### *1.2.1.3. Калійні добрива*

Калійні добрива – прості мінеральні добрива, в яких калій виступає основним елементом. Калій входить до складу добрив у формі солей хлориду, сульфату, карбонату, фосфатів, нітрату. Виготовляють із природних калійних руд, переважно сильвініту ( $KCl \cdot NaCl$ ), каїніту ( $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ ) і карналіту ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ). Поділяються на дві групи: прості та концентровані.

Прості добрива одержують у наслідок дроблення й розмелу природних калійних солей, що містять у підвищених кількостях  $K_2O$ . Через такий спосіб отримання їх іноді називають сирими калійними добривам. Вони характеризуються меншим вмістом калію та більш високим відсотком баласту, що збільшує витрати на транспортування й внесення. Концентровані калійні добрива отримують шляхом переробки калійних добрив та відрізняються вищим вмістом калію.

Основні калійні добрива наведено в табл. 1.8. Як і у випадку з фосфором, вміст калію представлений у перерахунку на його оксид –  $K_2O$ .

Таблиця 1.8 – Основні калійні добрива [20,21]

Назва добрив	Хімічна формула	$K_2O$ , %
Сильвініт	$KCl + NaCl$	до 18
Каїніт	$KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$	10 – 12
Калій хлорид	$KCl$	52 – 62
Калій сульфат	$K_2SO_4$	45 – 52
Калімагnezія	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4$	28 – 30

Сильвініт та каїніт являються найпоширенішими сирими калійними добривами. Вони містять до 18 % та 10 – 12 %  $K_2O$  відповідно. Крім того сильвініт має в своєму складі 35 – 40 %  $Na_2O$ . Каїніт також містить  $Na$  і  $Ca$ , але значно менше. Добрива мають у своєму складі значний вміст хлору, який негативно впливає на культури, що є чутливими до нього (картопля, овочеві, тютюн, виноград і цитрусові). Краще вносити восени під культури, які добре реагують на натрій (цукровий буряк і коренеплоди).

Калій хлорид являється найпоширенішим калійним добривом. Так його виробництво становить близько 90% від усіх калійвмісних добрив. Виготовляють його з сильвінітних і карналітних руд. Воно характеризується найбільшим вмістом калію, що становить 52 – 62 %, та великою гігроскопічністю (водопоглинання). Внаслідок чого виникають проблеми зі зберіганням і транспортуванням.

Калій хлорид містить в 4-5 разів менше хлору, ніж сильвініт. Можна вносити під різноманітні культури, на всіх типах ґрунтів і різними способами. Під чутливі до хлору культури краще вносити з осені, щоб хлор вимивався в глибокі шари ґрунту. Перевага такого добрива в тому, що при попаданні в ґрунт, калій і хлор розщеплюються на доступні рослинам форми.



Калій сульфат виділяється великим вмістом калію 45 – 52. Одержують обробленням лангбейнітних руд. На відміну від калій хлориду відзначається відсутністю гігроскопічності. Використовують на різних типах ґрунтів, особливо на дерново-підзолистих, під всі культури, особливо ефективно вносити під культури, чутливі до хлору, і під овочі в закритому ґрунті.

Калімагnezія – це подвійна сіль сульфатнокислого магнію та калію, що містить 28-30 %  $K_2O$  та 8-10 %  $MgO$ . Основна перевага добрива полягає у наявності магнію, що відноситься до макроелементів і є не менш важливим, ніж сам калій. Використовується на легких ґрунтах під чутливі до хлору культури. Дуже добре реагують на це добриво рослини із сімейства хрестоцвітих.

Ще одним представником являється калійна сіль. Добриво одержують, змішуючи хлористий калій із сирими калійними солями. Суміш з сільвінітом має 40% калію. Натомість вміст хлору в суміші навіть більше, ніж в чистому калій хлориду, тому її не вносять під рослини, які погано переносять хлор. Якщо змішати хлорид калію з каїнітом, то можна отримати 30% калійну сіль. Така суміш володіє непоганим вмістом магнію. Особливо корисно її застосовувати на ґрунтах, збіднених цим елементом (піщаних, супіщаних, торф'яних) [20,24].

#### *1.2.1.4. Комплексні добрива*

Комплексні добрива характеризуються вмістом відразу декількох основних поживних елементів. За рахунок цього вони здатні забезпечити збалансоване живлення рослин не тільки азотом, калієм, фосфором, тобто основними елементами, а також іншими мікро- та мезоелементами. Вони мають більшу швидкість дії, ніж однокомпонентні аналоги, завдяки підвищеній концентрації корисних речовин.

Комплексні добрива за виробництвом мають наступну класифікацію:

- 1) змішані - суміш простих добрив, що отримується шляхом сухого змішування (тукосуміш);

2) складно-змішані добрива - комплексні добрива, в яких в гранули вміщують декілька основних елементів. Одержують шляхом змішуванням порошкоподібних однокомпонентних добрив з введенням в суміш аміакатів, кислот та інших азот- і фосфоровмісних продуктів;

3) складні – основні елементи утворюють одну єдину сполуку. Кожна молекула складного добрива містить два і більше поживних елементів.

В залежності від кількості основних елементів виділяють подвійні та потрійні комплексні добрива. До подвійних відноситься амофос, діамфос, нітроамфос, калійна селітра, монофосфат калію тощо. Основними потрійними комплексними добривами являються амофоска, азофоска, нітрофоска.

Амофос – це азотно-фосфорне добриво складу  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . Добриво має 10 – 12% азоту та 44 – 52% фосфору. Більша частина фосфору знаходиться у водорозчинній формі, тобто  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , що означає легкодоступний фосфор для рослин. У складі діамфосу знаходиться більше  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . За рахунок чого він характеризується більшим вмістом азоту. Так він має 20 – 21 % азоту та 50 – 53% фосфору. Добрива виготовляють шляхом взаємодії фосфорної кислоти і аміаку у різних співвідношеннях.

Ще одним азотно-фосфорним добривом являється нітроамфос. Вміст азоту та фосфору становить по 24%. Відрізняється від амофосу та діамфосу наявністю нітратної форми азоту, яка характеризується найбільш швидкою дією. Отримують шляхом нейтралізації аміаком сумішей азотної і фосфорної кислот.

Калійна селітра відноситься до азотно-калійних добрив. Хімічна формула добрива проста – калій нітрат ( $\text{KNO}_3$ ). Масові частки калію та азоту дорівнюють 46% та 13 – 18% відповідно. Добриво не має баластних речовин та є повністю водорозчинним. В основному отримують конверсійним методом шляхом обмінного розкладання хлориду калію і нітрату натрію. Рекомендується для кореневих і позакорневих підживлень.

Монофосфат калію ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) – це калійно-фосфорне добриво, що має у складі не менше 50% фосфатів і 33% калію. Це повністю розчинне добриво.

Основні елементи знаходяться у легкодоступній формі для рослин, що покращує їх живлення. Отримують взаємодією ортофосфорної кислоти з солями калію. Рекомендуються в якості підгодівлі у відкритому і закритому ґрунті.

Азофоска – це потрійне добриво складу  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ . Містить 15 – 22% азоту, 11 – 21% калію та 9 – 21% фосфору. Фосфор присутній тільки в водорозчинних формах. Отримують добриво шляхом хімічної взаємодії фосфорної кислоти, азотної кислоти і солей калію. Застосовується у всіх прийомах внесення добрив.

