

Міністерство освіти і науки України
Миколаївський національний аграрний
університет

С.Г. Чорний

ОСНОВИ **АГРОНОМІЧНОЇ ХІМІЇ**

Навчальний посібник

Миколаїв-2020

УДК:631.81

Друкується за рішенням вченої ради Миколаївського національного аграрного університету від 29 вересня 2020 р. Протокол № 2.

Рецензенти

- М.М. Мірошніченко Член-кореспондент НААНУ, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»;
- Ю.М. Дмитрук доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри агротехнологій та ґрунтознавства Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;
- М.І. Федорчук доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри рослинництва та садово-паркового господарства Миколаївського національного аграрного університету.

Чорний С.Г.

Основи агрономічної хімії: навчальний посібник / С.Г. Чорний. – Миколаїв: МНАУ, 2020. – 284 с.

ISBN 978-617-7149-49-0

У посібнику розглянуто широке коло питань агрономічної хімії: теоретичні основи живлення рослин, наведені характеристики органічних і мінеральних добрив, хімічних меліорантів та мікробіологічних препаратів, досягнення агрохімії з оптимізації агрохімічних параметрів показників родючості ґрунту, системи застосування добрив під час вирощування окремих сільськогосподарських культур. Розглянуто екологічні аспекти агрохімії.

Для здобувачів вищої освіти спеціальності 201 «Агрономія» та провідних фахівців у галузі агрономії.

УДК: 631.81

ISBN 978-617-714949-0

© Миколаївський національний аграрний університет, 2020

© Чорний С.Г., 2020

ЗМІСТ

	Передмова	5
1	Вступ до агрономічної хімії	7
2	Коротка історія агрохімії	18
3	Живлення рослин	32
4	Біохімічний та хімічний склад рослин	43
5.	Ґрунт як джерело живлення рослин	54
6.	Поглиняльна здатність ґрунту та її вплив на процедури удобрення	70
7.	Хімічна меліорація ґрунтів із високою кислотністю ґрунтового розчину	77
8.	Хімічна меліорація солонців та солонцевих ґрунтів	89
9.	Хімічна меліорація піщаних ґрунтів	98
10.	Класифікація та характеристика добрив	104
11.	Азот та азоті добрива	113
12.	Фосфор. Фосфорні добрива.	133
13.	Калій та калійні добрива	145
14.	Мезоелементи живлення (сірка, кальцій та магній). Добрива, що містять мезоелементи	152
15.	Мікроелементи живлення. Мікродобрива	160
16.	Комплексні мінеральні добрива.	179
17.	Органічні добрива	195
18.	Бактеріальні добрива (препарати)	215
19.	Система удобрення	223
20.	Удобрення зернових та зернобобових культур	241
21.	Удобрення технічних культур	253

22.	Удобрення овочевих культур	262
23.	Використання добрив та проблема збереження довкілля	273
	Література	277

ПЕРЕДМОВА

Основною задачею агрономічної хімії (агрохімії) є регулювання колообігу речовин в агроекосистемах, але водночас ця наука виконує й іншу найважливішу функцію – забезпечення людства високоякісними харчовими продуктами. Завдяки цьому вона займає міцне положення серед таких наук, як ґрунтознавство, фізіологія і біохімія рослин, мікробіологія, біогеохімія, екологія тощо. Від теорії оптимізації живлення рослин, властивостей і родючості ґрунтів до комплексної оцінки ефективності використання агрохімічних засобів з урахуванням елементів технології, нагальних екологічних проблем, економіки і енергетики – такий зміст сучасної агрохімії, яким повинні опанувати фахівці з вищою університетською освітою, які навчаються за спеціальністю «Агрономія». Слід зазначити, що автор викладає курс «Агрономічної хімії» на факультеті агротехнологій Миколаївського НАУ вже багато років. Але завжди існувала необхідність враховувати деякі регіональні особливості використання мінеральних та органічних добрив та удобрення певних культур, яких немає в базових підручниках, рекомендованих МОН. Одночасно треба висвітлювати сучасні тенденції використання комплексних та мікродобрив, на що автор і робив наголос у цьому посібнику.

Автор має надію, що цей навчальний посібник посприє розвитку певних напрямів агрономічної освіти і буде цікавим і корисним не тільки здобувачам вищої освіти, а і менеджерам різного рівня, які приймають управлінські рішення, пов'язані з удобренням сільськогосподарських культур.

Усі пропозиції та можливі зауваження щодо структури посібника та висвітлення окремих питань можна надіслати електронною поштою на адресу: **s.g.chorny@gmail.com**.

Автор висловлює глибоку подяку працівникам кафедри ґрунтознавства та агрохімії МНАУ Єрьоміной В.В. та Галабан Є.В. за допомогу під час підготовки рукопису до друку.

1. ВСТУП ДО АГРОНОМІЧНОЇ ХІМІЇ (АГРОХІМІЇ)

Визначення, об'єкт та задачі агрохімії, взаємозв'язок її з іншими науками

У *широкому сенсі* агрономічна хімія – це хімія (біохімія) всього процесу виробництва рослинницької продукції, її перероблювання в харчові продукти та вплив цих процедур на навколишнє середовище. Як фундаментальна наука вона охоплює всі хімічні та біохімічні процеси, які забезпечують людей та сільськогосподарських тварин їжею і клітковиною. Це наука про хімічні сполуки, що беруть участь у виробництві та використанні сільськогосподарських культур. У прикладних аспектах «широка» агрономічна хімія спрямована на контроль за процесами виробництва сільськогосподарських культур для підвищення їхньої врожайності, поліпшення якості продукції та зниження витрат. У цьому сенсі мета агрохімії полягає у вивченні причин та наслідків хімічних та біохімічних реакцій, що пов'язано з ростом і розвитком сільськогосподарських рослин, виявленні контролю за цими реакціями й розроблення хімічних продуктів, які забезпечать необхідну допомогу та (або) контроль. Хімічні матеріали, які розроблені для поліпшення виробництва харчових продуктів, кормів та волокон, включають зараз сотні гербіцидів, інсектицидів, фунгіцидів, пестицидів, регуляторів росту та мінеральних добрив.

Водночас, є і «вузьке» радянське і пострадянське трактування поняття «агрохімія». У *вузькому сенсі* агрохімічна хімія – це наука лише про живлення рослин і застосування добрив для підвищення родючості ґрунтів, збільшення врожайності і поліпшення якості сільськогосподарської продукції. Вона вивчає лише взаємозв'язки між рослиною, ґрунтом і добривами в процесі живлення сільськогосподарських культур та проблеми охорони довкілля в агроландшафтах.

Об'єктами «вузької» агрохімії є рослина, ґрунт та добрива (меліоранти). Завданням цієї агрохімії є створення системи удобрення певних сільськогосподарських культур, а саме підбору форм добрив (меліорантів), їх норми, термінів та способів унесення з урахуванням:

- фізіологічної потреби певних сільськогосподарських культур в елементах живлення протягом їхньої вегетації;
- рівня запланованої врожайності;
- ступеня насиченості ґрунтів доступними для рослин формами елементів живлення;
- актуальних і майбутніх зональних та азоняльних ґрунтово-кліматичних умов певної території;
- сучасних досягнень селекції та генетики, направлених на споживання рослинами окремих елементів живлення, зокрема, азоту;
- строкатості просторового розподілу поживних речовин на конкретній ділянці;
- сортових особливостей тощо.

Агрохімія, як наука про живлення рослин і застосування добрив, ґрунтується на фундаментальних науках – математиці, фізиці, хімії та біології; теоретичною базою такої агрохімії є фізіологія рослин, хімія добрив, ґрунтознавство, землеробство.

Значення хімізації землеробства. Глобальні аспекти

Хімізація землеробства («агрохімізація») необхідна як фактор інтенсифікації виробництва сільськогосподарської продукції в умовах обмежених земельних ресурсів та безперервного зростання чисельності населення.

Як відомо, земельний фонд планети становить 13 400 млн га. Орні землі (11 % земельного фонду) дають 88 % харчових продуктів. Пасовища та луки, що займають ще 26 % земельного фонду, дають ще 10 % продуктів. При цьому населення планети безперервно зростає. І хоч темпи

Таблиця 1.1 Середня врожайність пшениці та споживання мінеральних добрив у Франції (Isherwood, 2001)

Рік	Середня врожайність пшениці, т/га	Споживання мінеральних добрив, млн. т
1850	1,0	0
1950	1,6	1,2
1973	3,5	6,0
2000	7,1	4,0

Таблиця 1.2. Унесення добрив у провідних країнах Західної Європи (Isherwood, 2001)

Країна	Кг на га ріллі в 1936 р.			Кг на га ріллі* в 1996 р.		
	N	P	K	N	P	K
Франція	6	19	10	95	40	56
Німеччина	25	32	50	110	26	40
Нідерланди	68	103	100	191	32	37
Великобританія	10	28	10	125	36	45

*Разом із добривами, які вносилися під пасовища

народжуваності поступово скорочуються, однак загальна кількість населення продовжує зростати швидше, ніж прогнозували аналітики. За даними щорічної доповіді Департаменту з економічних та соціальних питань Секретаріату ООН у 2015 році загальна кількість населення світу становитиме 7,3 млрд осіб. Водночас до 2030 року населення Землі налічуватиме 8,5 млрд осіб. За прогнозами на 2050 рік, воно зросте до 9,7 млрд, а у 2100 досягне позначки у 11,2 млрд, зазначили автори цієї доповіді.

Водночас одна з головних екологічних проблем сучасності пов'язана з погіршенням стану земельних ресурсів. За історичний час, внаслідок прискореної ерозії, дефляції, засолення та інших негативних процесів людство втратило майже 2 млрд га продуктивних земель. Спустелювання загрожує території площею у 4,5 млрд га, на якій проживає близько 850 млн осіб. Пустелі інтенсивно поширюються (до 5-7 млн га на рік) у тропічних та субтропічних районах Африки, Азії та Америки.

Зараз середньосвітовий показник забезпеченості сільськогосподарськими землями на одну особу становить приблизно 0,23 га, але в різних країнах цей показник суттєво відрізняється. В Австралії він становить 2,45 га на особу, Канаді – 1,48 га, Україні – 1,07 га, Росії – 0,9 га.

У Китаї, Бангладеш та Бельгії на кожного мешканця припадає 0,07 га, у Єгипті – 0,05 га, у Японії – 0,03 га. При чинних темпах зростання населення та деградації земель цей показник буде зменшуватись як у цілому у Світі, так і в окремих країнах. Але вже зараз забезпеченість людства харчовими продуктами перебуває не належному рівні. Зокрема, за даними ООН, близько 113 мільйонів осіб у 53 країнах відчували гостру нестачу продовольства у 2018 році.

Єдиний шлях забезпечення людства харчовими продуктами – це інтенсифікація землеробства і тваринництва, а значить широке впровадження продуктів сільськогосподарської хімії як у широкому сенсі цього терміну, а так і в вузькому. В останньому випадку йдеться про застосування мінеральних добрив у землеробстві. Необхідність широкого застосування мінеральних добрив для розв'язання продовольчої проблеми підтверджується досвідом передових країн та аналізом глобального моніторингу за кількістю і якістю продукції рослинництві.

Зокрема, за даними ФАО кореляція між сумарною вартістю зібраного врожаю та обсягами застосування мінеральних добрив у 40 країнах Світу становить за останні роки 0,85. Частка поживних речовин мінеральних добрив у врожаї країн із розвинутим землеробством постійно збільшується. Залежно від рівня хімізації землеробства частка елементів живлення добрив у врожаї Західної Європи становить 60-75 %, у США – 50 %, у сучасній Росії – 10-15 %, у мало розвинутих країнах Африки та Азії – близько 5 % (Казакова, 2015; World fertilizer..., 2017).

Саме використання мінеральних добрив у Західній Європі з кінця XIX століття зняло проблеми щодо забезпеченням місцевих жителів харчовими продуктами. Використання до цього лише органічних добрив було обмежено кількістю тварин, а тому фермери були змушені щорічно залишати третину, а то і половину земель під парами та зайнятими парами для реконструкції родючості назагал дуже малородючих ґрунтів регіону. Перманентні харчові кризи приводили до соціальних вибухів на кшталт Великої французької

революції та масової еміграції населення європейських країн до Америки. Широке використання мінеральних добрив (табл. 1.1 та 1.2) у ХХ столітті, водночас з удосконаленням інших технологічних прийомів та використанням нових сортів, різко збільшило врожайність сільськогосподарських культур та сприяло розв'язуванню продовольчої проблеми. Роль мінеральних добрив в майже чотирикратному збільшенні врожайності в Західній Європі зернових сільськогосподарських культур за другу половину ХХ століття спеціалістами ФАО оцінюється приблизно в 40 %. І у ХХІ столітті споживання мінеральних добрив в Європі буде також зростати.

Щодо світових тенденцій, то у ХХІ столітті середньорічні темпи зростання споживання мінеральних добрив оцінюють щорічно приблизно у 2,6 %. А довгостроковий аналіз динаміки внесення і використання мінеральних добрив у Світі, за даними ФАО, свідчить про чітку тенденцію до зростання від 108 кг д.р. на га ріллі у 2002 році до 141 кг д.р. на га ріллі у 2012 році. Прогнозується і подальше нарощування обсягу внесення і використання мінеральних добрив у Світі, яке у 2020 році досягне 165 кг д.р. на 1 га ріллі.

За оцінками Міжнародної організації виробників і торговців міндобривами (IFA – International Fertilizer Industry Association), світовий попит на мінеральні добрива та їх використання має зрости до 200 млн т поживних речовин. Очікують, що в найближчому майбутньому сукупний світовий попит на калійні добрива зросте на 13 % – до 34,2 млн тонн, на фосфорні добрива – на 10 %, до 46,2 млн тонн, й азотні – на 6 %, приблизно до 120 млн тонн д.р. Позитивна динаміка споживання мінеральних добрив буде зберігатися і надалі через привабливі ціни на зернові та олійні культури, які визначаються висхідним попитом на цю продукцію, що пов'язано, як сказано вище, зі збільшенням населення та неможливістю екстенсивного розвитку рослинництва. Зростання врожайності цих культур буде стимулюватись переважно використанням мінеральних добрив (Казакова, 2015; World fertilizer..., 2017).

Таблиця 1.3. Споживання продуктів харчування в Україні
(<http://www.ukrstat.gov.ua>)

Показник	Рівень споживання на 1 люд. на рік, кг		
	Норматив МООЗ	Факт (2017 рік)	+/- до нормативу
Хліб та хлібопродукти (хліб та макаронні вироби в перерахунку на борошно; крупи, борошно, бобові)	101,0	143,4	+42,4
М'ясо та м'ясопродукти	80,0	51,7	-29,3
Молоко та молочні продукти	380,0	200,0	-180,0
Риба та рибні продукти	20,0	10,8	-9,2
Картопля	124,0	143,4	+9,4
Овочі та баштанні культури	161,0	159,7	-2,3
Плоди, ягоди та виноград	90,0	52,8	-37,2
Олія	13,0	11,7	+1,3
Цукор	38,0	30,4	-0,9

Значення хімізації землеробства. Українські аспекти

Сільське господарство взагалі та рослинництво зокрема є тими галузями економіки України, які не лише задовольняють внутрішній попит на харчі, а значною мірою визначають *експортний потенціал країни*.

Зокрема, за січень-грудень 2017 року Україна експортувала сільськогосподарської продукції та харчових товарів на понад 17,9 мільярда доларів, що на 16,3 % більше, ніж роком раніше. Загалом зовнішньоторговельний обіг аграрної та харчової продукції склав 22,6 мільярдів доларів. Загальна сума експорту продукції рослинництва порівняно з 2016 роком збільшилася на 2,1 мільярда доларів та склала 16,7 мільярда доларів, а експорт продуктів тваринництва зріс на 371,4 мільйона доларів та сягнув майже 1,3 мільярда доларів. У 2018 році вдалося збільшити постачання продовольчої продукції з України на суму 800 мільйонів доларів.

Левову частку в аграрному експорті займає соняшникова олія, обсяг її реалізації за 2018 року склав 4,1 мільярда доларів США. Україна вже декілька років поспіль є світовим лідером із виробництва та експорту соняшникової олії. Решту ключових позицій займають зернові культури

(кукурудза, пшениця, ячмінь), а також олійні (соєві боби) та продукти перероблювання олійних (макуха соняшникова). Ці ТОП-10 продуктів становлять 81 % усього експорту агропродовольчих продуктів з України.

Ураховуючи, що в Україні немає жодних можливостей залучення нових земель до їх використання в рослинницькій галузі, розвиток експорту аграрної та харчової продукції пов'язаний із подальшою інтенсифікацією виробництва, що так само пов'язано з широким залученням до процедури виробництва мінеральних добрив.

Однією з головних складових національної та економічної безпеки нашої держави є її *продовольча безпека*. Сюди можна віднести продовольчу забезпеченість країни та окремих регіонів, продовольчу незалежність, безпеку продовольства для життя та здоров'я населення, бо продукти життєдіяльності є важливим ресурсом країни. Необхідність забезпечення продовольчої безпеки як складової економічної безпеки виникає у зв'язку із захистом державних інтересів, таких, як соціальна стабільність, задоволення потреби в харчуванні, незалежність від імпорту, розвиток власного виробництва продовольчих товарів, створення резервних запасів для стабілізації продовольчого забезпечення.

На національні особливості продовольчої безпеки України мають вплив такі загрози (Рудич, 2017):

- недосконалість системи контролю якості;
- низька купівельна спроможність населення;
- незбалансоване споживання населенням харчами (табл. 1.3);
- зростання цін на сільськогосподарську продукцію;
- низький рівень споживання продуктів тваринного походження (табл. 1.3);
- залежність від імпорту за окремими харчовими продуктами (риба, морепродукти, тютюн, цитрусові, чай, кава тощо).

Наявність указаних загроз породжує необхідність державного управління для підтримки достатнього рівня продовольчої безпеки в країні.

Таблиця 1.4. Унесення мінеральних (кг д.р.) та органічних добрив (т/га) на 1 га ріллі в Україні (<http://www.ukrstat.gov.ua>)

Рік	Мінеральні добрива				Органічні добрива
	Азотні (N)	Фосфорні (P ₂ O ₅)	Калійні (K ₂ O)	Всього	
1990	65	41	42	148	8,4
1995					4,2
2000					1,3
2005	22	6	4	32	0,8
2010	42	7	10	58	0,5
2015	55	12	12	79	0,5
2016	67	16	13	96	0,5
2017	82	22	19	123	0,5

Процес управління продовольчою безпекою має полягати не лише у використанні економічних інструментів, таких, як страхування, кредитування, субсидіювання тощо, а й у стимулюванні залучення до виробництва прогресивних технологій вирощування сільськогосподарської продукції, зокрема широкого використання добрив.

Стан і перспективи застосування мінеральних і органічних добрив в Україні

Реалізація «хімізації» сільського господарства, яка була запропонована Д. М. Прянишниковим у Радянському Союзі була доведена до такого рівня, що вже в 1975 році країна вийшла на перше місце за абсолютними розмірами споживання мінеральних добрив. При цьому ефективність використання цих добрив була не на самому високому рівні. Урожайність сільськогосподарських культур була низькою, продовольча проблема була не вирішена, країна щорічно закуповувала за кордоном 40-50 млн тонн зерна.

Одночасно в Українській РСР, де рівень культури землеробства був невисоким, у 1990 році було внесено на 1 га ріллі 148 кг д.р. мінеральних добрив та 9,4 тонни органічних (табл. 1.4). У цьому році врожайність зернових культур складала 35,1 ц/га, а загальне виробництво сягнуло понад 51 млн т. Усе це позитивно вплинуло на баланс поживних речовин в ґрунті (табл. 1.5). У деяких областях обсяги мінеральних добрив досягали 200 кг, а

Таблиця 1.5. Динаміка балансу поживних речовин у землеробстві України (кг д.р. на 1 га)(дані ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського»)

Складові	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калій (K ₂ O)	Разом
1986-1990 рр.				
Надходження	89,5	56,1	102,7	248,3
Винос	92,6	31,1	103,2	227,0
Баланс	-3,1	24,9	-0,5	21,3
1996-2000 рр.				
Надходження	26,0	10,4	15,3	51,4
Винос	56,5	18,2	53,7	128,4
Баланс	-30,5	-7,8	-38,4	-76,7
2001-2005 рр.				
Надходження	21,8	5,9	8,7	36,4
Винос	70,11	24,7	76,7	171,5
Баланс	-30,5	-18,8	-68,0	-135,1
2006-2010 рр.				
Надходження	38,7	10,2	14,7	63,6
Винос	77,4	23,9	60,3	161,6
Баланс	-38,7	-13,7	-45,6	-98,0
2011-2015 рр.				
Надходження	65,0	13,1	18,1	96,2
Винос	85,0	25,4	33,2	143,7
Баланс	-20,0	-12,3	-15,1	-47,5

гною – 15 т/га. При таких кількостях добрив уперше за всі роки експлуатації земельних ресурсів України було досягнуто просте відтворення родючості ґрунтів.

Слід зазначити, що досягнення нульового або додатного балансу поживних речовин у ґрунті є однією з основних задач науково обґрунтованого землеробства. Дослідження балансу поживних речовин у землеробстві допомагає вивчати їх винос із ґрунту врожаєм і надходження в ґрунт із різних джерел. Якщо витрати поживних речовин унаслідок виносу з урожаєм не компенсуються внесенням добрив, то відбувається поступове виснаження ґрунту і зниження врожаю.

Тотальна економічна криза 90-х років ХХ сторіччя різко зменшила як виробництво мінеральних та органічних добрив, так і впровадження їх у рільництво, а у зв'язку з занепадом ще і тваринницької галузі пройшла корінна трансформація структури посівних площ. Останнє супроводжувалося практичним зникненням багаторічних трав та суттєвим зменшенням площ,

зайнятих бобовими культурами. Це мало дуже негативний вплив на баланс поживних речовин, особливо, на баланс азоту (табл. 1.5). Із занепадом тваринництва різко зменшилася також кількість органічних добрив, які щорічно вносилися в ґрунт (табл. 1.4). Склався стабільно від'ємний баланс гумусу, унаслідок чого запаси органічного вуглецю в орних ґрунтах почали знижуватися. Щорічні втрати гумусу за період 2005-2010 рр. складала – 0,4-0,5 т/га, а за період 2011-2015 рр. – 0,1-0,4 т/га. Ці величини не набагато менші за втрати гумусу в 60-80 рр. минулого століття, коли вони внаслідок інтенсифікації виробництва через збільшення площ просапних культур досягали 0,6 т/га (Концепція..., 2018).

Окрім тотального недовнесення мінеральних і органічних добрив, у ті часи спостерігалось порушення сталих співвідношень між азотом, фосфором і калієм добрив, які використовувалися. Якщо у 1990 році в Україні було внесено добрива у співвідношенні – 1:0,55:0,67, то у 2005 – вже 1:0,27:0,18. І це коли 64 % української ріллі мають низьку і середню забезпеченість фосфором і калієм.

В останні роки спостерігається позитивна тенденція щодо поступового збільшення кількості внесених добрив. У 2018 році внесено 125 кг поживних речовин на 1 гектар посівної площі. Цей показник зараз наближає Україну до середньоєвропейських нормативів унесення мінеральних добрив. Ця новітня хімізація рослинництва, висока природна родючість ґрунтів, а також поступове подолання кризових явищ у рослинництві дозволило отримати у 2018 році найбільший за всі роки існування самостійної України урожай зернових культур у межах 70,1 млн тонн.

Імовірно в найближче десятиліття кількість мінеральних добрив, що буде вноситися в ґрунт ріллі в Україні зросте до величин у 150-170 кг поживних речовин на 1 гектар, що буде трохи вищим за середньосвітові норми (140 кг д.р. на 1 га ріллі у 2016 році та, за прогнозом ФАО, 165 кг д.р. у 2020 р.). Для порівняння наведемо дані ФАО по деяких країнах Світу (на

2016 р): у Великобританії – 247 кг д.р. на га, Німеччині – 202 кг, Білорусі – 194 кг, Франції – 169 кг, США – 137 кг, Угорщині – 118 кг.

Досягнення величини внесення в 150-170 кг поживних речовин на 1 гектар очевидно призведе до нульового або слабко додатного балансу поживних речовин у ґрунті, що назагал позитивно вплине на його родючість.

Але співвідношення між основними видами добрив навряд чи зміниться – будуть привалювати азотні добрива. Слід зазначити, що такі тенденції є загальносвітовими (Мірошніченко та ін., 2018). Причиною таких тенденцій є, окрім всього, новітні селекційно-генетичні розробки вчених, які були та будуть спрямовані на більш ефективне споживання азоту (зараз це показник не перевищує 33 %), завдяки чому, до речі, і були досягнуті високі рівні врожайностей зернових культур в останнє десятиліття в Україні.

2.КОРОТКА ІСТОРІЯ АГРОХІМІЇ

Неолітична революція. Поняття про родючість ґрунту в Стародавньому Світі

Археологічні дослідження показали, що вирощування сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь, горох, сочевицю тощо) було розпочато приблизно 10-12 тис. років тому на Близькому Сході та в Передній Азії, у Китаї (рис, соя) – 8-9 тис., на Новій Гвінеї (цукрова тростина та деякі коренеплоди) – близько 9 тис. років. Сорго почали вирощувати в Сахелі приблизно 7 тис. років тому. В Андах Південної Америки картопля була одомашнена приблизно 8 тис. років, а квасоля та кока – 7 тис. років тому. Банани вирощували та гібридизували в той же період на Папуа-Новій Гвінеї. У Мезоамериці кукурудза почала вирощуватися 6 тисяч, а бавовна в Перу була одомашнена 6-7 тисяч років тому.

Широкомасштабний перехід від полювання та збиральництва до землеробства та тваринництва привів до набуття якісних змін в історії розвитку людства. З'явилася ремісництво, писемність, широкомасштабне будівництво, торгівля, первинні держави. Цей процес в історичній літературі має назву «революція нового кам'яного віку» або *«неолітична революція»* або ще *«перша аграрна революція»* (Agrarian revolution, 2020; Neolithic Revolution, 2020).

У ранній період розвитку землеробства, коли людське суспільство не мало наукових знань, були примітивні системи землеробства. Вони використовували природну родючість ґрунту, яка виникла під впливом природних процесів без участі людини. Найбільше значення і поширення серед примітивних систем землеробства мали підсічно-вогнева, вирубно-лісова, перелогова системи.

У посушливих районах існували примітивні іригаційні системи землеробства. Зокрема багато вчених називали Стародавній Єгипет «даром Нілу», оскільки якби не ця могутня річка, то у долині нічого б не росло і вона

просто перетворилась на пустелю. Щорічні розливи Нілу, які приносять тисячі тонн мулу, створили родючий ґрунт. Сучасні оцінки показують, що щорічні розливи річки приносили на поля таку кількість поживних елементів, яка еквівалентна щорічному внесенню 4-6 тонн підстилкового гною. Темна земля в долині Нілу настільки контрастно відрізнялася від кам'янистого ґрунту сусідніх пустельних плоскогір'їв, що єгиптяни називають свою батьківщину «Кемет» («Чорна»).

Перші спеціальні агрономічні, біологічні та географічні твори, у яких чимало говориться про землю-ґрунт, її властивості та родючість, були викладені стародавнім грекам. Хоча вони й міфологічні за формою, але показують агрокультуру і природу Греції. Давнім грекам уже були відомі відмінності між ґрунтами, засвоєні прийоми їх оброблення в рамках «сухого» землеробства середземноморського типу.

У літературних творах давньогрецького філософа і вченого *Аристотеля* (384-322 рр. до Р. Х.) викладені найзначніші відомості про особливості агрономії, живлення рослин. Аристотель ділив рослини на однорічні, багаторічні, чагарники й дерева, зробив спробу описати внутрішню будову рослин. Він уважав, що рослинам потрібні чотири стихії: повітря, вода, земля і вогонь. Положення Аристотеля щодо природознавства багато століть цитувалися як непорушні. Вони узагальнювали не тільки багатий досвід використання ґрунтів у землеробстві Греції, але і знання, почерпнуті в народів інших країн, особливо Єгипту та Дворіччя, що були зібрані під час військових походів і подорожей.

Відомості про ґрунти Греції та їх використання наведено в трактаті «Про домашнє господарство» знаменитого давньогрецького історика і письменника *Ксенофонта* (бл. 430-355 рр. до Р. Х.). Знання про ґрунт і тоді пов'язувалися з її впливом на рослини. Видатний дослідник рослинного світу в Стародавній Греції *Феофраст* (бл. 372-287 рр. до Р. Х.) у своєму творі «Дослідження про рослини» зазначав, на яких ґрунтах які культури краще висівати, як підтримувати родючість ґрунту, роль гною тощо. Для

природознавства він нарівні зі своїм учителем Аристотелем зіграв важливу роль у розвитку вчення про рослини і ґрунти. Праця Теофраста «Дослідження про рослини» вважається головним із найбільш ранніх ботанічних і агрономічних творів.

Грецька агрономія була спадкоємицею агрономії Єгипту і Міжиріччя, а сільськогосподарські знання стародавніх римлян розвивалися під впливом грецької культури та науки. Зовнішні завоювання Риму, захоплення ним Іспанії, Галлії, Британії, Північної Африки, Греції та інших країн, призвело до створення величезної та могутньої імперії, розширили географічний і агрономічний кругозір римлян і породили необхідність і одночасно можливість узагальнення даних, накопичених в цих сферах знань. Із 160 р. до Р.Х., з часу появи рукопису Катона, розпочалася епоха римської агрономії, яка тривала до початку V ст. Протягом усього цього часу римляни наполегливо цікавилися ґрунтом як головним об'єктом будь-якої агрономічної діяльності.

Вони зокрема вважали долину По (Північна Італія) найважливішою в економічному плані, оскільки «всі злаки добре справляються, але врожай проса є найкращим, оскільки ґрунт так добре зрошується природними опадами». Провінція Етрурія мала важкий ґрунт, добрий для пшениці. Вулканічний ґрунт у Кампанії зробив його придатним для виробництва вина. Крім знань про різні категорії ґрунтів, римляни також цікавились тим, який тип гною найкраще підходить для ґрунту. У Стародавньому Римі використовували різні види органічних добрив, а також золу, гіпс, вапно, мергель. Тут також знали, що при однаковій кількості добрив, унесених в сівозміні, продукції виходить більше, ніж при монокультурі. Римлянам було добре відомо про удобрювальну дію бобових, зокрема люпину. Найкращим для них був пташиний гній, а коров'ячий гній – одним із найгірших. Вівчарський і козячий гній теж були хорошими добривами. Ослиний гній був найкращим для негайного використання, в той час як кінський гній був не

найкращим для зернових культур, але він міг бути добрим для луків, оскільки «сприяє сильному зростанню трав'янистих рослин».

Із різних питань сільського господарства багату спадщину з того часу залишили видатні стародавні римські вчені та письменники: Катон, Варрон, Колумелла, Пліній. Усі вони займалися землеробством через те, що цей рід занять уважали найкориснішим і гідним вільного громадянина імперії. *Марк Порцій Катон (старший)* (234-149 рр. до н.е.), видатний римський державний діяч і письменник, написав книгу «Про справи сільські» та трактат «Землеробство», у яких були зібрані практичні поради з різних галузей сільського господарства. Зокрема з оброблення ґрунту, вирощування виноградників, оливкових садів тощо. Він зробив першу спробу класифікувати ґрунти щодо їхньої придатності для вирощування різних культурних рослин. Катон у своїх працях дає практичні поради щодо правильного зберігання та вивезення гною на поля, рекомендації з вирощування люпину, віки, бобів на зелене добриво тощо. Катон уважав, що землеробство є основою Римської держави, а праця хлібороба найшляхетніша і її здобутки порівняно з здобутками воїнів і політиків, не викликають заздрості в інших верств населення Римської імперії, а лише повагу.

Ольвія

Південна Україна вже в середині першого тисячоліття до Р.Х. входила до зони впливу Стародавньої Греції. Талановитих купців і землеробів приваблювали родючі землі регіону. «Батько» історії і географії *Геродот*, який перший зробив опис цих територій, визначив, що навколо Борисфена (Дніпра) «найкращі і найбільш родючі пасовища для худоби, і дуже багато в ньому риби, приємної на смак, і вода в ньому дуже чиста, і ниви навколо нього чудові, а там, де не засіяно, виростає висока трава, а в його гирлі відкладається багато солі». У регіоні, за словами Геродота, скіфами-орачами

культивуються хліби, сочевиця, цибуля, часник, льон і коноплі. Цей народ, як писав Геродот, живе плодами свого землеробства і торгує хлібом.

У першій половині 6-го ст. до Р.Х. вихідці з Мілету заснували місто Ольвію (сучасне селище Парутіно в Очаківському районі на Миколаївщині). Основою виробництва в землеробській зоні («хорі») Ольвії було зернове господарство (пшениця, просо, ячмінь, сочевиця, чина, горох). Були впроваджені сівозміни з трьох культур: ярової та озимої пшениці, а також бобових (горох, люпин). Періодично залишалися площі під пар та використовувалися органічні добрива і сидерати. Землеробство хори Ольвії було напрочуд раціональним і мало ґрунтозахисний напрям - поблажливе ставлення греків до землі було пов'язано з певним релігійними традиціями. У греків існувала богиня Деметра, яка «відповідала» в пантеоні богів за родючість ґрунту, шлюб та дітонародження (!). Перед тим, як зорати цю землю, Деметрі приносили дари, щоб її заохотити до гарного врожаю та не втрачати її турботи та милості впродовж вегетаційного періоду. Високий на той час рівень землеробства в «хорі» дозволяв Ольвії та іншим грецьким колоніям Півдня України (Пантікапей, Херсонес, Тір) експортувати в «материнську» Грецію до 1 млн тонн зерна щорічно.

Новий час. Друга (англійська) аграрна революція

Після знищення Римської імперії сільське господарство Середземномор'я та Європи занепало на ціле тисячоліття. Лише арабська експансія в 6-8 сторіччі н.е. в Північній Африці та на Піренейському півострові зумовила в цих регіонах короткотерміновий розквіт землеробства, насамперед, зрошувального («арабська аграрна революція»). Саме з арабами пов'язано поява нових культур у Середземномор'ї – сорго, цитрусових, манго, рису, бавовнику. Розквіт зрошення пов'язують з досягненнями арабських учених у математиці та фізиці, якіх ґрунтувалось меліоративне будівництво (Rapoport, Shahar, 2012).

Британська аграрна революція, або друга сільськогосподарська революція, – це безпрецедентний приріст сільськогосподарського виробництва у Британії через збільшення продуктивності галузі між серединою 17-го та кінцем 19 століть. у рослинництві врожайність основних сільськогосподарських культур (картопля, зернові, однорічні та багаторічні трави) збільшилася за 200 років приблизно втричі.

Однією з найважливіших інновацій Британської аграрної революції було впровадження чотирьохпільної сівозміни з бобовими культурами (конюшина – озима пшениця – коренеплоди – ячмінь з підсівом конюшини; система Норфолк). Коренеплоди та конюшина забезпечували швидке зростання поголів'я свійських тварин та виробництво гною. Окрім органічних добрив, які традиційно використовувалися в Англії, британські фермери стали застосовувати нові, вже мінеральні, добрива. На початку 19-го сторіччя почалася розроблення та експорт у Британію природних покладів нітратів натрію з пустелі Атаками (Чилі). Широко використовувався попіл дерев як калійне добриво, а також побічні продукти британської м'ясної промисловості – подрібнені кістки, як фосфорне добриво. У південно-східній Англії були знайдені мільйони тонн скам'янілостей рифею та ордовіку, які називали копролітами, що містили 55-60 % трикальцію фосфату. Коли ці поклади розчиняли в сірчаній кислоті, то отримували фосфатну суміш, яку сільськогосподарські рослини легко засвоювали та збільшували врожайність (Agrarian revolution, 2020)

Розвиток теорій кореневого живлення рослин. Юліус Лібіх

Якщо механізм повітряного живлення був більш-менш відомий уже на початку 19-го століття, то теорія кореневого живлення розвивалася по більш складній траєкторії. Не певні, не підтримані науковими дослідженнями висловлювання Лавуаз'є, Пліссі, Глаубера та інших західноєвропейських вчених про видатну роль солей у живленні рослин, не вплинули на домінуючу на той думку про гумусне кореневе живлення рослин. Шведський

хімік *Валеріус* ще в 1761 р. припустив, що рослини живляться гумусом. Він виходив із практичного спостереження за впливом на родючість ґрунту гною і всякого перегною і помилково вважав, що рослини прямим шляхом засвоюють корінням гумус і що тільки органічні речовини ґрунту є поживними для рослин, а інші його складові є допоміжними та, на його думку, лише сприяють розчиненню «жирних» речовин гумусу. Але найактивніше гумусову теорію живлення рослин поширював найбільш авторитетний німецький вчений та агроном *А. Теєр* (1752-1828). Він уважав, що родючість ґрунту повністю залежить від вмісту гумусу і що, окрім води, гумус представляє єдину речовину ґрунту, що може служити для живлення рослин. Оскільки Теєр здобув великою популярністю і авторитетом у свій час, його помилкові погляди щодо гумусової теорії живлення рослин, набули значного поширення в наукових кругах Західної Європи та Америки на початку 19-го століття (Крупенников, 1981, Минеев, Лебедева, 2003).

Повністю поховав гумусну теорію живлення лише в 1840 році великий німецький хімік *Юліус фон Лібіх*, який намагався пристосувати теоретичні знання органічної хімії до реальних проблем рослинництва. Його книга «Органічна хімія в її застосуванні до сільського господарства і фізіології» задекларувала, що хімія може змінити сільськогосподарську практику, збільшуючи врожайність сільськогосподарських культур та знижуючи витрати на виробництво продовольства. У книзі Лібіха обговорювалися хімічні перетворення в рослинних та тваринних живих системах та викладалися теоретичні основи сільськогосподарської хімії. Лібіх виступав проти поширеної тоді теорії про видатну роль гумусу в живленні рослин та сформулював і обґрунтував ідею кореневого *мінерального живлення*. У своїй теорії щодо мінеральних поживних речовин Лібіх визначив азот (N), фосфор (P) і калій (K) як елементи, що вкрай необхідні для росту і розвитку рослин. Він також зазначив, що рослини отримують вуглець (C) і водень (H) з атмосфери та води (H₂O), водночас підкреслюючи важливість наявності різних мінеральних солей у ґрунті, він стверджував, що рослини живляться

лише тими азотними сполуками, які були отримані з повітря. Ця теза була джерелом суперечок протягом багатьох років і виявилось правильною лише для бобових рослин, але не для всіх інших сільськогосподарських культур. Юліус фон Лібіх справедливо вважається засновником агрохімії як окремої науки (Крупенников, 1981, Минеев, Лебедева, 2003).

Ще одним засновником сучасної агрохімії є видатний французький вчений *Жан Батіст Буссенго*. Саме цей фахівець разом із Лібіхом досліджував колообіг елементів живлення та його вплив на рослинництво. Буссенго обґрунтував ґрунтове живлення рослин азотом, відкрив явище біологічної фіксації азоту (БФА) кореневими системами бобових рослин.

Виробництво та споживанні мінеральних добрив у 20 столітті

Теоретичні досягнення наукової агрохімії у 19-му столітті були підкріплені відкриттям нових технологій виробництва штучних мінеральних добрив.

Зокрема вже в 1903 році в Норвегії розроблені технології з виготовлення азотної кислоти з азоту повітря («процес Біркеланда-Ейде»). Азотна кислота використовувалася для отримання широкого спектра азотних добрив. В сучасному виробництві застосовується процес Хабера, відкритий у 1909 році, який є більш енергоефективним порівняно з процесом Біркеланда-Ейде. У процесі Хабера виробляється аміак (NH_3) з молекулярного азоту (N_2) та метану (CH_4). Аміак із процесу Хабера перетворюється в азотну кислоту (HNO_3) у процесі Оствальда. У 1927 Е. Джонсон розробив промисловий метод отримання нітрофосфату, також відомий як процес Одда. Цей процес передбачав підкислення фосфатної сировини (із островів Науру та Банаба, що на півдні Тихого океану) азотною кислотою для отримання фосфорної кислоти та нітрату кальцію, які після нейтралізації можуть використовуватися як азотні добрива. Міжвоєнний період характеризується інноваційними досягненнями концерну Imperial Chemical Industries, який розробив синтетичний сульфат амонію в 1923 році,

Таблиця 2.1. Використання мінеральних добрив країнами «третього світу» (кг д.р. на га)

Регіони	1961	1979	1997	2015	2030 (прогноз)
Африка (без Північної)	~1	~7	~5	~7	~9
Латинська Америка	~11	~50	~56	~59	~67
Близький Схід та Північна Африка	~6	~38	~71	~84	~99
Південна Азія	~6	~36	103	115	~134
Індія	~6	~48	113	142	~178
Східна Азія	~10	~100	194	244	~266
Китай	~12	~50	96	131	~92
Світ	~25	~80	92	125	

нітрокрейду в 1927 році і нове концентроване добриво під назвою ССФ (концентроване повне добриво) на основі фосфату амонію в 1931 році.

Усі досягнення були швидко впроваджені в виробництво з метою задоволення великого попиту на мінеральні добрива, яке в економічно розвинутих країнах стимулювалося ще й державними субсидіями на їх купівлю. Усе це привело до непересічного збільшення використання добрив у виробництві. Наприклад, у США споживання мінеральних добрив збільшилося з 1930 до 1970 рр. у 15 разів. А застосування азотних добрив у США за цей період збільшилось у 17 разів. У Західній Європі за цей час споживання збільшилося приблизно в 5 разів, а азотних у 8-12 разів.

До 60-х років 20-го століття впровадження досягнень агрохімічної науки та виробництва стосувалися переважно європейських країн та країн Північної Америки. Саме в цих країнах були розроблені ефективні системи удобрення сільськогосподарських культур та широко впроваджені в аграрне виробництво мінеральні добрива, що сприяло вирішення продовольчої

проблеми. Інші країни, зокрема країни «третього світу», залишилися за межами реалізацій наукових досягнень у сільськогосподарській галузі, мали примітивні системи землеробства, часто голодували.

«Зелена» революція, або третя сільськогосподарська революція – це сукупність ініціатив щодо передачі сучасних аграрних технологій країнам «третього» світу для збільшення виробництва сільськогосподарської продукції. Найбільш інтенсивно цей процес почав реалізовуватися з кінця 50-х років 20-го століття. «Пакет практик» «зеленої революції», який замінив «традиційну» технологію, включав упровадження високопродуктивних сортів зернових культур, особливо карликових сортів пшениць та рису, у поєднанні з хімічними добривами та агрохімікатами, а також із контрольованим водопостачанням (зазвичай, із поливом) та новими методами вирощування, включаючи механізацію. Упровадження нових технологій зумовило зростання в країнах «третього» світу кількості мінеральних добрив, які використовувалися в виробництві за 30 років із 1960 до 1990 рр. у 10-12 разів (табл. 2.1).

Підвищення інтенсивності землеробства, зокрема використання добрив, пестицидів, хімічних меліорантів і регуляторів росту рослин є єдиним способом розв'язання проблеми забезпечення продовольством. На думку експертів ФАО, мінеральні добрива залишаться основним засобом інтенсифікації виробництва харчових продуктів на найближчі 30-50 років. За оцінками експертів споживання мінеральних добрив у 2050 році перевищить 320 млн т.

Агрохімічна наука на теренах Російської імперії та Радянського Союзу

Росія відрізнялася слабким розвитком власних тукових виробництв. У Російській Імперії – одного з головних експортерів хліба на світові ринки – було зафіксоване найнижче серед країн Європи та Північної Америки споживання мінеральних добрив. За словами засновника радянської агрохімії

– *Д. М. Прянішнікова*, масштаб застосування добрив до Першої світової війни в Росії вимірявся незначною цифрою – 0,4 пуда (2,4 кг) на десятину (1,1 га). У той час у невеликий за розміром Бельгії вносили більш 10 пудів мінеральних добрив на десятину, у Німеччині – приблизно 7,5 пудів, у США – 5,2 пуда. Із 46 млн пудів загального обсягу добрив, закладених у Росії під урожай 1913 р., 37 становили фосфорнокислі добрива, 4 – азотні, 5 – калійні. При цьому до 33 млн пудів виписувалося з Німеччини та тільки 13 млн пудів вироблялося в Росії (Минеев, Лебедева, 2003).

У наукових колах Росії тривалий час так і не було однозначно визначено, чи потрібні взагалі російському землеробству мінеральні добрива. Ніхто в Росії не сумнівався в користі природних добрив, насамперед, гною. Але цього традиційного «селянського золота» завжди не вистачало – тваринництво не належало до передових галузей російського сільського господарства (Минеев, Лебедева, 2003).

Дотримуючись рекомендацій Лібіха, кращі російські землевласники почали завозити на свої поля найбільш популярні на той час види азотних, фосфорних і калійних добрив – чилійську селітру, кістяне і фосфоритне борошно, каїніт і поташ. Особливу активність виявляли професори-хіміки, які проводили польові дослідження у своїх маєтках, але результати отримувалися досить суперечливі. Так, наприкінці 1860-х рр. під керівництвом *Д. Менделєєва* в декількох губерніях проводилося вивчення дії кістяного борошна (фосфорного добрива) на овес і озиме жито. Унесення добрив ніяк не відбилося на врожаї. У 1880-і рр. інший відомий хімік *А. Енгельгардт* на підставі дослідів з фосфорними добривами у своєму маєтку в Смоленській губернії, дійшов до прямо протилежного висновку. Ситуація ускладнювалася ще і тим, що ґрунти Російської Імперії відрізнялися надзвичайним розмаїттям. До початку 20 ст., поки не стало можливим відстежувати незначні зміни водневого показника в межах ґрунтів близького гранулометричного складу, важко було відповісти на запитання, чому використання одного й того добрива дає такі різні результати. Але для

деяких областей такі дослідження взагалі довгий час уважалися зайвими. Так, на переконання *В. Докучаєва*, чорноземні ґрунти південних і південно-східних губерній Російської імперії, головного хліборобного регіону, зовсім не мають потреби в мінеральних добривах. Існувала й авторитетна концепція збільшення родючості біологічними і механічними методами – посівами бобових трав і спеціальним обробітком ґрунту. Прихильники цього підходу взагалі вважали мінеральні добрива «вигадкою німців» (Крупенников, 1981, Минеев, Лебедева, 2003).

Ставлення до мінеральних добрив почало змінюватися на рубежі століть. До середини 1890-х рр. не без впливу «великого голоду» 1891 р., під час наростання аграрної кризи та витиснення зерна Російської імперії з європейських ринків дешевим і якісним американським, у Росії усвідомили необхідність раціоналізувати цю найважливішу галузь економіки.

Було встановлено, що всі ґрунти Російської Імперії мають потребу в мінеральних добривах. Підзолисті ґрунти Нечорнозем'я завжди потребують азот. З'явилися перші дані про те, що азот на таких ґрунтах може засвоюватися рослинами не тільки в нітратній, але й в аміачній формі. Для чорноземів застосування азотних добрив не настільки обов'язково. Далі деякі види ґрунтів – піщані, сильно опідзолені, торфовища й інші – не можуть давати врожай без калійних добрив. Ґрунти майже всієї Росії – і чорноземи, і підзоли, і суглинки – мають потребу в унесенні фосфатів. Був нарешті пояснений «ефект Ангельгардта» – фосфор із розмелених фосфоритів засвоювався тільки в кислому середовищі, де він переходив у розчинний, придатний для поглинання коренями, стан. На підзолистих, кислих ґрунтах Смоленської губернії стало можливим застосування фосфоритного борошна.

Проте розв'язувати проблему фосфорних і інших добрив у масштабах країни не було можливим із фінансових причин. Російське сільське господарство цілком залежало від імпорту добрив або сировини для них через кордон, переважно з Німеччини. Перша світова війна припинила імпорт добрив.

Саме в кінці 19-го сторіччя стала формуватися *українська агрохімічна школа*, яка в ті часи була пов'язана з відомим ученим *А. Зайкевичем* – професором Харківського університету, який присвятив свої дослідження чорноземам та застосуванню на них мінеральних добрив. *А. Зайкевич* увійшов в історію агрохімії як учений, який першим довів, що мінеральні добрива необхідно використовувати на чорноземах. За допомогою польових дослідів він показав, що чорнозем прекрасно відгукується на мінеральні добрива (азотні, фосфорні, калійні, змішані), органічні, а також на внесення вапна, гіпсу тощо. Зокрема в у цих дослідах була встановлена висока ефективність невеликої дози суперфосфату, що вноситься в рядки. Таке удобрення комбінованої сівалкою з того часу стало звичайним заходом унесення мінеральних добрив на посівах цукрових буряків (Носко, 2015).

Певний імпульс для розвитку агрохімії як окремої науки було зроблено вже в радянські часи, коли *Д. Прянішніков* доповів на сільськогосподарській секції Держплану про «хіміфікацію» (хімізацію) землеробства. Ідея прянішніковської «хіміфікації» була досить проста – забезпечити підйом сільськогосподарської галузі через розширення виробництва і впровадження мінеральних добрив. З ініціативи Прянішнікова упродовж 1920-х рр. у багатьох університетах були створені кафедри агрохімії та повідкривалися мережі нових спеціалізованих агрохімічних дослідних станцій (Минеев, Лебедева, 2003; Носко, 2015).

Ідеї хімізації рослинницької галузі наражалась на скажений опір прихильників суто біологічних та агротехнічних методів збільшення родючості ґрунтів, які заперечували вирішальну роль азотного живлення сільськогосподарських рослин та применшували роль мінеральних добрив в отриманні рослинницької продукції (наприклад, *В. Вільямс*). У 30-ті роки 20-го сторіччя в Радянському Союзі дуже часто наукова полеміка з питань живлення сільськогосподарських рослин трансформувалась у боротьбу з «ворогами народу» і фізичним знищенням опонентів (Носко, 2015).

Уже в післявоєнну епоху в Радянському Союзі отримала подальший розвиток українська агрохімічна школа, яка мала розгалужену мережу осередків по всій республіці, але головні установи були зосереджені в Києві та Харкові (Інститут фізіології рослин і генетики АН України, Національний аграрний університет, Харківський сільськогосподарський університет, Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського) Українська агрохімічна школа пов'язана з діяльністю таких видатних учених як *М. Єгоров, Б. Рождественський, Р. Душечкін, П. Власюк, Б. Носко* та багато інших (Носко, 2015).

3. ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Визначення

Живлення рослин – процес поглинання з зовнішнього середовища й перетворення поживних речовин у сполуки, необхідні для життєдіяльності рослини, пересування первинно поглинутих поживних речовин та їхнє *перетворення й локалізація* для подальшого використання. Живлення рослин – одна з найважливіших складових їхнього життя. У процесі живлення відбувається обмін речовин між рослинами та довкіллям середовищем. Неорганічні речовини ґрунту, атмосфери й води надходять у рослину, де використовуються в процесі синтезу складних органічних сполук, водночас низка речовин виводиться з рослинного організму в навколишнє середовище (Мусієнко, 2005).

Типи живлення рослин (автотрофний і симбіотрофний тип)

Розрізняють *автотрофний і симбіотрофний (мікотрофний і бактеріотрофний)* типи живлення рослин. У рослин переважає *автотрофний* тип живлення (грец. «троф» – «їжа»), тобто самостійне забезпечення поживними елементами з ґрунту та повітря, з яких синтезуються органічні речовини. (Мусієнко, 2005; Господаренко, 2018). Під час *симбіотрофного* типу живлення вища рослина тісно співіснує з іншими організмами (симбіонтами). Симбіоз утворився в процесі історичного розвитку організмів як корисна для них форма відносин. Під час симбіотрофного типу живлення спостерігаємо взаємне використання продуктів обміну речовин для живлення. Межі симбіозу не завжди визначені, тому часто важко визначити розмір користі, яку принесе один організм іншому.

При симбіозі вищої рослини із грибами встановлюється *мікотрофний* тип живлення. Мікориза гриба забезпечує вищу рослину водою та розчиненими в ній мінеральними солями й іншими речовинами, гриби ж

використовують вуглеводи й інші органічні сполуки, синтезовані вищою рослиною. Біологічне значення мікоризи полягає також у збільшенні поглинальної поверхні кореня вищої рослини шляхом розвитку міцелію гриба. В останні роки відкриті мікоризні гриби, що поліпшують живлення вищих рослин фосфором, особливо на ґрунтах із низьким умістом доступного фосфору (Мусієнко, 2005; Господаренко, 2018).

Найбільш наочним прикладом *бактеріотрофного* типу живлення рослин є симбіоз бульбочкових бактерій із бобовими рослинами. При створенні умов, що забезпечують ефективний симбіоз, величина біологічної фіксації азоту досягає кількох сотень кілограмів на 1 га в рік (Мусієнко, 2005).

Повітряне і кореневе живлення

Рослина споживає поживні речовини через корінь і листя. Через листя здійснюється вуглецеве живлення рослин (фотосинтез), тобто відбувається асиміляція зеленими листами вуглекислого газу з атмосфери за допомогою сонячної енергії. Саме тому фотосинтез називають ще *повітряним живленням* рослин. Через листя з повітря в рослину потрапляють і інші елементи живлення (сірка, мікроелементи). Через корінь рослина поглинає та засвоює з ґрунту воду й різні іони мінеральних солей (*кореневе живлення*) (Мусієнко, 2005).

Фотосинтез – процес утворення переважно не азотистих органічних речовин (вуглеводів) рослинами з вуглекислоти атмосфери й води ґрунту за участю сонячних променів:



У процесі фотосинтезу рослини, використовуючи сонячну енергію, з вуглекислого газу, що надходить з атмосфери через листя, а також води та мінеральних солей, які поглинаються корінням, синтезують дуже складні органічні речовини. Кожна рослина синтезує одне або кілька органічних речовин, які становлять найбільший інтерес для харчування людини,

наприклад, білок і крохмаль у зернових і зернобобових культурах, цукор у цукровому буряку, крохмаль у картоплі, жири в соняшнику, клітковина у бавовнику й льоні-довгунці тощо. Завдання агронома полягає в тому, щоб створити оптимальні умови для максимального нагромадження поживних речовин, виходячи з біологічних особливостей кожної сільськогосподарської культури.

Поглинання води й поживних речовин через корінь, тобто кореневе живлення, тісно пов'язане з вуглецевим живленням рослин через листя. Хоча з енергетичної точки зору фотосинтез являє собою процес поглинання величезної кількості сонячної енергії й перетворення її в потенційну енергію врожаю, успішно протікати він може тільки при оптимальних умовах кореневого живлення. *Фотосинтез і кореневе живлення, по суті, єдиний, хоча й багатоступеневий процес поглинання рослинами необхідних поживних речовин із зовнішнього середовища, перетворення води, вуглекислоти та мінеральних солей у численні органічні сполуки з утилізацією сонячної енергії й за участі ферментів* (Мусієнко, 2005; Господаренко, 2018).

Будова кореня та процес кореневого живлення

Основні органи, за допомогою яких рослина споживає елементи живлення – *листя і корінь*. Останній виконує кілька функцій, але насамперед є органом поглинання іонів мінеральних речовин і води з ґрунту. Правда, усі інші органи також здатні до поглинання іонів, але в кореня ця функція більше розвинена і тому він виконує її незрівнянно ефективніше. Іншою важливою функцією кореня є перероблення іонів, які надійшли: їх відновлення та включення в різні органічні сполуки, зокрема в корені здійснюється біосинтез фізіологічно активних сполук (Мусієнко, 2005).

Корені рослин у ґрунті досить сильно розгалужені, проникають на глибину 1,5-2 м, а в окремих сільськогосподарських рослинах – до 5-10 м і більше, наприклад, у посушливі роки корінь люцерни іноді проникає на глибину до 18 м.

Від поглинальних функцій різних частин кореневої системи залежить цілий низка агротехнічних заходів: глибина та характер унесення добрив, глибина та ширина культивації під час догляду за рослинами, глибина основного обробітку ґрунту (Мусієнко, 2005; Господаренко, 2018).

Під час проростання насіння спочатку починає рости головний зародковий корінь, а потім з'являються кілька нових зародкових корінців. Після початку кущіння від стебла біля листків утворюються вузлові, або, як їх ще називають, додаткові коріння, які формують вторинну кореневу систему. Кожен корінь має три основні зони:

–зону зростання та розтягування коріння довжиною 1,5 мм – саме через тканини верхівкової меристеми (із грецької – meristos, те що ділиться, узагальнена назва для тих тканин рослин, які складаються з клітин та інтенсивно діляться та зберігають фізіологічну активність протягом усього життя);

–зону корневих волосків, або зону всмоктування (поглинальна зона), яка характеризується наявністю особливих виростів – корневих волосинок довжиною до 1 мм (довжина самої цієї зони 1-2 см);

–зону побічних коренів.

У виробничих умовах під час вирощуванні сільськогосподарських культур особливе значення в живленні рослин має зона корневих волосків, так звана *поглинальна зона* (Мусієнко, 2005).

Швидкість руху поживних речовин

Швидкість надходження та пересування поживних елементів у рослині в сотні разів більша швидкості таких фізіологічних явищ, як дифузія й осмос. Наприклад, за допомогою міченого вуглецю ^{14}C було встановлено, що вуглекислота з коріння до листя пересувається за 10-15 хв. Швидкість пересування продуктів фотосинтезу з листів у корінь 40-100 см/рік. Ще швидше надходять через кореневу систему рослин елементи живлення, зокрема і внесені в ґрунт добрива. Наприклад, у процесі занурення ячменю

коріннями в розчин, який містить мічений фосфор ^{32}P , його знаходили в листах через 5 хв. Із корінців кукурудзи він надходив у листя через 2 хв. Така ж швидкість пересування поживних елементів із ґрунту в корінь і листя рослин спостерігалась у дослідах з пшеницею та іншими культурами. Водночас швидкість поглинання поживних речовин істотно змінюється з віком коріння. Так, у процесі старіння рослин кукурудзи (з 20 до 80 днів) швидкість поглинання N, P, K, Ca та Mg зменшується в десятки разів і більше.

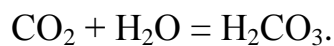
Хоча молоді рослини в абсолютних величинах поглинають елементи живлення в багато разів менше, ніж дорослі, ґрунт повинен мати високий уміст цих елементів, щоб задовольняти високу потребу кореня в поживних речовинах на ранніх етапах його росту. Зазвичай кореневі системи рослин працюють із неповним навантаженням, але за умови підвищення концентрації поживних речовин у ґрунті корінь (або весь, або певна частина) підсилює процес поглинання. Це пояснює високу ефективність локального внесення добрив попри те, що в контакт із добривами входить лише невелика частка коріння (Мусієнко, 2005).

Процес поглинання поживних речовин

Іони, які увійшли в контакт із коренем, адсорбуються клітинними стінками. Процес адсорбції іонів коріннями має обмінний характер. Високу інтенсивність обміну речовин, значну швидкість надходження та пересування речовин у рослинах можна пояснити адсорбційним обміном між кореневою системою рослин, з одного боку, і ґрунтовими колоїдами (тверда фаза ґрунту) та ґрунтовим розчином (рідка фаза) – з іншого.

Між кореневою системою рослин та ґрунтовими колоїдами, а також між кореневою системою та ґрунтовим розчином існує тісний контакт. Корінь і дрібні корінці, кореневі волоски густою мережею проникають в ґрунт. І якщо врахувати, що кореневі волосинки живуть протягом однієї або декількох діб, та що їх кількість дуже велика (наприклад, на 1 мм^2 поверхні

кореня кукурудзи є 425 кореневих волосків і більше, а в середньому для більшості сільськогосподарських культур – 200-500), то очевидним є тісний безперервний контакт між ґрунтом і кореневою системою рослини, зокрема її кореневими волосками, через які надходять в рослину елементи живлення (Мусієнко, 2005). Завдяки цьому і відбувається *процес обмінної адсорбції*, сутність якого полягає в такому. Коренева система рослин у процесі дихання виділяє велику кількість вуглекислоти, наприклад, гірчиця за 85 днів життя виділяє 22,5 ц CO₂ з 1 га, те саме можна сказати й про інші сільськогосподарські культури. Вуглекислий газ, який з'являється, реагує з водою та утворює вуглекислоту:



Як слабка кислота, вона частково дисоціює на іони H⁺ і HCO³⁻, так що в результаті дихального процесу на поверхні кореневих волосків постійно з'являються всі нові й нові порції іонів H⁺ і HCO³⁻. Поживні іони (наприклад, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, NO³⁻, H₂PO⁴⁻, SO₄²⁻) надходять у рослини через кореневу систему в обмін на іони H⁺, HCO³⁻, які розташовані на поверхні кореневих волосків. Катіони з ґрунтового розчину негайно вступають в обмінну реакцію й витісняють із поверхні кореневого волоска катіон H⁺. Аніони (наприклад, NO³⁻, H₂PO⁴⁻, SO₄²⁻ тощо) обмінюються й витісняються в розчин аніоном HCO³⁻.

Важливо врахувати, що поглинання поживних елементів кореневою системою рослин може відбуватися не тільки в обмін на іони H⁺ і HCO³⁻, які утворюються в процесі дихання, а й на іони органічних і мінеральних сполук, які виділяються коріннями. Встановлено, наприклад, що коріння рослин виділяють лимонну, яблучну, щавлеву та інші органічні кислоти, які слабо дисоціюють, розпадаючись на H⁺ та органічні аніони. Ці іони перебувають на поверхні кореневих волосків і можуть брати участь в обмінних реакціях на відповідні катіони й аніони ґрунтового розчину.

При більш тісному контакті кореневої системи із ґрунтовим вбирним комплексом поглинання поживних речовин рослиною протікає ще

інтенсивніше Найкращі умови живлення рослин створюються при достатній кількості іонів як у ґрунтовому розчині, так і на поверхні ГВК (Господаренко, 2018).

Дія кореневої системи на ґрунт

Рослина не є тільки споживачем поживних речовин у ґрунті. Корені рослин активно впливають на ґрунт. Добре відома здатність коренів виділяти в зовнішнє середовище органічні та мінеральні речовини (цукри, органічні кислоти, органічні сполуки, які містять азот, вітаміни, ферменти тощо). Виділені коренями органічні речовини є продуктом живленням для мікроорганізмів, які у процесі життєдіяльності сприяють мобілізації поживних речовин ґрунту, підвищуючи їхню доступність для рослин у ділянках, які безпосередньо примикають до коріння. Мікроорганізми постачають рослинам також фізіологічно активні речовини (вітаміни, антибіотики), які можуть навіть у незначних кількостях впливати на ріст та розвиток рослин. Така дія корневих виділень рослин на доступність поживних речовин у ґрунті за допомогою ризосферних мікроорганізмів є непрямою (Мусієнко, 2005).

Рослини здійснюють і прямий вплив на важкодоступні для споживання ґрунтові мінерали (особливо ті, які містять фосфор і калій), переводячи їх у легко засвоювані форми. Ще Д. Н. Прянішніков довів здатність люпину, гречки та гірчиці використовувати фосфор малорозчинних фосфатів або природних фосфоритів. Здатність цих рослин засвоювати фосфор із важкодоступних фосфатів пов'язаний насамперед із кислотністю корневих виділень. Так, у розчині, який оточує кореневі волосинки люпину, рН складає 4-5, а конюшини – 7-8. Звідси зрозуміло, чому фосфоритне борошно виявляється більш ефективним для люпину, ніж для конюшини (Мусієнко, 2005).

Вибіркова здатність рослин у процесі живлення

Рослинам властива вибіркова здатність щодо споживання поживних речовин: вони поглинають більше тих іонів, які потребують в першу чергу, і менше тих, які їм на часі не потрібні. Це регулюється фізіологічними законами живого організму. Наприклад, під час внесення в ґрунт селітри NaNO_3 рослина більше поглинає аніон NO_3^- і менше катіон Na^+ . При внесенні сульфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ рослина більше поглинає катіон NH_4^+ і менше аніон SO_4^{2-} і т.д. Речовини, які фізіологічно необхідні рослині, у процесі надходження через корені відразу піддаються процесам синтезу та асимілюються (засвоюються), переходячи в інші сполуки, зокрема в органічні. А ті речовини, у яких рослини не мають потреби, не піддаються змінам, залишаються в ґрунті в іонній формі (Мусієнко, 2005).

Після вирівнювання їхньої концентрації в клітинному і ґрунтовому розчинах на поверхні кореневого волоска і на поверхні ґрунтових колоїдних часток вони перестають надходити в рослину, тому що надходження іонів із ґрунту відбувається за принципом «адсорбції-десорбції» (адсорбується стільки, скільки та десорбується, відповідно до закону діючих мас). Потрібні ж рослині поживні елементи (їхні аніони і катіони) будуть засвоюватися завдяки синтезу з них органічних сполук, тобто зникати з поверхні волосків. Отже, рівновага потрібних іонів буде постійно порушуватися доти, доки будуть засвоюватися ці поживні елементи рослиною.

Із завершенням життєвого циклу припиняється надходження поживних речовин у рослини, припиняється використання катіонів і аніонів і настає рівновага концентрації їх на поверхні кореневого волоска й у ґрунтовому розчині, а також на поверхні колоїдних часток.

Результатом того, що рослини вибірково поглинають іони (одні більше, інші менше, залежно від фізіологічної потреби в них), одні мінеральні добрива (солі) можуть бути або *фізіологічно кислими*, або *фізіологічно лужними*. Якщо рослина більше поглинає катіони солі, то аніони її більше накопичуються в ґрунтовому розчині, а така сіль буде фізіологічно кисла. Наприклад, фізіологічно кислими є такі мінеральні добрива, як сульфат

амонію, хлористий амоній, аміачна селітра, хлористий калій тощо. Якщо ж рослина більше поглинає аніон солі, а катіон її накопичується в ґрунтовому розчині, то така сіль буде фізіологічно лужною. До них належить натрієва селітра, кальцієва селітра тощо.

Періоди живлення

У житті рослини можна розрізнити два періоди живлення, на які варто зважати при використанні добрив. Перший, який одержав назву *критичного*, збігається з початковими фазами росту і розвитку більшості рослин. У цей період рослини особливо чутливі як до нестачі, так і до надлишку поживних речовин. Хімічний склад рослин у початковій фазі росту характеризується високим вмістом азоту і багатьох зольних елементів. У цей період рослини потребують підвищення рівня мінерального живлення.

Другий період одержав назву *періоду максимального споживання* поживних речовин. Він характерний для більш пізніх фаз розвитку і визначається біологічними особливостями рослин. Надходження поживних речовин у злакові рослини, за винятком кукурудзи, до кінця колосіння майже закінчується, хоча до цього часу вони створюють не більш 50-60 % рослинної маси від повного врожаю (табл. 3.1). Так, озима пшениця при гарному розвитку вже в осінній період засвоює азоту і калію 43-47 %, у той час як суха маса рослин складає не більше ніж 10 % повного врожаю. Це цілком стосується і озимого жита, що за осінній період засвоює до 50-60 % азоту, фосфору і калію. Ячмінь і овес уже у фазі цвітіння поглинають 100 % калію, а після відбувається навіть втрата цього поживного елемента (*екзосмос*, або виділення). Нагромадження поживних речовин кукурудзою відбувається повільніше. Навіть до початку цвітіння надходить тільки 30-40 % азоту і калію і 15 % фосфору від вмісту цих елементів у кукурудзі під час її дозрівання. Цукровий буряк, картопля, капуста й інші овочеві культури відрізняються більш тривалим або розтягнутим періодом живлення. Азот,

Таблиця 3.1. Динаміка накопичення поживних елементів у рослинах (% от максимуму) (Городній, 2008)

Термін та фаза росту	Озима пшениця			Ячмінь			Овес		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Осінь і рання весна	47	30	43	–	–	–	–	–	–
Початок колосіння	69	65	68	71	56	73	51	36	54
Цвітіння	90	93	95	96	74	100	82	71	100
Повна стиглість	100	100	82	100	100	64	100	100	83

фосфор і калій вони засвоюють майже протягом усього вегетаційного періоду (табл. 3.2).

Отже, період живлення не дорівнює періодові вегетації рослин. У багатьох рослин він значно коротший періоду вегетації (коноплі та більшість злакових культур). В інших культур він розтягнутий і майже збігається з періодом вегетації рослин (цукровий буряк, картопля, капуста й інші овочеві культури).

Унесенням добрив в один прийом та в шар ґрунту певної глибини не завжди можна домогтися повного використання їхніх потенційних можливостей. Дози легкорозчинних мінеральних добрив, достатні для критичного періоду харчування, можуть буди малими для періоду максимального споживання поживних речовин. І навпаки, велика доза добрив буде шкідливою для першого (критичного) періоду, коли молоді корінці рослини є дуже чутливими до високої концентрації поживних речовин. Тому правильна система удобрення рослин передбачає сполучення основного (на глибину 18-25 см), припосівного добрива (на глибину 5-8 см) і підживлення в період росту рослин (на глибину 10-15 см).

Зовнішні умови живлення

Таблиця 3.2. Динаміка вмісту поживних елементів у рослинах цукрового буряка, % від максимуму (Городній, 2008)

Дата спостережень	Суха речовина		Азот	Фосфор	Калій
	корінь	бадилля			
5/VI	0,3	2,3	2,7	2,4	2,6
15/VI	1,1	8,2	9,6	8,5	9,2
1/VII	6,8	35,7	36,0	39,0	35,0
15/VII	16,7	48,0	51,0	46,0	46,0
1/VIII	33,0	64,0	68,0	68,0	69,0
15/VIII	46,0	63,0	77,0	77,0	73,0
1/IX	60,2	73,0	85,0	87,0	85,0
15/IX	85,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/X	93,0	77,0	89,0	90,0	91,0
15/X	100,0	58,0	–	–	–

У залежності від низки зовнішніх і внутрішніх умов, поживні речовини можуть накопичуватися в рослинах, при цьому вони не впливають на величину врожаю. Так, із підвищенням доз мінеральних добрив їхня ефективність поступово зменшується і при подальшому збільшенні доз може навіть початися зниження врожаю. Причини такого явища такі:

- підвищення концентрації ґрунтового розчину до рівня, який може бути токсичним для рослин;
- порушення нормального співвідношення хімічних елементів і іонів у ґрунтовому середовищі, яке виникає під час внесення високих доз добрив;
- нестача вологи та вуглекислого газу в ґрунті;
- надмірне розростання вегетативної частини і насамперед листя, що спричиняє погіршення освітленості всередині посівів і в результаті чого зменшується інтенсивність фотосинтезу.

Найбільш важливий із цих факторів – *водозабезпеченість*. Людина може цей фактор регулювати (наприклад, через зрошення). Інші фактори (співвідношення елементів мінерального живлення, осмотичний тиск ґрунтового розчину) хоч якоюсь мірою і зменшують позитивний вплив добрив, але вони не є вирішальними.

4. БІОХІМІЧНИЙ ТА ХІМІЧНИЙ СКЛАД РОСЛИН

Біохімічний склад рослин: вода та суха речовина

До складу рослин входить *вода* й так звана *суха речовина*, яка представлена органічними й мінеральними сполуками. Співвідношення між кількістю води й сухої речовини в рослинах, їхніх органах і тканинах змінюється в широких межах. Так, вміст сухої речовини в плодах огірків, баштанних культур може становити до 5 % їхньої загальної маси, у капустинах, коріннях редису й турнепсу – 7-10, коренеплодах столового буряка, моркви й цибулинах цибулі – 10-15, у вегетативних органах більшості польових культур – 15-25, коренеплодах цукрового буряка й бульбах картоплі – 20-25, у зерні хлібних злаків і бобових культур – 85-90, насінні олійних культур – 90-95 % (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Мусієнко, 2005).

У тканинах вегетативних органів рослин вміст води коливається від 70 до 95 %, а в тканинах, що запасують, насінні й у клітинах механічних тканин – від 5 до 15 % (табл. 3.1). Водночас зі старінням рослин загальний запас і відносний вміст води у тканинах особливо репродуктивних органів, знижується. Функції води в рослинах зумовлені властивими їм фізичними й хімічними властивостями. Вона має високу питому теплоємність і завдяки здатності випаровуватися при будь-якій температурі охороняє рослини від перегріву. Вода – прекрасний розчинник для багатьох сполук, у водному середовищі відбувається електролітична дисоціація цих сполук і засвоєння рослинами іонів, що містять необхідні елементи мінерального живлення. Вода є не просто наповнювачем рослинних клітин, але й невіддільною частиною їхньої структури. Ступінь вмісту води в клітинах тканин рослин зумовлює їхній *тургор* (тиск рідини всередині клітини на її оболонку) і є важливим чинником інтенсивності й спрямованості різноманітних фізіологічних і біохімічних процесів. При особливій участі води відбувається величезна кількість біохімічних реакцій синтезу й розпаду органічних сполук

у рослинних організмах. Особливе значення вода має в енергетичних перетвореннях у рослинах, насамперед в акумуляції сонячної енергії у вигляді хімічних сполук під час фотосинтезу. Вода має здатність пропускати промені видимої й близької до неї ультрафіолетової частини світла, необхідної для фотосинтезу, але затримує певну частину інфрачервоної теплової радіації. Вміст води в рослинах залежить від виду й віку рослин, умов водопостачання, транспірації й деякою мірою від умов мінерального живлення (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Мусієнко, 2005).

Суха речовина рослин на 90-95 % представлена органічними сполуками – білками та іншими азотистими речовинами, вуглеводами (цукрами, крохмалем, клітковиною, пектиновими речовинами), жирами, вміст яких визначає якість урожаю (табл. 4.1).

Біохімічний склад рослин: білки, вуглеводи, цукри, крохмаль тощо

Білки – основа життя організмів – відіграють вирішальну роль у всіх процесах обміну речовин. Білки виконують структурні й каталітичні функції, є також однією з основних запасних речовин рослин. Вміст білків у вегетативних органах рослин звичайно становить 5-20 % від їхніх мас, у насінні хлібних злаків - 6-20 %, а в насінні бобових й олійних культур - 20-35 %. Білки мають наступний досить стабільний елементарний склад (в %): вуглець – 51-55, кисень – 21-24, азот – 15-18, водень – 6,5-7,0, сірка – 0,3-1,5. Рослинні білки побудовані з 20 амінокислот і двох амідів (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Мусієнко, 2005).

Для оцінки якості рослинницької продукції часто користуються показником «сирий протеїн», який є сумою всіх азотистих сполук (білка й небілкових сполук). Розраховують «сирий протеїн» через перемноження процентного вмісту загального азоту в рослинах на коефіцієнт 6,25 (одержуваний виходячи із середнього (16 %) вмісту азоту в складі білку та небілкових сполук).

Таблиця 4.1. Середній біохімічний склад урожаю сільськогосподарських рослин, у % (за Б. П. Плешковим)

Культура	Вода	Білки	Сирій протеїн	Жири	Інші вуглеводи	Клітковина	Зола
Пшениця (зерно)	12	14	16	2,0	65	2,5	1,8
Жито (зерно)	14	12	13	2,0	68	2,3	1,6
Овес (зерно)	13	11	12	4,2	55	10,0	3,5
Ячмінь(зерно)	13	9	10	2,2	65	5,5	3,0
Рис (зерно)	11	7	8	0,8	78	0,6	0,5
Кукурудза (зерно)	15	9	10	4,7	66	2,0	1,5
Гречка (зерно)	13	9	11	2,8	62	8,8	2
Горох (зерно)	13	20	23	1,5	53	5,4	2,5
Квасоля (зерно)	13	18	20	1,2	58	4,0	3,0
Соя (зерно)	11	29	34	16,0	27	7,0	3,5
Соняшник	8	22	25	50	7	5,0	3,5
Картопля	78	1,3	2,0	0,1	17	0,8	1,0
Цукровий буряк	75	1,0	1,6	0,2	19	1,4	0,8
Кормовий буряк	87	0,8	1,5	0,1	9	0,9	0,9
Морква	86	0,7	1,3	0,2	9	1,1	0,9
Цибуля ріпчаста	85	2,5	3,0	0,1	8	0,8	0,7

Якість зерна пшениці оцінюється за вмістом сирої клейковини, кількість і властивості якої визначають хлібопекарські властивості борошна. Сира клейковина – це білковий згусток, який залишається під час відмивання водою тіста, замішаного з борошна. Клейковина характеризується еластичністю, пружністю й зв'язаністю, від яких залежить якість виробів, що випікають із борошна. Між вмістом «сирого протеїну» в зерні пшениці та «сирої клейковини» є певна корелятивна залежність. Кількість сирої клейковини можна розрахувати через множення процентного вмісту сирого протеїну в зерні на коефіцієнт 2,12.