Амофоска включає діамоній фосфат ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ), амоній сульфат ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), калійну селітру ( $\text{KNO}_3$ ) та амоній хлорид ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Здебільшого основні елементи присутні в рівних масових частках. На відміну від азофоски амофоска має фосфат у цитраторозчинній формі та характеризується наявністю сірки та магнію. Технологічний процес виробництва аналогічний з азофоскою. Застосовується при різних способах внесення в усіх ґрунтово-кліматичних зонах [19,25,26].

Нітрофоска – класичне азотно-фосфорно-калійне мінеральне добриво. Основні елементи до цього потрійного добрива у вигляді солей (хлористий амоній, аміачна селітра, амофос, суперфосфат, пренціпітат, калійна селітра, хлористий калій). За способом отримання нітрофоску поділяють на сульфатну, сірчанокислу та фосфоритну. Вони будуть мати різні солі основних елементів у своєму складі. Сульфатна нітрофоска виготовляється з апатитів за допомогою азотнокислого розкладання, додавання сульфату амонію та подальшого введення хлористого калію. При додаванні аміаку і фосфорної кислоти замість сульфату амонію одержують фосфоритну нітрофоску. Якщо додати аміак і сірчану кислоту з додаванням невеликої кількості розчинної солі магнію отримують сірчанокислу нітрофоску. Добриво рекомендується для основного і припосівного внесення.

Загалом потрійні добрива мають однакову основу, тому принцип їх дії являється практично ідентичним. Існує велика різноманітність вмісту основних

елементів (NPK) комплексних добрив, що можна пояснити тим, що їх видозмінювали для того, щоб можна було більш точно задовольняти поживні потреби конкретних рослин [27].

### ***1.2.2. Огляд органічних добрив***

Органічні добрива – це добрива природнього походження, що містять живильні елементи, головним чином у вигляді органічних сполук. Це наприклад гній, торф, компост тощо. Органічні добрива мають у своєму складі всі необхідні рослинам елементи живлення, що є джерелом життєдіяльності та енергії для розвитку ґрунтових мікроорганізмів і незамінними запасами органічних речовин для підтримки родючості ґрунту. Органічні добрива є найбільш поширені, тому їх найчастіше використовують. Так за 2018 рік було внесено 10 675 тис. т різних видів органічних добрив, що складає 66% усіх добрив на той рік [26].

Один із органічних добрив являється торф, зокрема, низинний, що є схожим на компост, оскільки складається з відмерлих рослин. Він має особливу властивість: хімічні процеси його формування відбуваються під шаром води. Це дозволяє ізолювати біомасу від повітря і утримувати всі речовини в складі, замість того, щоб випаровуватися. Таким чином, торф відмінно підходить для поповнення запасів гумусу. Основним недоліком торфу, як добрива, є його висока кислотність, особливо верхового. Тому застосування його часто не тільки не збільшує, а, навпаки, зменшує урожайність сільськогосподарських культур. В основному торф використовують для виробництва компостів і також гуматів – рідких концентрованих добрив.

Гній – це органічні азотні добрива, що є відходами життєдіяльності тварин. До слова, від виду тварин буде залежати і хімічний склад, також на нього впливає основний корм. Незважаючи на складності, гній є дуже популярним добривом. Головним чином його вносять під городні культури. Завдяки високому вмісту азоту прискорюється ріст пагонів та розвиток листя. Важливо відзначити, що

гній містить також всі необхідні для рослин мікроелементи. Тому при достатньому внесенні, потреба у застосуванні відпадає. Також з гноєм вносяться «готові» гумінові сполуки (кислоти), які можуть становити до 60% від сухої маси. З однієї т сухої речовини підстилкового гною в процесі гуміфікації утворюється 50 – 60 кг гумусу [28,29].

Сапропелі – комплексні відкладення органічних (понад 15% маси) і мінеральних речовин на дні непроточних і слабопроточних відкритих водойм. До складу сапропелів входять мінеральні розчини кремнію, частки глини, вуглекислі та сірчаноокислі солі, відмерлі рештки флори і залишки водяних організмів. Сапропелі містять усі необхідні для живлення рослин елементи: азот, фосфор, калій, кальцій, магній, а також мікроелементи. Вони мають нейтральну, або близьку до неї, реакцію середовища, високу ємність поглинання і біохімічну активність. До найбільш цінної їхньої частини належить комплекс органічних речовин, що містять 11,3 – 43,4 % гумінових кислот, 2,1 – 23,5 % фульвокислот, 5,1 – 22,6 % негідролізованого залишку. Нагромадження сапропелів становить близько 1 мм на рік. Потужність покладів сапропелів в озерах України складає 10-12 м, а розвідані геологічні запаси – до 0,8 млрд м<sup>3</sup> [28].

Окрім традиційно використовуваних гною та посліду, в Україні виробляються похідні органічні добрива на їх основі, а також продукти на основі торфу та сапропелів.

До таких добрив відноситься компост. Компост – це органічна речовина, яка розкладалася в процесі компостування. У процесі компостування переробляються різні органічні матеріали (безпідстилковий гній великої рогатої худоби, пташиний послід із підстилкою, солома, перегнилі корми та залишки силосу, жом тощо). За рахунок такої великої кількості матеріалів, склад компоста може бути досить різноманітним, але багатим поживними речовинами. Він виступає корисним в якості покращувача ґрунту, добрива, джерела цінного гумусу або гумінових кислот і як природний пестицид для ґрунту.

Існують гранульовані органічні добрива, які часто виготовляють на основі курячого посліду або просто є гранульованою формою самого курячого посліду. Основними перевагами гранульованих добрив являється їх екологічність завдяки високотемпературній обробці, яка забезпечує дезінфекцію та знешкодження патогенних мікроорганізмів. Крім того гранульована форма дозволяє більш краще розподіляти добриво при внесенні, що забезпечує менші витрати. Гранульована форма добрива в періоди посухи зберігає вологу, повільно віддає її рослинам, мікроорганізмам, створюючи сприятливі умови для формування майбутнього врожаю [30].

Загалом органічні добрива характеризуються низьким вмістом доступних макроелементів, але натомість вони відзначаються органічною частиною. Вони поповнюють вміст гумусу, при мінералізації якого ґрунт поступово збагачується поживними елементами протягом тривалого часу – декілька років. Це позитивно впливає на живлення рослин та забезпечує велику врожайність сільськогосподарських культур і добру якість продукції рослинництва.

Останнім часом набувають поширення органо-мінеральні добрива, зокрема у гранульованій формі. До складу добрива належать як органічні, так і неорганічні речовини. Завдяки чому вони одночасно поповнюють запаси гумусу та основних поживних елементів. Якщо порівнювати органо-мінеральні добрива з мінеральними добривами, вони мають екологічні та агрохімічні переваги. Так надмірна кількість азотних добрив, які легко вимиваються, спричиняє досить негативний вплив на навколишнє середовище. У гранульованих органо-мінеральні добривах азот виділяється поступово протягом тривалого періоду, що добре впливає на живлення рослин. Така дія спричинена пошаровою структурою та рівномірним розміщенням корисних компонентів по всьому об'єму гранули. Крім того такі добрива характеризуються високим ступенем засвоюваності корисних компонентів, зручними умовами використання та зберігання [30,31].

## РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТІВ ТА ОПИС МЕТОДИК І МЕТОДІВ ДОСЛІЖЕННЯ

### 2.1. Склад та формування гранул комплексного добрива

У даній роботі аналізи проводили над гранульованим органо-мінеральним добривом. Добриво розроблене на базі НДІ МІНДІП СумДУ та належить до комплексних добрив пролонгованої дії, тобто добрива, що забезпечують повільне вивільнення основних поживних елементів протягом тривалого часу.

У загальному вигляді процес засвоєння ґрунтом органо-мінеральних добрив виглядає наступним чином. Спочатку відбувається вивільнення поживних речовини з оболонки кожної гранули за рахунок осмотичного тиску ґрунту. Залежно від температури та властивостей пористої структури покриття, поживні елементи виділяються з постійною, регулярною та контрольованою швидкістю. Потім вода проникає в оболонку і розчиняє її поживні речовини. Після повного засвоєння оболонки ґрунтом починається засвоєння ядра гранули [32].

Ядром гранули являється карбамід з вмістом азоту 46,2 %. Його покривають фосфатовмісним шаром. Такий шар є не просто баластом, а фосфорним добривом [33]. В основі покриття знаходиться порошок фосфат-глауконітового концентрату Ново-Амвросіївського родовища. Хімічний склад концентрату: масова частка загальних фосфатів у перерахунку на  $P_2O_5$  – 15,0 %, масова частка засвоюваних фосфатів у перерахунку на  $P_2O_5$  – 13,1 %, масова частка  $K_2O$  – 1,5%. Для отримання кращого покриття додають пластифікатори (гумати кальцію та калію, калімаг) [34].

Органічною складовою добрива являється біочар. Це добриво, що складається в основному із вуглецю. Через це воно позитивно впливає на структуру ґрунту, а саме зменшує його щільність та твердість та зупиняє процес

деградації ґрунтів, запобігаючи багатьом глобальним екологічним та економічним проблемам. Завдяки розвиненій пористій структури його можна розглядати як адсорбційну добавку, що позитивно впливає на пролонговану дію добрива. Власне добриво має у своєму складі 8,9 % фосфору у перерахунку на  $P_2O_5$  та 25,6 % азоту [34,35].

Окрім нового добрива «Біочар», у роботі проводились дослідженням над амофосом. Його хімічний склад виглядає наступним чином: масова частка загальних фосфатів у перерахунку на  $P_2O_5$  – 51,8 %, з якого водорозчинного фосфору – 50,7%, масова частка загального азоту – 11,4%, масова частка кадмію – 10,2 мг/кг.

## 2.2. Технологічна схема процесу

Капсулювання карбаміду у фосфатовмісну оболонку з добавками та пластифікаторами відбувалося на дисковому грануляторі. Технологічна схема цього процесу представлена на рисунку 2.1.

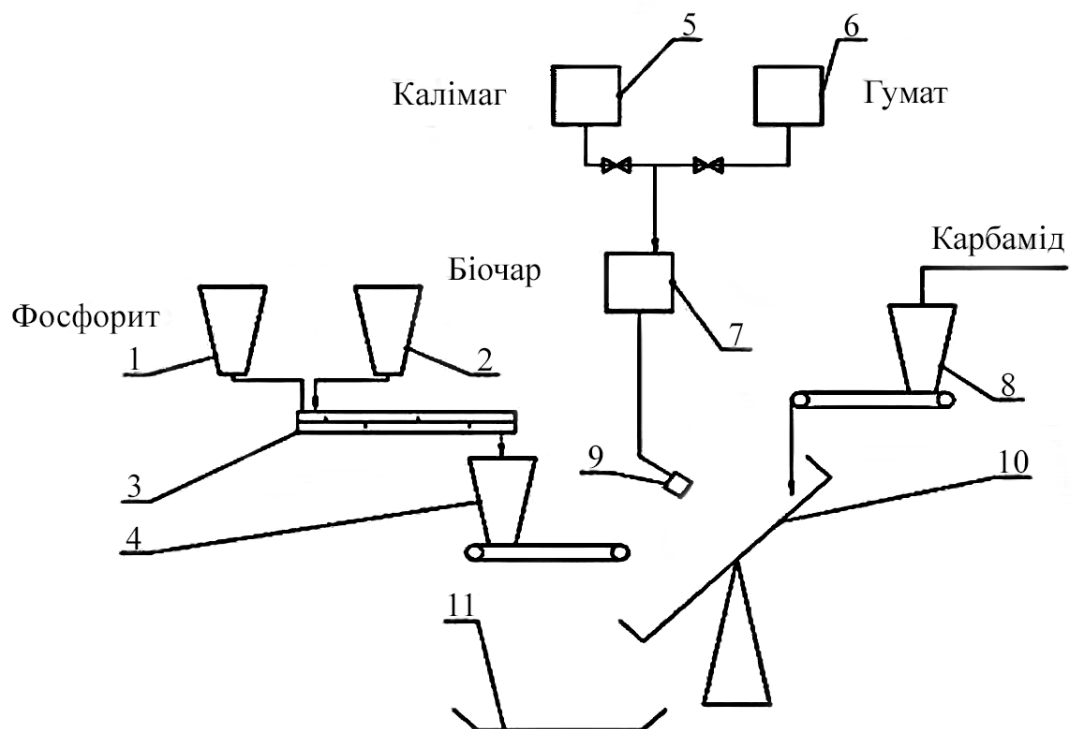


Рисунок 2.1 – Технологічна схема процесу [34]



Установка складається з фосфатного бункера 1, бункера біовугілля 2, змішувача 3, дозатора 4, бункера для калімага 5, ємності для розчину гумату калію або кальцію 6, ємності для змішування калімага з гуматом 7, установки для подачі гранул сечовини 8, сопла 9, дискового гранулятора 10 і ємності для гранульованого продукту 11.

Процес інкапсуляції гранул сечовини здійснювався наступним чином. Порошок фосфат-глауконітового концентрату, який змішували з біочаром, подавали на попередньо змочені пластифікатором карбамідні гранули в дисковий гранулятор. Покриття наносилося механізмом порошкової агломерації з паралельним зволоженням пластифікатором. Після гранулювання добриво сушать протягом 3 годин при температурі 65 ° С, через наявність вологи у гранулах. Відношення ваги покриття до ваги карбаміду підтримувалося на рівні 1.2 [34].

### **2.3. Методи досліджень**

Для визначення фосфату та азоту ми використовували фотометричний та формальдегідний методи.

Фотометричний метод – це фізико-хімічний метод аналізу, що ґрунтується на вимірюванні поглинання світла досліджуваною речовиною, інтенсивності його забарвлення.

Метод складається з двох етапів:

1. Проведення хімічної реакції, яка перетворює аналітичний компонент у забарвлену сполуку. Вона повинна бути міцною, мати постійний склад та насичений колір;

2. Вимірювання поглинання світла забарвленим розчином використовуючи фотоелектроколориметр відносно розчину порівняння.