Вуглеводи в рослинах представлені цукрами (моноцукрами й олігоцукрами, що містять 2-3 залишки моноцукрів) і поліцукрами (крохмалем, клітковиною, пектиновими речовинами).

Цукри містяться в невеликих кількостях у всіх сільськогосподарських рослинах, але в коренеплодах та окремих органах овочевих культур, плодах винограду, ягодах і фруктах можуть накопичуватися як запасні речовини. Переважними моноцукрами в більшості рослин є глюкоза й фруктоза, а олігоцукрами – дисахарид сахароза. Солодкий смак багатьох плодів та ягід пов'язаний із вмістом у них глюкози й фруктози кислот і двох амідів (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Мусієнко, 2005).

Глюкоза в значних кількостях (8-15 %) міститься в ягодах винограду, звідки й одержала назву «виноградний цукор», і становить до половини загальної кількості цукрів у плодах й ягодах .

Фруктоза, або «плодовий цукор», накопичується в більших кількостях у кісточкових плодах (6-10 %) і міститься в меді. Вона солодша за глюкозу та сахарозу. У коренеплодах частка моноцукрів серед цукрів невелика (до 1 % їхнього загального місту).

Сахароза – це дисахарид, збудований із глюкози й фруктози. Сахароза є основним запасним вуглеводом у коріннях цукрового буряка (14-22 %) і в соці стебел цукрової тростини (11-25 %). Метою вирощування цих рослин і є одержання сировини для виробництва цукру. У невеликих кількостях сахароза міститься у всіх рослинах, більше високим її вмістом (4-8 %) відрізняються плоди і ягоди, а також морква, столовий буряк і цибуля.

Крохмаль у невеликих кількостях міститься в усіх зелених органах рослин, але як основний запасний вуглевод накопичується в бульбах, цибулинах і насінні. У бульбах картоплі ранніх сортів уміст крохмалю 10-14 %, середньо- і пізньостиглих – 16-22 %. Якщо розраховувати цей вміст на суху масу бульб, то це становить близько 70-80 %. Приблизно такий же відносний вміст крохмалю міститься в насінні рису та пивоварного ячменю. У зерні інших хлібних злаків крохмалю зазвичай 55-70 %. Між вмістом білка та крохмалю в рослинах існує зворотна залежність. У багатому білками насінні зернобобових культур крохмалю менше, ніж у насінні злаків; ще менше крохмалю в насінні олійних культур.

Клітковина, або целюлоза – основний компонент клітинних стінок (у рослинах вона пов'язана з лігніном, пектиновими речовинами й іншими сполуками). Волокно бавовнику на 95-98 %, а луб'яні волокна льону, коноплі, джуту на 80-90 % представлені клітковиною. У зерні *плівкових злаків* (вівса, рису, проса) клітковини міститься близько 10-15 %, а у неплівкових (кукурудза, просо, сорго) – 2-3 %, у насінні зернобобових культур – 3-5 %, у коренеплодах і бульбах картоплі – близько 1 %. У вегетативних органах рослин вміст клітковини становить від 25 до 40 % на суху масу кислот і двох амідів (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Мусієнко, 2005).

Пектинові речовини – високомолекулярні поліцукри, які містяться в плодах, коренеплодах і рослинних волокнах. У волокнистих рослинах вони скріплюють між собою окремі пучки волокон.

Жири й жироподібні речовини (*ліпіди*) є структурними компонентами цитоплазми рослинних клітин, а в олійних культурах виконують роль запасних сполук. Кількість структурних ліпідів звичайно невелика – 0,5-1 % від сирової маси рослин, але вони виконують у рослинних клітинах важливі функції, зокрема по регуляції проникності мембран. Насіння олійних культур і сої використовують для одержання рослинних жирів, які ще називають *маслами*. Середній вміст жиру в насінні найважливіших олійних культур такий (у %): рицина – до 60; кунжут, мак, оливка – ~45-50; соняшник – 24-50; льон, коноплі, гірчиця – 30-35; бавовник – 25; соя – 20. Жири є найбільше енергетично вигідними запасними речовинами – під час їхнього окислювання виділяється на одиницю маси у два рази більше енергії, ніж у вуглеводів і білків (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Мусієнко, 2005).

Біохімічний склад рослин та якість продукції

Залежно від виду й характеру використання продукції цінність окремих органічних сполук може бути різною. У зерні злаків основними речовинами, які визначають якість продукції, є білки та крохмаль. Більшим вмістом білку серед зернових культур вирізняється пшениця, а крохмалю – рис і

пивоварний ячмінь. Під час використання ячменю для пивоварного виробництва нагромадження білку погіршує якість сировини. Небажано також нагромадження білку та небілкових азотистих з'єднань у коренях цукрового буряку, використовуваних для виробництва цукру. Зернобобові культури й бобові трави мають підвищений вміст білку і менший – вуглеводів, якість їхнього врожаю залежить насамперед від обсягів нагромадження білка.

Якість бульб картоплі оцінюється за вмістом крохмалю.

Ціль вирощування льону, конопель та бавовнику – одержання волокна, яке складається з клітковини. Але підвищена кількість клітковини в зеленій масі та сіні однолітніх і багаторічних трав погіршує їхні кормові якості.

Олійні культури вирощуються для одержання жирів – рослинних олив, використовується як для харчових, так і для промислових цілей.

Якість продукції сільськогосподарських культур може залежати й від наявності інших органічних сполук – вітамінів, алкалоїдів, органічних кислот і пектинових речовин, ефірних і гірчичних олив.

Умови живлення рослин мають важливе значення для підвищення валового збору найціннішої частини врожаю та поліпшення його якості. Наприклад, посилення азотного живлення збільшує відносний вміст у рослинах білка, а підвищення рівня фосфорно-калійного живлення забезпечує більше нагромадження вуглеводів – сахарози в коріннях цукрового буряку, крохмалю в бульбах картоплі. Створенням відповідних умов харчування за допомогою добрив можна підвищити нагромадження найцінніших у господарському відношенні органічних сполук у складі сухої речовини рослин (Господаренко, 2018).

Елементарний склад рослин

Суха речовина рослин має в середньому такий елементарний склад (у вагових відсотках): вуглець – 45, кисень – 42, водень – 6,5, азот та зольні

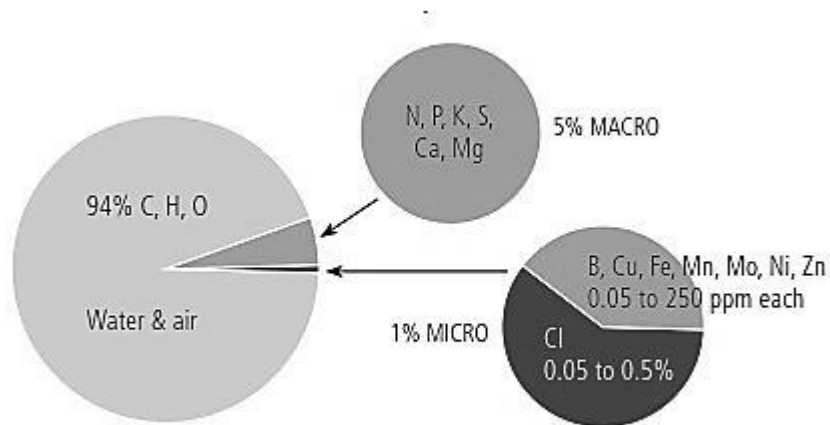


Рисунок 4.1. Уміст елементів живлення в рослині (Handbook..., 2015).

елементи – 6,5. Усього в рослинах виявлено більше 70 елементів з періодичної таблиці. На сучасному рівні розвитку наукових даних близько 20 елементів (зокрема вуглець, кисень, водень, азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка, залізо, бор, мідь, марганець, цинк, молібден, ванадій, кобальт і йод) вважаються *безумовно необхідними* для рослин. Без них неможливий нормальний хід життєвих процесів і завершення повного циклу розвитку рослин. Для більше ніж 10 елементів (зокрема кремнію, алюмінію, фтору, літію, срібла тощо) є відомості про їхню позитивну дію на ріст і розвиток рослин. Ці елементи вважаються *умовно необхідними*. Очевидно, що у ході вдосконалювання методів аналізу та біологічних досліджень загальне число елементів у складі рослин і перелік необхідних елементів буде розширений (Ніколайчук, Белчгазі, 2005; Handbook..., 2015).

Вуглеводи, жири та інші не азотисті органічні сполуки побудовані із трьох елементів – вуглецю, кисню й водню, а до складу білків й інших органічних сполук уходить ще й азот. Ці чотири елементи – C, O, H та N одержали назву *органогенних*, на їхню частку в середньому припадає близько 95 % сухої речовини рослин (рис. 4.1).

Під час спалювання рослинного матеріалу органогенні елементи випаровуються у вигляді газоподібних сполук і пар води, а в золі

Таблиця 4.2. Вміст атомів основних елементів мінерального живлення, у тис. на 1 млрд. атомів, у сухій речовині типової рослини

Макроелементи		Мікроелементи	
N	10000	Fe	130
P	1060	Mn	1
K	3760	Zn	0,3
Ca	1840	Cu	0.1
Mg	1740	Mo	0,005
S	580	Co	0,001

залишаються переважно у вигляді оксидів численні «зольні» елементи, на частку яких доводиться в середньому всього близько 5 % маси сухої речовини.

Азот і такі зольні елементи, як фосфор, калій утримуються у рослинах у відносно більших кількостях (від декількох відсотків до сотих часток відсотка сухої речовини) і називаються *макроелементами*. *Мезоелементи* – це кальцій (Ca), сірка (S), магній (Mg), які містяться в рослинах у середніх кількостях. Уміст інших елементів у рослинах становить від тисячних до сотисячних часток відсотка, і вони одержали назву *мікроелементів* (табл. 4.2). Мікроелементи так само групуються (Handbook..., 2015) на *безумовно необхідні (Essential Elements)* – бор, хлор, мідь, залізо, марганець, молібден, нікель і цинк та *корисні елементи (Beneficial Elements)* – алюміній, кобальт, кремній, натрій, ванадій, селен та лантаніди (Handbook...,2015).

Відносний вміст азоту та зольних елементів у рослинах може коливатися в широких межах і визначається біологічними особливостями культури, віком та умовами живлення. Кількість азоту в рослинах тісно корелює з умістом білку, а його завжди більше в насінні та молодих листах, ніж у соломі дозрілих культур. У бадиллі вмісту азоту більше, ніж у бульбах і коренеплодах. У товарній частині врожаю основних сільськогосподарських культур на частку золи доводиться від 2 до 5 % маси сухої речовини, у

Таблиця 4.3. Роль елемента в рослині (макроелементи та мезоелементи (Handbook..., 2015))

Елемент	Форма споживання рослиною	Роль елемента в рослині
Азот (N)	NO_3^- , NH_4^+	Азот входить до складу всіх простих і складних білків, які є головною складовою цитоплазми рослинних клітин, до складу нуклеїнових кислот. Азот міститься в хлорофілі, фосфатидах, алкалоїдах, ферментах.
Фосфор (P)	H_2PO_4^+ , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} фосфати цукрів, фітини	Входить до складу нуклеїнових кислот, нуклеотидів, фосфоліпідів і вітамінів, АТФ. Активує клітинні білки і вуглеводи, бере участь у диханні, синтезу РНК, білків, у поділу та диференціювання клітин, посилює захисні реакції проти патогенів.
Калій (K)	K^+	Підсилює синтез високомолекулярних вуглеводів (целюлози, геміцелюлози, пектинових речовин тощо). Є важливим компонентом при амонійному живленні. Під впливом калію підсилюється нагромадження крохмалю в бульбах картоплі, сахарози в цукровому буряку й моноцукрів у низці плодівих та овочевих культур. Калій підвищує холодостійкість і зимостійкість рослин (у наслідок збільшення осмотичного тиску клітинного соку), стійкість рослин до грибкових і бактеріальних хвороб.
Сірка (S)	SO_4^{2-} , сірковмісні амінокислоти	Сірка входить до складу найважливіших амінокислот – цистеїну і метіоніну, багатьох вітамінів і коферментів, таких, як біотин, коензим А, глутатіон, ліпоева кислота. Сірка необхідна для багатьох процесів обміну речовин (наприклад, для аеробної фази дихання, синтезу жирів). Сірка бере участь в утворенні поліамінів, які впливають на структуру нуклеїнових кислот і рибосом, регулюють процеси ділення клітин.
Кальцій (Ca)	Ca^{2+}	Кальцій, з'єднуючись із пектиновими речовинами, дає пектати кальцію, які є найважливішою складовою клітинних оболонок рослин. Кальцій підвищує в'язкість цитоплазми. Кальцій бере участь у підтримці структури хромосом, будучи сполучною ланкою між ДНК і білком. Кальцій необхідний для підтримки структури мітохондрій і рибосом. Кальцій є активатором таких ферментів, як фосфорилаза, аденозинтрифосфатаза, дегідрогенази, амілази та ін.
Магній (Mg)	Mg^{2+}	Магній входить до складу хлорофілу. Магній підтримує структуру рибосом, зв'язуючи РНК і білок. Магній є активатором багатьох ферментів.

молодих листах і солоні зернових та у бульбоплодах – 6-14 %. Найбільшим вмістом золи (до 20 % і більше) вирізняються листові овочі (салат, шпинат), зола бульб картоплі, корінь цукрового буряка й інших коренеплодів представлена переважно оксидом калію (40-60 % маси золи). У золі

Таблиця 4.4. Роль елемента в рослині (мікроелементи) (Handbook..., 2015).

Елемент	Форма споживання рослиною	Роль елемента в рослині
Бор(В)	BO_3^{3-}	Бор підсилює проростання пилка, збільшує кількість квіток і плодів.
Мідь (Cu)	Cu^{2+}	Мідь входить до складу мідьмістких білків і ферментів.
Марганець (Mn)	Mn^{4+} , Mn^{2+}	Марганець бере участь у фотосинтезі, збільшує вміст цукрів, хлорофілу, підсилює інтенсивність дихання. Він відіграє велику роль у реакції перетворення ді- і трикарбонових кислот, які утворюються в процесі дихання. Марганець входить до складу ферменту, що синтезує аскорбінову кислоту.
Молибден (Mo)	MoO_4^{2+}	У рослинах молибден входить до складу ферменту ніпротредуктази, бере участь у відновленні нітратів до нітритів. За участю молибдену протікають біосинтез амінокислот, фіксація молекулярного азоту бульбочковими бактеріями, біосинтез нуклеїнових кислот і білків.
Цинк	Zn^{2+}	Цинк підвищує жаро- і морозовитривалість рослин, впливає на процес поглинання фосфору рослинами. Відомо більш ніж 30 ферментів, які містять цинк. При нестачі Zn у рослинах зменшується вміст сахарози і крохмалю, збільшується нагромадження органічних кислот, порушується синтез білка, відбувається нагромадження небілкових розчинних з'єднань азоту (амідів і амінокислот), придушуються розподіл клітин, що приводить до морфологічних змін листів, порушується розтягання клітин тощо.
Кобальт	Co^{2+}	Входить в склад вітаміну B_{12} . Концентрується в генеративних органах, у пилку і прискорює його проростання. Кобальт сприяє розтягання клітинних оболонок, змінює ультраструктуру азотфіксуючого апарата, позитивно діє на розмноження бульбочкових бактерій.
Нікель	Ni^{2+}	Нікель є активатором окислювально-відновних процесів у рослинних клітках. Підвищує активність аскорбіноксидази, пероксидази, каталази. Нікель також входить у групу мікроелементів, зв'язаних у клітках рослин із протеїнами.

коренеплодів міститься значна кількість натрію, а в соломі злаків – кремнію. Найвищим вмістом сірки відрізняються бобові культури й рослини родини капустяних (Handbook..., 2015).

Фізіологічне значення макро- і мікроелементів

Із загальних позицій слід зазначити, що макро- і мікроелементи в складі рослині виконують такі функції (Дмитрук, 2012; Handbook..., 2015):

- входять до складу біологічно важливих органічних речовин;
- беруть участь у створенні певної іонної концентрації, стабілізації макромолекул та колоїдних частинок (електрохімічна роль);
- беруть участь у каталітичних реакціях, входячи до складу ферментів або активуючи окремі ферменти.

У багатьох випадках один і той же елемент може відігравати різну роль. Деякі елементи виконують усі три функції (табл. 4.3. та табл. 4.4). Більш докладне висвітлення фізіологічної ролі кожного елемента живлення буде представлено в спеціальних розділах цього посібника.

5. ҐРУНТ ЯК ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Фази ґрунту. Мінеральна та органічна складова твердої фази ґрунту

Ґрунт складається з трьох складових (фаз) – рідкої («ґрунтовий розчин»), твердої та газоподібної («ґрунтове повітря»). Запропонована також модель ґрунту у вигляді чотири фазної системи – тверда, рідка, газова фази та біофаза – специфічна, організована, біогенна фаза, «жива речовина» (В. І. Вернадський).

Тверда фаза ґрунту складається з мінеральної та органічної частин, які і є *основними джерелами поживних речовин* для рослин. Мінеральна частина складає 90-99 % маси твердої фази ґрунтів і має складний мінералогічний і хімічний склад. Вона представлена кристалічними силікатними й алюмосилікатними мінералами, аморфними та кристалічними гідроксидами алюмінію, заліза і кремнію, а також різними нерозчинними мінеральними солями.

Мінерали, які не змінилися в процесі ґрунтоутворення, мають назву *первинні*. Найбільш поширений у ґрунті первинний силікатний мінерал кварц (SiO_2). Уміст його у всіх ґрунтах перевищує 60 %, а в легких піщаних досягає 90 % і більш. Кварц характеризується великою механічною міцністю і стійкістю до хімічних впливів, а тому не бере участь у хімічних реакціях у ґрунті.

Вторинні, або глинисті, мінерали утворюються у процесі вивітрювання і ґрунтоутворення з первинних. Вони знаходяться в ґрунті головним чином у виді мілко дисперсних мулистих і колоїдних часток і мають велику сумарну поверхню та високу поглинальну здатність. За будівлею кристалічних ґраток, ступеня дисперсності й інших властивостей глинисті мінерали поєднуються у три групи: *каолінові, монтморилонітові, гідрослюди*. Вони складаються переважно із *кремнію, алюмінію, кисню і водню, а також містить невелику*

кількість заліза, кальцію, магнію, калію і можуть бути джерелом цих елементів для рослин (Городній, 2008; Господаренко, 2018).

Органічна речовина ґрунту складає невелику частину твердої фази, але має важливе значення для її родючості та живлення рослин тому що значною мірою зумовлює загальний запас поживних елементів у ґрунті (табл. 5.1). Уміст органічної речовини в ґрунтах коливається від 1-3 % (у підзолистих ґрунтах) до 8-10 % і більше в потужних чорноземах. Органічна речовина ґрунту представлена в основному (на 85-90 %) гуміновими речовинами (гуміновими та фульвокислотами) і лише невелика частина – не гуміфікованими рештками рослинного, мікробного та (або) тваринного походження.

В органічній речовині міститься основний запас *азоту*, а тому ґрунт, який містить більше органічної речовини, відрізняються від інших ґрунтів великою кількістю азоту. В органічну речовину входять також *сірка і фосфор*. Під час її мінералізації азот, фосфор і сірка переходять у засвоювану для рослин мінеральну форму. Гумінові кислоти та фульвокислоти, а також вуглекислота, яка утворюється в ґрунті при розкладанні органічних речовин посилюють процес розчинення мінеральних сполук, які містять фосфор, кальцій, калій, магній, які зрештою переходять у більш доступну для рослин форму (Городній, 2008; Господаренко, 2018).

Азот у ґрунтах і динаміка його сполук

В орному шарі (0-25 см) різних ґрунтів уміст азоту коливається в широких межах (від 0,05 до 0,5 %). Загальний уміст азоту в ґрунтах залежить від вмісту в них органічної речовини: найбільше азоту в потужних чорноземах, а найменше – у бідних гумусом дерново-підзолистих ґрунтах. Загальний запас азоту в орному шарі одного гектара коливається в різних ґрунтах від 1,5 т у супіщаному дерново-підзолистому ґрунті до 15 т у потужному чорноземі (Носко, 2013).

Таблиця 5.1. Запаси поживних речовин в орному шарі ґрунтів України, т/га (Носко, 2013).

Ґрунти	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Чорнозем звичайний середньо гумусний	8,7	5,4	57
Чорнозем звичайний мало гумусний	7,2	5,7	39
Темно-каштанові солонцюваті	4,5	4,5	46
Чорноземи типові мало гумусні	5,4	6,9	50
Чорноземи типові середньо гумусні	10,8	5,1	52
Чорноземи опідзолені	4,8	4,2	50
Темно-сірі опідзолені	4,5	3,9	50
Сірі лісові	3,0	2,7	40
Ясно-сірі лісові	3,0	2,7	40
Дерново-підзолисті	2,4	1,3	24

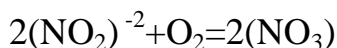
Однак забезпеченість сільськогосподарських рослин азотом залежить не стільки від валового вмісту його в ґрунті, скільки від *вмісту засвоюваних рослинами мінеральних сполук*. Основна маса азоту в ґрунті, що втримується в різних органічних сполуках (94-95 %) або у формі амонію, необмінно-фіксованого глинистими мінералами (3-5 %), недоступна або важко доступна рослинам. Тільки мала кількість азоту (близько 1 %) утримується в мінеральних формах (NO₃⁻ та NH₄⁺), які легко засвоюються рослинами. У зв'язку із цим нормальне забезпечення рослин азотом залежить від швидкості мінералізації азотистих органічних сполук (Носко, 2013).

Розкладання органічних азотистих сполук у ґрунті в загальному виді може бути представлено схемою: білки, гумінові речовини → амінокислоти, амідни → аміак → нітрити → нітрати (Лопушняк та ін., 2018).

Розпад азотистих органічних речовин ґрунту до аміаку називається *амоніфікацією*. Амоніфікація здійснюється великими групами аеробних й анаеробних мікроорганізмів: бактерій, актиноміцетів та грибів. Амоніфікація відбувається в усіх ґрунтах при різній реакції середовища, за наявності

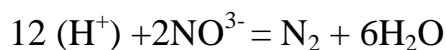
повітря й без нього, але в анаеробних умовах при сильно кислої та лужної реакціях вона сильно сповільнюється.

Утворення нітратів (*нітрифікація*) здійснюється групою специфічних аеробних бактерій, для яких це окислювання є джерелом енергії (Лопушняк та ін., 2018):



В оптимальних умовах (гарна аерація, оптимальне зволоження) може утворюватися до 50-80 кг/га нітратів.

Відновлення нітратів до молекулярного азоту (*денітрифікація*) – процесу відновлення нітратного азоту до газоподібних форм (NO, N₂O, N₂). У результаті цього відбуваються втрати азоту з ґрунту. Цей процес особливо інтенсивно розвивається в умовах, коли в ґрунті бракує повітря, або коли ґрунт має лужну реакцію. Приклад денітрифікації такий (Лопушняк та ін., 2018):



У природі є численні шляхи втрат азоту. Основні з них такі: 1) *імобілізація*, тобто споживання азоту ґрунтовою мікрофлорою; 2) *вимивання* (насамперед, нітратних форм азоту) у ґрунтові води; 3) *випаровування* аміаку, оксидів азоту й молекулярного азоту в повітря; 4) *не обмінна фіксація амонію* глинистими мінералами або не обмінне його поглинання .

Особливо велике *поглинання азоту мікроорганізмами (імобілізація)* відбувається у ході внесення органічних речовин із широким співвідношенням вуглецю до азоту. Це відбувається тому, що внесені в ґрунт органічні речовини, наприклад, солома та інші рослинні залишки, містять небагато азоту – 0,5-1,0 %. Отже спостерігається досить широке співвідношення між вуглецем та азотом (20:1). Одночасно у плазмі мікробів утримується значно більше азоту, ніж чим в органічних речовинах, що розкладаються ними. А тому мікроорганізми інтенсивно поглинають азот із ґрунту. Негативна дія процесу імобілізації на культурні рослини найчастіше

спостерігається під час заорювання стерні або рослинних залишків напередодні сівби наступної культури, особливо без попереднього внесення мінеральних азотних добрив.

Вимивання нітратів опадами відбувається тому, що нітрати, зазвичай не входять до складу сполук, які погано розчиняються і не поглинаються колоїдами ґрунту. Найбільші втрати азоту від вимивання спостерігаємо на ґрунтах легкого гранулометричного складу та з низьким умістом органічної речовини при високому зволоженні або на зрошенні (Лопушняк та ін., 2018).

Газоподібні втрати азоту з добрив коливаються в межах 10 %-35 % залежно від унесеної дози, форми азоту, вологості ґрунту, температури, рН. Найбільша кількість азоту втрачається у вигляді аміаку (NH_3), молекулярного азоту (N_2) і закису азоту (N_2O) (Лопушняк та ін., 2018).

Частина азоту, який вноситься з добривами або який вже перебуває в ґрунті, може поглинатися деякими мінералами із групи гідролюд (*не обмінне поглинання амонію*). Механізм закріплення амонію (NH_4^+) в не обмінній формі можна описати так. У зволоженому ґрунті кристалічна решітка мінералу розширюється, амоній спочатку поглинається обмінно, але може проникати й у середину мінералу. При підсушуванні ґрунту катіон амонію, який потрапив усередину решітки мінералу, фіксується. Його важко витиснути в ґрунтовий розчин різними розчинниками. Не піддається він і дії нітрифікації. Такий фіксований амоній стає малодоступним для рослин. Уміст фіксованого амонію в ґрунтах коливається в межах від 130 до 350 кг/га (Носко, 2013).

Біологічна азотфіксація та її значення в збагаченні ґрунту азотом

До біологічної фіксації азоту (БФА) здатні як *вільно живучі мікроорганізми* так і *симбіотичні* з вищими рослинами. Вільно живучі азотфіксатори – гетеротрофи, яким необхідне вуглеводне джерело харчування, що приводить до утворення їх поселень на коренях вищих рослин разом із мікроорганізмами, які здатні розкладати целюлозу та інші

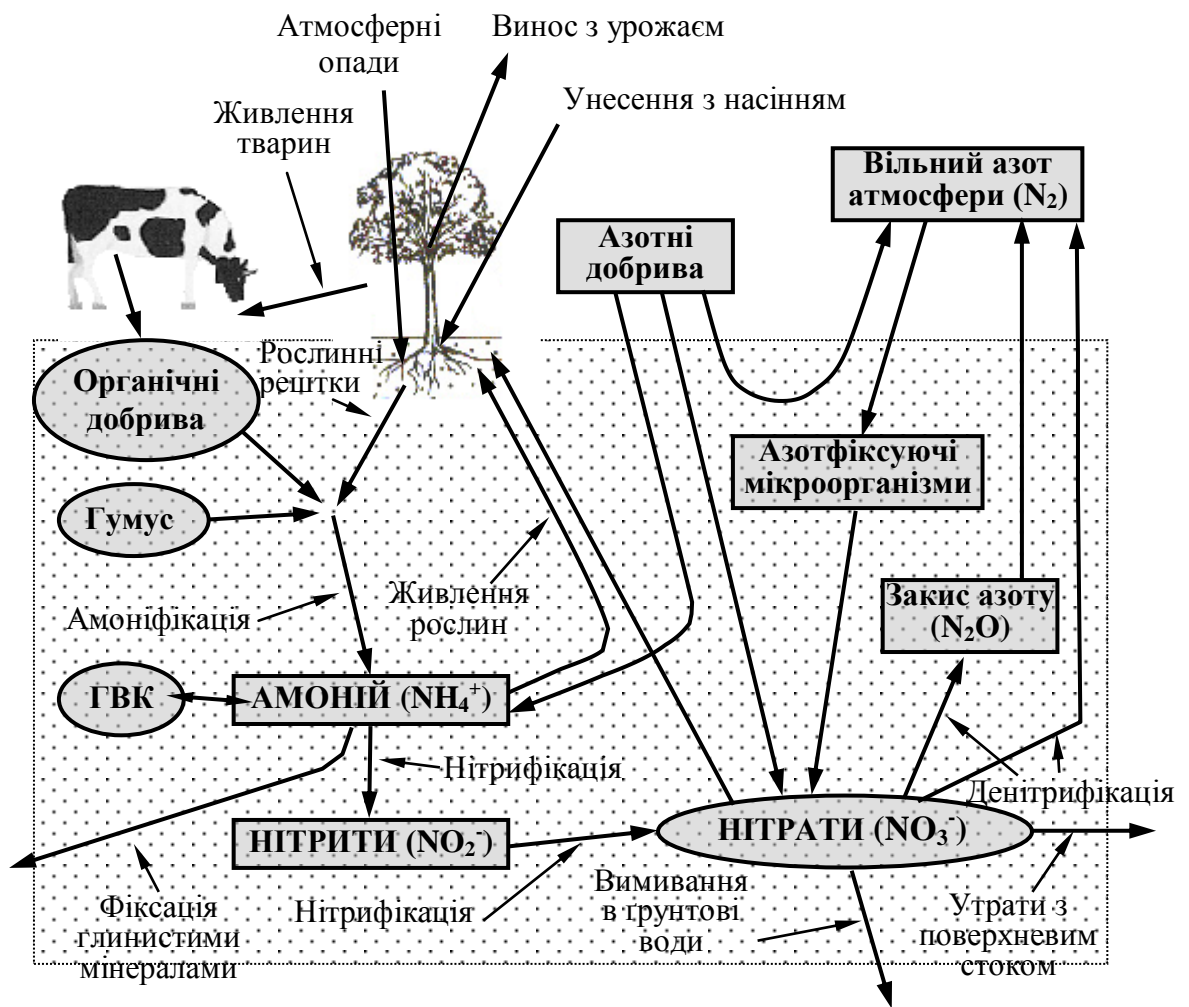


Рисунок 5.2. Повний баланс азоту в агроландшафтах.

полісахариди. Сільськогосподарське значення вільно живучих азотфіксаторів не дуже велике. У помірному кліматі щорічна фіксація ними азоту становить, як зазвичай, кілька кілограмів на один гектар (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018;).

Найбільший інтерес для рослинництва становлять бульбочкові бактерії роду *Rhizobium*, які живуть у симбіозі з бобовими рослинами та фіксують у середньому від 100 до 400 кг/га азоту за рік. Молоді бульбочкові бактерії рухливі та розмножуються діленням. Проникнувши в кореневу волосинку, вони викликають активне ділення клітин кореня, що приводить до появи бульбочки. У ньому бульбочкові бактерії поселяються, ростуть і перетворюються в стовщені, розгалужені форми – так звані бактероїди, які найбільш інтенсивно зв'язують молекулярний азот. Бульбочкові бактерії

засвоюють також амонійні солі, нітрати, амінокислоти й інші сполуки. Крім бобових рослин відомо приблизно 250 видів інших сімейств не бобових, також здатних до симбіотичної фіксації азоту. БФА відбувається при нормальних температурах та тиску завдяки високій ефективності ферментативної системи мікроорганізмів (Носко, 2015; Господаренко та ін., 2017; Лопушняк та ін., 2018).

Повністю динаміку азоту в ґрунті зображено на рисунку 5.2.

Фосфор у ґрунтах

Уміст фосфору, у перерахунку на P_2O_5 , у ґрунтах коливається від 0,03 до 0,2 %, а загальний запас його більший в ґрунтах з високим змістом органічної речовини – від 1500 до 6000 кг на 1 га в орному шарі ґрунту. Основна маса фосфору міститься у *мінеральних й органічних сполуках, недоступних для рослин*. У материнських породах він трапляється найчастіше в вигляді фтор апатиту $Ca_5F(PO_4)_3$ і гідроксил апатиту $Ca_5OH(PO_4)_3$. Під час руйнування цих первинних мінералів, утворюються вторинні мінеральні сполуки фосфору, представлені різними солями ортофосфорної кислоти. У кислих ґрунтах (дерново-підзолистих і червоноземах) утворюються фосфати полуторних оксидів $AlPO_4$ й $FePO_4$, а також основні солі заліза й алюмінію $Fe_2(OH)_3PO_4$, $Al_2(OH)_3PO_4$, які характеризуються дуже слабкою розчинністю й доступністю для рослин. У ґрунтах, насичених основами (зокрема чорноземах), утворюються переважно слабозчинні у воді фосфати кальцію. Проте вони розчиняються вугільною, азотною й органічною кислотами, які містяться в ґрунті, тому фосфор із них більш доступний для рослин, ніж з апатиту й фосфатів полуторних оксидів (Носко, 2017).

У результаті діяльності рослин і мікроорганізмів у ґрунтах накопичуються також органічні сполуки фосфору. Вони представлені нуклеопротеїдами, фітином, фосфатидами, цукрофосфатами та іншими органічними сполуками, що входять до складу рослин і мікроорганізмів, а

також до складу гумусу. Органічні фосфати в ґрунті мінералізуються різними мікроорганізмами (Носко, 2017).

Калій у ґрунтах

Вміст калію (K_2O) в різних ґрунтах коливається від 0,5 до 3 % і залежить від їхнього гранулометричного складу. Найбільше міститься калію в глинистій фракції ґрунту, тому важкі глинисті та суглинкові ґрунти більше містять калію, ніж піщані та супіщані. Дуже бідні на калій торф'яністі ґрунти (0,03-0,05 %). У більшості суглинкових ґрунтів калію міститься 2,0-2,5 %, тобто значно більше, ніж азоту і фосфору. Загальний запас K_2O в орному шарі ґрунту складає 50-75 т на 1 га, але основна частина калію (98-99 %) міститься у ґрунті у виді сполук, нерозчинних і малодоступних для рослин. Вміст у ґрунті *рухомого* калію (із мінеральних солей та обмінного), що є основною формою живлення рослин, становить лише 0,5-2,0 % від валових запасів (Середина, 1984; Носко и др., 1996).

Отже, у ґрунті калій перебуває:

- у складі кристалічних грат первинних і вторинних мінералів;
- в обмінно- і необмінно-поглиненому стані в колоїдних частках;
- у складі поживно-корневих залишків і мікроорганізмів;
- у вигляді мінеральних солей ґрунтового розчину (карбонатів, нітратів, хлоридів).

Найкращим джерелом живлення рослин є розчинні солі калію. Найближчим резервом живлення рослин калієм служать гідрослюди, вермикуліти, вторинні хлорити, монтморилоніт, не обмінні катіони, потенційним резервом – польові шпати, слюди, піроксени й первинні хлорити.

Установлено, що між формами калію в ґрунті є динамічна (рухлива) рівновага і якщо, наприклад, рослина поглинає водорозчинний калій, то кількість його в ґрунті поповнюється за рахунок обмінного. Кількість обмінного калію через якийсь час може відновитися завдяки необмінному,

фіксованому калію. Отже, під час споживанні рослинами рухомих форм калію запаси його будуть поповнюватися важкообмінним, а також калієм кристалічних грат мінералів. Цей процес прискорюється в умовах змінного підсушування та зволоження ґрунту (Носко др., 1996).

Поширення сірки в ґрунтах та її динаміка

У ґрунті розрізняють такі форми сірки: *валова (загальна), мінеральна, резервна, рухома легкодоступна*. Загальний уміст сірки в різних ґрунтах коливається від 20 мг до 35 г на 1 кг ґрунту, або від 100 кг/га в мало гумусних підзолистих піщаних ґрунтах до 500 кг/га в торфовищах і чорноземах. Здебільшого погано забезпечені сіркою сірі лісові, підзолисті і дерново-підзолисті ґрунти. Найменші ресурси сірки є також у легких за гранулометричним складом ґрунтах (Миккельсон, Нортон, Дженсен, 2014; Миккельсон, Нортон, 2014).

На мінеральну форму сірки в ґрунті припадає 10-20 % її валового вмісту. Вона представлена сульфатами кальцію, магнію ($MgSO_4$, $CaSO_4$) і сульфідами одновалентних катіонів (Na_2S , K_2S). Рухома легкодоступна для рослин сірка існує в формі сульфатів одновалентних катіонів (Na_2SO_4 , K_2SO_4).

Резервна сірка – це різниця між валовою і мінеральною сіркою. У ґрунті вона представлена органічними формами, представленими рослинними залишками і гумусом (до 98 % від валового вмісту сірки в ґрунті). Доступність органічної сірки для рослин залежить від швидкості перетворення її в сульфатну форму. Цей процес називається *сульфофікація*. Органічні сполуки сірки мінералізуються мікроорганізмами з утворенням H_2S . Якщо анаеробні умови змінюються аеробними, H_2S окислюється і в ґрунті може з'явитися елементарна сірка. Надалі, за наявності кисню, вона окислюється мікроорганізмами до SO_4^{2-} – основного джерела сірки для живлення рослин складу (Миккельсон, Нортон, Дженсен, 2014; Миккельсон, Нортон, 2014).

Таблиця 5.2. Валовий уміст мікроелементів в основних ґрунтоутворних породах України, мг/кг (Фатєєв, Захарова, 2005).