В основі методу лежить закон Бугера-Ламберта-Бера, що показує залежність оптичної густини від концентрації та записується формулою (2.1):

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon \cdot l \cdot C \quad (2.1)$$

Де  $D$  – оптична густина розчину;

$I$  – інтенсивність світлового потоку, який пройшов скрізь розчин;

$I_0$  – інтенсивність падаючого світла;

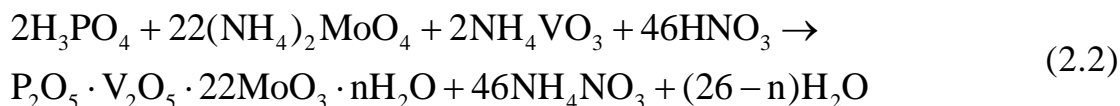
$\varepsilon$  – молярний коефіцієнт поглинання,  $\text{дм}^3 \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ ;

$l$  – товщина шару, см;

$C$  – концентрація речовини в розчині,  $\text{моль} \cdot \text{дм}^{-3}$ .

Як забарвлену сполуку, ми використовували фосфорно-ванадієво-молібденовий комплекс ( $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 22\text{MoO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) жовтого кольору.

Комплекс утворюється в кислому середовищі в присутності надлишку молібдату (рівняння 2.2) [36]:

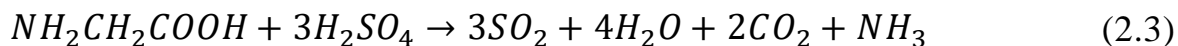


Загалом, фотометричний метод аналізу являється самим оптимальним методом для кількісного визначення фосфору. Він не потребує багато часу для визначення, забезпечує достатню точність визначення, не вимагає дорогого обладнання, простий у застосуванні та обслуговуванні обладнання.

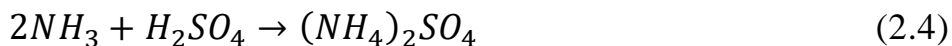
Формальдегідний метод відноситься до кислотно-основної титриметрії та являється одним з найбільш широко розповсюджених методів для визначення нітрогену у амідній формі. Основними перевагами методу від інших є його швидкість та відсутність дорогих реактивів.

Метод аналізу ґрунтується на вимірюванні об'єму луґу витраченого на реакцію з кислотою, яка виділяється в результаті взаємодії амонійного нітрогену – солі амонію з формальдегідом.

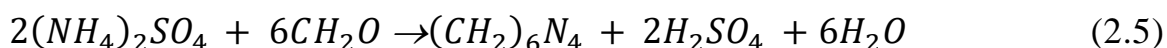
Для визначення загального вмісту нітрогену ми здійснили мінералізацію добрива сірчаною кислотою, внаслідок якої амідна форма азоту перешла в аміачну (2.3):



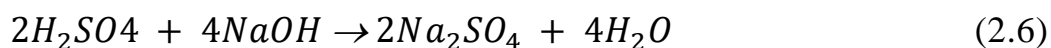
Утворений амоніак взаємодіє з концентрованою сульфатною кислотою:



Внаслідок взаємодії солі амонію з формальдегідом утворюється органічна сполука гексаметилентетраамін і неорганічна кислота у вільному стані. Кількість кислоти еквівалентна кількості амонійного Нітрогену в масі солі (2.5) [37]:



Виділену кислоту титрують стандартизованим розчином лугу і на основі отриманих експериментальних даних визначають вміст нітрогену в аналізованій пробі (2.6):



## 2.4. Методики досліджень

### 2.4.1. Методика дослідження кінетики розчинення добрив

Добриво в кількості 1 г поміщають в склянку на 50 см<sup>3</sup>, додають 20 см<sup>3</sup> дистильованої води і перемішують протягом 10 хвилин при певній температурі. Після цього розчин фільтрують через попередньо зважений фільтр.

Фільтрат зберігають для визначення NP.

Нерозчинене добриво разом з фільтром поміщають в шафу при температурі 60°C і витримують годину. Потім фільтр з осадом охолодити в ексикаторі та зважити.

Розраховують частку частини добрива, що не розчинилася, за формулою 2.7:

$$W\% = \frac{m}{M} \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

де  $m$  - маса осаду, г;

$M$  – маса добрива, взятого для експерименту.

#### **2.4.2. Методика визначення фосфатів фотометричним методом**

Методика згідно ГОСТ 20851.2-75 [38].

*Хід виконання:*

5 см<sup>3</sup> фільтрату переносять піпеткою в мірну колбу ємністю 100 см<sup>3</sup>. Доливають 10 см<sup>3</sup> дистильованої води, додають 2 см<sup>3</sup> HCl (1:1) та кип'ятять 5 хвилин. Після охолодження додають 25 см<sup>3</sup> реактиву на фосфати, доливають воду до мітки та перемішують.

Через 10-15 хвилин, але не більше ніж через 60 хвилин, вимірюють величину оптичної густини аналізованого розчину по відношенню до розчину порівняння – дистильованої води.

В даній роботі використовується метод градуйованого графіка. Для його побудови готують градуйовані розчини: у мірні колби ємністю 100 см<sup>3</sup> відбирають за допомогою бюретки: 1,0; 2,0; 5,0; 8,0; см<sup>3</sup> робочого розчину, що відповідає 0,2; 0,4; 1,0; 1,6 мг у перерахунку на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Об'єм розчину в кожній колбі доливають водою до 30 см<sup>3</sup>, додають циліндром 25 см<sup>3</sup> реактиву на фосфати, доливають воду до мітки та перемішують. Потім через 10-15 хвилин вимірюють оптичну густину розчинів щодо розчину порівняння.

Градуйовані розчини готують та досліджують на фотоколориметрі одночасно з аналізованими розчинами.

Графік будують приймаючи за вісь абсцис – масу, а на вісь ординат оптичну густину, тобто  $f(m) = D$ . Після побудови графіка, апроксимують його і за отриманим рівнянням прямої знаходять масу фосфатів у досліджуваному розчині.

Масову частку фосфатів в процентах обчислюють за формулою 2.8:

$$X = \frac{a \cdot (20 + m) \cdot 100}{m \cdot 5 \cdot 1000}, \quad (2.8)$$

де  $a$  – маса  $P_2O_5$  в досліджуваному зразку, найдена по градуйованому графіку, мг;

$(20 + m)$  – об'єм розчину до взяття аліквоти,  $cm^3$ ;

100 – відсотки, %;

$m$  – маса наважки, г;

5 – об'єм аліквоти, взятий для фотометрії,  $cm^3$ ;

### **2.4.3. Методика визначення азоту формальдегідним методом**

Методика згідно ДСТУ 7312:2013 [39].

*Хід виконання:*

10  $cm^3$  фільтрату піпеткою поміщають у конічну колбу, додають 5  $cm^3$  концентрованої сірчаної кислоти і закривають колбу лійкою або грушоподібною склянкою пробкою. Вміст колби кип'ятять 10 хвилин, після чого охолоджують до кімнатної температури, додають 50  $cm^3$  води, 1-2 краплі розчину індикатора метилового червоного і нейтралізують надлишок кислоти розчином гідроксиду натрію молярної концентрації  $5 \frac{mоль}{dm^3}$  до жовтого кольору. Потім краплями додають розчин сірчаної кислоти молярної концентрації  $0,5 \frac{mоль}{dm^3}$  до появи рожевого відтінку і титрують розчином гідроксиду натрію молярної концентрації  $0,1 \frac{mоль}{dm^3}$  до появи жовто-оранжевого відтінку.

До нейтралізованого розчину додають 40  $cm^3$  розчину формаліну, 5 крапель змішаного індикатора і через 1-2 хвилини титрують розчином гідроксиду натрію молярної концентрації  $0,5 \frac{mоль}{dm^3}$  до появи малинового забарвлення, яке не зникає протягом 1 хвилини.

Масову частку азоту у відсотках обчислюють за формулою 2.9:

$$\omega = \frac{V \cdot K \cdot 0,007 \cdot (20 + m) \cdot 100}{m \cdot 10}, \quad (2.9)$$

де  $V$  – об'єм розчину гідроксиду натрію молярної концентрації  $0,5 \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}$  витрачений на титрування,  $\text{см}^3$ ;

$K$  – коефіцієнт поправки для приведеної дійсної молярної концентрації розчину гідроксиду натрію  $0,5 \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}$  до номінальної;

$0,007$  – маса азоту, що відповідає  $1 \text{ см}^3$  розчину гідроксиду натрію молярної концентрації  $0,5 \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}$ , г;

$(20 + m)$  – об'єм розчину до взяття аліквоти,  $\text{см}^3$ ;

$m$  – маса наважки, г;

$100$  – відсотки, %;

$10$  – об'єм аліквоти, взятий для аналізу,  $\text{см}^3$ .

## РОЗДІЛ 3 ВИВЧЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИВІЛЬНЕННЯ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ДОБРИВА ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

### 3.1. Вплив температурних режимів на процес розчинення комплексних добрив у модельних розчинах

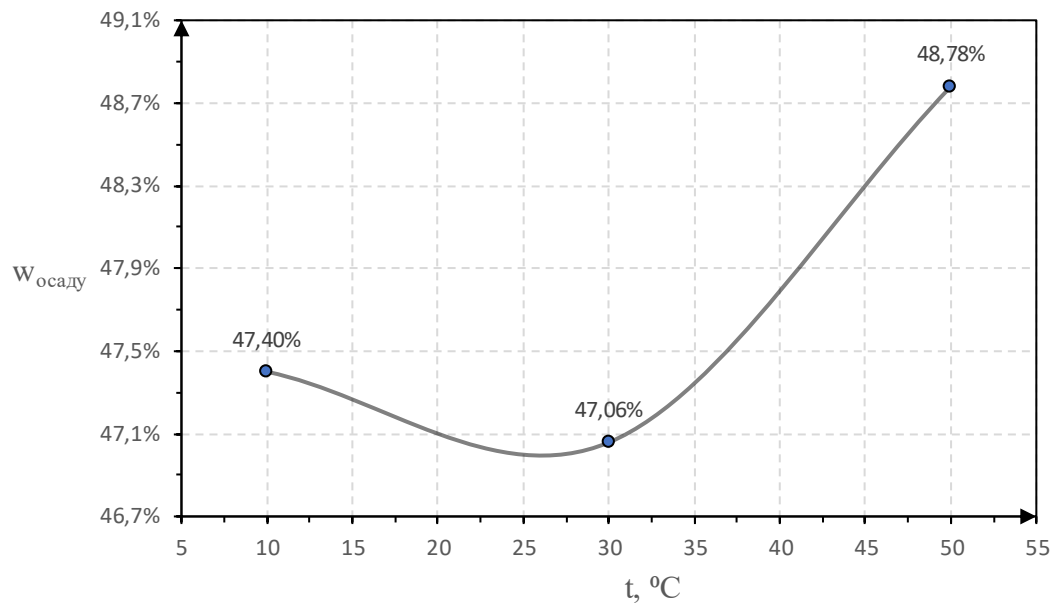
Для визначення розчинності добрива за різних температур провели аналізи за методикою, що розміщена в п. 2.4.1. Аналіз проводили при наступних температурах: 10, 30 та 50 °С. В результаті отримали дані, які наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження кінетики розчинення добрива «Біочар»

№	t, °С	m <sub>нав</sub> , Г	m <sub>осад</sub> , Г	W <sub>осад</sub> , %	W <sub>сер</sub> , %
1	10	1,0922	0,5191	47,53	47,40
		1,0808	0,5109	47,27	
2	30	1,0013	0,4698	46,92	47,06
		1,0111	0,4772	47,20	
3	50	1,0425	0,5094	48,86	48,78
		1,0223	0,4978	48,69	

В таблиці знаходяться маси (г) наважок та осаду, що залишився після фільтрування. Використовуючи ці значення, за формулою 2.7. розрахували масову частку добрива, що не розчинилася за даних умов. Для більш наглядного вигляду результати представили у вигляді точкового графіка (рис. 3.1), у якому по вісь ординат знаходиться масова частка нерозчинного добрива, а по вісь абсцис – температура. Для побудови графіка використали комп'ютерну

програму Microsoft Excel, що дозволяє швидко будувати та видозмінювати графіки та діаграми.



**Рисунок 3.1** – Графік залежності масової частки нерозчинного добрива від температури

За графіком бачимо, що при 10 градусах масова частка нерозчинності складає 47,40%. Наступна точка з температурою 30 °C має меншу масову частку, а саме 47,06%. Загалом вони не мають дуже суттєву різницю в масовій частці нерозчинності (0,34 %). Нерозчинність (%) останнього досліджуваного температурного інтервалу (50 °C) становить 48,78, що говорить про збільшення нерозчинності при підвищеній температурі.

Зниження розчинності добрива можливо відбувається за рахунок утворення колоїдних фракцій, які не проходять скрізь фільтр. Це цілком можливо, оскільки добриво дійсно має у своєму складі речовини, що можуть утворювати колоїдні структури, які при підвищеній температурі здатні на коагуляцію і седиментацію що і спричинило зниження розчинності добрива. Загалом така поведінка добрива впливає більше позитивно на його дію. Так навіть при підвищених температурах добриво буде повільно виділяти основні поживні речовини.

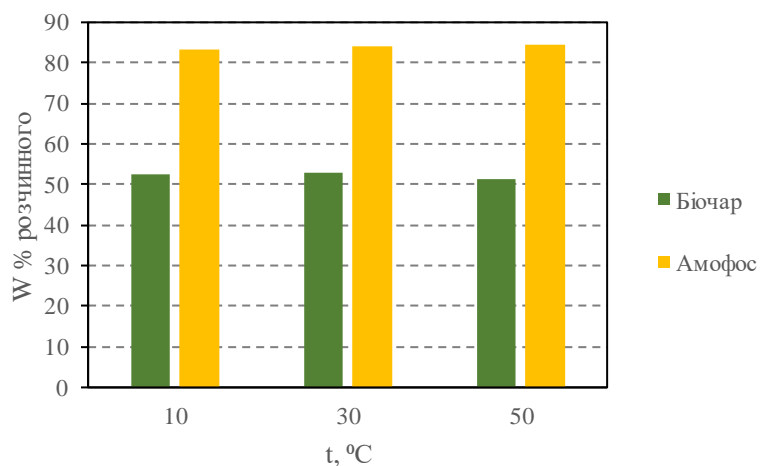


Аналогічні дослідження були проведені для амофосу (табл. 3.2). Амофос являється досить популярним добривом, який вже доказав свою ефективність. Тому порівняння кінетичних властивостей між новим добривом і традиційним являється більш раціональним.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження кінетики розчинення амофосу

№	t, °C	W <sub>осад</sub> , %	W <sub>сер</sub> , %
1	10	16,655	16,64
	10	16,625	
2	30	15,864	15,85
	30	15,836	
3	50	15,532	15,52
	50	15,508	

Завдяки своєму складу, амофос відзначається доброю розчинністю, що видно по результатам дослідження. Так, масова частка осаду складає 16,64 %, тобто розчинність добрива дорівнює більше 80 %. Результати дослідження говорять, що зі збільшенням температури збільшується його розчинність.