Ґрунтоутворні породи	Zn	Mn	Cu	Co	Mo
Флювіогляціальні та стародавньо алювіальні поклади	42,0	152,0	10,4	8,8	3,0
Леси	58,5	550,0	13,8	15,5	3,8
Лесовидні суглинки	51,5	251,0	12,7	18,5	4,7
Глини	45,0	449,0	19,2	18,0	5,7
Піщано-глинисті сланці	48,0	1266,0	15,0	18,0	7,1
Елювій фліша	65,0	2043,0	26,0	12,0	4,0
Алювіально-делювіальні поклади	96,0	822,0	38,5	16,0	1,8

Водночас із мінералізацією органічної сірки відбувається процес іммобілізації, тобто включення сульфатної форми сірки в мікробну біомасу ґрунту.

Сульфатна сірка в ґрунті досить мобільна, тому може надходити в рослини з ґрунтовими водами, а також переміщатися вниз по ґрунтовому профілю і забруднювати ґрунтові та природні води. Залежно від ґрунтово-кліматичних умов, рослинного покриву, норм і форм унесення добрив, втрати сірки внаслідок вимивання досягають 15-80 кг/га, або майже 50 % від її надходження з мінеральними добривами та атмосферними опадами.

Мікроелементи живлення в ґрунтах України: бор, марганець, мідь, цинк, молібден, залізо

Головним джерелом мікроелементів у ґрунті є ґрунтоутворні породи. Незважаючи на те, що в процесі ґрунтоутворення проходить перерозподіл хімічних елементів, уміст мікроелементів завжди визначається породою. Винятком є тільки випадки техногенного забруднення, коли ґрунт штучно насичується певними мікроелементами техногенного походження.

Таблиця 5.3. Валовий уміст мікроелементів у ґрунтах України, мг/кг ґрунту (чисельник – середнє, знаменник – діапазон значень) (Фатєєв, Захарова, 2005).

Ґрунтово-кліматичні зони	Fe	Zn	Mn	Cu	Co	Mo	B
Західне Полісся	12055/8000-27000	38/8-61	18/575-700	6/1,4-17	9/2,5-14	2,2/1,5-3	6,7/4-17
Правобережне Полісся	18328/5000-50000	37/9-57	451/160-1400	8/3-20	10/7-20	2/1,5-5	5,7/1,5-9,7
Лівобережне Полісся	19847/8500-43000	48/10-96	485/100-1400	8/4-19	9/3-19	3/2-4	9,2/6-15,8
Лісостеп	13778/7000-28000	52/20-90	735/240-3000	20/10-48	17/8-40	2,8/0,9-6,3	23/13-44
Степ	19974/12000-40000	62/33-100	670/200-1600	27/10-48	16/8-27	3,8/2,9-5,6	23/13-44

Ґрунотворні породи різного гранулометричного складу містять різну кількість мікроелементів живлення: найбільше – глинисті та суглинкові ґрунти, найменше – піщані та супіщані. Головна причина – суттєва різниця в мінералогічному складі ґрунту (табл. 5.2). Зі свого боку, це визначає географічний розподіл вмісту мікроелементів у ґрунтах по території України. Загальною закономірністю є те, що найменший уміст більшості мікроелементів (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo, B) спостерігається в Поліссі, особливо у ґрунтах легкого гранулометричного складу, максимальний – у ґрунтах Степу і Лісостепу з важким гранулометричним складом (табл. 5.3). Головним фактором зростання вмісту мікроелементів у ґрунтах Степу і Лісостепу України порівняно з Поліссям є наявність леса як основної ґрунотворної породи, високий уміст гумусу зі значною складовою малорухомих гумусових кислот, насиченість ґрунту основами, що і визначає

високу акумуляцію мікроелементів (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo, B) у цих ґрунтах (Фатєєв, Захарова, 2005; Дмитрук, 2012).

Щодо *рухомих форм*, які безпосередньо споживаються рослинами, то загальна закономірність, про яку сказано вище, порушується кислотністю ґрунтів, умістом і рухомістю інших сполук, інтенсивністю мікробіологічних процесів тощо.

Зміст загального *заліза* в ґрунтах коливається від 0,02 до 3,8 % (Дмитрук, 2012). У ґрунтах розрізняють силікатні та не силікатні (вільні) форми. Силікатні форми входять до складу кристалічних решіток первинних і вторинних мінералів. Не силікатні форми заліза поділяють на окристалізовані, аморфні та рухомі (обмінні, водорозчинні). Останні мають найбільше значення для мінерального живлення рослин. У ґрунтах рухомі форми заліза представлені в основному сполуками заліза з органічною речовиною (гумінові речовини, органічні кислоти та феноли) та окремими іонами. Сполуки заліза з органічною речовиною ґрунту є важливим резервом доступних сполук цього металу для рослин, а іон Fe^{2+} має особливе значення для живлення рослин. Рухливість заліза в ґрунті визначається розчинністю його сполук, що залежить як від реакції середовища рН та окислювально-відновлювального потенціалу ґрунту, так і від процесів комплексоутворення. У кислих, особливо гідроморфних, ґрунтах, створюються сприятливі умови для відновлення Fe^{3+} до Fe^{2+} . Водночас може бути ситуація, коли концентрація заліза в розчинах гідроморфних ґрунтів досягне токсичного для сільськогосподарських рослин рівня (Госпадаренко, 2015; Лопушняк та ін., 2018).

Уміст рухомих форм *цинку* коливається в межах 0,2-2,0 мг/кг ґрунту і майже 60 % орних ґрунтів України визначаються низьким вмістом цього мікроелементу живлення. Рухомість цинку, особливо Zn^{2+} , та його надходження в рослину залежать від кислотності ґрунту, умісту і рухомості сполук заліза та алюмінію, наявності розчинних фосфатів, карбонатів (це випадок так званого «антагонізму іонів»), інтенсивності мікробіологічних

процесів тощо. Найбільший вміст рухомих сполук цинку спостерігається в ґрунтах із великим вмістом гумусу і при високій кислотності ґрунтового розчину ($\text{pH} < 5$). Інтенсивне руйнування мінералів у ґрунтах із високою кислотністю ґрунтового розчину приводить до того, що в цих ґрунтах досить високий вміст рухомого цинку. Така ситуація визначає той факт, що вирощування сільськогосподарських культур на дерново-підзолистих ґрунтах практично не потребує використання цинкових добрив. Найчастіше нестача рухомого цинку спостерігається на піщаних, слабо лужних та карбонатних ґрунтах, а також після внесення високих норм фосфорних добрив, коли утворюється слабозчинна сіль $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ (Госпадаренко, 2015).

У ґрунтах України міститься значна кількість марганцю (від 100 до 4000 мг/кг ґрунту), але він зустрічається переважно у виді важко розчинних оксидів. Інше обмеження пов'язано з тим, що рослини споживають лише двовалентний марганець, а тому в нейтральних та слабо лужних ґрунтах, де в ґрунтовому розчині цих ґрунтів переважають трьох та чотирьох валентні сполуки марганцю, спостерігається дефіцит цього мікроелемента живлення. Найбільший уміст двовалентного марганцю – у кислих та слабкокислих ґрунтах. Інколи можливо навіть його токсична дія на рослини. Найбільше рухомих форм марганцю знаходиться у дерново-підзолистих ґрунтах (50,0-150,0 мг/кг). У чорноземах кількість рухомого марганцю коливається в межах 1,0-75,0 мг/кг, у каштанових – 1,5-75,0 мг/кг. Найменший уміст рухомих форм марганцю спостерігаємо в карбонатних та перегнійно-карбонатних ґрунтах. Марганець часто утворює сполуки з гуміновими речовинами ґрунтів. Підвищену міграційну здатністю та водночас високу доступність для рослин мають сполуки марганцю з фульвокислотами (Дмитрук, 2012; Лопушняк та ін., 2018).

У ґрунтах розрізняють такі форми міді: водорозчинні, обмінні (поглинені органічними та мінеральними колоїдами), важкорозчинні мідні солі, що містить мідь мінералів, комплексні органічні сполуки. Переважною формою міді є її двовалентний катіон. Мідь є одним із найменш рухомих у

грунті мікроелементів. Її рухливість у ґрунті та доступність рослинам багато в чому залежать від процесів адсорбції та комплексоутворення. Найбільші кількості міді абсорбують оксиди заліза і марганцю, аморфні гідроксиди заліза та алюмінію, глинисті мінерали (монтморилоніт, вермикуліт тощо). Найбільш доступні для рослин водорозчинні та обмінно-сорбовані ґрунтом сполуки міді. Найменший уміст рухомих форм цього металу спостерігається в торф'яних і дерново-підзолистих ґрунтах (0,05-5,0 мг/кг). У чорноземах, каштанових та інших ґрунтах концентрація рухомих сполук міді коливається від 4,0 до 14,0 мг/кг (Лопушняк та ін., 2018).

Кобальт у природних середовищах має два стану окислення: Co^{2+} і Co^{3+} , може також утворювати комплексний аніон $Co(OH)_3^-$. Коливання концентрації кобальту в ґрунтах залежать від складу материнських порід. Розподіл кобальту за генетичними горизонтами залежить від розподілу в профілі ґрунтів фізичної глини, мулистих фракцій, органічної речовини, оксидів заліза. Переважають сполуки кобальту з глинистими мінералами, гумусними сполуками та оксидами заліза. На частку таких сполук, які фіксують кобальт в нерухомій або слабо рухомій формі, припадає близько 95 % валових кількостей цього елемента. Сорбція кобальту на кристалічних оксидах марганцю залежить від значень рН середовища, вона відбувається за типом обмінних реакцій і через утворення $Co(OH)_2$ на поверхні оксидів. Зі збільшенням рН середовища взаємодія кобальту з мінеральними та органічними компонентами ґрунту посилюється, а доступність мікроелемента для рослин знижується. Концентрація кобальту в розчинах більшості ґрунтів відносно низька: від 0,3 до 87,0 мкг/кг. Уміст рухомих форм кобальту становить в дерново-підзолистих ґрунтах 0,12-3,0 мг/кг; у чорноземах – 1,1-2,2 мг/кг; у каштанових – 1,1-6,0 мг/кг (Дмитрук, 2012; Лопушняк та ін., 2018).

В українських ґрунтах *молібден* міститься в окисдованій формі у вигляді молібдатів кальцію й інших металів. Кількість його коливається від 0,20 до 2,40 мг валових форм і 0,20-0,58 мг на 1 кг ґрунту рухливих форм

(Лопушняк та ін., 2018). У карбонатних ґрунтах концентрація розчинних форм молібдену може досягати 1 мг/кг. Для рослин доступний аніон молібденової кислоти MoO_4^- . Його утворення багато в чому залежить від рН середовища. Найбільш бідні на нього ґрунти легкого гранулометричного складу з низьким умістом гумусу. У кислих ґрунтах при $\text{pH} < 5$ (дерново-підзолисті ґрунти легкого гранулометричного складу, а також торфові ґрунти верхових і перехідних боліт) аніон MoO_4^- створює погано розчинні сполуки з алюмінієм, залізом та марганцем, а в лужних – добре розчинні сполуки молібдату натрію. Один з ефективних способів підвищення доступності молібдену рослинам є вапнування кислих ґрунтів (Лопушняк та ін. 2018).

Валовий уміст *бору* в ґрунті може коливатися від 2 до 200 мг/кг, але лише приблизно 5 % від цієї кількості є доступними для рослин. У ґрунтах бор міститься або в органічних сполуках (10-25 %), або в мінеральних (75-90 %). Мінеральними сполуками є солі борної кислоти та власне сама борна кислота (H_3BO_3). Завдяки винятковій рухливості борна кислота та її похідні легко вимиваються навіть в умовах помірного клімату, а тому дефіцит бору для рослин виникає як при певному дефіциті вологи, так і в умовах вологого клімату. Низькі рівні забезпечення ґрунтів бором також характерні для дерново-піщаних, дерново-підзолистих, сірих і світло-сірих лісових ґрунтів, тобто ґрунтів із промивним типом водного режиму. У Лісостепу і Степу низький уміст бору притаманний ґрунтам із легким гранулометричним складом та низьким вмістом гумусу, де бор легко вимивається опадами. (Госпадаренко, 2015; Лопушняк та ін. 2018). Дефіцит бору спостерігаємо також в ґрунтах з високим рівнем рН, оскільки в умовах лужної реакції ґрунтового розчину борна кислота не підлягає дисоціації, а молекулярну форму кислоти рослина не може засвоїти. Доступність бору залежить від інтенсивності мікробіологічних процесів, а тому в чорноземних ґрунтах, коли відбувається швидка мінералізація органічної речовини, уміст у ґрунтовому розчині аніону BO_3^{3-} досить високий. Інший чинник забезпеченості рослин бором – конкретні погодні умови, завдяки яким, як при великих опадах, так і

під час посухи вміст BO_3^{3-} зменшується, у першому випадку через вилуговування, в другому – через низьку мікробіологічну діяльність. Дефіцит бору також спостерігаємо на перевапнованих ґрунтах, особливо на тлі високих норм азотних та калійних добрив (Лопушняк та ін., 2018).

6. ПОГЛИНАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ҐРУНТУ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ПРОЦЕДУРИ УДОБРЕННЯ

Поглиналина здатність ґрунту: визначення

Велику роль у живленні рослин і в перетворенні внесених у ґрунт добрив відіграє його *поглиналина здатність*. Під поглинальною здатністю треба розуміти *здатність ґрунту поглинати різні речовини з розчину, який міститься в ґрунті, та утримувати ці речовини певний час*.

Біологічна поглиналина здатність

Біологічна поглиналина здатність пов'язана з життєдіяльністю рослин та ґрунтових мікроорганізмів, які вибірково поглинають із ґрунту необхідні елементи мінерального живлення, переводячи їх в органічну форму та забезпечують тим самим фіксацію в ґрунті. Після відмирання коренів, інших рослинних залишків та тіл мікроорганізмів відбувається їхнє розкладання та поступова гуміфікація. Мінералізація раніше закріпленого в ґрунті в органічній формі азоту, фосфору, сірки, мікроелементів протікає досить повільними темпами, але рано чи пізно ці елементи будуть використані рослинами. У середньому на 1 га ґрунтові мікроорганізми мають масу в 3-8 т/га та утримують до 125-140 кг азоту, 40-50 кг фосфору та 25-50 кг калію (Городній, 2008; Господаренко, 2018).

Ця ж здатність ґрунту може мати й негативні наслідки для рослинництва. Наприклад, коли в ґрунт уноситься органічна речовина багата на клітковину, але бідна на азот (наприклад, солома; гній, який містить багато соломи, тирса тощо), тоді мікроорганізми, які є в цьому випадку конкурентами рослин, використовуючи клітковину як енергетичний матеріал, будуть інтенсивно розмножуватись і споживати багато азоту з ґрунту. Азотне живлення сільськогосподарських рослин може погіршитись і врожайність сільськогосподарських культур зменшуватися.

Водночас біологічне поглинання сприяє закріпленню нітратного азоту, який ніяким іншим шляхом у ґрунті не утримується і може легко вимиватися, особливо на легких ґрунтах у зонах надмірного зволоження і в умовах зрошеного землеробства (Городній, 2008; Господаренко, 2018).

Механічна поглинальна здатність

Механічна поглинальна здатність зумовлена відомою властивістю ґрунту, як усякого пористого тіла, затримувати дрібні частки в процесі фільтрації суспензій. Ґрунт у такому процесі є своєрідним фільтром, який затримує всі частинки та сполуки, які за діаметром більші, ніж пори в ґрунтах. Чим більше в ґрунті глинистих частинок, гумусу і чим дрібніші ґрунтові пори, тим більшу механічну поглинальну здатність має ґрунт.

Механічне поглинання зменшує вимивання з ґрунту поживних речовин у вигляді мулистих та колоїдних частинок.

Хімічна поглинальна здатність

Хімічна поглинальна здатність пов'язана з утворенням нерозчинних і важкорозчинних у воді сполук у результаті хімічних реакцій між окремими розчинними солями в ґрунті (іонами в ґрунтовому розчині).

Аніони азотної та соляної кислот (NO_3^- та Cl^-) ні з одним із найпоширених в ґрунті одно-, дво- або трьох валентних катіонів (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+}) не утворюють нерозчинних у воді сполук, а тому вони хімічно ґрунтом не поглинаються. Саме з цим явищем пов'язана висока рухливість нітратів і хлоридів у ґрунтах.

Аніони вугільної та сірчаної кислот (CO_3^{2-} і SO_4^{2-}) з одновалентними катіонами дають розчинні солі, а з двовалентними катіонами (Ca^{2+} і Mg^{2+}), які переважають в українських ґрунтах, утворюють важкорозчинні сполуки. Тому в ґрунтах, які містять велику кількість у ґрунтовому розчині катіонів кальцію і магнію, ці аніони досить інтенсивно хімічно поглинаються.

Особливу роль хімічне поглинання відіграє в перетворенні фосфору в ґрунті, що пов'язано зі специфічними властивостями солей ортофосфорної кислоти. Зокрема під час внесення водорозчинних фосфорних добрив, наприклад, суперфосфату $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ або амофосу $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, у ґрунтах відбувається інтенсивне хімічне зв'язування аніонів ортофосфорної кислоти, єдиного джерела фосфору для рослин. У кислих ґрунтах (у дерново-підзолистих та сірих лісових), які містять багато полуторних оксидів, хімічне поглинання аніонів ортофосфорної кислоти супроводжується утворенням важкорозчинних фосфатів заліза й алюмінію. У ґрунтах, насичених основами, та в тих, які містять бікарбонат кальцію (зокрема, в чорноземах та каштанових ґрунтах), хімічне зв'язування фосфору відбувається в результаті утворення слабо розчинних фосфатів кальцію. Така хімічна фіксація сполук ортофосфорної кислоти зумовлює слабку рухливість його сполук у ґрунті та знижує доступність для рослин цього елемента з внесених у ґрунт легкорозчинних форм фосфорних добрив (Городній, 2008; Господаренко, 2018).

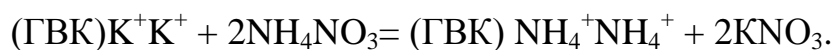
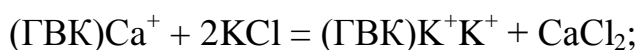
Фізико-хімічна (обмінна) поглинальна здатність

Фізико-хімічне поглинання – це здатність поверхні мілкодисперсних (від 0,2 до 0,001 мкм) колоїдних часток ґрунту поглинати з розчину різні катіони. Поглинання одних катіонів супроводжується витисненням у розчин еквівалентної кількості інших, раніше зв'язаних твердою фазою ґрунту.

Уся сукупність органічних і мінеральних колоїдних часток ґрунту, представлених гумусовими речовинами, глинистими мінералами і гідроксидами заліза й алюмінію, що беруть участь в обмінному поглинанні катіонів, називається *ґрунтовим вбирним комплексом* (ГВК). Здатність органічних і мінеральних колоїдних часток до обмінного поглинання катіонів із розчину зумовлена тим, що їх поверхня має негативний заряд. У природному стані ґрунти завжди містять визначену кількість поглинутих катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ і ін.). Ці катіони можуть

обмінюватися на інші катіони, що є в розчині. Обмін катіонами між розчином і ґрунтовим вбирним комплексом відбувається в абсолютно еквівалентних кількостях.

Реакція обміну катіонів протікає досить швидко. Під час внесення в ґрунт легкокорозчинних добрив (KCl , NH_4Cl , NH_4NO_3 тощо) вони відразу ж вступають у взаємодію з ГВК, катіони цих сполук поглинаються в обмін на катіони, що раніше перебували в поглиненому стані. Реакція обміну катіонів обернена, тому що поглинений ґрунтом катіон може бути знову витиснутий у розчин:



У ході засвоєння будь якого катіона рослинами концентрація його в ґрунтовому розчині зменшується, він переходить із поглиненого стану в розчин в обмін на інші катіони, що утримуються в ґрунтовому розчині. Чим вище ступінь насиченості вбирного комплексу цим катіоном, тим легше і швидше він витискується в розчин. Кількість катіонів, які витісняються з поглиненого стану в розчин, зростає з підвищенням концентрації розчину, а при однаковій концентрації – зі збільшенням обсягу розчину солі, що витісняє.

Різні катіони мають неоднакову здатність до поглинання. Чим більше заряд (валентність) катіона і його атомна маса, тим сильніше він поглинається і важче витісняється з поглиненого стану іншими катіонами. Винятком з цього правила є іони H^+ , що мають найменшу атомну масу, але їм притаманна висока енергія поглинання і здатність витискати інші катіони з ГВК (Городній, 2008).

Ємність поглинання і склад поглинених катіонів у різних ґрунтах

Різні ґрунти містять неоднакову кількість здатних до обміну поглинених катіонів. Загальний вміст у ґрунті всіх обмінно-поглинених катіонів називається *ємністю поглинання*. Вона визначається в міліграм-

еквівалентах на 100 грамів ґрунту. Величина ємності поглинання характеризує поглинальну здатність ґрунтів. Вона залежить від гранулометричного і мінералогічного складу ґрунту і вмісту в ньому органічної речовини. Ґрунти з малою кількістю колоїдної фракції мають невисоку ємність поглинання. Чим більше в ґрунті мінеральних і органічних колоїдних часток, тим вище її поглинальна здатність. У глинистих і суглинних ґрунтах ємність поглинання більша, ніж у піщаних і супіщаних. Найбагатші органічною речовиною чорноземні ґрунти відрізняються найвищою ємністю поглинання (30-60 мг-екв на 100 г), ніж підзолисті ґрунти (10-15 мг-екв на 100 г).

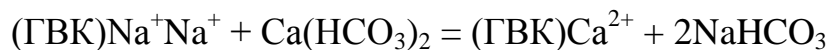
Поглиноальна здатність ґрунту дуже впливає на ефективність мінеральних добрив, визначає ступінь їх рухливості у ґрунті. На ґрунтах із малою поглинальною здатністю (піщаних і супіщаних) під час внесення легкокорозчинних добрив можливе швидке вимивання поживних речовин, а тому азотні та калійні добрива на таких ґрунтах краще вносити невеликими дозами й незадовго до посіву. На ґрунтах з високою поглинальною здатністю не відбувається швидкого вимивання поживних речовин та не спостерігається надлишкове збільшення концентрації розчину.

Різні ґрунти відрізняються не тільки за загальною ємністю поглинання, але і за складом поглинених катіонів. В українських ґрунтах у складі поглинених катіонів переважає Ca^{2+} , друге місце посідає Mg^{2+} і в значно менших кількостях – K^+ і NH_4^+ . Сума Ca^{2+} і Mg^{2+} пересічно складає близько 90 % від загальної кількості обміно-поглинених катіонів. У кислих ґрунтах Полісся і Карпат (підзолистих і сірих лісових) серед поглинених катіонів значну частку займають H^+ і Al^{3+} , а в солонцевих ґрунтах – Na^+ . Склад поглинених катіонів значною мірою впливає на властивості ґрунту та умови росту і розвитку рослин (Городній, 2008; Господаренко, 2018).

Вплив складу поглинених катіонів на деякі властивості ґрунту

Кальцій коагулює органічні і мінеральні колоїди, тому переважання в складі поглинених катіонів Ca^{2+} , наприклад у чорноземах, сприяє підтримці міцної структури й зумовлює гарні фізичні властивості ґрунту.

Насичення ґрунту натрієм (у солонцевих ґрунтах, наприклад) викликає *пептизацію колоїдів*, що спричиняє їх вимивання, руйнування структурних агрегатів і погіршення фізичних властивостей ґрунту (збільшення щільності, в'язкість тощо). Крім того, за наявності натрію в ґрунтовому вбирному комплексі відбувається витиснення його в розчин в обмін на інші катіони з утворенням соди, що викликає *лужну реакцію* розчину, несприятливу для розвитку рослин:



За умови значного вмісту в ґрунтовому вбирному комплексі іонів водню й алюмінію вони можуть переходити в розчин і *підкисляти* його. Підкислення ґрунтового розчину посилює кислотний гідроліз мінералів, у результаті чого погіршуються фізичні властивості ґрунту та акумуляція гумусу. Обмінно-поглинуті водень і алюміній містяться у великій кількості у ГВК підзолистих та дерново-підзолистих ґрунтах. Такі ґрунти ще мають назву *ненасичені ґрунти*. Ступінь ненасиченості ґрунтів визначається у відсотках, як частка вмісту водню та алюмінію від загального вмісту у ґрунті всіх обмінно-поглинених катіонів.

Родючість цих ґрунтів зростає при заміні водню й алюмінію в ГВК на кальцій.

Буферна здатність ґрунту

Буферна здатність ґрунту – це здатність ґрунту підтримувати сталу реакцію ґрунтового розчину і протистояти різкій її зміні під час надходженні у ґрунт кислих або лужних речовин (наприклад, під час внесення фізіологічно кислих або фізіологічно лужних мінеральних добрив). Буферність ґрунту забезпечує більш-менш постійну концентрацію водневих і гідроксильних іонів у ґрунті (тобто підтримує сталу реакцію ґрунтового

розчину), що дає можливість рослинам пристосуватися до умов відповідного середовища.

Буферність ґрунту залежить від хімічного складу і ємності вбирання ґрунту, складу поглинених катіонів і властивостей ґрунтового розчину. Наприклад, чим більша ємність вбирання ґрунту, тим більшою буде його буферна здатність. Так, чорноземи мають більшу величину буферності, ніж підзолисті ґрунти. Але все-таки буферність у ґрунтів не є безмежною і за умови внесення значної кількості лужних чи кислих сполук ґрунтовий розчин змінює реакцію в той або інший бік, що негативно впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин.

7. ХІМІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ ҐРУНТІВ ІЗ ВИСОКОЮ КИСЛОТНІСТЮ ҐРУНТОВОГО РОЗЧИНУ

Ґрунти з високою кислотністю ґрунтового розчину: походження, властивості та поширення в Україні

Ґрунти з високою кислотністю ґрунтового розчину ($pH_{\text{сол}} < 5,5-6,0$), або «кислі» ґрунти, або «ненасичені» ґрунти формується під впливом підзолистих, глеєвих та елювіальних процесів ґрунтоутворення. Поширення ґрунтів із кислою реакцією ґрунтового розчину спостерігаємо на територіях, де кількість опадів суттєво перевищує сумарне випаровування, тобто на територіях із промивним або періодично промивним типом водного режиму, коли з ґрунту, зазвичай, слабко кислими опадами ($pH_{\text{сол}} = 5,7-6,0$) вимиваються лужні та лужноземельні катіони, наявність яких надає ґрунтовому розчині нейтральну або лужну реакцію. На формування кислої реакції ґрунтового розчину істотно впливає характер процесу трансформації органічної речовини. За умов низького вмісту в рослинному опаді лужноземельних елементів та білків, особливо в анаеробному середовищі, процес бродіння приводить до утворення різноманітних органічних кислот, які сильно підкислюють ґрунтовий розчин (Меліорація ґрунтів..., 2015).

Процес *вторинного (антропогенного) підкислення ґрунту* проявляється в результаті випадіння кислотних опадів ($pH_{\text{сол}} = 4,0-5,5$), використання фізіологічно кислих мінеральних добрив (хлористий калій, сірчаноокислий амоній), насичення структури посівних площ кальцієфільних сільськогосподарських культур (люцерна, гречка, горох тощо). Унесення в ґрунт фізіологічно кислих добрив приводить до переважного використання рослинами катіонів (NH^+ , K^+ тощо) зі складу відповідних солей, а супутні аніони (SO_4^{2-} , Cl^- та інші) залишаються в ґрунті і, поступово накопичуючись, утворюють із катіонами водню кислоти (H_2SO_4 , HCl та інші), що і підкислює ґрунтовий розчин. Кислі атмосферні опади є наслідком забруднення

атмосфери викидами промислових підприємств, зокрема теплових електростанцій.

Потенціал родючості кислих ґрунтів, зазвичай низький, а успішне ведення землеробства гальмує ціла низка несприятливих властивостей і процесів, а саме:

– колоїдна частина кислих ґрунтів бідна на кальцій та магній, але збагачена воднем;

– унаслідок витиснення кальцію іонами водню із колоїдів гумусового походження підвищуються дисперсність і рухливість гумусу;

– насичення воднем поверхонь мінеральних колоїдних часток приводить до поступового їхнього руйнування;

– малий уміст у кислих ґрунтах колоїдної фракції призводить до несприятливих фізичних й фізико-хімічних властивостей, поганої структури, низької ємності поглинання та невеликої буферності;

– діяльність корисних ґрунтових мікроорганізмів, особливо тих, що фіксують азот, для розвитку яких найбільш сприятлива нейтральна реакція ($\text{pH}_{\text{сол}} = 6,5-7,5$), в кислих ґрунтах сильно пригнічена;

– утворення доступних для рослин форм азоту, фосфору й інших поживних речовин унаслідок ослаблення мінералізації органічної речовини протікає слабо;

– збільшується розчинність сполук алюмінію та марганцю в ґрунті, що має шкідливу дію на деякі сільськогосподарські рослини (конюшина, люцерна, озима пшениця, озиме жито, буряк, льон, горох, гречка, ячмінь);

– зростання вмісту рухомого алюмінію приводить до зв'язування ними засвоюваних форм фосфору з утворенням нерозчинних і малодоступних для рослин фосфатів полуторних оксидів, у результаті чого погіршується живлення рослин фосфором;

– зменшується рухливість молібдену, він переходить у важкорозчинні форми, і його може не вистачати для нормального росту рослин, особливо бобових;

–підвищена кислотність сприяє розвитку в ґрунті грибів, серед яких багато паразитів та збудників різних хвороб рослин.

У нашій країні ґрунти з підвищеною кислотністю займають великі площі – більше ніж 10 млн га, у тому числі близько 5,4 млн га з них відводиться під рілля (0,6 млн га – сильно кислі ($\text{pH}_{\text{сол}} \leq 4,5$), 1,4 млн га – середньо кислі ($\text{pH}_{\text{сол}} = 4,5-5,0$), 3,4 млн га – слабо кислі ($\text{pH}_{\text{сол}} > 5,0$)) (Меліорація ґрунтів, 2015). Здебільшого кислі ґрунти перебувають у зоні дерново-підзолистих та бурих лісових ґрунтів (Полісся, Карпати). Крім того, кислою реакцією характеризуються ґрунтові розчини сірих лісових, торф'яно-болотних ґрунтів (Західний Лісостеп) та частково вилужених та опідзолених чорноземів (Центральний і Східний Лісостеп).

Вплив кислої реакції ґрунтового розчину на рослини

На більшість сільськогосподарських культур підвищена кислотність ґрунту впливає негативно. При підвищеній кислотності ґрунтового розчину погіршуються ріст і розгалуження коріння, погіршується використання рослинами води та поживних речовин, які наявні в ґрунті, порушується обмін речовин у рослинах, послабляється синтез білків, придушуються процеси перетворення простих вуглеводів (моноцукрів) в інші складні органічні сполуки. Особливо чутливі рослини до підвищеної кислотності ґрунту в перший період росту, відразу після проростання.

Для кожного виду сільськогосподарських рослин визначена певна, найбільш сприятлива для його росту й розвитку величина реакції ґрунтового середовища. Здебільшого сільськогосподарські культури і корисні ґрунтові мікроорганізми краще розвиваються при реакції, близькій до нейтральної ($\text{pH}_{\text{сол}} = 6-7$). Для засвоєння рослинами елементів живлення існують наступні оптимальні значення $\text{pH}_{\text{сол}}$ (Лопушняк та ін., 2018): азоту – 6-8, фосфору – 6,25, калію і сірки – 6-8,5, кальцію і магнію – 4,5-6, бору, міді і цинку – 5-7, молібдену – 7-8,5.

За відношенням до підвищеної кислотності ґрунтового розчину, а відповідно і до реакції на проведення заходів, які її знижують (зокрема вапнування), усі сільськогосподарські культури групуються на *п'ять категорій* (Меліорація ґрунтів..., 2015; Лопушняк та ін., 2018).

До рослин з *дуже слабкою стійкістю* до кислотності ґрунтового розчину відноситься люцерна, буряк кормовий та цукровий, більшість овочів (столовий буряк, часник, капуста, шпинат, селера тощо), більшість фруктових дерев та чагарників (яблуня, вишня, слива, смородина тощо), виноград, оливка. Оптимальне значення $pH_{\text{сол}}$ для цих культур – 7,0-8,0. Ці культури добре реагують на вапнування навіть на слабо кислих ґрунтах.

Слабку стійкість мають рослини, які потребують кислотність (лужність) ґрунтового розчину в 6,0-7,5 одиниць $pH_{\text{сол}}$ – пшениця озима та ярова, ячмінь, кукурудза, соняшник, усі бобові культури, за винятком люпинів і середели, огірки, цибулі, салат. Добре відгукуються на вапнування не тільки на сильно, але й середньокислих ґрунтах.

Середню стійкість до високої кислотності ґрунтового розчину мають жито, овес, просо, гречка, тимофіївка, редис, морква, томати. Вони можуть більш-менш задовільно рости в широкому інтервалі $pH_{\text{сол}}$ при кислій і слабо лужній реакції ($pH_{\text{сол}}$ від 4,5 до 7,5), але найбільш сприятлива для їхнього росту слабо кисла реакція ґрунтового розчину ($pH_{\text{сол}} = 5,5-6,0$). Ці культури позитивно реагують на вапнування сильно і середньокислих ґрунтів повними дозами, що зумовлює не лише зниження кислотності, але й посилення мобілізації поживних речовин.

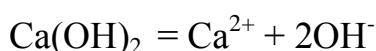
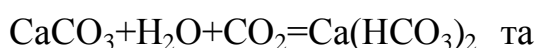
Високу стійкість до кислої реакції ґрунтового розчину мають картопля та льон. Високі норми $CaCO_3$, особливо при обмежених нормах добрив, викликають негативний вплив на якість урожаю цих культур. Негативний вплив надлишкового вапнування на ці культури пов'язаний не стільки з нейтралізацією кислотності, скільки зі зменшенням умісту в ґрунті засвоюваних сполук бору, магнію й калію.

Абсолютну стійкість до кислої реакції мають люпин та серадела, які та дуже негативно реагують на надлишок водорозчинного кальцію в ґрунті, а тому під час вапнуванні підвищеними дозами знижують урожай. Оптимальні значення $pH_{\text{сол}}$ для них 4,5-5,0.

Вапнування: визначення, механізм дії на ґрунт, ефективність меліорації

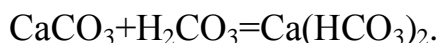
Вапнування – це внесення в ґрунт хімічних меліорантів (карбонатів, оксидів, гідрокарбонатів тощо), що містять кальцій та (або) магній. Це обов'язковий агрономічний захід на кислих ґрунтах (Хімічна меліорація..., 2012; Меліорація ґрунтів..., 2015; Цапко та ін., 2018).

Головний меліорант для хімічної меліорації кислих ґрунтів – це вапно (CaCO_3), яке дуже повільно розчиняється в воді (у нейтральних ґрунтах через 2 роки розчиняється 50 %), але відносно швидко розчиняється в кислотах. Саме тому під час унесення його в ґрунт із $pH_{\text{сол}}$ ґрунтового розчину менше ніж 6, буде проходити наступна хімічна реакція:



Катіон Ca^{2+} поглинається ГВК, витискуючи з нього H^+ та Al^{3+} , які утворюють або воду, або гідроокис $\text{Al}(\text{OH})_3$, що випадає в осад. А аніон OH^- підлужує ґрунтовий розчин.

Водночас вугільна кислота ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) безперервно нейтралізує вапно:



Така «ланцюгова» реакція спричиняє усування актуальної та потенційної (обмінної та гідролітичної) кислотність ґрунту. Дія вапна на кислотність ґрунту максимально досягається через два роки після внесення меліоранта, а потім поступово знижується: через п'ять років після внесення «повної» норми вапна $pH_{\text{сол}}$ зменшиться на 30 %, а через 7-8 років – на 50 %

порівняно з другим роком після внесення (Меліорація ґрунтів..., 2015; Лопушняк та ін., 2018).

Під час внесенні вапна, окрім прямої дії, а саме зменшення реальної та потенційної кислотності ґрунтового розчину, спостерігається (Хімічна меліорація..., 2012; Лопушняк та ін., 2018):

- підвищення насиченості ґрунту основами;
- коагуляція ґрунтових колоїдів, у результаті чого зменшуються їхнє руйнування та вимивання, що поліпшує фізичні властивості ґрунту – водотривку структуру, водопроникність, аерацію;

- зниження вмісту у ґрунті рухомих сполук алюмінію та марганцю, які переходять у нерозчинний стан, а тому усувається шкідлива їхня дія на рослини;

- підсилення життєдіяльність корисних мікроорганізмів і відновлюється мобілізація ними азоту, фосфору та інших поживних речовин із ґрунтової органічної речовини (зокрема інтенсивніше протікають процеси амоніфікації та нітрифікації та краще розвиваються бактерії, які фіксують азот);

- поліпшується фосфорний режим ґрунту, тому що вапнування сприяє переходу важкодоступних для рослин фосфатів алюмінію та заліза в більш доступні фосфати кальцію та магнію.

- калій важкорозчинних мінералів переходить у більш рухливі сполуки, а калій ГВК витискується в розчин (але засвоєння його рослинами внаслідок антагонізму між катіонами K^+ і Ca^{2+} не збільшується);

- збільшується рухливість у ґрунті та доступність для рослин *мікроелементів*, зокрема сполуки молібдену переходять у більше засвоювані форми;

- поліпшення живлення рослин азотом і зольними елементами що зумовлено тим, що на вапнованих ґрунтах рослини розвивають більш потужну кореневу систему, здатну швидко засвоювати поживні речовини із ґрунту та добрив.

Таблиця 7.1. Оцінка ступеня потреби у вапнуванні залежно від властивостей ґрунту

Гранулометричний склад ґрунтів	Потреба ґрунтів у вапнуванні								
	сильна			середня		слабка		відсутня	
	pH	V* % менше		pH	V % менше	pH	V % менше	pH	V % менше
Важко- і середньо су- глинкові	4,5	50		4,5- 5,0	50- 65	5,0- 5,5	65- 75	<5,5	75
Легкосуглинкові	4,5	40		4,0- 5,0	40- 60	5,0- 5,5	60- 70	5,5	70
Супіщані й піщані	4,5	35		4,5- 5,0	35- 50	5,0- 5,5	50- 60	5,5	60
Заболочені тор- ф'яністі та торф	3,5	35		3,5- 4,2	35- 55	4,2- 4,8	55- 65	4,8	65

*Ступінь насиченості ґрунтів основами (див. гл. 6).