**Рисунок 3.2** – Порівняльна розчинність добрив «Біочар» і Амофос при різній температурі

У порівнянні з амофосом гранульоване органічно-мінеральне добриво «Біочар» має меншу розчинність, але завдяки цьому воно забезпечує повільне

виділення елементів (Рис 3.2). Амофос же характеризується швидким вивільненням елементів, що може бути не достатнім для живлення сільськогосподарських культур протягом одного вегетаційного періоду.

### 3.2. Визначення вмісту розчинених азоту та фосфору у фільтраті

Після дослідження добрив на розчинність, провели аналіз фільтратів на вміст основних елементів у добривах, а саме азоту та фосфору. Для цього аналізу добриво розчиняли при 10, 20 та 30 °С. Елементи визначили згідно методиками в п. 2.4.2 та 2.4.3. Концентрацію фосфору у фільтраті амофосу знаходили також фотометричним методом, але з попереднім розведенням через його високу концентрацію. Азот же знайшли хлораміновим методом згідно ГОСТ 30181.8-94 [40].

Для фотометричного визначення потрібно побудувати градуйований графік, за яким будемо визначати вміст фосфатів. Показання оптичної густини та значення маси фосфатів для побудови графіка наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Дані для побудови градуйованого графіка

<b>V, мл</b>	1	2	5	8
<b>m, мг</b>	0,2	0,4	1,0	1,6
<b>D<sub>сер</sub></b>	0,032	0,058	0,140	0,221

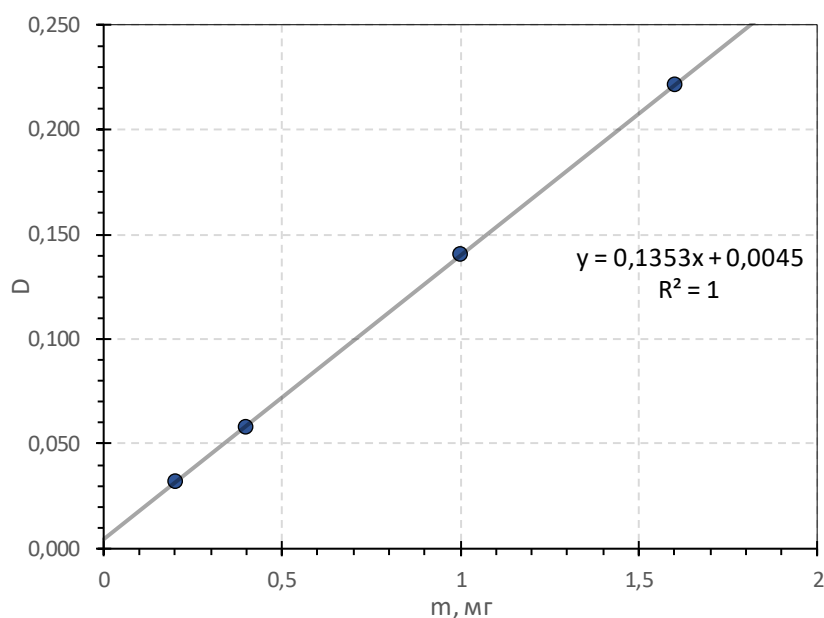
Графік залежності оптичної густини від маси P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $f(m) = D$ ) зображений на рис. 3.3. На рисунку відображений уже апроксимований графік із вірогідністю апроксимації ( $R^2$ ) – 1, що являє собою коефіцієнт достовірності. Чим ближче значення  $R^2$  до одиниці, тим надійніше цей метод апроксимує досліджуваний процес. У нашому випадку значення вірогідності апроксимації максимальне, що говорить про добре узгодження лінійного рівняння з наведеними даними.

На рис. 3.2 також зображено рівняння прямої, за яким будемо знаходити масу фосфатів у фільтраті. Використовуючи математичні перетворення, отримаємо формулу (3.1) для розрахунку маси:

$$a = \frac{D - 0,0045}{0,1353}, \quad (3.1)$$

Де  $a$  – маса фосфатів ( $P_2O_5$ ), мг;

$D$  – оптична густина розчину.



**Рисунок 3.3** – Градуирований графік для визначення вмісту фосфатів

Узагальнені значення, що отримали внаслідок аналізу вмісту фосфатів наведено в табл. 3.4. В таблиці міститься номер, температура, за якої проводилися дослідження, маса навжки у г, отримана оптична густина досліджуваних розчинів, маса фосфатів (мг) розрахована за формулою (3.1) та власне масова частка фосфатів у % розрахована за формулою (2.8).

Таблиця 3.4 – Аналіз на вміст фосфатів у фільтраті

№	t, °C	m <sub>нав</sub> , Г	D	m, мг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %
1	10	0,9968	0,015	0,0776	0,033
2	20	1,0171	0,019	0,1072	0,044
3	30	1,0008	0,022	0,1293	0,054

Як бачимо зі збільшенням температури зростає масова частка фосфатів у фільтраті, що означає збільшення вивільнення фосфору при підвищенні температури. В цілому така температура добре впливає на доступність цього елемента для рослин. Варто відмітити, що фосфор у добриві міститься у важкорозчинній формі, а при підвищенні температури процес переходу у легкодоступну форму для сільськогосподарських культур прискорюється. При низьких температурах перетворення сповільнюється. Також за таких умов зменшується засвоєння рослинами фосфору та азоту (пункт 1.1.2.).

Щодо аналізу азоту. Отримані узагальнені значення величин представлено у таблиці 3.5. Як і табл. 3.4, вона містить номер, температуру та масу наважки. Так як аналіз фосфору та азоту відбувався одночасно, то маси є однаковими у обох таблицях. Наступні колонки містять об'єм розчину гідроксиду натрію, витраченого на титрування та вміст азоту, розрахованого за формулою (2.9).

Таблиця 3.5 – Аналіз на вміст азоту у фільтраті

№	t, °C	m <sub>нав</sub> , г	V, мл	N, %
1	10	0,9968	1,1	1,71
2	20	1,0171	0,95	1,45
3	30	1,0008	0,8	1,24

У випадку з азотом прослідковується протилежна закономірність, а саме зі збільшенням температури зменшується вміст азоту. Більше всього зниження азоту зв'язане з його переходом у газоподібний стан. Тобто зі збільшенням температури, ми втрачаємо азот, який повинен бути використаний рослиною, але замість цього він просто випаровується.

У фільтраті амофосу ситуація інша (табл. 3.6). Як бачимо, при 10 градусах концентрація елементів максимальна, яка повільно зменшується та набуває мінімального значення при 30 °C. Отже зі збільшенням температури, зменшується масова частка основних елементів.