До недоліків вапнування слід віднести зменшення рухливості сполук бора й марганцю. А тому на вапнованих ґрунтах ефективно внесення борних добрив, особливо під культури, які вимогливі до бору – цукровий і кормовий буряк, конюшину, люцерну, гречку, цибулю тощо (Меліорація ґрунтів..., 2015; Лопушняк та ін., 2018; Цапко та ін., 2018).

Визначення потреби ґрунтів у вапнуванні й норми вапна

Необхідність вапнування ґрунту орієнтовно можна визначити за деякими зовнішніми ознаками. Кислі сильно підзолисті ґрунти звичайно мають білястий відтінок, яскраво виражений підзолистий горизонт, який досягає 10 см і більше. На підвищену кислотність ґрунту та його потребу у вапнуванні вказують також поганий ріст і сильне випадання конюшини, люцерни, озимої пшениці під час перезимівлі, швидкий розвиток бур'янів, які стійкі до високої кислотності ґрунтового розчину – моху, хвощу, осоки, папороті.

Таблиця 7.2. «Повні» норми вапна (CaCO_3 , т на 1 га) залежно від рН сольової витяжки та гранулометричного складу ґрунту

Ґрунти	рН сольової витяжки					
	>4,6	4,6-4,7	4,8-4,9	5,0-5,1	5,2	5,3-5,5
Супіщані та легкосуглинкові	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5-4,0
Середньо - і важкосуглинкові	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,0-2,0

Точна потреба ґрунту у вапнуванні може бути визначена за $\text{pH}_{\text{сол}}$ сольової витяжки. При значенні $\text{pH}_{\text{сол}}$ сольової витяжки 4,5 і нижче потреба у вапнуванні сильна, 4,6-5,0 – середня, 5,1-5,5 – слабка й при $\text{pH}_{\text{сол}}$ більше, ніж 5,5 – потреби нема. Величина кислотності ґрунту – важливий, але не єдиний показник, що характеризує потребу ґрунтів у вапнуванні. Важливо враховувати також ступінь насиченості ґрунту основами та його гранулометричний склад. З урахуванням цих трьох показників ступінь потреби ґрунтів у вапнуванні може бути встановлена значно точніше (табл. 7.1).

Під час проведенні вапнування, крім властивостей ґрунту, необхідно враховувати також особливості реакції сільськогосподарських культур до кислотності ґрунтового розчину та до вапнування. Ґрунти, які потребують найбільшої меліорації, вапнуються в першу чергу (Лопушняк та ін., 2018), з середньою потребою – у другу; ґрунти зі слабою потребою в хімічній меліорації – у третю чергу. Кількість вапна, необхідного для зменшення підвищеної кислотності орного шару ґрунту до слабокислої реакції (до значення $\text{pH}_{\text{сол}}$ сольової витяжки 5,6-5,8), сприятливої для більшості культур і корисних мікроорганізмів, називається *повною нормою* (табл. 7.2). На важких ґрунтах і під культури, які дуже чутливі до підвищеної кислотності (буряк, кукурудза, конюшина, люцерна, капуста тощо), краще вносити повну норму вапна. На більш легких малобуферних ґрунтах і для культур, не

чутливих до кислотності (картоплі, люпину тощо), норму вапна необхідно зменшити на 1/3-1/2.

Ефективність вапнування залежить від рівномірності внесення вапна в ґрунт та ретельності перемішування його з ґрунтом. Вапно повинно бути добре подрібненим та рівномірно розсіяним по поверхні ґрунту. Необхідно застосовувати такий спосіб унесення вапна, при якому забезпечується гарним перемішування її з усім орним шаром ґрунту – або під плуг з осені під зяблеву оранку або навесні під культивуацію зябу, але найкраще водночас з органічними добривами – гноєм, торфом, компостами. Найзручніше проводити вапнування це на полях під паром. У просапних сівозмінах вапно, насамперед, необхідно вносити під кукурудзу й коренеплоди, а в овочевих – під капусту й буряк або під їхніх попередників. На пасовищах вапно вносять поверхово.

Водночас є думка, що суцільне вапнування, що визначається за величиною прихованої кислотності ґрунтів, є енергетично збиткова та економічно неефективна. Пропонується відмовитися від суцільного внесення вапна як занадто витратного способу хімічної меліорації та перейти на локальне внесення (Трускавецький, Цапко, 2002; Цапко та ін., 2018).

Вапнякові меліоранти, строки та способи їх унесення

Вапнякове борошно – основний промисловий вапняний меліорант, який виготовляється через розмелювання та подрібнення вапняків. Він складається в основному з карбонату кальцію – CaCO_3 , але найчастіше буває доломітизованим, тобто містить також MgCO_3 , (до 10-15 %, у перерахунку на Mg). Чим вище вміст у породі MgCO_3 , тим вона твердіше та міцніша. При великому вмісті MgCO_3 , (18-20 % у перерахунку на Mg) порода називається доломітом, при її розмелюванні утворюється *доломітове борошно*. Вапнякові матеріали, які містять магній, для багатьох сільськогосподарських культур (буряк, картопля, льон, конюшина, люцерна, гречка, морква, цибуля тощо) ефективніші ніж вапнякові добрива, особливо на бідних магнієм піщаних і

Таблиця. 7.3. Винос кальцію й магнію із урожаєм сільськогосподарських культур (кг на 1 т продукції) у перерахунку на CaCO₃*

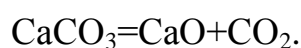
Культура	CaCO ₃	MgCO ₃	Сума карбонатів
Озиме жито**	8,8	6,0	14,8
Озима пшениця*	6,3	6,5	12,8
Яриця**	5,6	7,8	13,4
Ячмінь яровий**	7,7	6,3	14,0
Овес**	9,7	7,2	16,9
Гречка**	18,0	8,5	26,5
Горох**	31,5	10,0	41,5
Льон-довгунець**	17,1	16,4	33,5
Цукровий буряк (корінь)	2,9	1,3	4,2
Картопля (бульби)	0,5	1,5	2,0
Кормові коренеплоди	0,5	1,0	1,5
Кормовий люпин (зелена маса)	2,9	1,5	4,4
Конюшина червона (сіно)	42,2	19,0	61,2
Люцерна	45,5	7,8	53,3
Багаторічні трави (сіно)	27,0	12,5	39,5
Однолітні трави (сіно)	30,0	10,6	40,6
Капуста	1,3	0,8	2,1
Лугові бобово-злакові трави (сіно)	17,1	10,2	27,3
Лугові злакові (сіно)	7,2	5,0	12,2

* З провапнованих ґрунтів винос кальцію й магнію вище на 10-20%.

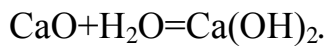
** Зерно+солома.

супіщаних ґрунтах. Промислові вапняні меліоранти повинні містити не менше 85 % CaCO₃, і MgCO₃. Чим тонший помел вапнякового та доломітового борошна, тим скоріше й повніше воно розчиняється, швидше нейтралізує кислотність ґрунту й тим вище його ефективність (Меліорація ґрунтів, 2015; Лопушняк та ін., 2018; Цапко та ін., 2018).

Палене й гашене вапно утворюється під час випалюванні вапняків CaCO₃ з перетворенням у CaO



Під час взаємодії його з водою утворюються гідроксид кальцію (*пушонка*):



Пушонка є вапняковим меліорантом швидкої дії. Ефективність її у перший рік після внесення може бути вище, ніж CaCO_3 , але з роками їхня дія вирівнюється.

Велике значення для вапнування кислих ґрунтів мають пухкі вапняні породи, що не вимагають розмелювання: *вапняні туфи* (75-96 % CaCO_3 , домішки до 25 % глини й піску, також до 0,1 % P_2O_5), *гажа*, або озерне вапно, або мергель луговий, *мергель* (зі вмістом CaCO_3 до 25–75 % і глини з піском до 20-40 % на ґрунт діє також повільно, доцільно застосовувати на легких ґрунтах), *торфотуф*, *природне доломітове борошно*, *крейда* (90-100 % CaCO_3 , діє ефективніше ніж вапняк, особливо в тонко розмеленому вигляді).

Як вапнякові меліоранти використовуватися також різні відходи промисловості: *сланцева зола*, *доменні й мартенівські шлаки*, *дефекат* (шлам цукробурякового виробництва; містить 60-75 % CaCO_3 , 10-15 % органічних речовин, 0,2-0,7 % N, 0,2-0,9 % P_2O_5 , 0,3-1 % K_2O , мікроелементи), *пил цементний* (зі вмістом CaCO_3 понад 60 %; звичайно застосовується в господарствах, які розташовані поряд із цементним заводом; вносять машинами із закритих ємностей пневмопристроями).

Позитивно впливає на зміну кислотності ґрунту фосфоритне борошно, яке містить близько 22 % CaCO_3 .

Баланс кальцію і магнію в ґрунтах, вапнування як удобрення

Кальцій і магній відіграє значну роль у формуванні врожаю сільськогосподарських культур (див. гл. 4 та 14). Під час складання балансу кальцію і магнію необхідно враховувати й винос його рослинами. Орієнтовний винос кальцію й магнію з урожаєм сільськогосподарських культур представлений у таблиці 7.3. Баланс кальцію на основі лізіметричних дослідів показує, що на кислих ґрунтах відзначається постійний дефіцит кальцію.

Оскільки магній і калій є антагоністами, то надмірне внесення калійних добрив може спричинити нестачу магнію. На відміну від калію, він легко вимивається з ґрунту, щорічні його втрати можуть досягати 20-40 кг/га. Дефіцит магнію зумовлюється сучасним зменшенням обсягів органічних добрив, використанням висококонцентрованих мінеральних добрив, зведенням до мінімуму вапнування ґрунтів. На деяких ґрунтах потреба рослин у магнії навіть більша, ніж у фосфорі.

Ураховуючи наведені вище факти, вапнування варто розглядати не лише як хімічну меліорацію, а і як удобрення ґрунту кальцієм і магнієм.

8. ХІМІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ СОЛОНЦІВ ТА СОЛОНЦЕВИХ ГРУНТІВ

Галогенні ґрунти. Водорозчинні солі в ґрунтах Степу України

Галогенні ґрунти (засолені та солонцеві) – це велика група ґрунтів різної генези та властивостей, які об'єднані одною діагностичною ознакою, а саме наявністю в профілі певної кількості водорозчинних солей .

У ландшафти водорозчинні солі (NaCl, Na₂CO₃, Na₂SO₄, CaCl₂, CaCO₃, CaSO₄, MgCl₂, MgCO₃, MgSO₄ та ін.) потрапляють через ґрунтові води та повітря. Щодо причорноморських та приазовських степів, то головним природним джерелом водорозчинних солей є поверхня морів, лиманів та заток. У чорноземні та каштанові ґрунти Приазов'я та Причорномор'я пересічно поступає щорічно 0.1-0.2 т/га, в безпосередньо у прибережній зоні (до 10 км) до 3-8 т/га. Деякі дослідники саме з цим явищем пов'язують наявність у цій зоні засолених та солонцевих ґрунтів. Що стосується підґрунтя, то відомо, що головним джерелом солей у лесах є мінералізовані ґрунтові води, які були тут у більш вологій епохи. Найяскравіше це виявляється в депресивних формах рельєфу – подах, долинах річок, балках тощо. Солі в природних ландшафтах Причорномор'я утворилися також у наслідок нагромадження у ґрунті та ґрунтових водах під час затоплення суходолу морською солоною водою (рис. 8.1). Обов'язковими факторами нагромадження солей у ґрунтах є посушливий клімат і утруднений відтік поверхневих і підґрунтових вод (Новикова, 2009; Меліорація ґрунтів..., 2015).

Процес нагромадження шкідливих для рослин солей у ґрунтах, головним чином хлоридів, сульфатів та карбонатів натрію, має назву *засолення ґрунтів*. Засоленими вважаються горизонти ґрунту зі вмістом солей більш як 0,25 %. Такі ґрунти (солончаки, деякі групи

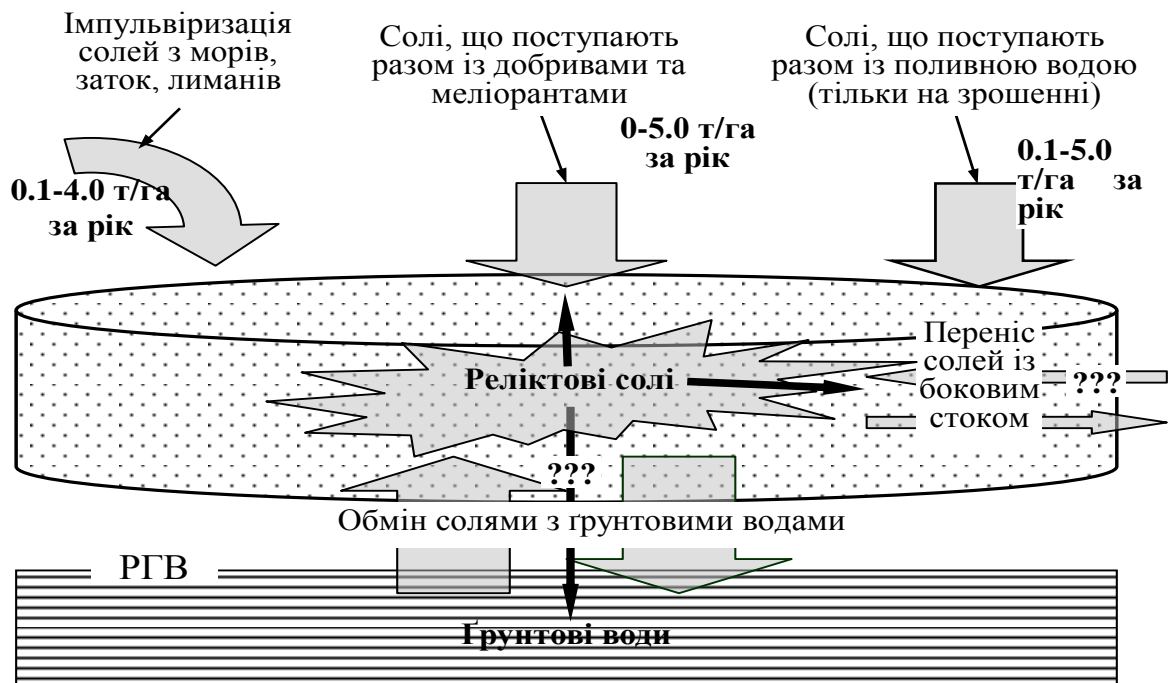


Рисунок 8.1. Динаміка водорозчинних солей у степових агроландшафтах України

солонців) трапляються зазвичай у депресивних формах рельєфу в степовій та лісостеповій частині України та в приморській зоні.

Привнесення в ґрунт солей, окрім засолення, може викликати також *осолонцювання* ґрунтів, яке характеризується наявністю у ГВК певної кількості катіонів натрію і калію. Це зумовлює несприятливі для рослин фізичні, фізико-хімічні та хімічні властивості ґрунтів, які мають назву *солонцевих*. Площа солонцевих ґрунтів становить в Україні 2,8 млн га, приблизно $\frac{2}{3}$ з яких розорюється, а 0,8 млн га зрошуються (Меліорація ґрунтів..., 2015).

Солонцеві ґрунти та їх властивості

Солонцеві ґрунти розділяють на солонці та солонцюваті ґрунти. *Солонці* – тип засолених ґрунтів, у яких легкорозчинні солі (зокрема, сода) у шкідливих для рослин кількостях перебувають на деякій глибині (20-50 см і глибше), утворюючи дуже щільний стовпчастий солонцевий шар. У нього

вмиваються гумусові речовини з верхнього безструктурного, пухкого надсолонцевого горизонту. У вологому стані солонці стають липкими, а в сухому – дуже твердими (щільність більше ніж $1,5 \text{ г/см}^3$). Наявність в ілювіальному шарі обмінного Na^+ в кількості більше 5 % від суми обмінних катіонів і визначає негативні фізичні властивості солонців. Під час оброблення таких ґрунтів утворюються брили. У сухому ж стані обробка таких ґрунтів майже неможлива. Урожаї на цих ґрунтах низькі. Наявність дуже токсичної соди (Na_2CO_3 – карбонат натрію та (або) NaHCO_3 – бікарбонат натрію) викликає глибоке негативне перетворення всієї ґрунтової маси, як органічної, так і мінеральної складової ґрунту. Реакція ґрунтового розчину є сильно лужною – $\text{pH}=9-11$. Така лужність ґрунтового розчину створює практично абіотичне середовище, в якому не можуть існувати не тільки вищі рослини, а деякі групи мікроорганізмів (Новікова, 2009; Меліорація ґрунтів..., 2015).

Під *солонцюватими* ґрунтами розуміють ґрунти різних типів (чорноземи, лугові, каштанові тощо), які мають певні ознаки солонців: лужну реакцію, наявність обмінного натрію у ГВК, глибисту або призмовидну структуру, високу щільність і злитість ґрунтової маси, елювіально-ілювіальну диференціацію ґрунтового профілю тощо. Але ці ґрунти відрізняються від солонців слабшим ступенем прояву згаданих вище властивостей. Якщо солонців в Україні налічується приблизно 240 тис. га і вони переважно використовуються під пасовища, то різного ступеню солонцюватих ґрунтів близько 2600 тис. га і вони інтенсивно використовуються в землеробстві (Меліорація ґрунтів..., 2015). Розорені солонцюваті ґрунти мають знижену родючість порівняно з несолонцюватими, переважно через незадовільні агрофізичні та водно-фізичні властивості. Згідно з чинними класифікаціями, приблизна межа між солонцями та солонцевими ґрунтами визначається вмістом натрію у ГВК в 10 % загальної ємності поглинання.

Таблиця. 8.1. Хімічний склад води основних джерел зрошення України (Лозицький, 1997).

Назва річок	Параметри (діапазон значень)		
	Мінералізація (г/л)	pH	Співвідношення Na ⁺ /Ca ⁺²
Дніпро	0.33-0.59	7.5-8.9	0.36-0.80
Дунай	0.35-0.59	7.7-8.5	0.30-0.80
Дністер	0.43-0.65	7.2-8.4	0.53-0.81
Південний Буг	0.30-0.68	7.3-8.5	0.48-0.89
Інгулець	1.67-3.55	7.3-8.6	1.80-5.10
Інгул	1.09-1.18	7.4-7.9	1.30-1.57

Таблиця 8.2. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості (ДСТУ 3866-99).

Ступінь вторинної солонцюватості	Буферність ґрунтів								
	Низько буферні			Середньо буферні			Високо буферні		
	Обмінний Na+K, %	$\frac{aNa}{\sqrt{Ca}}$	pNa-0,5pCa	Обмінний Na+K, %	$\frac{aNa}{\sqrt{Ca}}$	pNa-0,5pCa	Обмінний Na+K, %	$\frac{aNa}{\sqrt{Ca}}$	pNa-0,5pCa
	Важкі ґрунти								
Несолонцюваті	<1	<0,5	>1,65	<3	<1	>1,35	<5	<2	>1,05
Слабко солонцюваті	1-3	0,5-1,0	1,65-1,35	3-6	1-3	1,35-0,87	5-10	2-7	1,05-0,50
Середньо солонцюваті	3-6	1,0-3,0	1,35-0,87	6-10	3-7	0,87-0,50	10-15	7-10	0,50-0,35
Сильно солонцюваті	>6	<3,0	<0,87	>10	>7	<0,50	>15	>10	<0,35
	Легкі ґрунти								
Несолонцюваті	<3	<1	>1,35	<5	<2	>1,05	<6	<3	>0,87
Слабко солонцюваті	3-6	1-3	1,35-0,87	5-10	2-7	1,05-0,50	6-12	3-8	0,87-0,44
Середньо солонцюваті	6-10	3-7	0,87-0,50	10-15	7-10	0,50-0,35	12-16	8-12	0,44-0,27
Сильно солонцюваті	>10	>7	<0,50	>15	>10	<0,35	>16	>12	<0,27

Водночас солонцюваті ґрунти можуть мати негативні фізичні властивості й за відсутності високої кількості натрію. Великі площі займають *малонатрієві*

солонці та солонцюваті ґрунти (1834 тис. га). (Меліорація ґрунтів..., 2015), які на думку багатьох дослідників раніше були багатонатрієвими, а згодом в процесі ґрунтоутворення натрій замістився магнієм, який вивільнився під час руйнуванні мінералів, але за фізичними та морфологічними властивостями повністю відповідає «натрієвим» солонцям і осолонцюваним ґрунтам. Тобто зміна фізичних і морфологічних властивостей відстає в часі від трансформації фізико-хімічних властивостей. Інколи такі солонці та солонцюваті ґрунти називають «реліктовими» (Новікова, 2004).

Іригаційні (вторинні) солонці та їх властивості

Під впливом широкої іригації на Півдні України змінюються напрямки солонцевого процесу, він розвивається або вбік послаблення (розсолонцювання), або може виникнути вторинна (антропогенна) солонцюватість, коли концентрація натрію і калію у ГВК збільшується. Головними чинниками таких змін можуть бути (Меліорація ґрунтів..., 2015):

- несприятливий хімічний склад поливної води (табл. 8.1), у якій містяться катіони натрію та калію, які перевищують сумарний уміст катіонів кальцію та інших дво- та тривалентних катіонів, що приводить до заміщення у ГВК кальцію одновалентними катіонами, що зі свого боку визначає пептизацію колоїдів ґрунту та розвиток іригаційного (вторинного) солонцевого процесу;

- підняття до поверхневого шару ґрунту ґрунтових вод, у яких розчинені токсичні солі, що спочатку викликає засолення ґрунтів, а потім, після промивання ґрунту атмосферними та (або) поливними опадами процес вторинного осолонцювання;

- спеціальне промивання природно засолених ґрунтів поливними водами, або промиванням у перші роки експлуатації рисових чеків, які були закладені на природних солонцях.

Інтенсивність вторинного осолонцювання залежить не тільки від якості поливної води, а і від вихідних властивостей ґрунту, які визначають стійкість

до осолонцюванню. Це вміст карбонатів і активність іонів кальцію та глибина залягання та мінералізація ґрунтових вод.

Збільшення вмісту іону натрію і зменшення іону кальцію та інших дво- та тривалентних катіонів приводить до зниження буферності ґрунту, його здатності протистояти лужному впливу, при цьому в умовах зрошення процес поглинання натрію в ґрунтово-вбирному комплексі відбувається значно активніше, ніж у суходільних умовах. Зрошення ґрунтів, після кожного циклу зволоження, супроводжується процесами кіркоутворення. Руйнація ґрунтових колоїдів та міграція продуктів цього негативного процесу по профілю ґрунту призводить до його ущільнення та зменшення шпаруватості.

Для встановлення ступеня вторинної солонцюватості використовують такі критерії: сума обмінних натрію і кальцію (у відсотках від ємності катіонного обміну), термодинамічні показники у ґрунтовому розчині. Виділяють кілька ступенів вторинної солонцюватості (табл. 8.2).

Хімічна меліорація солонцевих ґрунтів

Ефективна хімічна меліорація солонцевих ґрунтів можлива лише за умови властивостей ґрунтів (зокрема ступеня і хімізму солонцюватості), рівня ґрунтових вод, кліматичних умов, інтенсивності землекористування тощо. Різноманіття солонців та осолонцьованих ґрунтів за властивостями зумовлює їхню меліоративну нерівноцінність. Не всі солонці та осолонцьовані ґрунти підлягають хімічній меліорації (табл. 8.3). Зокрема підвищення родючості слабкосолонцевих ґрунтів не потребує коштовної хімічної меліорації, а може бути реалізовано через раціональні сівозміни з багаторічними травами та солонцево стійкими сільськогосподарськими культурами та внесенням підвищених норм органічних і мінеральних добрив.

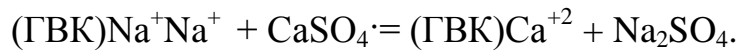
Не потребують ніяких меліорацій сильно солонцюваті ґрунти та солонцеві комплекси, які займають більше 50 % площі конкретного поля. Зазвичай такі землі інтенсивно не експлуатуються, підлягають вилученню

Таблиця 8.3. Меліоративно-технологічне групування солонцевих ґрунтів (Хімічна меліорація ґрунтів..., 2012)

Об'єкти	Заходи	Обсяги, тис. га
Слабосолонцюваті ґрунти без плям солонців, їх комплекси з плямами солонців до 10 %, плантажовані в різні роки солонцюваті ґрунти	Агротехнічні методи (раціональні сівозміни, мінеральні та органічні добрива)	986,4 га
Середньосолонцюваті та солонцеві комплекси з плямами солонців 10-30 % та 30-50 %	Хімічна меліорація	524,8
Зрошувані солонцюваті землі (первинно і вторинно)	Хімічна меліорація	684,0
Солонці з неглибоким (40-50 см) заляганням карбонатів і рівнем підґрунтових вод глибше 5 м	Меліоративна плантажна оранка	400,0
Сильносолонцюваті та солонцеві комплекси з плямами солонців 50 % і більше.	Виведення з ріллі	92,2

з ріллі та переведення їх в пасовища або перелоги. Солонцеві ґрунти з неглибоким карбонатним горизонтом можуть меліоруватися плантажним обробітком (табл. 8.3). Хімічної меліорації підлягають лише середньо солонцюваті землі та землі з плямами солонців, які займають 10-50 % площі поля, а також зрошувані мінералізованими водами землі. Таких земель в Україні трохи більше 1,1 млн. га (Хімічна меліорація ґрунтів..., 2012).

Метод хімічної меліорації передбачає внесення у солонцеві ґрунти речовин, які містять кальцій (гіпс, фосфогіпс, крейду, вапно тощо) та (або) кислоти та меліоранти, які викликають підкислення ґрунтового розчину (солі $Fe_2(SO_4)_3$ або $Al_2(SO_4)_3$, пірит тощо). Інколи як меліоранти використовують карбонатні гірські породи, наприклад лес, червоно-бурі глини тощо. Але *гіпсування* (тобто унесення в ґрунт $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) є найбільш поширеним заходом хімічної меліорації солонцевих ґрунтів. Дія гіпсу виявляється в тому, що з ґрунтового-вбирного комплексу витискується обмінний натрій і проходить така хімічна реакція:



Na_2SO_4 – це нейтральна сіль, яка в невеликих кількостях не шкодить рослинам. Якщо натрію понад 20 % від ємності поглинання, необхідне видалення Na_2SO_4 через зрошення. Внаслідок гіпсування усувається лужна реакція, поліпшуються фізико-хімічні й біологічні властивості ґрунту, полегшується їхня обробка, покращується аерація. Це приводить до посилення мікробіологічної діяльності та поліпшення родючості ґрунту, зокрема до збільшення доступності для рослин азоту, фосфору, калію і, як наслідок, до зростання урожайності сільськогосподарських культур.

Важливий нюанс упровадження гіпсування – позитивна дія проявляється лише тоді, коли ґрунтові води розташовані глибше 1,2-1,5 м. Якщо ця умова не виконується, то Na_2SO_4 з ґрунту не виноситься і розсолонцювання не відбувається.

Норму внесення гіпсу (Д, т/га), або так звану *агрономічну норму*, можна розрахувати за формулою:

$$D = 0,086 (\text{Na}^+ - 0,1 T) \cdot H_n d,$$

де Na^+ – уміст Na^+ , ммоль на 100 г ґрунту; T – ємність поглинання, ммоль на 100 г ґрунту; H_n – глибина орного шару, см; d – щільність складання солонцевого горизонту, г/см³.

Для солонцевих ґрунтів з невеликим умістом поглиненого натрію така методика неприйнятна, а тому розрахунок здійснюється за методами допоглинання кальцію або коагуляційно-пептизаційним методом (Меліорація ґрунтів, 2015).

Агрономічна норма гіпсу зорієнтована на максимальну прибавку врожаю і встановлюється на основі багаторічних дослідів. Згідно з чинними нормативами внесення кальцієвмісних меліорантів для Лісостепу України становить 8-10 т/га, а для лучно-чорноземних ґрунтів Степу України – 4-6 т/га.

Однак природний гіпс є в Степу певним дефіцитом, тому доцільніше використовувати відходи (шлами) промислового виробництва, які вміщують

гіпс, наприклад *фосфогіпс*, що є відходом тукової промисловості та вміщує в собі водорозчинний фосфор (до 2 %), кальцій, оксиди марганцю тощо. Однак фосфогіпс не є екологічно небезпечним, тому що містить сполуки фтору (0.3-6.0 %), інколи радіоактивного стронцію (1.8-2.0 %) та інших металів. Хоча для рослин радіоактивний стронцій малотоксичний, але для людини та тварин може складати певну небезпеку, замінюючи кальцій у кістяній тканині та сприяючи виникненню ракових захворювань.

Використання фосфогіпсу для хімічної меліорації зумовило розрахунок *екологічно безпечної норми* меліоранту. Сумарна кількість потенційно небезпечних хімічних елементів (фтор, стронцій тощо), що містяться в ґрунті і вносяться додатково з меліорантом, не повинна перевищувати ГДК (Хімічна меліорація ґрунтів..., 2012).

У цьому сенсі екологічно безпечним кальцієвмісним меліорантом є вапнякове борошно, яке можна одержати з відходів місцевих вапнякових кар'єрів та каменедробильних заводів. Розчинність вапнякового борошна посилюється внаслідок тонкого розмелювання меліоранту та збільшення кислотності ґрунтового розчину через посилення мікробіологічної діяльності ґрунту, наприклад, через упровадження сидератів (Крупіця, 2001).

Гіпс (фосфогіпс) слід уносити під ярові, особливо просапні культури. На коркових солонцях гіпс уносять зразу після оранки й заробляють у ґрунт культивациєю. На середньому й глибокому стовпчастому солонцях при потужності гумусового шару не менш 20 см гіпс перед оранкою зашпаровують плугом із передплужником. На солонцях з меншою потужністю гумусового горизонту гіпс треба вноси у два етапи: перед оранкою й під культивацию після оранки. Норма гіпсу залежно від кількості поглиненого натрію й лужності ґрунту може бути від 3 до 10 т на 1 га. На зрощуваних землях норма гіпсу може бути зменшена на 25-30 %. Повну норму його можна вносити в кілька етапів протягом 2-3 років.

У сучасних економічних умовах із метою заощадження ресурсів та підвищення ефективності хімічної меліорації необхідно (Меліорація ґрунтів, 2015):

- насамперед гіпсувати ґрунти з середнім і сильним ступенем солонцюватості;
- меліоранти краще вносити в вигляді водних розчинів;
- меліоранти вносити локально по контуру осолонцьованих ґрунтів або в рядки під час посіву просапних сільськогосподарських культур;
- для хімічної меліорації використовувати недорогі місцеві ресурси (вапно, сірчаноокисле залізо, лес), звичайно, за відповідності цих речовин санітарно-екологічним вимогам;
- застосовувати глибокий меліоративний обробіток на зрошуваних ґрунтах для використання внутрішньо ґрунтових кальцієвих солей.

9. ХІМІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ ПІЩАНИХ ГРУНТІВ

Негативні властивості піщаних ґрунтів та агрохімічні шляхи їх покращення

Для всіх різновидів піщаних ґрунтів (дерново-підзолисті, лучні, дернові тощо) є багато загальних але негативних властивостей. А саме (Меліорація ґрунтів, 2015):

- незначна водоутримувальна здатність, що приводить до недостатньої забезпеченості рослин вологою;
- несприятливі фізико-хімічні властивості, які виявляються в низькій ємності поглинання та малій буферності;
- прискорена мінералізація органічної речовини і, як наслідок, невеликий уміст гумусу та поживних речовин;
- низька мікробіологічна діяльність негативно впливає на важливі с точки зору живлення рослин процеси – нітрифікацію, амоніфікацію, атмосферну фіксацію азоту бульбочковими бактеріями тощо;
- невеликий уміст мулистих часток та фізичної глини визначає безструктурність ґрунту, що, в свою чергу, негативно впливає на повітряний та водний режим.

Для корінної меліорації таких ґрунтів необхідно, насамперед *збільшити ємність поглинання* та буферність ґрунту, що сприяє покращенню структури, фізичних та водних властивостей. На тлі високих норм органічних і мінеральних добрив така «структурна» меліорація суттєво і швидко покращить родючість ґрунту. Із суто хімічних та агрохімічних заходів щодо збільшення ємності поглинання використовують органічні меліоранти (торф, гній, тирсу тощо), мінеральні (глину, лес, цеоліт тощо), а також штучні препарати – поліакриламід, іонообмінні смоли, водні розчини різних полімерів тощо.

Органічні меліоранти піщаних ґрунтів (торф, тирса, гній)

Органічні меліоранти суттєво збільшують ємність поглинання і буферність ґрунту, а також забезпечують ґрунт валовим азотом, який поступово переходить у рухомі (нітратні) форми. Унесення торфу разом із тирсою і мергелем ще більше покращує азотний режим ґрунту і підвищує водоутримуючу здатність, вологоємність ґрунту. У перші роки післядії таких комплексів урожайність традиційних культур лісової зони України – люпину, озимого жита та картоплі збільшується на 20-25 % (Меліорація ґрунтів..., 2015). Перспективним є внесення в ґрунт не сухого торфу з різними наповнювачами, а водних суспензій на основі торфу кількістю 200-400 т/га. Під час внесення таких суспензій відбувається проникнення дрібних часточок меліоранту в середину ґрунту, що викликає зміну гранулометричного складу і піщаний ґрунт переходить у супіщаний.

Органічна речовина торфу розкладається дуже повільно, що сприяє збільшенню ємності поглинання і більш ефективному використанню мінеральних добрив. В той же час сам по собі торф є джерелом азоту, який під час розкладання досить повільно вивільняється.

Піщані ґрунти є звичайним об'єктом застосування різноманітних ґрунтополіпшувачів, які, зокрема виготовляють на основі *леонардиту* та *бентоніту*. Якщо перший мінералоїд містить гумінові та фульватні кислоти і є джерелом азоту, сірки, фосфору, а також різних біологічно активних речовин, то другий – має видатні поглинальні властивості, що позитивно впливає на структуру та інші водно-фізичні властивості ґрунтів. Різні комбінації цих двох речовин з додаванням органічних компонентів (торфу, меляси, гною) суттєво збільшують родючість піщаних субстратів.

Мінеральні меліоранти (глина, мергель, лес, цеоліт)

Глинування піщаних ґрунтів, тобто внесення глини, дає стабільніші результати по збільшенню ємності поглинання, ніж унесення органічних меліорантів. Це пов'язано з тим, що торф, тирса, гній швидко розкладаються під дією різних біологічних та фізичних факторів і потребують

безперервного довнесення, а глина (та і інші неорганічні меліоранти) збільшує ємність поглинання піщаного ґрунту на досить довгий проміжок часу (Меліорація ґрунтів..., 2015).

Водночас є досить жорсткі вимоги до глин, які використовуються для меліорації піщаних ґрунтів. Унесений глинистий субстрат повинен бути однорідним за гранулометричним складом, вільним від шкідливих для сільськогосподарських рослин хімічних сполук, містити мінімальну кількість гравію, щебню, деревних залишків та мати близьку до нейтральної реакцію середовища. Залежно від властивостей ґрунту норми глини коливаються від 200 до 500-600 м³/га. Нерідко глинування супроводжують унесенням вапна (Меліорація ґрунтів..., 2015).

Через високу вартість тотального глинування більш раціональним варіантом є створення прошарків глини на глибині кореневмісного шару (до 50 см). Наявність такого прошарку істотно знижує швидкість втрат води на фільтрацію, зменшує вилуговування поживних речовин і збільшує врожай сільськогосподарських культур. Ефективність таких прошарків зростає під час додавання в цей шар гною та (або) річкового мулу.

Мергель, особливо який містить глину (так званий «глинистий мергель»), виконує частково роль глинування, частково вапнування, а частково удобрення ґрунту магнієм і калієм. Мергелювання в такому разі буде дуже ефективною меліорацією, особливо, для піщаних «кислих» ґрунтів лісової зони України (Меліорація ґрунтів..., 2015).

Аналогічним до глинування та мергелювання є використання для «структурної» меліорації ґрунтів лесів. Унесення цієї гірської породи в ґрунт є найбільш ефективним засіб збільшення ємності поглинання. Окрім звичайного в таких випадках зростання сумарної поверхні ґрунтових колоїдів спостерігаємо покращення поживного режиму ґрунту, що пов'язано з хімічним та мінералогічним складом лесів. Дослідження результатів лесування показали зростання вмісту в піщаних ґрунтах усіх макро- мезо- та мікроелементів живлення, за винятком азоту.

Синтетичні препарати

Штучні хімічні препарати різного походження, якими обробляють піщані ґрунтоподібні субстрати, використовуються, головним чином, для покращення фізичних параметрів, зокрема, для оструктурювання. Після обробки цими препаратами кількість пористих, водостійких та міцних мікроагрегатів і макроагрегатів помітно зростає. Є також дані про навіть збільшення вмісту поживних елементів (Медведєв та ін., 2018). Окрім покращення властивостей ґрунту ці штучні структуроутворювачі використовуються у будівництві для фіксації днища та укосів котлованів та каналів, закріплення сипучих пісків, акумуляції радіонуклідів та важких металів на поверхні ґрунту тощо (Кульман, 1982, Медведєв та ін., 2018).

В якості структуроутворних сполук використовують різні полімерні матеріали, але найбільшу популярність у дослідженнях, які проводилися в багатьох країнах світу, отримали *полімери-поліелектроліти*. Це органічні лінійні полімери добре розчинні у воді. Використання штучних структуроутворних полімерів, особливо у поєднанні з органічними добривами, покращує структуру піщаних ґрунтів, підвищує їх протидефляційну стійкість та збільшує продуктивність сільськогосподарських культур. Кращими зі структуроутворних сполук є *кріліуми* фірми Monsanto Chemical Co, які синтезовані спеціально для меліорації ґрунтів. Найменша доза, яка забезпечує перехід слабкоструктурного ґрунту в структурний, дорівнює 0,05 % до ваги ґрунту, або 1,2 т/га при глибині меліорованого орного шару в 20 см (Медведєв та ін., 2018).

Недостатньо вивченим залишається питання тривалості дії цих речовин, які втрачають свою цементуючу силу в процесі повторного механічного руйнування агрегатів та поступового біологічного руйнування полімерів.

Але основною перешкодою до широкого впровадження полімерних сполук для меліорації піщаних ґрунтів є їх висока вартість.

10. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОБРІВ

Добрива та меліоранти: визначення

В українському землеробстві застосовують різноманітний асортимент видів та форм хімічних засобів покращення родючості ґрунтів та поліпшення живлення рослин. Ці сполуки мають назву *добрива*.

За характером дії на рослини добрива поділяють на добрива прямої й побічної дії. Добрива прямої дії використовують для безпосереднього забезпечення рослин необхідними елементами живлення (азотні, фосфорні, калійні та ін.). Добрива побічної дії вносять у ґрунт для їхнього впливу на фізико-хімічні та мікробіологічні властивості (вапно, гіпс, цеоліт та ін.). Добрива побічної дії часто називають *меліоранти*.

Загальна класифікація добрив

За походженням добрива поділяють на мінеральні, органічні, органо-мінеральні та бактеріальні. Залежно від місця одержання та походження добрива групують на *промислові* (азотні, фосфорні, калійні, мікродобрива тощо.), *місцеві* (гній, торф, зола, різні види компостів, сапрпель тощо) і *нетрадиційні* (відходи різних галузей промисловості та комунального господарства) (Марчук, Ященко, 2016).

Мінеральні добрива – це продукти промислового або природного походження, що містять елементи живлення в мінеральній формі. Іноді їх називають *туками*, а промисловість мінеральних добрив – туковою промисловістю.

Органічні добрива – добрива, що містять елементи живлення рослин переважно у формі органічних сполук.

Бактеріальні добрива – препарати живих ґрунтових мікроорганізмів, застосування яких поліпшує умови живлення рослин і сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

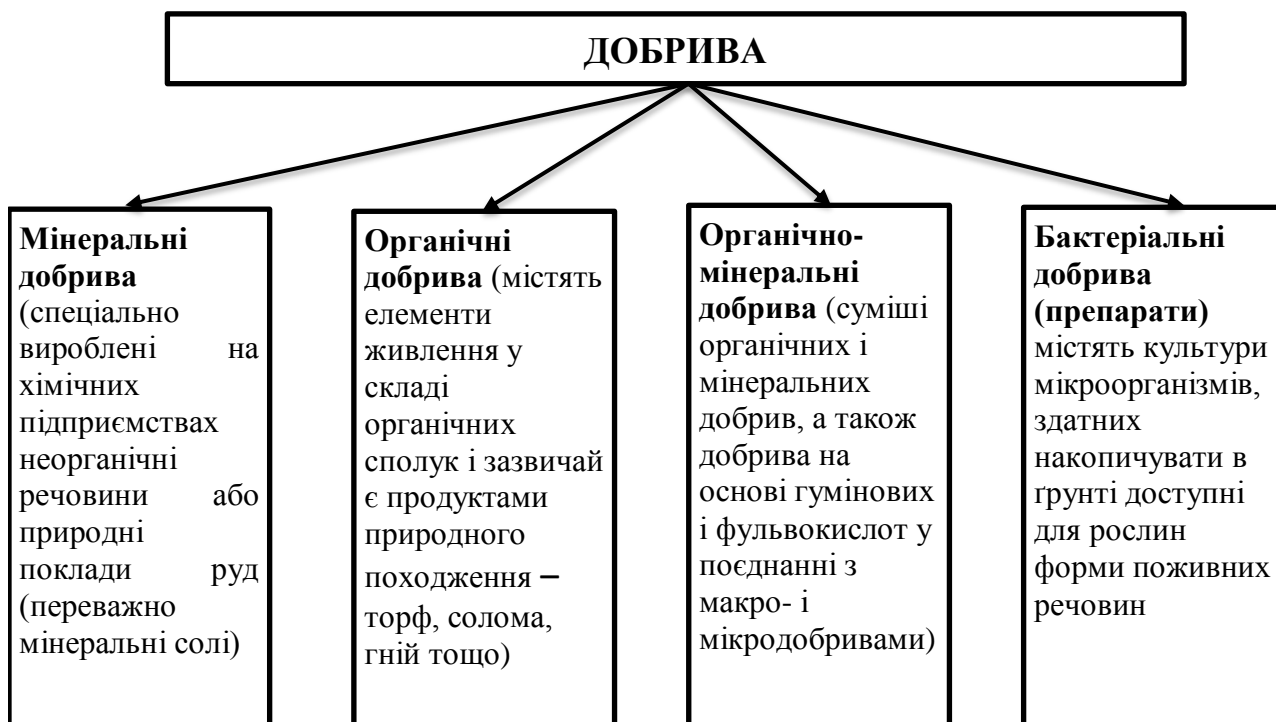


Рисунок 10.1. Класифікація добрив за походженням

Органо-мінеральні добрива – поживні суміші мінеральних та органічних сполук (рис. 10.1).

Класифікація мінеральних добрив

Мінеральні добрива класифікують за хімічним і фізичним станом, характером взаємодії з ґрунтом, способом виробництва. Мінеральні добрива можуть бути *простими*, якщо вони містять один основний поживний елемент, наприклад азот, фосфор або калій, і *комплексними*, якщо добриво містить дві та більше основних поживних речовин (Госпадаренко, 2015; Марчук, Яценко, 2016).

Також мінеральні добрива підрозділяють на *макро- і мікродобрива*. Макродобрива містять *макроелементи* живлення (N, P, K, а іноді – Ca, Mg, S), тобто ті елементи, які входять до складу рослин і споживаються ними в значних кількостях (від сотих часток до декількох відсотків від ваги сухої маси). Ca, Mg, S інколи називають *мезоелементами* живлення. Мікродобрива містять *мікроелементи* (бор, манган, мідь, молібден, цинк тощо), які є в

рослинах і споживаються ними в мікро- й ультрамікрокількостях, тобто від тисячних часток відсотка до 10^{-6} і навіть 10^{-12} відсотка на суху вагу рослин.

За агрегатним станом добрива поділяють на *тверді*, *рідкі* та *газоподібні* (Марчук, Ященко, 2016). Останні застосовують у землеробстві закритого ґрунту (наприклад, діоксид вуглецю). Тверді добрива бувають *порошкоподібними* (розмір часточок <1 мм), *кристалічними* (розмір кристалів >5 мм) та *гранульованими* (розмір гранул 1-5 мм). Гранульовані мінеральні добрива з гранулами меншими ніж 1 мм діаметром, називають мікрогранульованими. Зменшення розміру приводить до найшвидшого розчинення гранул і покращення процесу живлення сільськогосподарських культур.

Класифікація комплексних добрив

Якщо комплексне добриво містить два елементи живлення, то вони вважаються подвійними (фосфорно-калійні, азотно-фосфорні, азотно-калійні, а якщо три елементи – то потрійні (азотно-фосфорно-калійні) (Госпадаренко, 2015).

Крім того, за технологією отримання комплексні добрива поділяють на змішані та складні. *Змішаними* називають добрива, які отримані внаслідок простого механічного змішування готових порошкоподібних (кристалічних) або гранульованих однокомпонентних чи складних добрив. Якщо добриво містить кілька елементів живлення та отримане внаслідок певної хімічної реакції в заводських умовах та описується одною хімічною формулою, то його називають *складним* (амофос, калієва селітра тощо). *Складні* добрива містять однорідні часточки, кристали або гранули і мають однаковий або близький хімічний склад.

Поділ добрив на складні та змішані певною мірою є умовним. Змішані добрива під час зберігання нерідко стають складними внаслідок хімічних реакцій, які відбуваються між компонентами суміші внаслідок, наприклад, недбалого зберігання. *Складнозмішаними* є добрива (наприклад, кристалон),

отримані після змішування готових однокомпонентних і складних добрив та введенням до них газоподібних і рідких сплавів (розчинів) із подальшим твердненням суміші, що супроводжується перекристалізацією та грануляцією.

Складні та складнозмішані добрива можуть бути в рідкому стані. Це так звані *рідкі комплексні добрива (РКД)*. Уведення в такий розчин стабілізаційних добавок колоїдної глини або кремнієвої кислоти, які забезпечують не випадіння з розчину твердої фази та утворення осаду, приводить до створення так званих *суспендованих* комплексних добрив

Добрива, що містять понад 33 % речовин, що діють на рослину належать до *концентрованих*, а понад 60 % – *висококонцентрованих* (Госпадаренко, 2015).

Добрива в хелатній формі

Використання мінеральних добрив у вигляді мінеральних солей металів (залізний, мідний, цинковий купорос, солі борної кислоти тощо) має свої недоліки. Головна проблема полягає в тому, що елементи живлення, які в них містяться, погано засвоюється рослинами. До рослин доходить лише 20-30 % поживної речовини таких добрив. Решта або виноситься з верхнього шару ґрунту потоками води, або переходить в нерозчинну форму. Крім того, солі металів токсичні для рослин за умови перевищення дози внесення, а також викликають опіки листків у місцях прямого контакту під час позакореневого живлення (Госпадаренко, 2015).

Альтернативою мінеральних солей як формі мікродобрив є використання хелатних добрив. Хелатні добрива («chele» (з грецької мови — «клішня»)) отримуються поєднанням катіонів металів (елементів та мікроелементів живлення) із молекулами органічних кислот (так званих «лігандів») з утворенням стійких сполук. Хелати добре розчинні у воді, повністю засвоюються рослинами, нетоксичні, не зв'язуються ґрунтом, не

конкурують один з одним. Коефіцієнт їх засвоєння підчас позакореневого підживлення сягає 95 % (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Найперспективнішими для утворення хелатних мікродобрив є такі сполуки (Добрива, 2011): етилендіамінтетраацетатна кислота (ЕДТА), діетилентриамінпентацетатна кислота (ДТПА), дигідроксибутилендіамінтетраацетатна кислота (ДБТА), етилендіаміндибурштинова кислота (ЕДДБ), оксиетилідендифосфорова кислота (ОЕДФ).

У різних добривах використовуються різні хелатоутворювальні кислоти, які можуть відрізнитися за силою зв'язування іонів і за стабільністю в середовищі різної кислотності (лужності). Тому під час вибору хелатного добрива потрібно враховувати, для яких саме рослин і в яких ґрунтах краще його використовувати. Наприклад, ЕДТА найкраще виявляє свої хелатоутворювальні здібності при $\text{pH}=1,5-8,0$, ДТПА при $\text{pH}=1,5-7,0$, ЕДДБ при $\text{pH}=3,0-10$, ОЕДФ при $\text{pH}=4,5-11$. По-різному реагують хелатні добрива на мікробіологічне розкладання. Із цього погляду, добрива на основі ОЕДФ є найбільш стійкими.

Хелатні добрива можуть включати або один мікроелемент живлення (наприклад, хелат заліза на основі ДТПА), або кілька, тобто можуть бути комплексними. Наприклад, добриво Novalog компанії TerraTарса на основі ЕДТА містить одночасно Fe, Cu, Zn та Mn.

Отже, хелатні добрива відрізняються за своїми властивостями, при цьому вид хелатоутворювальної сполуки сильно впливає на ефективність добрива, ступінь засвоюваності мікроелементів рослинами. Так, наприклад, якщо порівнювати наскільки хелати мікроелементів краще засвоюються рослинами порівняно з неорганічними солями (сульфатами, карбонатами тощо), які містять ті ж мікроелементи, то слід зазначити, що хелати на основі таких популярних органічних кислот як ЕДТА, ОЕДФ або ДТПА, ефективніші в декілька разів. Але за умов дотримання правил точного землеробства, тобто визначення норми внесення мікроелементів на основі

визначення вмісту мікроелементів в ґрунті та рослинах, ефективність буде вимірюватися десятками разів (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Багатофункціональні комплексні препарати, які містять мінеральні добрива

Для підвищення продуктивності праці в землеробстві застосовують *багатофункціональні комплексні препарати* – гранульовані і водорозчинні продукти, до складу яких входять добрива, фунгіциди, гербіциди, стимулятори та регулятори росту тощо. Зазвичай ці препарати використовують для позакореневого вживання. Як стимулятори та регулятори росту рослин упроваджуються амінокислоти, полісахариди, альгінати, вітаміни, фітогормони (ауксини, гібереліни та цитокініни). До їх складу входять також *антивипаровувачі* (захищають мікрокраплини від випаровування до моменту проникнення їх у листок, що сприяє швидкому поглинанню і підвищенню ефективності застосування), *прилипачі (ад'юванти)* сприяють зниженню поверхневого натягу водних розчинів, чим забезпечують значне збільшення площі листків, яка вкривається робочим розчином, захищають поживні речовини від змивання опадами або зрошенням), *поверхнево-активні речовини* (сприяють рівномірному розподілу робочого розчину по листовій поверхні), *зволжувачі* з ефектом реактивації (навіть після висушування волога з повітря забезпечує реактивацію поживних речовин на поверхні рослин, що сприяє подовженню періоду їх поглинання) (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Показники якості мінеральних добрив

Мінеральні добрива мають низку фізичних, хімічних, механічних властивостей, зокрема вологість, ступінь розчинності у воді, гігроскопічність, здатність до злежування, гранична вологомісткість, здатність до розсівання, гранулометричний склад, міцність гранул (Господаренко, 2011).

Колір добрив, який установлюють візуально і використовують для порівняння під час транспортування та зберігання.

Вологість. Вона не повинна перевищувати значення, затверджені ДСТУ і технічними умовами (ТУ). Так, вологість для амонійних азотних добрив повинна бути не більше 0,2-0,6 %, амонійно-нітратних й амідних – 0,2-0,3 %, нітратних – 1,0-2,0 %; уміст води в кальцієвій селітрі не повинне бути більше ніж 14,0 %. Для водорозчинних фосфорних добрив максимальна вологість становить 3-5 %, виключення – суперфосфат простий порошкоподібний (його вологість повинна бути не більшою за 12 %). Для калійних добрив (калімагnezія, калійно-магнієвий концентрат гранульований) вологість становить від 1-4 до 5-6 %. Вологість вапнякового борошна – 1,5-4 %, сталеплавильних шлаків – 2 %. Відхилення цих показників умісту води в мінеральних добривах від стандарту спричиняє значну зміну фізико-механічних властивостей добрив та приводить до їхнього псування.

Гігроскопічність. Для мінеральних добрив характерне поглинання води з повітря. Їхня гігроскопічність оцінюється за 10-бальною шкалою. До сильно гігроскопічних добрив належить кальцієва селітра, її бал до 9,5; аміачна селітра гранульована – 9,3. Менш гігроскопічними добрива є суперфосфат подвійний гранульований – 4,7 та простий суперфосфат порошкоподібний – 5,9. Калійні добрива мають бал гігроскопічності 0-0,2 (сульфат калію), 3,2-4,4 – хлорид калію. При високій гігроскопічності добрива злежуються, гранули втрачають міцність, погіршується сипкість і зменшується здатність до розсівання. Умови зберігання, транспортування й пакування добрив теж залежать від їхньої гігроскопічності. Безтаре транспортування й зберігання припустимі тільки для слабо гігроскопічних добрив (бал 3 і нижче). При балі гігроскопічності 6-4 потрібні герметичні паперові, просочені бітумом або поліетиленові мішки. Для сильногігроскопічних добрив (бал 7-10) під час зберігання необхідна

абсолютно герметична тара (поліетиленові мішки) (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Вологомісткість. Від вологомісткості залежить механічний розсів добрив. Гранична вологомісткість відповідає максимальній вологості добрив, що зберігають здатність задовільно розсіватися туковими сівалками (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Здатність до злежування. Ця властивість добрив утворює фазові контакти зчеплення між часточками мінеральних добрив за певних зовнішніх умов і залежить від вологості, гігроскопічності, гранулометричного складу, умов і тривалості зберігання. Здатність до злежування добрив визначається опором до руйнування циліндрика злежалого добрива. Ступінь здатності до злежування оцінюється за 7-бальною шкалою. До добрив, які сильно злежуються належить карбамід (фракція 0,2-1 мм) та простий порошкоподібний суперфосфат – 7 балів; суперфосфат гранульований амонізований, хлорид калію мілко кристалічний та сільвініт – 6 балів. Багато добрив не мають конкретних значень або цей бал перебуває в певному діапазоні. Так, аміачна селітра, сульфат амонію й карбамід (фракція 1-3 мм) мають відповідно бали 2-5, 2-3, 1-2. Практично не злежуються сульфат калію, калімагnezія, хлорид калію-електроліт – 0 балів. Добрива, які здатні злежуватися, промисловість випускає гранульованими або з добавками різних речовин (Господаренко, 2018).

Здатність до розсівання. Вона визначається насамперед гранулометричним складом та міцністю гранул. Якісна оцінка здатності до розсівання проводиться за 12-бальною системою: чим краще розсіваються мінеральні добрива, тим вище бал. Порівняно гарну розсіяність мають суперфосфат, калій хлористий пресований; посередню – аміачна селітра, калійна сіль змішана; погану – сульфат амонію, хлористий амоній.

Гранулометричний склад. Це розмір часток, які визначають за механічним ситовим аналізом. Процентний вміст різних фракцій впливає на

здатність до злежування та на здатність до розсівання добрив (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Міцність гранул. Вона залежить від вологості, розміру та форми часток, щільності упакування добрив. Незмінність гранулометричного складу під час зберігання, транспортування та внесення добрив у ґрунт визначає фізичні властивості добрив, їхню здатність до розсівання та здатність до злежування. Характеризується міцність гранул механічною міцністю на роздавлювання (кг·с на 1 см²) та стирання (в %), які визначають на спеціальних приладах (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Щільність. Це об'єм одиниці маси (об'єм в тонах на м³), який ураховують під час проектування складських приміщень тощо. Насипна щільність (у тоннах на м³) залежить від гранулометричного складу добрива, розміру та форми часток, вологості, гігроскопічності, а також від тиску шарів добрив, які наявні вище. Щільність мінеральних добрив коливається в широких межах – від 0,6 до 2,0 т/м³, проте основні форми добрив мають близькі значення цього показника: аміачна селітра – 0,8-1,0 т/м³; суперфосфат – 1,0-1,2 т/м³; калій хлористий, калійна сіль змішана – 0,9-1,0 т/м³ (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Розчинність, або маса добрива в кілограмах, яка може розчинитись у 100 кг води при заданому температурному режимі (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

11. АЗОТ. АЗОТНІ ДОБРИВА

Роль азоту в рослинах та особливості їх азотного живлення

Серед органогенних елементів азот віграє одну з найважливіших ролей у житті рослин попри те, що в сухій масі рослинних тканин його вміщується лише 1-3 %. Він входить до складу всіх простих і складних білків, які є головною складовою цитоплазми рослинних клітин, входить до складу нуклеїнових кислот. Азот міститься в хлорофілі, фосфатидах, алкалоїдах, ферментах. Азот, який надійшов у рослини в мінеральній формі, проходить складний цикл перетворень, кінцевим етапом яких є включення його до складу білкових молекул (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Найбільш інтенсивне поглинання рослинами азоту із ґрунту і його використання для синтезу амінокислот і білків відбувається в період максимального росту та утворення вегетативних органів, зокрема, листя. Загальний уміст азоту сильно варіює в різних рослинах й у різних частинах тієї самої рослини. Наприкінці вегетації в насінні міститься більше азоту, ніж у листя і стеблах. Рослинні білки містять у середньому близько 16 % азоту, або 1/6 їхньої маси. Якість зерна й іншої сільськогосподарської продукції часто оцінюють за показником «сирий білок», який дорівнює всієї кількості азотистих сполук у рослині.

Умови азотного живлення сильно впливають на ріст та розвиток рослин. При нестачі азоту ріст їх різко погіршується. Особливо сильно позначається нестача азоту на розвитку листків: вони стають дрібними, набувають ясно-зеленого фарбування, передчасно жовтіють, стебла стають тонкими й слабо гілкуються. Погіршується також формування й розвиток репродуктивних органів і налив зерна. За умови нормального азотного живлення рослин підвищується синтез білкових речовин, підсилюється та довше зберігається життєдіяльність організму, прискорюється ріст та сповільнюється старіння листів. Рослини мають потужні стебла та листи інтенсивного зеленого забарвлення, добре ростуть і кущяться. У результаті

різко підвищуються врожай і вміст білку в урожаї. Однак однобічне надлишкове азотне живлення, особливо в другій половині вегетації, затримує дозрівання рослин, вони утворюють більшу вегетативну масу, але мало зерна або бульб і коренеплодів (Nitrogen fertilizer..., 2014).

Головним джерелом азоту для харчування рослин служать солі *азотної кислоти*, зокрема аніон NO_3^- , та *солі амонію*, зокрема катіон NH_4^+ . Іони NH_4^+ не занадто рухливі, добре абсорбуються аніонами, важко вимиваються опадами, і тому в ґрунтовому розчині їхня концентрація значно вище, ніж NO_3^- . У ґрунтах, багатих глинистими мінералами, вміст азоту у формі NH_4^+ може досягати 2-3 т/га. У верхніх шарах ґрунту фіксований азот NH_4^+ становить 5-6 % загального вмісту азоту в ґрунті, у більш глибоких шарах, де вище вміст глинистих часток, – до 20 % і більше. Аніони NO_3^- , навпаки, рухливі, погано фіксуються в ґрунті, легко вимиваються ґрунтовими водами в глибші шари й водойми. Вміст нітратів у ґрунті особливо зростає навесні, коли створюються умови, які стимулюють діяльність нітрифікувальних бактерій. Вміст азоту NO_3^- у ґрунтовому розчині сильно варіюється залежно від швидкості поглинання нітратів рослинами, інтенсивності мікробіологічних процесів і процесів вимивання (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Якість урожаю залежить від форми азоту, який використовується рослинами. В процесі аміачного живлення підвищується відбудовна здатність рослинної клітини, більше утворюються відновлених органічних сполук. Під час нітратного живлення навпаки – переважає окисна здатність клітинного соку, більше утворюється органічних кислот. Засвоєння рослинами аміачного та нітратного азоту залежить від ряду факторів: реакції середовища, наявності в ній супутніх катіонів, аніонів і зольних елементів, від концентрації в розчині кальцію, магнію, амонійних і нітратних солей, а також від забезпеченості рослин вуглеводами. При нейтральній реакції ґрунтового розчину аміачні солі засвоюються рослинами краще, ніж нітратні, а при кислій – гірше. Великий вплив на поглинання рослинами аміачного або

нітратного азоту має концентрація супутніх катіонів та аніонів. Під час аміачного живлення позитивно впливає на врожай зростання в поживному субстраті концентрації кальцію, магнію та калію, а під час нітратного живлення, важливе значення має достатнє забезпечення рослин фосфором і молібденом. Дефіцит молібдену затримує відновлення нітратів до аміаку та відбувається нагромадження його у тканинах рослин. Засвоєння аміачного азоту рослинами значною мірою залежить також від внутрішніх умов у самих рослинах, зокрема від забезпеченості їх вуглеводами (Господаренко, 2018; Лопушняк та ін., 2018).

Біологічна азотфіксація та її значення в збагаченні ґрунту азотом

Основна ж маса азоту, що міститься в організмах, які населяють нашу планету, своїм походженням зобов'язана *біологічній фіксації азоту (БФА)* й становить близько $17,2 \cdot 10^7$ т д.р. у рік, що більше, ніж у чотири рази перевищує сучасне світове промислове виробництво штучного аміаку ($85 \cdot 10^7$ т д.р.). До БФА здатні як мікроорганізми, які живуть у ґрунті без симбіозу з рослинами (роди *Azotobacter*, *Beijerinckia*, деякі штами *Clostridium*, фотосинтезувальні бактерії та вид ціанобактерій *Tolypothrix tenius*), так і симбіотичні з вищими рослинами (роди *Rhizobium*, *Frankia*, *Nostoc*) (Господаренко та ін., 2017).

Вільноживучі азотфіксатори-гетеротрофи, яким необхідне вуглеводне джерело живлення, що приводить до утворення їхніх поселень на коріннях вищих рослин разом з мікроорганізмами, які здатні розкласти целюлозу та інші полісахариди. Сільськогосподарське значення вільноживучих азотфіксаторів не дуже велике. У помірному кліматі щорічна фіксація ними азоту становить зазвичай кілька кілограмів на один гектар (Господаренко та ін., 2017).

Найбільший інтерес для сільського господарства становлять бульбочкові бактерії роду *Rhizobium*, які живуть у симбіозі з *бобовими рослинами* та фіксують в середньому від 100 до 400 кг/га азоту в рік. Назва

роду бактерій походить від двох грецьких слів: *rhizo* – корінь, *bio* – життя. Для бульбочкових бактерій характерно велике розмаїття форм – *поліморфність*. Молоді бульбочкові бактерії рухливі та розмножуються діленням. Клітини цих бактерій, коли старіють, змінюють форму, товщають та гілкуються. При цьому вони продукують низку фізіологічно активних речовин, які сприятливо впливають на бобові рослини. Проникнувши в кореневу волосинку, вони викликають активне ділення клітин кореня, що зумовлює появу бульбочки. У ньому бульбочкові бактерії поселяються, ростуть і перетворюються в стовщені, розгалужені форми – так звані *бактероїди*, які найбільш інтенсивно зв'язують молекулярний азот. Бульбочкові бактерії засвоюють також амонійні солі, нітрати, амінокислоти й інші сполуки. Крім бобових рослин, відомо приблизно 250 видів інших сімейств, не бобових, також здатних до симбіотичної фіксації азоту (вільха, обліпиха, лох тощо).

Перетворення молекули азоту в аміачну форму відбувається так. Молекула азоту двохатомна, зв'язок між атомами потрійний, і тому енергія термічної дисоціації молекули N_2 велика (941,64 кДж/моль). Для розриву цих зв'язків, наприклад під час промислового отримання аміаку, потрібен тиск близько 30 МПа, температура приблизно 500 С та каталізатор, що складається з пористого заліза, активованого K_2O , Al_2O_3 , CaO тощо. Біологічна фіксація N_2 відбувається при нормальних температурах та тиску завдяки високій ефективності ферментативної системи певних мікроорганізмів (Господаренко та ін., 2017).

Останніми дослідженнями генної інженерії була встановлена структура та локалізація генів у бобових культурах. Подальші розробки в цій галузі спрямовані на пошук можливостей перенесення генів азотфіксації або їхніх комплексів в інші рослини, закріплення цих генів у новому генетичному оточенні, що дозволило б в перспективі суттєво зменшити застосування мінеральних азотних добрив.

Природні азотні добрива

Природних речовин, які можна було б застосувати як азотні добрива, практично немає. Винятком є велике родовище натрієвої селітри (NaNO_3) в Чилі, у пустелі Атакама. Загальні запаси селітри в цьому родовищі складають приблизно 200 млн т, але запаси цього родовища набагато менше загальних потреб в азотних добривах сільського господарства країн Світу.

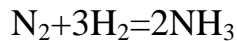
Уважається, що поклади натрієвої (або «чилійської») селітри утворилися біогенним шляхом у результаті діяльності ґрунтових нітробактерій, у наслідок вулканічної діяльності або в процесі окислення азоту з атмосфери під час грозових розрядів і під дією інтенсивної інсоляції в умовах виключно сухого клімату пустелі. Брак опадів та рослинності в Атакамі приводить до накопичення цієї сполуки на поверхні пустелі. Інша гіпотеза походження цих покладів пов'язана з трансформацією пташиного посліду («гуано»), який накопичився на березі Тихого океану під дією ферментації в умовах екстра сухого клімату.

Між Чилі та її північними сусідами Перу і Болівією в XIX столітті сталася війна за володіння джерелами азотнокислих солей. Так звана «селітряна» війна тривала з 1879 до 1881 року і закінчилась перемогою Чилі. Чилі стала наприкінці XIX століття єдиним світовим джерелом азотних добрив і експортувала щорічно до 1 млн тонн, переважно в Європу та Північну Америку. Збагачена «чилійська» селітра містила до 95-98 % NaNO_3 . Запаси чилійської селітри швидко виснажувалися, тоді як потреба в нітратах росла винятково швидко. Вичерпність покладів «чилійської» селітри стримувало розвиток рослинницької галузі на межі XIX та XX віків. Видатний англійський біолог Крукс взагалі пророкував «азотну» смерть людству, адже азот – це складова частина практично всякої білкової молекули, як рослинної, так і тваринної. А тому якщо немає азоту, то немає і білків, а немає білків, то немає і життя.

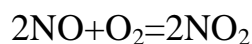
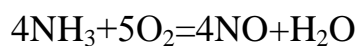
Але відкриття промислового методу синтезу аміаку з азоту атмосфери зробило азотну проблему неактуальною.

Виробництво штучних мінеральних азотних добрив

Процес Хабера-Боша – це промисловий метод синтезу аміаку з азоту та водню під тиском під час нагрівання в присутності каталізатора. Процес був розроблений німецькими вченими Фріцом Хабером і Карлом Бошем. Важливою властивістю процесу Хабера-Боша є його безвідходність. Аміак отримують через зв'язування атмосферного азоту (Городній, 2008; Господаренко, 2018):



Потім аміак окислюється до азотної (нітратної) кислоти:



Отримані таким чином азотна кислота та аміак є основною сировиною для виготовлення широкого спектру штучних мінеральних добрив.

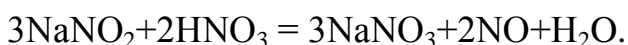
Хімічні виробництва випускають такі групи азотних добрив: *нітратні* – натрієва селітра, кальцієва селітра, калієва селітра; *амонійні* або *аміачні* – сульфат амонію, сульфат амонію-натрію, хлористий амоній, карбонат амонію, бікарбонат амонію, безводний аміак, аміачна вода; *аміачно-нітратні* – аміачна селітра; *амідні* – сечовина, ціанамід кальцію; *аміакати*; *карбомідно-аміача суміш (КАС)* та азотні добрива *продовженої дії* добрив (Городній, 2008; Добрива..., 2011, Господаренко, 2018).

Нітратні азотні добрива

Натрієва селітра (нітрат натрію, азотнокислий натрій) NaNO_3 містить 15-16 % азоту та 26 % натрію (Швартау, Гуральчук, 2009, Добрива..., 2011). Її одержують на заводах із виробництва азотної кислоти з аміаку в процесі лужної абсорбції оксидів азоту. Не поглинені водою в окисних вежах нітрозні гази NO (оксид азоту) та NO_2 (діоксид азоту) пропускають через розчини соди (Na_2CO_3) або NaOH . У результаті хімічної взаємодії утворюється суміш нітрату та нітриту натрію:

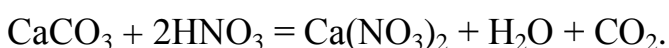


Для переведення нітриту в нітрат суміш підкисляють слабкою азотною кислотою:



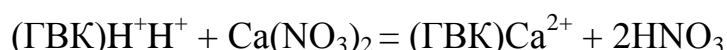
Розчин нейтралізують, потім випаровують та центрифугуванням відокремлюють осад NaNO_3 від вихідного розчину. Отримують мілkokристалічну сіль нітрату натрію білого або сіруватого кольору. Вона добре розчиняється у воді, має помітну гігроскопічність (при підвищеній вологості перекристалізується в більші за розміром кристали). У сухому стані при правильному зберіганні має непогану розсипчастість, а тому зручна для внесення в ґрунт. Ефективна під цукрові, кормові та столові, що пов'язано з позитивною реакцією цих рослин на натрій.

Кальцієва селітра (нітрат кальцію, азотнокислий кальцій) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, містить 13-15 % азоту (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Її отримують в результаті нейтралізації 40-48 % азотної кислоти крейдою або вапном:



Кальцієва селітра дуже гігроскопічна. При звичайній температурі легко приєднує вологу та переходить у гідратну форму. Найбільш стабільна при звичайній температурі повітря сіль $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, яка містить 14,8 % азоту.

Кальцієва селітра швидко розчиняється у ґрунтовому розчині та вступає в обмінні реакції з ґрунтово-вбирним комплексом. Катіони Ca^{2+} поглинаються ґрунтом, а аніон NO_3^- утворює з витиснутим із ГВК катіоном H^+ азотну кислоту:



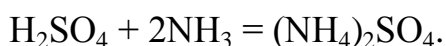
Кальцієва селітра – фізіологічно лужне добриво, а тому систематичне внесення цих сполук помітно знижує кислотність ґрунтів. Селітри можна застосовувати на різних ґрунтах під усі сільськогосподарські культури як передпосівне добриво, для рядкового внесення та для підживлення під озимі й просапні сільськогосподарські культури. Головний недолік кальцієвої

селітри пов'язаний не тільки з можливим підлученням ґрунтового розчину та гігроскопічністю цих сполук, а з низьким умістом поживної речовини – азоту (Лопушняк та ін. 2018).

Калієва селітра (KNO_3) буде розглянута в розділі, присвяченому комплексним добривам.

Амонійні та аміачні азотні добрива

Тверде амонійне добриво *сульфат амонію* (сірчаноокислий амоній) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. містить 20,5 % азоту (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Одержують його нейтралізацією сірчаної кислоти аміаком, який виділяють із газів, що утворюються під час коксування вугілля (*коксохімічний* сульфат амонію) або поглинанням сірчаною кислотою газоподібного синтетичного аміаку (*синтетичний* сульфат амонію):



Це добриво легко розчиняється у воді. У сухому стані має непогані фізичні властивості: практично не злежується під час зберігання, добре розсіюється туковою сівалкою. Гігроскопічність цього добрива невелика. За зовнішнім виглядом сульфат амонію – кристалічна сіль різного кольору.

Унесений у ґрунт сульфат амонію швидко розчиняється та негайно вступає в обмінні реакції з катіонами твердої фази ґрунту. Значна частина катіонів NH_4^+ з розчиненого в ґрунті добрива входить у ґрунтовий вбирний комплекс, а в розчин переходить еквівалентна кількість інших катіонів:



Водночас, перебуваючи в поглиненому стані, іон амонію стає слабкорухливим. Із часом поглинений амоній переходить у ґрунтовий розчин, вступає в процес нітрифікації. Унаслідок нітрифікації амонійний азот переходить у нітратну форму. Швидкість переходу амонійного азоту в нітратний залежить від необхідних для нітрифікації умов: температури, аерації, вологості, біологічної активності та реакції ґрунтового розчину. Одним з основних факторів, що впливає на швидкість нітрифікації, є ступінь

окультуреності ґрунтів. Презволоження і підвищена кислотність ґрунтів гальмують нітрифікацію. Вапнування кислих ґрунтів значно прискорює цей процес. Після перетворення амонійного азоту в нітратний він набуває всіх властивостей нітратних добрив.

Наявність сірки (24 %) робить його ефективним для тих культур, які потребують великої кількості цього елемента (буряки, бобові, хрестоцвітні). У цьому сенсі дуже ефективне добриво для вирощування ріпаку. Недоліками сульфату амонію є те, що він має невеликий уміст азоту і є фізіологічно кислим добривом, що за умови безперервного використання може спричинити помітне підкислення ґрунтового розчину. Ступінь підкислення збільшується за невеликої буферної здатності ґрунту.

Сульфат амонію-натрію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ містить не менш 16 % азоту та до 2,5 % органічних домішок (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Це добриво є відходом виробництва капролактаму. За зовнішнім виглядом це кристалічна сіль жовтуватих кольорів. Уміст Na_2SO_4 – 20-25 %, Na_2O – близько 9 %.

Хлористий амоній (NH_4Cl) містить 24-25 % азоту (Добрива..., 2011). Це побічний продукт, який утворюється в процесі виробництва соди:



Хлористий амоній є дрібнокристалічною речовиною білого кольору, яка добре розчиняється у воді та має гарні фізичні властивості. Це добриво малогіроскопічне та під час зберігання не злежується. Головним недоліком хлористого амонію є висока фізіологічна кислотність та вміст великої кількості хлору (66 %), який може понизити якість урожаю деяких культур (зокрема тютюну, винограду, гречки, овочевих культур). А тому вноситься в ґрунт зазвичай восени з розрахунком на те, що аніони хлору будуть вилучені за зиму з орного шару ґрунту. Це фізіологічно кисле добриво.

Карбонат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ отримують в процесі насичення аміачної води вуглекислим газом з подальшим відгоном карбонату амонію при температурі 70-80°C або в результаті взаємодії газоподібного аміаку й

двоокису вуглецю за наявності водяних парів. Карбонат амонію – дуже нестійка сполука, на відкритому повітрі розкладається з виділенням аміаку та переходить у бікарбонат амонію. Технічний продукт містить 21-24 % азоту і являє собою суміш карбонату амонію та бікарбонату амонію.

Разом із твердими амонійними й аміачними добривами застосовуються *рідкі азотні добрива*.

Безводний аміак (NH_3) – найбільш концентроване безбаластове добриво (Швартау, Гуральчук, 2009). Містить 82,0 % азоту. Отримується скрапленням газоподібного аміаку під тиском у 1,6 МПа за температури 40°C . За зовнішньому виглядом це безбарвна рухлива рідина, щільність $0,61 \text{ г/см}^3$ при 20°C . При вищій температурі швидко перетворюється в газ і об'єм його збільшується. При зберіганні у відкритих посудинах швидко випаровується. Це сильноотруйна речовина, суміш якої з повітрям за об'ємної концентрації аміаку 15-27 % може вибухати навіть від іскри. У разі потрапляння на шкіру рідкий аміак спричинює опіки, а в разі випаровування – обморожування. У разі вдихання повітря, яке містить аміак у співвідношенні 1:10 000 настає смерть.