Таблиця 3.6 – Аналіз NP для амофосу (узагальнені значення)

№	t, °C	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	N, %
1	10	45,22	9,86
2	20	41,81	9,43
3	30	37,74	8,16

На відміну від біочара, в амофосі зменшується масова частка фосфатів при підвищенні температури. Також якщо глянути на вихідний склад добрив (п. 2.1). То можна побачити, що при розчиненні амофосу протягом 10 хвилин при 10 °C виділилось більше 85 % основних поживних елементів, а якщо взяти розчинення біочару при аналогічних умовах – близько 4 %. Це ще раз доказує довготривалу дію нового добрива.

Якщо підбити підсумок, то можна виділити наступні моменти. Зі збільшенням температури розчинність добрива «Біочар» зменшується через утворення колоїдних частинок, які не проходять скрізь фільтр. Вміст фосфору за вищих температур зростає, а вміст азоту знижується. Якщо говорити про найбільш оптимальну температуру для використання добрива, то це буде середнє значення (15-20 °C). Оскільки за більш вищих температур втрачається азот, а за більш низьких зменшується доступність фосфору. У порівнянні із амофосом, нове добриво забезпечує пролонговану дію.

## ВИСНОВОК

Нині для існування людства потрібна велика кількість продовольства. Більшу частину якого ми можемо отримати, використовуючи посіви та вирощування сільськогосподарських культур. Але враховуючи обмеженість території, що можуть бути використані під сільськогосподарські угіддя, постає потреба у підвищенні врожайності та якості вирощуваних культур.

1) Розглянуто ґрунтовий покрив Сумської області та його агрохімічні властивості. Так він складається в основному із чорнозему типового – 55,3 % і темно-сірого та чорнозему опідзоленого – 14,2 %, які розташовані здебільшого на півдні області. Агрохімічна оцінка області є одним із найвищих в Україні та в середньому становить 51 бал. Родючість ґрунтів області за вказаною шкалою вища за середню порівняно з іншими регіонами України. Загалом Сумська область характеризується наступними середньозваженими показниками: підвищеним вмістом гумусу – 3,3 %, який розподілений не рівномірно та знаходиться більше на півдні області; низьким вмістом азоту – 104,6 мг/кг; середнім вмістом фосфору – 88,6 мг/кг та підвищеним вмістом калію – 86,2 мг/кг. Такі агрохімічні показники не можуть задовольнити у повній мірі сільськогосподарські культури, особливо азот, що знаходиться на низькому рівні. Також враховуючи повільне поповнення компонентів, що використовуються рослинами, потрібно регулярно поповнювати їх внесенням добрив.

2) На основі літературного огляду були визначені та розглянуті основні види добрив: мінеральні (азотні, фосфорні, калійні та комплексні) та органічні. Їх переваги, недоліки і використання. Встановлено, що наразі найпопулярнішими добривами являються органічні, потім азотні та комплексні. Охарактеризовано основні форми, в яких можуть перебувати найважливіші елементи. Серед яких виділяють форми, що найкраще засвоюються рослинами ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{K}^+$ ). Показано, що одним із найперспективніших добрив являються

гранульовані органо-мінеральні добрива. Вони мають екологічні, агрофізичні та агрохімічні переваги. Характеризується повільною пролонгованою дією, тобто поступовим вивільненням основних поживних елементів, що забезпечує рослин поживними речовинами протягом тривалого періоду.

3) Проаналізовано склад органо-мінерального добрива. Ядром добрива являється карбамід, покритий фосфоровмісною оболонкою. Також у складі міститься органічна складова – біочар, що володіє хорошими властивостями та виступає адсорбційною добавкою. Покриття добрива наносилося шляхом порошкової агломерації з паралельним зволоженням пластифікатором, що відбувалося на дисковому грануляторі. Добриво характеризується добрими хімічними показниками та за рахунок пролонгованої дії рівномірно підживлює ґрунт протягом всього вегетаційного періоду.

4) Було проведено дослідження для визначення впливу температури на дію добрива. Внаслідок яких було визначено, що при підвищених температурах відбувається утворення колоїдних розчинів, що зменшують розчинність. Щодо виходу основних елементів, то за вищих температур зростає вміст фосфору, а вміст азоту знижується. Підвищені температури негативно впливають на вміст азоту, оскільки він випаровується, інакше кажучи, перетворюється в газоподібний стан. Однак такий температурний режим добре впливає на вміст фосфору, оскільки збільшується масова частка легкодоступної форми.

Таким же чином досліджено «Амофос». Добриво характеризується високою розчинністю – більше 80 %. Установлено, що розчинність пропорційно збільшується при збільшенні температури. Отриманий вихід NP для амофосу дуже близький до загального вмісту цих елементів у добриві, що говорить про швидку дію цього добрива. Вплив температури негативно відображається на вихід основних елементів, оскільки із її збільшенням вони втрачаються.

5) Встановлено, що нове органо-мінеральне добриво характеризується меншою розчинністю у порівнянні з амофосом, що пов'язано із структурою добрива. Різниця у виході NP добрив полягає лише у фосфорі. На відміну від

амофосу, у «Біочар» збільшується масова частка фосфатів при підвищенні температури. Отриманий вихід NP для амофосу дуже близький до загального вмісту цих елементів у добриві, що говорить про швидку дію цього добрива. Органо-мінеральне добриво має протилежну ситуацію, що доказує його пролонговану дію.

Доведено, що температура є дійсно важливим показником, що відповідає за механізм дії добрива. Вона впливає і на розчинність добрива, так і на доступність та вміст основних поживних елементів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Корнієнко Я. М., Мельник М. П., Мартинюк О. В. Струменевопульсаційний режим псевдо зрідження: монографія. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. 235 с.
- 2) Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Сумській області у 2020 році // Сумська обласна державна адміністрація. Департамент захисту довкілля та енергетики. Суми, 2021. URL: <http://surl.li/cfpk> (дата звернення: 23.02.2023).
- 3) Хоменко В. Г. Рекреаційно-географічна характеристика сумської області : кв. роб. на здобуття осв. ступеня магістр / наук. кер. Шовкун Тетяна Миколаївна. Ніжин : Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, 2019. 82 с.
- 4) Чорний С.Г. Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 2018. 233 с.
- 5) Мартиненко М. В., Несін В. І. Баланс гумусу в землеробстві сумської області. *Моніторинг ґрунтів як невід'ємна частина моніторингу довкілля*: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. ( Київ 23–25 липня 2019 р.). Київ, 2019. С. 143–144.
- 6) ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2004-12-09]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 30 с.
- 7) Василенко О. М. Ґрунтозахисні технології та екологічна оцінка стану земельних ресурсів Сумської області : кв. роб. на здобуття осв. ступеня бакалавра / наук. кер. Корнус А.О. Суми : Сумський державний університет, 2021. 70 с.
- 8) Екологічний паспорт Сумської області станом на 01.01.2022 р. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2022/%D0%A1%D1%83%D0%BC%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB\\_2021.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2022/%D0%A1%D1%83%D0%BC%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB_2021.pdf) (дата звернення: 23.02.2023).