Унесений у ґрунт безводний аміак перетворюється з рідини в газ, який абсорбується колоїдною фракцією й поглинається ґрунтовою вологою, утворюючи *гідроксид амонію*. Взаємодіючи з аніонами ґрунтового розчину, амоній дає різні солі та, вступаючи у фізико-хімічну взаємодію із ґрунтовими колоїдами, поглинається твердою фазою ґрунту. Водночас разом із фізико-хімічними реакціями аміак піддається нітрифікації. Швидкість і ступінь поглинання аміаку ґрунтом залежить від умісту в ньому гумусу, його гранулометричного складу та вологості, а також від способу та глибини закладення в неї добрив. На важких, багатих органічною речовиною, добре оброблених і нормально зволжених ґрунтах аміак поглинається краще, ніж на легких, бідних гумусом ґрунтах. У піщаних і супіщаних ґрунтах утворення амонійних солей з аміаку та адсорбція іона амонію відбуваються повільніше, ніж у важких ґрунтах. У зв'язку із цим на легких ґрунтах добриво тривалий

час зберігається у вигляді NH_3 , який здатний швидко випаровуватися у повітря.

У перші дні після внесення рідкого аміаку рівновага реакції ґрунту спочатку зміщується в бік підлучення до рН 9, але потім, унаслідок нітрифікації амонійного азоту, ґрунтовий розчин підкислюється. В зоні безпосереднього внесення аміаку відбувається тимчасова стерилізація ґрунту і нітрифікація припиняється. Проте вже через 1-2 тижні кількість мікроорганізмів у ґрунті відновлюється і внаслідок ліпшого азотного живлення надалі перевищує початковий рівень. В оптимальних умовах процес повної нітрифікації аміаку завершується впродовж місяця.

Аміачною водою називається водний розчин синтетичного або коксохімічного аміаку. Випускається двох сортів: перший сорт містить 20,5 % азоту, другий – 16,4 % азоту (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Коксохімічний водний аміак, крім того, містить сірководень і незначні кількості фенолів, ціанистих і деяких інших сполук. У цьому добриві азот перебуває у формі вільного аміаку (NH_3) і амонію (NH_4OH). Наявність в аміачній воді великої кількості вільного аміаку потребує внесення її, як і рідкого аміаку, безпосередньо на глибину 10-12 см на глинистих і 12-15 см на супіщаних ґрунтах.

Під час внесенні аміачної води в ґрунт аміак адсорбується колоїдами. Із часом аміачний азот нітрофікується та здобуває більшу рухливість, мігруючи із ґрунтовим розчином. Аміачну воду необхідно вносити на певну глибину та одночасно закладати в ґрунт для зменшення непродуктивних втрат.

На глинистих ґрунтах аміачну воду, як і безводний аміак, можна вносити восени майже під усі культури, коли температура ґрунту знижується до $+10^\circ\text{C}$ і нижче, і навесні перед сівбою та для підживлення просапних культур (буряк, кукурудза, соняшник). На ґрунтах легкого гранулометричного складу це добриво рекомендується вносити навесні.

Для культур суцільної сівби відстань між лапами культиватора (наконечниками) під час унесення аміачної води має бути 20-25 см, для просапних – дорівнювати ширині одного міжряддя.

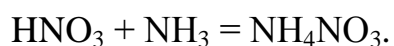
Застосування аміачної води та рідкого аміаку на всіх ґрунтах зумовлює часткову стерилізацію, тому гинуть комахи, черв'яки, личинки дротяника та інші організми, які населяють ґрунт. У місцях унесення аміаку спочатку знижується кількість грибів, бактерій, актиноміцетів. Мікроорганізми, які краще переносять підвищену концентрацію аміаку і слабо лужну реакцію, через 5-10 діб відновлюють свою життєдіяльність та активність. Аміачна вода спочатку пригнічує нітрифікувальні бактерії, але через 5 діб їхня кількість збільшується у 10 разів.

Виробництво аміачної води порівняно з виробництвом твердих добрив на 30-40 % дешевше, оскільки відпадають такі технологічні операції як гранулювання, сушіння, сортування та кондиціонування продукту. Вартість одиниці дієвої речовини в аміачній воді в 1,5-2 рази нижча, ніж в аміачній селітрі. Крім того, у 2-3 рази скорочуються витрати праці на внесення аміачної води, оскільки вона не потребує підготовки добрив для внесення, а всі операції з її використання (навантаження, вивантаження, унесення) повністю механізовані. До того ж ефективність аміачної води порівняно з твердими добривами зростає в умовах збільшення посушливості клімату.

Ураховуючи, що аміачна вода є токсичною рідиною, яка може пошкодити слизову оболонку очей та дихальні шляхи, під роботі з нею треба суворо дотримуватися правил техніки безпеки (Лопушняк та ін. 2018).

Аміачно-нітратні добрива

Найпоширеніше азотне добриво, що містить азот в амонійній і нітратній формах – це *аміачна селітра* (нітрат амонію, азотнокислий амоній) NH_4NO_3 , яка містить 34,6 % нітратного й аміачного азоту (Швартау, Гуральчук, 2009). Отримують нейтралізацією 56-60 % азотною кислотою газоподібним аміаком:



Для виділення аміачної селітри розчин випаровують до вмісту 95-98 % NH_4NO_3 , потім піддають перекристалізації та висушуванню. Домішкою є добавки, унесені в азотнокислий амоній для поліпшення його фізичних властивостей (тонко розмелене фосфоритне або кістяне борошно, гіпс, каолінит тощо). Це добриво дуже гігроскопічне та має високу здатність до злежування. Наявність в аміачній селітрі азоту в легкорухомій нітратній формі та у малорухомій аміачній формі вигідно відрізняє її від інших азотних добрив та робить це добриво дуже популярними в агрономічному середовищі. Аміачну селітру застосовують як допосівне (основне) добриво так і вносять у рядки або в лунки під час посіву та у підживлення в період вегетації.

Взаємодія аміачної селітри з ґрунтом відбувається так. Після внесення в ґрунт аміачної селітри швидко й повністю розчиняється ґрунтовою вологою й вступає в реакцію із ґрунтовим вбирним комплексом. У результаті обмінного поглинання амоній адсорбується колоїдами ґрунту, а аніон NO_3^- утворює в розчині солі з кальцієм – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ або магнієм – $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ та іншими іонами.

За невеликої кількості в ґрунті кальцію внесення аміачної селітри може викликати деяке підкислення ґрунтового розчину, а у разі нерівномірного зароблення добрив у ґрунт створюються плями з підвищеною кислотністю. Місцеве підкислення ґрунтового розчину має тимчасовий характер. Із поглинанням нітратного азоту рослинами воно зникає (Лопушняк та ін. 2018).

Амідні азоті добрива

Це група добрив, які містять азот в амідній формі. Найширше застосовується *сечовина (або карбамід)* $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Синтетична сечовина містить 46 % азоту (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Це найбільш концентроване з-поміж твердих азотних добрив. Вихідні продукти

для виробництва синтетичної сечовини – газоподібний або рідкий аміак і діоксид вуглецю (вуглекислий газ). Утворюється вона в результаті взаємодії діоксиду вуглецю з аміаком при високому тиску і температурі:

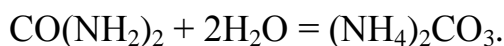


За зовнішнім виглядом сечовина – білий кристалічний продукт, який дуже добре розчиняється у воді. Гігроскопічність її при температурі до 20°C порівняно невелика (близька до гігроскопічності сульфату амонію), але з підвищенням температури помітно збільшується. У процесі зберігання кристалічна сечовина може злежуватись і її здатність до розсівання погіршується. Сечовину поставляють у паперових оброблених бітумом, або в поліетиленових мішках. Для зменшення здатності до злежування сечовину гранулюють, а гранули покривають невеликою кількістю жирової добавки. У процесі грануляції під впливом температури в сечовині може утворитися *біурет* $(\text{CONH}_2)_2\text{HN}$:



Сечовина, яка містить біурету понад 1 %, діє на рослини як гербіцид. У сертифікатах на сечовину повинен бути показник біурету. За умови його високого вмісту (понад 3 %) біурет стає токсичним для рослин.

У ґрунті сечовина повністю розчиняється ґрунтовою вологою й під дією ферменту уреазі, який виділяється уробактеріями, швидко амоніфікується, перетворюючись у вуглекислий амоній:

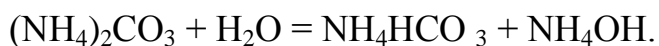


За сприятливих умов на багатих гумусом ґрунтах перетворення сечовини у вуглекислий амоній відбувається за 2-3 дні, а на малородючих піщаних та болотних ґрунтах цей процес проходить не так інтенсивно. Вуглекислий амоній – сполука неміцна і на повітрі розкладається з утворенням бікарбонату амонію та газоподібного аміаку:



Під час поверхневого внесення сечовини без зароблення в ґрунт і за відсутності опадів можливі помітні втрати азоту, який буде випаровуватися у вигляді аміаку.

У ґрунті вуглекислий амоній піддається гідролізу з утворенням бікарбонату амонію та NH_4OH :

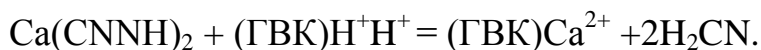
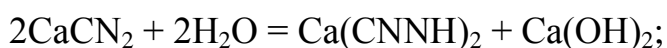


Амоній, який утворюється під час внесення сечовини в ґрунт, поглинається колоїдною фракцією, але потім поступово засвоюється рослинами.

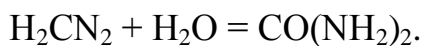
Сечовина застосовується як допосівне добриво на всіх ґрунтах під різні сільськогосподарські культури. Її можна застосовувати також для підживлення просапних та овочевих культур, але з негайним заробленням у ґрунт. Це добриво можна використовувати й для некореневого підживлення рослин, але в цьому разі доцільно застосовувати кристалічну сечовину з меншим змістом *біурету* (0,2-0,3 %).

Ціанамід кальцію CaCN_2 містить 20-22 % азоту. До складу технічного продукту входить 58-60 % CaCN_2 , 20-28 % CaO , 9-12 % вугілля та незначні кількості кремнієвої кислоти, оксиду заліза, алюмінію та карбїду кальцію. За зовнішнім виглядом *ціанамід кальцію* – легкий тонкий чорний або темно-сірий порошок.

У ґрунті *ціанамід кальцію* піддається гідролізу та взаємодіє з воднем ґрунтового вбирного комплексу з утворенням *ціанамїду* (H_2CN_2):



Ціанамід (H_2CN_2) має певні гербіцидні властивості, але він досить швидко переходить у сечовину:



Сечовина під впливом ферменту уреазі переходить у вуглекислий амоній, що в $0,67$ результаті нітрифікації дає азотну кислоту. *Ціанамід*

кальцію – *лужне добриво*, тому що містить значну кількість домішки CaO, який підлужує ґрунт (Лопушняк та ін. 2018).

Аміакати

Аміакати – розчини аміачної селітри, сечовини або інших азотних добрив у водному аміаку. Аміакати містять від 30 до 50 % азоту (Швартау, Гуральчук, 2009). Це рідини світло-жовтого або жовтого кольору. Їх отримують у спеціальних установках під час розчинення в 10-15 %-му розчині водного аміаку аміачної селітри, аміачної та кальцієвої селітри, карбаміду або аміачної селітри. Вуглеаміакати, що містять карбамід і карбонат амонію, отримують безпосередньо під час виробництва карбаміду. Розчин має містити 19-28 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 20-25 % NH_3 , 7-12 % CO_2 .

Однією з основних умов ефективного застосування аміакатів є внесення їх у ґрунт на достатню глибину, щоб не допустити втрат азоту внаслідок випаровування аміаку. На суглинкових ґрунтах аміакати вносять на глибину 10-14 см, а на супіщаних – на 14-18 см.

Аміакати істотно різняться між собою не лише за концентрацією загального азоту, а й за співвідношенням його рідких форм (вільного і зв'язаного аміаку, амідного й нітратного азоту), – тому вони різні за фізичними властивостями.

Азот із цих добрив під час засвоєння рослинами дає такий самий ефект, як інші азотні добрива, але виробництво аміакатів простіше і дешевше, ніж твердих добрив. Водночас аміакати мають певні недоліки. Так, за високої їх концентрації можливі висолювання і кристалізація солей на поверхні ґрунту під час зниження температури. Застосування менш концентрованих розчинів призводить до перевезення та внесення великої кількості розчинника (води). Крім того потрібно мати великі резервуари, оскільки аміакати використовують відносно короткий період. Застосування аміакатів, як й інших рідких добрив, потребує значних капіталовкладень на організацію

розподільних пунктів, унесення добрив та на придбання цистерн для їх перевезення.

Істотним недоліком аміакатів є їхня корозійна дія. Особливо це стосується розчину нітрату амонію, який має підвищену корозійну здатність щодо чорних металів. Тому аміакати перевозяться і зберігають у цистернах, виготовлених із нержавіючої сталі або алюмінію (Лопушняк та ін. 2018).

Карбомідно-аміачна суміші (КАС)

Водний розчин аміачної селітри та карбаміду у співвідношенні 1:1 має назву *карбомідно-аміачна суміш (КАС)*. Виробляються марки КАС-28, КАС-30, КАС-32, у яких масова частка азоту становить відповідно 28 %, 30 %, 32 % (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). У КАС містяться амонійна, амідна та нітратна форми азоту, завдяки чому добриво діє пролонговано, а рослини забезпечуються трьома формами азоту впродовж вегетації. Усі форми в добриві не летючі і не спричинюють втрат азоту, тому його можна вносити поверхнево без загортання в ґрунт. Нітратна та аміачна форми є безпосередньо доступні для рослин. Спочатку засвоюється нітратний азот, який дуже рухомий у ґрунті. Аміачний азот затримується в ґрунті й не вимивається у глибші шари. Під час внесення КАС у ґрунт ця форма акумулюється в орному шарі та стає доступною для рослин упродовж вегетації. Частина аміачної форми перетворюється у нітратну. Амідна форма в ґрунті трансформується в аміачну, а пізніше – у нітратну. Така система засвоєння азоту робить КАС добривом одночасно швидкої та тривалої дії, а тому добриво застосовується в різних технологіях вирощування сільськогосподарських культур для позакореневого, прикореневого підживлення рослин у вигляді багатокomпонентних бакових сумішей, для основного удобрення, перед посівною культивацією та під час зрошення сільськогосподарських культур у всіх ґрунтово-кліматичних зонах України.

КАС має цілу низку переваг порівняно з твердими азотними добривами, можливістю застосовування в одній баковій суміші з

мікроелементами, пестицидами, ретардантами та можливістю повної механізації всіх технологічних процесів, що суттєво знижує витрати на внесення.

Для зберігання КАС використовують типові складські резервуари, які призначені для зберігання водного аміаку та рідких комплексних добрив. Транспортується і вноситься КАС серійними машинами, які пристосовані для внесення рідких добрив. КАС є вибухо- та вогнебезпечним добривом (Лопушняк та ін. 2018).

Азотні добрива пролонгованої дії (або добрива з підвищеною ефективністю – Enhanced Efficiency Fertilizer (EEF))

Добрива, що здатні поступово впродовж одного або кількох вегетаційних періодів віддавати свій азот у ґрунтовий розчин поділяють на три групи (Добрива..., 2011; Hatfield, Parkin, 2014; Логвинова, 2016).

Перша об'єднує важкорозчинні у воді добрива, елементи живлення яких стають доступними для рослин лише після дуже поступового хімічного і мікробіологічного розкладання в ґрунті. Це відносно стабільні у ґрунті сполуки азоту, які під час мікробіологічного розкладу повільно виділяють доступні для рослин форми мінерального азоту. «Повільні» синтетичні добрива – це продукти реакції карбаміду з альдегідами, наприклад, із формальдегідом (UF-сечовино-формальдегід), ізобутираль (IBDU-ізобутилідендікарбамід), кротоновий альдегід (CDU) тощо. «Повільні» мінеральні добрива мають чимало переваг, але мають також недоліки. Найбільший із них – висока вартість. Саме це обмежує їх використання на польових культурах.

До *другої* групи входять звичайні добрива, які вносять у ґрунт водночас з інгібіторами, які впливають на мікробіологічну діяльність. Вони загальмовують процес нітрифікації амонійного азоту, що зменшує втрати нітратних форм азоту та стабілізує вміст азоту в ґрунті. Інгібітори нітрифікації – хімічні сполуки (зокрема нітрапірин та диціандіамід), що

пригнічують життєдіяльність нітрифікувальних бактерій *Nitrosomonus* та забезпечують зберігання азоту ґрунту і добрив в амонійній формі. Тривалість дії інгібіторів нітрифікації залежить від різних факторів (типу ґрунту, його температури, вологості, біологічної активності, кислотності, умісту органічних речовин, гранулометричного складу, норм і способів унесення добрив і інгібіторів) і становить у середньому 4-8 тижнів.

Друга група також включає інгібітори уреаз. Це N-(n-бутил) триамід тіофосфорної кислоти (NBPT) і тіосульфат амонію (ATS). NBPT блокує функцію ферменту уреаз, запобігаючи утворенню NH_4^+ з сечовини. Це зменшує потенціал випаровування аміаку, що дозволяє використовувати сечовину в перезволожених умовах. NBPT розпадається за кілька днів або тижнів, залежно від температури та вологості ґрунту. ATS теж має короткочасний вплив на активність ферменту уреаз.

У третю групу входять добрива, які добре розчинні у воді, але гранули яких укриті важкорозчинними полімерними оболонками – фенол формальдегідною смолою, сіркою, амінами, стеарином тощо. Зазвичай полімер реагує на підвищення температури збільшенням проникності, віддаючи більше азоту саме у ті фази росту, коли це потрібно для максимального споживання сільськогосподарськими рослинами. Склад та товщина оболонки, яка покриває гранули, ретельно підбирається з урахуванням розчинності добрив, термінів їх унесення та способу внесення.

Основні переваги азотних добрив пролонгованої дії такі (Добрива..., 2011, Hatfield, Parkin, 2014; Логвинова, 2016):

- зменшуються втрати елементів живлення в період між унесенням добрив;
- підвищується ступінь їхнього засвоєння;
- зменшується забруднення навколишнього природного середовища;
- знижуються затрати праці внаслідок поліпшення зберігання і транспортування добрив;
- замість роздрібного внесення проводять унесення за один етап.

Уважається, що найбільш ефективним способом використання таких добрив є припосівне внесення. Використання добрив тривалої дії перспективне в районах надмірного зволоження, на зрошуваних землях, для удобрення культур із подовженим вегетаційним періодом, коли розчинні азотні добрива потрібно вносити в кілька прийомів.

12. ФОСФОР. ФОСФОРНІ ДОБРИВА

Роль фосфору в процесі росту та розвитку сільськогосподарських рослин

За вегетаційний період рослини споживають із ґрунту з 1 га від 20 до 60 кг P_2O_5 . Найбільший уміст фосфору в зерні, менший – у соломі, тому значна частина засвоєного рослинами фосфору разом із зерном й іншою товарною продукцією відчужується з ґрунту господарства. Якщо запаси азоту в ґрунті поповнюються внаслідок фіксації азоту з повітря, то для фосфору немає інших джерел для його поповнення в ґрунтах, крім фосфорних добрив. Цим визначаються висока потреба у фосфорних добривах і велике значення їх для підвищення врожаїв. Потреба у фосфорних добривах особливо за умови достатнього забезпеченні рослин азотом (Носко, 2017).

Фосфор, який потрапляє у рослини, включається до складу різних органічних сполук. Фосфор уходить до складу нуклеїнових кислот та нуклеопротеїдів, які беруть участь у побудові цитоплазми і ядра кліток. Він міститься у фітині – запасній речовині насіння, яка використовується як джерело фосфору під час проростання, а також у фосфатидах, цукрофосфатах, вітамінах і багатьох ферментах. У тканинах рослин наявні в невеликих кількостях також неорганічні фосфати, які відіграють важливу роль у створенні буферної системи клітинного соку та служать резервом фосфору для утворення різних фосфорорганічних сполук.

Велика роль фосфору для вуглеводного обміну зумовлює позитивний вплив фосфорних добрив на нагромадження цукру в цукровому буряку, крохмалю в бульбах картоплі тощо. Фосфор відіграє також важливу роль в обміні азотистих речовин у рослині. Відновлення нітратів до аміаку, утворення амінокислот відбуваються за участі фосфору. Цим визначається тісний зв'язок між азотним і фосфорним живленням рослин. За умови нестачі фосфору порушується синтез білка й зменшується його вміст в рослині. Фосфору найбільше міститься в репродуктивній та молодій рослині, де

відбувається інтенсивний синтез органічної речовини. Зі старого листа він може пересуватися до зон росту та використовується повторно, а тому зовнішні ознаки недостатньої кількості фосфору виявляються насамперед на старих листах. У цьому випадку вони здобувають характерний червоно-фіолетовий або блакитнуватий відтінки, іноді темно-зелене забарвлення (наприклад, у картоплі). За недостатньої кількості фосфору сповільнюється ріст і затримується дозрівання рослин, знижується врожай і погіршується його якість (Носко, 2017).

Рослини найчутливіші до недоліку фосфору в самому ранньому віці, коли їх слаборозвинена коренева система має низьку здатність щодо засвоєння. Негативні наслідки від нестачі фосфору в цей період не можуть бути виправлені подальшим (навіть дуже інтенсивним) фосфорним живленням.

Фосфорне живлення сільськогосподарських культур підвищує врожай і поліпшує його якість. У хлібів збільшується частка зерна в загальній масі, зерно стає більшим на крохмаль. У коренеплодах і плодах накопичується більше вуглеводів. Прядильні культури мають довге й міцне, тонке волокно. Підвищений уміст розчинних вуглеводів у клітинному соці знижує точку замерзання рослин. Це приводить до посилення зимостійкості озимих культур і багаторічних бобових трав під впливом фосфорних добрив, внесених з осені. Збільшується міцність соломини й стійкість до полягання в хлібів (Носко, 2017).

Суперфосфат. Історія

Простий суперфосфат є першим промисловим мінеральним добривом. До середини XIX століття удобрення сільськогосподарських культур фосфором проводилося кістковим борошном із скотобійнь та гуано (екскрементів морських птахів). Ці джерела мають обмежені обсяги і стимулювали пошук нових джерел фосфору.

Розвиток сучасної фосфорної промисловості бере початок із 1840 року, коли великий німецький учений Юстус Лібіх продемонстрував, що удобрювальні властивості кісткового борошна значно збільшувалися після оброблення його сірчаною кислотою. Два роки поспіль, в Англії Джоном Беннет Льюїсом був запатентований процес, під час якого фосфорну сировину (кісткове борошно) обробляли сірчаною кислотою з отриманням добрива, якому він же дав назву «суперфосфат». Це було початком не тільки виробництва суперфосфату, але і взагалі промислового виробництва мінеральних добрив. Уже в 1843 році почала роботу перша фабрика з перероблення кісткового борошна в Англії. У США комерційне виробництво суперфосфату почалось у 1852 році (Минеев, Лебедев, 2003; Логвинова, 2019).

Простий суперфосфат був найкращим фосфорним добривом упродовж досить тривалого періоду. Але з часом виникли нові добрива, які містять більшу частку фосфору, кращі властивості для зберігання і внесення, більш економічне їх виробництво.

Водночас обсяг споживання фосфору перевищує кількість, яка повертається в біосферу природним колообігом фосфору в природі. Зараз стоїть так зване питання «піку фосфору» (Cordell, White, 2011), коли річний обсяг видобутку фосфорних руд зріс з 10 млн тонн у 1945 до 240 млн тонн у 2015, тобто у 24 рази. Обсяги видобутку і попит будуть рости й далі, разом з чисельністю населення Землі. За наявних обсягах видобутку (240 млн тонн у рік) розвіданих запасів (68-69 млрд тонн) вистачить на 280 років, а в самому неоптимістично варіанті при постійному зростанню видобутку – на 30-70 років (Cordell, 2010).

Сировина для виробництва фосфорних добрив. Класифікація фосфорних добрив

Сировиною для отримання фосфорних добрив є два природних мінерали – *фосфорит та апатит*, а також багаті фосфором відходи металургійної промисловості (томасшлак, мартенівські шлаки тощо).

Емпірична формула апатиту $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ або $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3 \cdot \text{CaF}_2$. Фторид кальцію може бути заміщений хлоридом, карбонатом або гідроксидом. Відповідно розрізняють фтор-apatит, хлор-apatит, карбонат-apatит, гідроксил-apatит. Друге джерело фосфорних добрив – фосфорити ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) містять багато домішок, серед яких є полуторні оксиди, пісок, глина тощо. Аморфні фосфорити легше піддаються розчиненню, тому вони становлять великий інтерес щодо використання їх під час виробництва добрив.

Апатит є кристалічною речовиною, а фосфорити можуть бути як в аморфну форму, так і кристалічну.

Уесь перелік фосфорних добрив, які є кальцієвими солями ортофосфорної кислоти (H_3PO_4), поділяють на 3 групи (Швартау, Гуральчук, 2009; Городній, 2003; Добрива..., 2011; Носко, 2017):

– *розчинні у воді* (однозаміщені солі ортофосфорної кислоти, наприклад, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$);

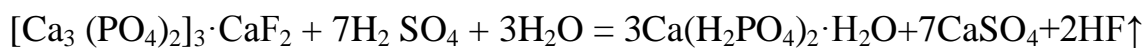
– двозаміщені солі ортофосфорної кислоти (наприклад, CaHPO_4), які *не розчинні у воді, але розчиняються в слабких кислотах*, а тому фосфор буде доступний рослинам, які ростуть у ґрунтах із слабокислою реакцією ґрунтового розчину;

– трьозаміщені солі ортофосфорної кислоти (наприклад, $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$), *нерозчинні у воді й погано розчинні в слабких кислотах*, фосфор яких погано засвоюється більшістю сільськогосподарських культур.

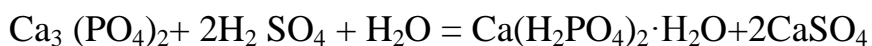
Однозаміщені фосфорні добрива. Виготовлення простого суперфосфату

Головним представником цієї групи є *простий суперфосфат*. Технологія виробництва простого суперфосфату така. Під дією сірчаної кислоти на тонкоподрібнену фосфатну сировину (наприклад, фтор-apatит)

одержують суміш монофосфату кальцію й сульфату кальцію, фтористий водень при цьому випаровується:



Якщо сировиною є фосфорити, то отримання простого суперфосфату відбувається так:

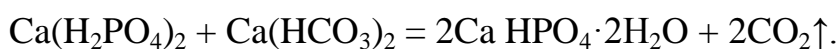


На 1 т фосфатів витрачають близько 1 т кислоти й одержують до 2 т готової продукції. Тому для його виготовлення необхідно брати високопроцентні фосфати (32-40 % P_2O_5), щоб одержати суперфосфат із 16-20 % P_2O_5 .

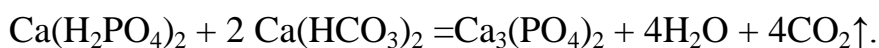
Простий суперфосфат ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$) є найбільш поширеним фосфорним добривом. Головним недоліком його є те, що значну частину його маси складає баласт – сульфат кальцію (до 30 %), який сильно здорожчує транспортування цього добрива. З іншого боку, простий суперфосфат можна розглядати як комплексне добриво тому, що наявність сульфату кальцію може розглядатись як джерело сірки та водночас, як меліорант для покращення фізичних властивостей осолонцьованих ґрунтів. Іншими складовими суперфосфату є вільна фосфорна кислота (5,0-5,5 % в перерахунку на P_2O_5) та наявність великої кількості оксидів заліза й алюмінію (вище, ніж 3 %) (Господаренко, 2018).

Взаємодія простого суперфосфату з ґрунтом

Під час внесення в нейтральні, насичені основами, ґрунти простий суперфосфат швидко перетворюється в малорозчинний двозаміщений фосфат кальцію:

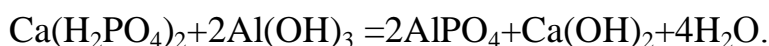


А при наявності в ґрунті карбонатів таке перетворення частково спричиняє утворення абсолютно нерозчинних у воді тризаміщених фосфатів:



Хімічне поглинання фосфорної кислоти суперфосфату в нейтральних ґрунтах із утворенням двох та трьох заміщених фосфатів кальцію обумовлює малу рухливість добрива, внесеного в ґрунт.

У ґрунтах з кислою реакцією розчину, багатих полуторними оксидами (Al_2O_3 та Fe_2O_3) можуть утворюватися слабо розчинні й тому важко засвоювані рослинами фосфати заліза й алюмінію, наприклад:



Простий суперфосфат випускається в порошкоподібному та гранульованому варіанті (Господаренко, 2018).

Виготовлення та властивості подвійного (потрійного) суперфосфату

Головним недоліком простого суперфосфату є відносно невеликий уміст фосфору та наявність, як сказано вище, баласту. Тому сучасне виробництво пов'язано з виробництвом більш ефективних фосфорних добрив, зокрема з виготовленням *подвійного (або потрійного) суперфосфату*. Технологія виробництва подвійного (потрійного) суперфосфату включає дві фази. Спочатку обробляють фосфорит концентрованою сірчаною кислотою або фосфорною для вивільнення екстрактної (або термічної) фосфорної кислоти. Потім, відокремивши фільтруванням фосфорну кислоту від гіпсу, обробляють цією фосфорною кислотою нову порцію високопроцентної фосфатної сировини. Таким чином отримують концентрований суперфосфат, тобто однозаміщений фосфат кальцію з невеликою кількістю домішок. Отже, виробництво подвійного суперфосфату базується на двократному розкладанні природного фосфату. Звідси і назва «подвійний» суперфосфат.

Якщо вихідною сировиною є фтористий апатит, то другий етап виробництва подвійного (потрійного) суперфосфату відбувається так:



Подвійний (потрійний) суперфосфат ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4$) містить залежно від якості вихідної сировини 42.0-50.0 % P_2O_5 і випускається в гранульованому вигляді, що у 2,5-3 рази більше, ніж уміст фосфору в простому суперфосфаті. Тому інколи подвійний суперфосфат також називають потрійним.

Суперфос

Однозаміщеним фосфорним добривом є також *суперфос*. Його отримують за однаковою з подвійним суперфосфатом технологічною схемою, але для одержання суперфосу фосфорної кислоти використовується менше, а тому розкладання сировини неповне. Це, з одного боку, робить суперфос дешевшим добривом, але, з іншого, загальний уміст P_2O_5 доходить лише до 38-40 %. Зі своєю дією на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин це добриво є одним із найкращих серед фосфорних добрив (Господаренко, 2018).

Метафосфат кальцію

Метафосфат кальцію в США використовують для приготування висококонцентрованих змішаних фосфорних добрив.

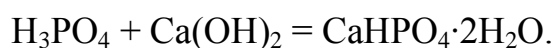
Безпосереднє застосування метафосфату кальцію як добрива обмежено його низькою розчинністю у воді, а у виробництві змішаних добрив – неможливість амонізації без тонкого подрібнення. Тому метафосфат попередньо піддають гідратації, під час якої велика частина P_2O_5 переходить у водорозчинну форму і добре поглинає аміак.

Є також технологія отримання збагаченого суперфосфату через узаємодії метафосфату кальцію, подрібненого природного фосфату, сірчаної кислоти та води. У ході змішування цих компонентів відбувається гідратація метафосфату кальцію до монокальцій ортофосфату, який потім реагує із сірчаною кислотою, утворюючи фосфорну кислоту. Подальший процес

розкладання фосфату відбувається фосфорною кислотою. Таким чином отримується фосфорне добриво, що містить приблизно 30 % P_2O_5 .

Двозаміщені фосфати

Преципітат ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$). За зовнішнім виглядом – білий або ясно-сірий порошок. На кислих ґрунтах навіть перевершує суперфосфат за дією на врожайність сільськогосподарських культур. Одержують преципітат через нейтралізацію фосфорної кислоти вапняним молоком (суспензією гідрату окису кальцію):



Уміст P_2O_5 у преципітаті, залежно від якості вихідної сировини, від 25-27 до 30-35 %. Це добриво розчиняється в лимоннокислому амонії та доступно рослинам.

Знефторений фосфат ($Ca_4P_2O_9 \cdot CaSi_3$). Сутність процесу його одержання обмежується до прожарювання при $1400-1450^\circ C$ апатиту (із додаванням 2-3 % кремнезему) або фосфориту (із додаванням вапна) у присутності водного пару. У цих умовах руйнується кристалічна решітка апатиту та на 90 % видаляється фтор. Під час оброблення апатиту це добриво містить 30-32 % P_2O_5 , а під час прожарювання фосфориту – 20-22 % (Господаренко, 2018).

Термофосфати ($Na_2O \cdot 3CaO \cdot P_2O_5 + SiO_2$) добувають сплавленням або спіканням за високої температури ($1200-1400^\circ C$) природних фосфатів з піском, лужними солями та іншими сполуками. При цьому утворюються різні хімічні речовини, що містять від 20 до 40 % розчинного фосфору, мають лужну реакцію. За зовнішніми ознаками – це тонкорозмелені порошки з добрими фізичними властивостями. До термофосфатів належать також шлаки (томасшлак, фосфатшлак мартенівський), плавлені магнієві та знефторені фосфати та ін. (Господаренко, 2018).

Тризаміщені фосфати. Фосфоритне борошно

Одержують фосфоритне борошно розмелюванням фосфориту до стану тонкого борошна. Фосфор у цьому добриві міститься у вигляді гідроксилу-апатиту, карбонат-апатиту, фтору-апатиту й перебуває у формі $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$. Ці сполуки не розчинні у воді, погано розчинні в слабких кислотах, а тому мало доступні для більшості культур. Уміст P_2O_5 у вищому сорті фосфоритного борошна 30 %, у першому – 25 %, у другому – 22, в третьому – 19 %. Вологи не більше 3 % (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011; Господаренко, 2018; Носко, 2017).

Ефективність фосфоритного борошна залежить від якості розмелювання вихідної сировини. Чим тонше частинки, тим більше їхня сумарна поверхня, тим кращий контакт із ґрунтом, і тим краще відбувається розкладання фосфоритного борошна під дією ґрунтової кислотності. Значення якості розмелювання для підвищення ефективності фосфоритного борошна особливо велике на ґрунтах, які мають недостатню кислотність для її розкладання, зокрема на опідзолених і вилужених чорноземах. Використання фосфорного борошна в ґрунтах із нейтральною та слабо лужною реакцією ґрунтового розчину абсолютно неефективно.

Норма фосфоритного борошна встановлюється залежно від кислотності ґрунтового розчину. На сильно і середньо кислих ґрунтах ($\text{pH} < 5,0$) можна вносити фосфоритне борошно в тій же нормі, що і суперфосфат, а на слабо кислих ґрунтах – у подвійній і навіть потрійній нормі.

Фосфоритне борошно застосовується як основне добриво, уносити її краще завчасно, з осені, і, обов'язково, з глибоким закладенням під плуг. Найбільш ефективно внесення її разом із гноєм у пару під озимі культури, а також під просапні культури – цукрові буряки, картоплю, кукурудзу тощо. Позитивна дія фосфоритного борошна триває протягом декількох років. Чим більше норма фосфоритного борошна, тим вище і триваліше його дія.

Перед унесенням фосфоритного борошна ґрунт не слід вапнувати, оскільки вапно зменшує кислотність ґрунтового розчину, що приводить до розтягування часу взаємодії фосфориту із ґрунтом та вивільнення аніонів

ортофосфорної кислоти в ґрунтовий розчин. Розрив у часі між унесенням фосфоритного борошна та вапняного меліоранту повинен становити щонайменше 2-3 роки.

Ретроградація фосфатів. Методи підвищення ефективності фосфорних добрив

Ретроградація (або хімічне зв'язування) фосфат-іонів у ґрунті (тобто перетворення розчинних солей ортофосфорної кислоти в нерозчинні) є багатоступеневим процесом, який залежить від типу ґрунтоутворення. Зокрема в ґрунтах з кислою реакцією ґрунтового покриву утворюються малорозчинні фосфати алюмінію та заліза ($Al_2(PO_4)_3$, $Fe_2(PO_4)_3$). У нейтральних і карбонатних ґрунтах (чорноземи, каштанові) основними фіксаторами фосфору є кальцій і магній. В останньому випадку водорозчинні солі фосфорної кислоти, потрапивши у ґрунт, через деякий час внаслідок хімічного зв'язування перетворюються на двох заміщені фосфати кальцію і магнію ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4$) і тривалий час залишаються в такому вигляді доступними для всіх рослин. Потім іони водню двох заміщеної солі поступово замішуються на іони кальцію або магнію з утворенням трьох заміщених фосфатів цих металів $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg(PO_4)_2$ і більш основних фосфатів (Syers et al., 2008; Иванова и др., 2011; Носко, 2017).

Вбирання фосфатів ґрунтом також не слід розглядати як перехід їх у недоступні для рослин форми назавжди, а лише як тимчасовий процес перетворення на залишкові фосфати, що поступово беруть участь у біологічному колообігу і в майбутньому можуть бути використані рослинами.

Порівняно низький коефіцієнт використання фосфорних добрив у перший рік їх внесення (10-15 %) пов'язаний не лише з переходом фосфатів у недоступні форми, а й з обмеженою доступністю для корневих систем, тобто корені рослин можуть поглинати фосфати лише з тієї частини ґрунту, з якою вони безпосередньо контактують. З урахуванням післядії коефіцієнт

використання фосфору з добрив становить 35-40 %, та може сягати і більших значень, якщо впродовж 4-10 років не вносити фосфорні добрива.

Відносно низьку ефективність фосфорних добрив можливо підвищити кількома способами.

По-перше, порошкоподібний суперфосфат гранулюють. Гранульований суперфосфат має непогані фізичні властивості, при зберіганні не злежується, а при внесенні добре розсіюється. Однією з головних його переваг перед порошкоподібним суперфосфатом є те, що він менше контактує із частками ґрунту, чим послабляється ретроградація фосфатів. Особливо важливо це при внесенні суперфосфату на кислих ґрунтах з високим вмістом полуторних оксидів. Висока ефективність гранульованого суперфосфату під час розкидного внесення в ґрунт зумовлюється не тільки послабленням у зв'язуванні P_2O_5 , але й більше рівномірним розподілом добрива площею поля.