- 9) Rishi Prasad, Debolina Chakraborty. Phosphorus basics: understanding phosphorus forms and their cycling in the soil. *Extension Alabama A&M & Auburn Universities*. URL: <https://www.aces.edu/blog/topics/crop-production/understanding-phosphorus-forms-and-their-cycling-in-the-soil/> (дата звернення: 25.02.2023).
- 10) Potassium for crop production. *University of Minnesota Extension*. URL: [Potassium for crop production | UMN Extension](https://www.extension.umn.edu/dominion/crop-production/potassium/) (дата звернення: 25.02.2023).
- 11) Samantha Reicks. Potassium Behavior in Soil. *Pioneer*. URL: <https://www.pioneer.com/us/agronomy/potassium-behavior-soil.html> (дата звернення: 25.02.2023).
- 12) Phosphorus. *Mosaic*. URL: <https://www.cropnutrition.com/nutrient-management/phosphorus> (дата звернення: 27.02.2023).
- 13) Балюк С. А., Носко Б. С., Воротинцева Л. І. Регулювання родючості ґрунтів та ефективності добрив в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2018. Т. 96, № 4. С. 5 – 12. URL: [https://agrovisnyk.com/pdf/ua\\_2018\\_04\\_01.pdf](https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2018_04_01.pdf) (дата звернення: 27.02.2023).
- 14) Метео Фарм. Агропрогноз: вплив температури ґрунту на розвиток сільськогосподарських рослин. *Kurkul*. URL: <https://kurkul.com/blog/675-agroprognoz-vpliv-temperaturi-gruntu-na-rozvitok-silskogospodarskih-roslin> (дата звернення: 28.02.2023).
- 15) Halvin Z.L. Soil fertility and fertilizer an Introduction to Nutrient management: Alberta agriculture and food, nutrient management planning guide - dorling Kindersley. Pvt. Limited, 2005. P. 201–207
- 16) Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: підручник / В. Д. Паламарчук, І. С. Поліщук, С. М. Каленська, Л. М. Єрмакова. Вінниця. 2013. С.149-151
- 17) de Bang, T.C., Husted, S., Laursen, K.H., Persson, D.P. and Schjoerring, J.K. The molecular–physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*. 2021. Vol. 229. P. 2446-2469. URL: <https://doi.org/10.1111/nph.17074> (дата звернення: 01.03.2023).

- 18) Діагностика і оптимізація живлення сільськогосподарських культур  
URL: <http://surl.li/fiaae> (дата звернення: 01.03.2023).
- 19) Волошин М. Д., Черненко Я. М., Іванченко А. В., Олійник М. А. Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива : навчальний посібник. Дніпродзержинськ : ДДТУ. 2016. 354 с.  
URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/7/z2-7-b6.pdf>
- 20) Хацевич О. М., Джус Р. Р. Мінеральні добрива: класифікація, властивості, застосування : навчально-методичний посібник. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. 2018. 80 с.  
URL: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/02/Practicum-Mineral-Fertilizers.pdf>
- 21) Сенік Іван. Азот і сірка у живленні озимих культур. *АгроЕліта*. URL: <https://agroelita.info/azot-i-sirka-u-zhyvlenni-ozymyh-kultur/> (дата звернення: 01.03.2023).
- 22) Що варто знати про фосфор та фосфорні добрива?. *Агрономія Сьогодні*. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/18427-shcho-var-to-znaty-pro-fosfor-ta-fosforni-dobryva.html> (дата звернення: 01.03.2023).
- 23) Гудзь В. П., Лісовал А. П., Андрієнко В. О., Рибак М. Ф. Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії: підручник. За редакцією В. П. Гудзя. Друге видання, перероблене та доповнене. Київ: Центр учбової літератури, 2007. с. 169-172
- 24) Калійні добрива - види і способи застосування. *Dobryva udobreniya u agrokhimiyi*. URL: <https://dobryva.dp.ua/uk/kalijni-dobryva-vidi-i-sposobi-zastosuvannya/> (дата звернення: 02.03.2023).
- 25) Комплексні добрива. *Українська агропромислова група (УАПГ)*. URL: <https://uapg.ua/blog/kompleksni-dobryva/> (дата звернення: 02.03.2023).
- 26) Крамар В. Г. Обґрунтування напрямів утилізації золи від спалювання біомаси. Зола біомаси як добриво в сільському господарстві: аналітична записка. *UABIO*. 2020. №27. 73 с. URL: <http://surl.li/figvm> (дата звернення: 02.03.2023).

- 27) Нітрофоска: властивості, характеристика, підгодівля різних рослин, аналоги. *Українська агропромислова група (УАПГ)*. URL: <https://uapg.ua/blog/nitrofoska-vlastivosti-harakteristika-pidgodivlya-riznih-roslin-analogi/> (дата звернення: 02.03.2023).
- 28) Писаренко В. М., Писаренко П. В. Органічні добрива на захисті родючості ґрунту : монографія / за ред. В. М Писаренка. Полтава. 2022. 156 с. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/academicdepartment/kafedra-zahyst-roslin/orgnichnidobryvaknyga2022.pdf> (дата звернення: 03.03.2023).
- 29) Добрива: види і особливості застосування органічних і мінеральних добрив. *Bizon Tech*. URL: <https://bizontech.ua/blog/fertilizers-features-of-application-organic-mineral> (дата звернення: 03.03.2023).
- 30) Кучерук П., Матвєєв Ю. Види органічних добрив, що виробляються в Україні, та їх ринкові ніші. *SAF*. URL: <https://saf.org.ua/news/950/> (дата звернення: 03.03.2023).
- 31) Гоцький, Я. Г., Степанюк, А. Р. Переваги застосування гранульованих органо-мінеральних добрив пролонгованої дії. *Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. №1, с. 61–67. URL: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2019.171044> (дата звернення: 03.03.2023).
- 32) Artyukhov A.E., Vakal S.V., Yanovska A.O., Shkola V.Y., Vakal V.S., Yarova T.Y. The Investigation of Nanoporous Structure Morphology and Elemental Composition of Organo-mineral Fertilizer Granules. *Journal Of Nano- And Electronic Physics*. 2020. Vol. 12. №6, 06039. URL: [https://doi.org/10.21272/jnep.12\(6\).06039](https://doi.org/10.21272/jnep.12(6).06039) (дата звернення: 04.03.2023).
- 33) Yanovska, A., Artyukhov, A., Vakal, S., Vacal V., Shkola V. Encapsulated organic–mineral fertilizers with nanoporous structure. *Applied Nanoscience*. 2022. Vol. 12. p. 1275-1283. <https://doi.org/1007/s13204-021-01893-6>
- 34) Vakal, S., Vakal, V., Artyukhov A., Shkola V., Yanovska A. New method for obtaining “green” encapsulated fertilizers with nanoporous structure within the

concept of sustainable development. *Clean Techn Environ Policy*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02419-6>

35) Marrero, T. The impact of particle size on biochar porosity. *Wakefieldbiochar*. URL: <https://www.wakefieldbiochar.com/impact-of-particle-size-on-biochar-porosity/>

36) Большанина С.Б., Гоменюк В.В. Застосування фотометричного методу у визначенні фосфатів в мінеральних добривах // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма ІХ Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 19–22 квітня 2022 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – С.190

37) Гирля Л. М., Кельїна С. Ю. Аналітична хімія : навч. посіб. Миколаїв: МДАУ, 2012. 247 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/6530>

38) ГОСТ 20851.2-75. Методы определения фосфатов

39) ДСТУ 7312:2013. Сечовина (Карбамід). Технічні умови. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2013. 21 с.

40) ГОСТ 30181.8-94. Добрива мінеральні. Метод визначення масової частки амонійного азоту в складних добривах (хлораміновий метод)