По-друге, необхідно використовувати суто агротехнічні методи, зокрема зменшити перемішування суперфосфату (особливо, порошкового) з ґрунтом. Закріплення фосфору суперфосфату в кислих ґрунтах знижується під час місцевого внесення його в рядки, а також під час стрічкового внесення до посіву. При рядковому та стрічковому внесенні невеликі дози суперфосфату дають такі ж прибавки врожаю, як і значно більші дози при розкидному допосівному внесенні. Це зумовлено зниженням хімічного зв'язування фосфору внаслідок зменшення площі контакту добрива з ґрунтом, а також тим, що добриво розміщується поблизу насіння що забезпечує живлення рослин доступним фосфором із найпершого періоду росту і розвитку.

По-третьє, гранули фосфорних добрив покривають полімерними покриттями, які сповільнюють вивільнення фосфору з добрив. Ефективність залежить від товщини полімерного покриття та температури ґрунту, умісту вологи та рН ґрунтового розчину.

Можливо також унесення в ґрунт обмінних смол або полімерів високої ємності, які зв'язують катіони з ґрунтового розчину і перешкоджають утворенню менш розчинних фосфатів. Ці полімери є органічними молекулами, на ефективність яких впливають ґрунтові мікроорганізми, волога та температура.

13. КАЛІЙ ТА КАЛІЙНІ ДОБРИВА

Роль калію в житті рослин

Калій у рослині перебуває в іонній формі й не входить до складу органічних сполук кліток. Він міститься переважно в цитоплазмі й вакуолях, а в ядрі відсутній. Близько 20 % калію втримується в клітках рослин в обмінно-поглиненому стані колоїдами цитоплазми, до 1 % його необмінно поглинається мітохондріями, основна частина (до 80 %) міститься в клітинному соці й легко витягається водою. Тому калій вимивається з рослин дощами. На світлі міцність зв'язку іона калію з колоїдами цитоплазми клітки підсилюється, а в темряві слабшає й відбувається часткове виділення калію з рослини через корінь. Під впливом калію підсилюється нагромадження крохмалю в бульбах картоплі, сахарози в цукровому буряку й моноцукрів у низці плодкових та овочевих культур. Калій підвищує холодостійкість і зимостійкість рослин (у результаті збільшення осмотичного тиску клітинного соку), стійкість рослин до грибкових і бактеріальних хвороб (Носко и др., 1996; Носко, Прокшев, 1999; Прокшев, Дерюгин, 2000). Калій підсилює синтез високомолекулярних вуглеводів (целюлози, геміцелюлози, пектинових речовин тощо), у результаті чого клітинні стінки соломини злакових культур стають більш потужними та підвищується стійкість хлібів до полягання, у льону поліпшується якість волокна.

Недостатнє калійне живлення приводить до порушення метаболізму в рослині. Дефіцит калію викликає ослаблення діяльності ферментів, порушення вуглеводного й білкового обміну рослин, приводить до утворення неякісного зерна й зниження схожості насіння (Носко и др., 1996).

Зовнішні ознаки калійного голодування рослин виявляються такі: старі листи передчасно жовтіють, починаючи з країв; надалі їхні краї й верхівка набувають бурого фарбування (іноді з червоними й іржавими цяточками), а потім краї листів відмирають і руйнуються стають мовби обпаленими, рваними на вид.

Найбільшу кількість калію рослини споживають у період інтенсивного приросту біологічної маси. У зернових та зернобобових культур надходження калію закінчується до цвітіння – початку молочної спілості, у льону – до фази повного цвітіння, у картоплі, цукрового буряку та капусти воно розтягнуто і практично відбувається протягом усього вегетаційного періоду.

Уміст калію в рослинах, ґрунті та добривах заведено виражати в перерахуванні на його оксид – K_2O . Різні рослини виносять різні кількості K_2O у перерахуванні на 1 т основній продукції: зернові – 25-27 кг/га, зернові бобові – 16-20 кг/га, картопля – 7-9 кг/га, буряк – 6-8 кг/га, овочеві – 4-5 кг/га, конюшина на сіно – 20-24 кг/га. Чим менше калію міститься в товарній частини врожаю (яка вивозиться з господарства) й більше в нетоварній (що залишилася на полі), тим менш калій виключається з біологічного колообігу .

Сировина для виробництва добрив: калійні руди

Мінеральні калійні добрива виробляють з каліймістких мінералів (або калійних солей (potash salts)), генетично пов'язаних легкорозчинних у воді калієвих і калієво-магнієвих порід, у хімічному складі яких основну роль відіграють катіони K^+ , Mg^{2+} і аніони Cl^- , SO_4^{2-} . Залежно від аніонів усі родовища калійних солей підрозділяють на хлоридні, які становлять більшість всіх запасів, і сульфатні. Зі свого боку і вироблені з цієї сировини калійні добрива також підрозділяють на хлоридні (хлористий калій, змішані солі) і сульфатні (сульфат калію, калімагnezія, калійно-магnezіальний концентрат).

Основною сировиною для виробництва хлоридних калійних добрив є сильвініт, що являє собою суміш сильвіну (KCl) і галіту ($NaCl$), що містить 12-15 % K_2O . Сульфатні калійні добрива одержують із мінералів каїнітових, лангбейнітових та змішаних лангбейніто-каїнітових порід, а також алунітів. Хімічний склад деяких калій містких мінералів такий: карналіт –

$KCl \cdot MgCl \cdot 6H_2O$; каїніт – $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$; леоніт – $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$; лангбейніт – $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$; нефеліновий концентрат – $(K, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2Si_2$.

В Україні немає великих покладів калійних солей, окрім як у Прикарпатті – Калуш-Галинське, Стебніковське та інші родовища. Сировиною для виробництва калійних добрив в Україні є, переважно, імпортовані природні калійні солі з Білорусі.

Калійні добрива підрозділяють на *концентровані* (хлористий калій, сірчаноокислий калій, хлористий калій-електроліт, калійна сіль, калімагnezія, калійно-магнієвий концентрат) та *сирі солі* (сильвініт, каїніт) (Носко и др., 1996; Носко, Прокшев, 1999; Прокшев, Дерюгин, 2000).

Концентровані калійні добрива

Хлористий калій (хлорид калію, KCl). Основне калійне добриво, що становить 80-90 % від загального виробництва калійних добрив. Містить 53-60 % K_2O , вологи не більше 1 %. Це кристалічна розсипчаста речовина рожевого або білого кольору із сірим відтінком. Хлористий калій виробляють двома способами: *флотаційним* та *галургійним*.

Сутність флотаційного способу отримання хлористого калію полягає в відокремленні зі сильвініту сполук KCl та $NaCl$. Метод базується на різній здатності поверхні цих сполук до змочування водою. Попередньо подрібнену руду забаламучують у воді або водному розчині з додаванням жирних амінів і через пульпу пропускають повітря. Часточки гідрофобного мінералу сильвініту прилипають до пухирців повітря й виносяться на поверхню пульпи у вигляді піни. Ця піна є концентратом KCl , який зневоднюється на центрифuzі й надходить на сушіння. Часточки гідрофобного мінералу галіту ($NaCl$) залишаються на дні флотаційній машині й виводяться через зливальний отвір.

Галургійний спосіб виробництва хлористого калію із сильвінітової руди базується на різній розчинності у воді KCl та $NaCl$. Розчинення ведеться при 90-100°C із наступним охолодженням розчину до 20-25°C. У розчинах,

насичених обома солями, під час підвищення температури з 20-25°C до 90-100°C уміст KCl зростає, приблизно, у два рази, а NaCl – зменшується. Під час охолодження такого розчину KCl буде кристалізуватися, а NaCl залишиться в розчині. Цю властивість солей і використано в галургійному процесі цього способу виробництва хлористого калію.

Сірчаноокислий калій (сульфат калію, K_2SO_4). Це дрібний кристалічний порошок білих кольорів (може бути ще і жовтуватий відтінок), вологість 1,2 %. Містить 46-50 % K_2O (Добрива..., 2011), схильність до злежування слабка, транспортується із заводу в мішках або без тари. Виробляють шляхом виділенням K_2SO_4 із природних сульфатних калійних солей. Сульфат калію має гарні фізичні властивості, негігроскопічний. Може застосовуватися на будь-яких ґрунтах і під усі культури, але особливо придатний для культур, чутливих до хлору (тютюн, виноград, цитрусові, льон, картопля). Виробництво сульфату калію обходиться дорого, тому він має незначну питому вагу на ринку серед калійних добрив.

Хлоркалій-електроліт. Добриво являє собою хлорид калію з домішками (по 5 % Mg та Na_2O і до 50 % хлору) (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). За дією на рослини не відрізняється від KCl. Дрібнокристалічний порошок з жовтим відтінком, який містить 31-45 % K_2O , не злежується (містить вологи не більше 4 %), упаковується в паперові мішки або перевозиться навалом. Під час транспортування розпорошується на невеличкі кристали. Побічний продукт одержання металевого магнію з карналіту. Ефективний на ґрунтах, бідних калієм і магнієм, особливо легких за гранулометричним складом, під час внесення як основне добриво.

Калімагnezія ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$). Хімічна промисловість виробляє це добриво як порошок, із сіруватим і рожевим відтінком або як гранули. Містить 16-30 % K_2O , 10-18 % MgO та 11-17 % сірки, вологість не більше 5 %, не злежується, перевозяться навалом або в паперових мішках. Як і сульфат калію, застосовується під культури, які чутливі до хлору.

Калійно-магнезіальний концентрат. Виробляють у вигляді гранул сірих кольорів, вологість 1,5-7,0 %. Містить 18,5 % K_2O та 9,0 % MgO (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Це добриво не злежується, а тому його транспортують без тари, застосовують насамперед під культури, які чутливі до хлору.

Калійна сіль змішана 40 % ($KCl+NaCl$). Це сірий кристалічний порошок із включенням рожевих кристалів і являє собою суміш хлористого калію з розмеленим сильвінітом (до 35 % $NaCl$), вологість не більше 2 %. Це добриво містить 40 % K_2O , не злежується та перевозиться без тари. Зважають, що найкраще його використовувати для культур, що здатні позитивно зреагувати на натрій (цукровий буряк, кормові та столові коренеплоди). Рекомендується використовувати калійну сіль змішану переважно на супіщаних й піщаних ґрунтах.

«Сирі» калійні добрива

Каїніт природний ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ з домішкою $NaCl$). Це великі кристали рожево-бурих кольорів, і умістом вологи не більше 5 %. Вміст K_2O в цьому добриві приблизно 10 %. Каїніт не злежується, перевозиться навалом.

Цементний пил. Є шламом цементної промисловості, безхлорне калійне добриво. Вміст K_2O 10-15 %. Випускають у гранульованому вигляді, упаковують у паперові мішки. Калій міститься у вигляді солей карбонатів, бікарбонатів, сульфатів та, в незначній кількості, силікатів. У цементному пилу є також гіпс, окис кальцію, полуторні оксиди та домішки різних мікроелементів. Застосовують як основне добриво, особливо ефективно на кислих ґрунтах.

Поташ (вуглекислий калій, K_2O_3). Це лужне калійне добриво, яке найбільш ефективно в процесі використання на кислих ґрунтах. У вуглекислому калії повинно міститися до 63-67 % K_2O . Поташ і бікарбонат

калію (KHSO_3) міститься також у золі, що отримують під час спалюванні дров і соломи.

Сильвініт ($\text{KCl}\cdot\text{NaCl}$). Це подрібнена сильвінітова порода, з середнім розміром кристалів в 1-4 мм та, а кристалів розміром більш 4 мм повинно бути не більш 20 % від загальної маси. Має погані фізичні характеристики, зокрема злежується і погано розсівається. Колір цього добрива рожево-бурий із включенням синіх кристалів. Сильвініт містить 12-15 % K_2O і до 75-80 % NaCl , а тому найкраще вносити під культури, які толерантні до натрію (цукровий буряк, кормові та столові коренеплоди). В інших випадках його використання недоцільне (Носко и др., 1996; Носко, Прокшев, 1999; Прокшев, Дерюгин, 2000).

Хелатні добрива що містять калій

Зараз випускають досить багато калійних хелатних монодобрив, які містять до 80 % калію (наприклад, Хелатін Калій (77 % K_2O) та Келик Калій (50 % K_2O), а також різних за складом комплексних хелатних добрив, які містять калій (Нертус Фотосинтез (4,5 % K_2O), Навалон (8-40 % K_2O) тощо). Ці добрива використовують переважно для позакореневого підживлення та фертигації.

Взаємодія калійних добрив із ґрунтом

Мінеральні калійні добрива добре розчиняються у воді. Однак під час внесення їх у ґрунт іон калію швидко вступає у взаємодію з колоїдними частками ґрунту по типу фізико-хімічного (обмінного) поглинання та необмінного поглинання. Установлено, що необмінне поглинання (фіксація) калію ґрунтом практично закінчується протягом доби після внесення калійних добрив і майже не залежить від часу їхнього закладення, посіву (посадки) рослин та інших агротехнічних операцій.

Обмінне поглинання іонів калію ґрунтом становить значну частину (не менш 25 %) від загальної ємності поглинання. Катіони калію, які обмінно

вбираються ґрунтом, одночасно витискують із ГВК еквівалентну кількість інших катіонів (водень, алюміній, кальцій, магній тощо), що позначається на реакції ґрунтового розчину, а отже й на умовах росту рослин.

За своїм характером усі калійні добрива фізіологічно кислі. У результаті обмінних реакцій у ґрунтовому розчині залежно від виду застосовуваних калійних добрив (хлоридних або сульфатних) утворюється або соляна, або сірчана кислоти, а тому на кислих ґрунтах ефективність калійних добрив відчутно знижується. Установлено, що зі зменшенням величини рН величина фіксації калію добрив ґрунтом знижується, а після вапнування зростає.

14. МЕЗОЕЛЕМЕНТИ ЖИВЛЕННЯ (СІРКА, КАЛЬЦІЙ ТА МАГНІЙ). ДОБРИВА, ЩО МІСТЯТЬ МЕЗОЕЛЕМЕНТИ

Сірка в рослинах. Зв'язок сірки з іншими елементами живлення

Сірка є одним із найважливіших елементів живлення рослин. У рослинах сірка входить до складу амінокислот (цистеїну, цистину, метіоніну), білків, вітамінів, ферментів тощо. Сірка відіграє важливу роль в окисно-відновних процесах, активізації ферментів, синтезі білків, бере участь у синтезі хлорофілу. Оксидна форма сірки є вихідним продуктом для синтезу білків і водночас, вона є кінцевим продуктом їхнього розкладання. Сполуки сірки (роданіди) містяться в ефірних (гірчичних) маслах багатьох представників сімейства капустяних. Деяка частка сірки в рослинах міститься у вигляді сполук сірчаної кислоти, але такі сполуки сірки, як сірководень, сульфіді, сірчана кислота для рослин токсичні. Сірка бере участь в асиміляції нітратів рослинами, гальмує їх накопичення в бульбах картоплі та в інших культурах (Нортон и др., 2014; Handbook..., 2015).

Сірка є важливим компонентом полісульфідів (аланів) цибулі та часнику, які визначають характерний смак і запах та стійкість цих рослин до пошкодження комахами, а також до стресів, викликаних зовнішніми факторами.

Вразі нестачі сірки в процедурах живлення рослин затримується синтез білків, накопичується азот в небілковій формі або у формі нітратів. За зовнішніми ознаками сірчане голодування рослин нагадує азотне, оскільки роль азоту і сірки в метаболізмі рослин подібна. Це іноді призводить до помилкового завищення норм азотних добрив, що знижує урожай і його якість. При нестачі сірки рослини припиняють зростання і розвиток, листя стає світло-жовтими та навіть білими з червоним відтінком, зменшується їх стійкість до хвороб, посухи та низьких температур. Реутилізація сірки, тобто її переміщення зі старого листя в молоді, незначна, а тому при дефіциті сірки від хлорозу першими страждають молоді листочки. Тоді як дефіцит азоту

насамперед фіксується на старих листах. Особливо яскраво проявляється нестача сірки на листах сільськогосподарських культур, які належать до родини капустяних (ріпак, капуста) (Нортон и др., 2014; Handbook..., 2015).

Як сказано вище, азот разом із сіркою відіграють важливу роль у синтезі білку, а тому між цими двома елементами є певний тісний зв'язок. Водночас очевидно, що один із цих елементів живлення не може замінити інший. У середньому в складі рослинного білка співвідношення азот/сірка дорівнює 15 до 1. Водночас таке співвідношення буде різне для різних з погляду вибагливості до сірки сільськогосподарських культур. Наприклад, для зерна пшениці таке співвідношення буде 16 до 1, а для насіння ріпаку лише 6 до 1 (Нортон та ін., 2014).

При таких сталих співвідношеннях азоту до сірки очевидно, що нестача сірки буде приводити до неефективного використання азоту добрив та ґрунтового азоту, надлишок якого вимивається з ґрунту або випаровується в атмосферу. Зокрема підрахунки, які були проведені в Німеччині, показали, що нестача сірки визначає непродуктивні втрати з ґрунтів близько 10 % азоту мінеральних та органічних добрив (Нортон та ін., 2014).

Нестача сірки, окрім прямого негативного впливу на урожайність, якість продукції та ефективність азотних добрив, впливає і на інші функції рослин. Зокрема для бобових культур невнесення сірчаних добрив, в умовах дефіциту цього елемента в ґрунті зменшує кількість бульбочкових бактерій, що знижує інтенсивність фіксації атмосферного азоту.

Унесення сірки викликає нестачу в рослинах молібдену та селену. Це пов'язано з антагонізмом аніонів SO_4^{-2} , MoO_4^{-2} , SeO_4^{-2} у процесі поглинання цих елементів кореневими системами рослин. Зокрема ці аніони конкурують за специфічні ділянки білків-транспортів, які локалізовані на поверхні кліткових мембран кореня (Нортон та ін., 2014). Зі свого боку нестача селену в кормах призводить до зростання захворюваності сільськогосподарських тварин.

Очевидно, що внесення сірчаних добрив підкислює ґрунтовий розчин, що може посилити поглинання рослинами важких металів (Cu, Mn, Zn, Fe, Ni).

Потреба сільськогосподарських рослин у сірці

Для оптимального росту рослин уміст сірки в їхній сухій речовині повинна становити не менше 0,10-1,00 %. Сільськогосподарські культури містять неоднакову кількість сірки і, відповідно, мають у ній різну потребу, що зумовлено біологічними особливостями рослин, фазою їхнього розвитку, а також умістом сірки в ґрунті та атмосфері. Так, одна тонна зерна пшениці виносить 1,4 кг сірки; ячменю – 1,2 кг, а кукурудзи – 1,1 кг; 1 тонна сіна люцерни – 3,6 кг сірки, 1 тонна коренеплодів буряка цукрового – 2,4 кг, 1 тонна зерна гороху – 2,2 кг, зерна сої – 3,5 кг, 1 тонна головок капусти білокачанної – 11,2 кг; насіння ріпаку до 5 кг (Нортон та ін., 2014). Тобто найбільше сірку засвоюють рослини з родини капустяних (капуста, ріпак), лілійних (цибуля, часник), лободових (буряк), зонтичних (кріп), складноцвітих (соняшник), бобових (люцерна, конюшина, горох, соя), пасльонових (картопля, томати, салатний перець). Потреба в сірці зернових культур невелика. Зазвичай у рослинах більше сірки міститься в насінні та листі і менше у стеблах та коренях (Нортон та ін., 2014).

Щодо вибагливості в живленні сіркою рослини діляться на три групи (Господаренко, 2018):

- найбільш вибагливі: ріпак, гірчиця, капуста, ріпа, цибуля, часник, які засвоюють із середнім урожаєм 40-80 кг/га сірки;
- середньовибагливі: бобові (горох, соя, люцерна, конюшина, кукурудза, буряк), які засвоюють 20-40 кг/га сірки;
- найменш вибагливі: зернові, багаторічні й однорічні трави, картопля, які засвоюють 10-25 кг/га сірки.

Сірка в повітрі

Таблиця 14.1. Уміст сірки в деяких добривах (Добрива..., 2011)

№№ з/п	Назва добрива	Уміст сірки (SO ₃), %
1.	Сульфат амонію (NH ₄) ₂ SO ₄	23-24
2.	Сульфат натрію Na ₂ SO ₄	23
3.	Сульфат калію K ₂ SO ₄	17-18
4.	Сульфат магнію MgSO ₄ · H ₂ O	29
5.	Гіпс CaSO ₄ 2H ₂ O	17-22
6.	Калімагнезія (K ₂ SO ₄ · MgSO ₄)	15
7.	Суперфосфат (CaH ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O + 2CaSO ₄ · 2H ₂ O	9-15
8.	Суперфосфат подвійний (потрійний) Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O + H ₃ PO ₄	1
9.	Гній	0,5-1,0
10.	Торф	0,1-0,3
11.	Елементарна сірка (S)	98
12.	Сульфомаг (Польща) (MgSO ₄ · 5H ₂ O)	32
13.	Тиосульфат аммонія (NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	26
14.	Азотсульфат (NH ₄ NO ₃ +S) (26: 14, 28: 11, 32: 5, 33: 3, 30: 6)	3-14
15.	Novalon Seed treatment*(Терра-Тарса)	0,7

*спеціальний передпосівний комплекс для оброблення насіння, який також може бути використано для позакореневого підживлення.

Оцінки ролі сірки повітря в загальному живленні сільськогосподарських рослин показують, що вона може надходити через листки. Уважається, що рослини здатні на 1/3 задовольняти свої потреби в сірці з атмосфери. Основна кількість цього елемента в атмосфері міститься в формі сірчистого газу (SO₃), який удвічі важчий за повітря і не може переноситися на великі відстані. Антропогенне походження атмосферної сірки призводить до того, що її концентрація в районах розміщення промислових підприємств у 2-3 рази вище, ніж у сільській місцевості (Нортон та ін., 2014).

Добрива, які містять сірку

Основним джерелом надходження сірки в ґрунт є мінеральні добрива. Використання мінеральних сірковмісних добрив стало актуальним в останні

два десятиліття, що пов'язано зі зростанням урожайності сільськогосподарських культур, зміною структури посівних площ (зокрема, зростання площ, зайнятих ріпаком), значним зменшенням унесення в ґрунт органічних добрив (1 тонна гною містить 0,5-1,0 кг сірки), зменшенням викидів антропогенної сірки в атмосферу тощо.

Тому дефіцит сірки трапляється все частіше і він досить гостро виявляється на тлі високих норм унесення азотних і фосфорних добрив, зокрема на піщаних і суглинистих ґрунтах та на ґрунтах із низьким умістом органічних речовин в процесі вирощування культур із високими потребами сірки. Джерелами надходження сірки можуть бути різні її сполуки та навіть елементарна сірка (табл. 14.1).

Сірковмісні добрива слід уносити під час основного обробітку ґрунту або перед сівбою сільськогосподарських культур. Насамперед сірковмісні добрива вносять під капустяні (капуста, ріпак), бобові (соя, горох, вика), коренеплоди, картоплю, кукурудзу.

Беручи до уваги визначені вище обмеження, які закладені в сталих співвідношеннях між умістом азоту і сіркою в рослинах, норми сірковмісних добрив слід розраховувати не тільки з урахуванням умісту цього елемента в ґрунті, а й із дотриманням таких співвідношень (Нортон и др., 2014; Handbook..., 2015).

Роль кальцію в житті рослини. Добрива, які містять кальцій

Кальцій впливає на обмін вуглеводів і білкових речовин, а також на забезпечення нормальних умов розвитку кореневої системи рослин. Фізіологічна роль кальцію в рослині полягає в тому, що він бере участь в іонному обміні, має велике значення в кореновому живленні рослин, регулює лугово-кислотну рівновагу в клітинах рослинних тканин. Водночас із калієм кальцій відіграє важливу роль у процесах водоспоживання. Кальцій необхідний для нормального розвитку рослин, особливо кореневої системи.

Таблиця 14.2 Винос кальцію й магнію з урожаєм сільськогосподарських культур (кг на 10 ц продукції) у перерахунку на CaCO₃ та MgCO₃

Культура	CaCO ₃	MgCO ₃	Сума карбонатів
Озиме жито*	8,8	6,0	14,8
Озима пшениця*	6,3	6,5	12,8
Ячмінь яровий*	7,7	6,3	14,0
Овес*	9,7	7,2	16,9
Гречка*	18,0	8,5	26,5
Горох*	31,5	10,0	41,5
Льон-довгунець*	17,1	16,4	33,5
Цукровий буряк	2,9	1,3	4,2
Картопля (бульби)	0,5	1,5	2,0
Багаторічні трави (сіно)	27,0	12,5	39,5
Однолітні трави (сіно)	30,0	10,6	40,6

* Зерно + солома.

Потреба в кальції виявляється в найбільш ранні строки розвитку рослин: брак кальцію придушує мобілізацію запасних поживних речовин (крохмалю, білків) і перетворення їх у прості сполуки, які використовуються проростками, що може спричинити загибель рослини. Ознаки нестачі кальцію з'являються насамперед на молодих листах. Листки бувають хлорозні, скривлені, їхні краї закручуються. Краї листків неправильної форми, на них може виявлятися обпаленість бурого кольору. Спостерігається ушкодження та відмирання верхівкових бруньок і корінців. Нестача кальцію позначається й на стані кореневої системи рослини: сповільнюється її зростання, корені ослизнюються та поступово загнивають (Handbook..., 2015).

Під час складання балансу кальцію необхідно враховувати й винос його рослинами. Орієнтовний винос кальцію й магнію з урожаєм сільськогосподарських культур представлений у таблиці 14.2. Баланс кальцію на основі лізіметричних дослідів показує, що на кислих ґрунтах спостерігаємо постійний дефіцит кальцію, тому вапнування варто розглядати не тільки як хімічну меліорацію, а і як удобрення ґрунту кальцієм.

Кальцій входить до складу деяких фосфорних та азотних мінеральних добрив і з них використовується для живлення рослин, зокрема, простий суперфосфат містить близько 20 % кальцію (1/3 водорозчинного і 2/3

нерозчинного і важкодоступного для рослин). Найкращим кальцієвим добривом можна вважати кальцієву селітру, яка легко розчиняється у воді і містить 20 % кальцію. Вапняково-аміачна селітра вміщує 12 % кальцію.

Найбільш позитивно відгукуються на внесення кальцію овочеві, плодові, ягідні культури та соя.

Роль магнію в житті рослини. Добрива, які містять магній

Фізіологічна роль магнію пов'язана з впливом на активність багатьох ферментів. Він відіграє важливу роль у процесі фотосинтезу – активує фермент, який каталізує участь CO_2 у фотосинтезі. Бере безпосередню участь у синтезі АТФ – носія енергії в рослинах. Магній впливає на всі процеси в клітинах рослин, де відбувається передача хімічної енергії або її накопичення (фотосинтез, дихання, гліколіз тощо). Він не тільки бере участь у синтезі вуглеводів, але і забезпечує їхнє транспортування в підземну частину рослини, завдяки чому формується добре розвинена коренева система, а в озимих культур зростає також уміст цукрів і підвищується морозостійкість. Також це важлива складова хлорофілу, який містить 15-20 % усього магнію, який засвоюється рослиною. Центральне місце в молекулі хлорофілу належить атому магнію, із яким пов'язані різні хімічні угруповання (Handbook..., 2015).

Чутливі до його нестачі цукрові буряки, картопля і бобові, кукурудза, просо, коноплі, сорго. Багато магнію виносять з ґрунту цукрові буряки (60-70 кг/га), картопля (40-60 кг/га), ріпак, бобові (20-40 кг/га кг/га), менше – зернові (10-20 кг/га). Серед зернових найбільше виносить з ґрунту магній овес (Господаренко, 2018).

Сьогоднішній дефіцит магнію пояснюється зменшенням обсягів унесення органічних добрив, використанням висококонцентрованих мінеральних добрив та суттєвим зменшенням площ, які вапнуються.

Найпопулярнішим добривом є сульфат магнію ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), який містить 16-21 % магнію в перерахунку на MgO та 30-36 % сірки (Швартау,

Гуральчук, 2009). Може бути використаний як для основного внесення, так і для фертигації та позакореневого підживлення. Сульфат магнію добре розчиняється у воді, не злежується (Handbook..., 2015; Господаренко, 2018).

Гранульований сульфат магнію рекомендується вносити на дерново-підзолистих та піщаних ґрунтах під цукровий буряк, кукурудзу, картоплю, льон-довгунець (50-100 кг/га).

Магній також уходить до складу різних комплексних добрив – калімагнезія (10-18 % MgO), каліймаг (5-10 % MgO), квантум платініум (1,5 % MgO), новалон (0,5-2,0 % MgO) тощо.

15. МІКРОЕЛЕМЕНТИ ЖИВЛЕННЯ. МІКРОДОБРИВА

Мікроелементи живлення. Загальні положення

Мікроелементи є тими хімічними елементами живлення, що містяться в рослинах у тисячних-стотисячних частках відсотків та виконують різні важливі функції в процесі життєдіяльності.

Більшість мікроелементів потрібні для нормального росту і розвитку рослин, оскільки вони виконують важливі фізіологічні функції. Мікроелементи входять до складу ферментів, вітамінів, гормонів, інших біологічно активних речовин і відіграють важливу роль у процесах синтезу білків, вуглеводів, жирів, вітамінів, підвищується стійкість проти хвороб і шкідників, ослаблюється дія зовнішніх несприятливих факторів – посухи, низьких і високих температур повітря та ґрунту.

Мікроелементи не можна замінити на інші речовини, а їх нестача обов'язково має бути компенсована. Водночас деякі мікроелементи у великих концентраціях, що перевищують потреби рослин, можуть спричинити порушення біологічних циклів, зумовити пригнічення, а іноді й загибель рослин. Особливо токсичні для живих організмів високі концентрації таких елементів, як Pb, Cd, Co, Cu, Zn, Ni.

У зв'язку з інтенсифікацією землеробства потреба в застосуванні мікродобрих набуває все більшого значення, що пов'язано з різними причинами:

- унаслідок вилучення з поля значної кількості продукції ґрунт поступово збіднюється на мікроелементи;
- підвищення врожайності сільськогосподарських культур та поліпшення якості продукції супроводжується збільшенням потреб рослин у мікроелементах;
- збільшення використання висококонцентрованих добрив, що майже не містять мікроелементів;
- невикористання органічних добрив.

Таблиця 15.1 Винос мікроелементів основними сільськогосподарськими культурами (за даними ФАО, W.Bergman)

Сільськогосподарська культура	Винос, г/т					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Озима пшениця	3,7	10,0	152,0	182,0	0,69	81,0
Ріпак	45,0	8,5	120,0	90,0	0,70	47,5
Кукурудза	10,5	10,5	155,5	92,5	0,32	47,5
Соняшник	67,5	15,0	89,5	62,5	0,50	55,0
Цукровий буряк	39,8	52,6	179,0	369,0	0,46	138,0
Буряк столовий	17,9	7,7	71,0	113,0	0,09	52,0
Морква	19,3	4,6	54,0	28,0	0,04	20,0
Картопля	6,2	5,6	41,0	8,0	0,15	16,0
Цибуля	12,1	4,7	29,0	24,0	0,16	25,0
Капуста	2,1	1,0	9,8	3,0	0,15	3,2
Огірок	1,4	1,68	93,0	9,6	0,09	3,3
Томат	1,1	2,24	63,2	12,1	0,07	3,8

Мікроелементи поділяються на *безумовно необхідні мікроелементи* (Essential Elements), без яких рослина не здатна пройти весь життєвий цикл (від сходів до отримання врожаю): бор (B), хлор (Cl), мідь (Cu), залізо (Fe), марганець (Mn), молібден (Mo), нікель (Ni), цинк (Zn) та *корисні елементи* (Beneficial Elements), які використовуються певними рослинами в окремих випадках: алюміній (Al), кобальт (Co), кремній (Si), натрій (Na), ванадій (V), селен (Se), лантаноїди (Ln) (Кабата-Пендіас, Педіас, 1989; Handbook...,2015).

Величини виносу деяких мікроелементів із ґрунту з урожаєм сільськогосподарських культур представлені в таблиці 15.1.

Бор та борні добрива

Середній уміст бору в рослинах 0,0001 %, або 1 мг на 1 кг рослинної маси. Непересічна роль бору проявляється в (Handbook...,2015; Господаренко, 2018):

- регуляції синтезу стимуляторів та інгібіторів росту рослин;
- покращенні використання рослиною кальцію з ґрунту;
- посиленні утворення бульбочок на коренях бобових;

– регуляції синтезу і транспорту вуглеводів, ростових речовин, аскорбінової кислоти від листя до органів плодоношення і коріння.

Надзвичайно важливу роль відіграє бор у процесах цвітіння і запилення. За його нестачі пилок втрачає життєздатність і процес запилення проходить не повністю. Яскравий приклад – череззерниця кукурудзи в умовах посухи. За нестачі бору цукри накопичуються в листках і слабо переміщуються в товарну частину врожаю. Зі специфічних симптомів нестачі бора першими проявляються гальмування і ненормальний розвиток точок росту, блакитно-зелене забарвлення молодого листя і погіршення утворення плодів. Особливо чутливими до нестачі бору є соняшник, люцерна, кормові коренеплоди, льон, рис, кормова капуста, овочеві культури, цукровий буряк (Handbook...,2015; Господаренко, 2018).

Концентрація бору в ґрунтових розчинах досить висока – 100-1000 мкг/л, але завдяки великій рухливості елемента він легко вимивається в умовах помірного клімату, а тому створенню дефіциту бору в рослинах сприяє як недолік вологи, так і велика кількість опадів. Сумарний уміст бору в найбільш родючому шарі ґрунту може коливатися від 1 до 467 мг/кг, а в середньому цей показник коливається в межах 9-85 мг/кг.

Це єдиний елемент, який може використовуватися рослинами у вигляді молекули (борної кислоти), а не іона. У ґрунті бор може бути як в органічній (10-25 %), так і в мінеральній формі(75-90 %). У найдоступніших для рослин ґрунтових розчинах цей мікроелемент міститься у вигляді борної кислоти. Рослини можуть засвоювати бор з його водорозчинних сполук і сполук, розчинних у слабких кислотах. Розчинність солей бору залежить від реакції середовища і підвищується зі зростанням його підкислення (Handbook...,2015).

Ґрунти легкого гранулометричного складу характеризуються низьким умістом бору. Дефіцит його також спостерігаємо в разі застосування високих норм азотних і калійних добрив та на перевапнованих ґрунтах. Причиною цього є порушення балансу в ґрунтового розчині між іонами-антагоністами

калію і бору. Також гальмує надходження бору в рослину зростання концентрації кальцію в ґрунтовому розчині. На рухливість бору в ґрунті та засвоюваність його рослинами впливає температурний режим ґрунту та вміст органічної речовини (Handbook...,2015).

Борні добрива вносять як в основне удобрення, так і припосівне, і в підживлення та використовують переважно комплексні сполуки – бормагнієве добриво (2,3 % бору), борсуперфосфат гранульований (0,2 % бору), а також інколи, борну кислоту технічну (17,3 % бору) (Швартау, Гуральчук, 2009).

Водночас бормагнієве добриво та борсуперфосфат мають низьку розчинність, що суттєво зменшує їхню ефективність, особливо за використання цих сполук у позакореновому підживленні. Для підживлень пропонуються препарати бору на основі розчинника моноетаноламіну, які гарантовано забезпечують абсолютну доступність бору для рослин (зокрема Спідфол Бор (17 % бору) та Паверфол Борон (10,9 % бору). Бор також наявний в багатокомпонентних комплексних добривах, які використовуються для позакоренових підживлень та фертигації (наприклад, сімейство добрив Novalon, з умістом бора в 0,03 %) (Терратарса, 2020).

Хлор та хлорні добрива

Хлор (Cl) є необхідним компонентом у живленні рослин. Критичний рівень дефіциту хлору становить 0,2 % сухої маси рослини, а у буряка цей показник становить 0,7-1,7 мг/кг сухої маси листя. Середні концентрації хлору в рослинах становлять 2-20 мг/кг сухої маси. Водночас реальні потреби рослинного організму в цьому елементі на 1-2 порядки нижче. У поєднанні з лужними та лужноземельними металами хлор концентрується в вакуолях і сприяє регулюванню осмотичних процесів в рослинах. Хлор також (Handbook..., 2015):

– бере участь в енергетичному обміні рослин, активуючи як окисне фосфорування, так і фотофосфорування;

– є стимулятором діяльності ферментів і має важливе значення для зелених фотосинтезуючих рослин, допомагаючи їм відновлюватися після грибкових інфекцій;

– позитивно впливає на функціонування кореневої системи.

Добре відгукуються на цей елемент селера, шпинат, редис, цукрові і кормові буряки. Для таких культур можна застосовувати хлорвмісні добрива, особливо з огляду на той факт, що хлористий калій є найдешевшим калійним добривом. В оптимальних концентраціях хлор має здатність підвищувати імунітет овочевих культур (томатів) і знижувати кількість нітратів у їхніх плодах (Handbook..., 2015).

Менш прихильні до хлору злакові, деякі овочеві культури і трави. А такі культури, як гречка, льон, люпин, картопля, гарбуз, тютюн, томати, квасоля, виноград, цитрусові, а також плодово-ягідні рослини негативно реагують на підвищений уміст хлору в ґрунті та відносяться до хлорофобних. Надлишок хлору викликає у них уповільнення зростання листя, тканини рослин стають грубими, тверднуть стебла. Особливо чутливі до хлору огірки, а тому вміст хлоридів у ґрунтового розчині повинно бути для них втричі менше, ніж для інших овочевих культур.

Уміст хлору в ґрунтах становить у середньому 0,01 %. Переважно він міститься там у складі добре розчинних сполук, завдяки чому легко надходить у рослини. Кількість хлору в різних типах ґрунтів залежить від складу ґрунтоутворних порід і кліматичних особливостей. У вигляді сполук хлор міститься у кислих вивержених породах (граніти) і в природних хлоридах (кухонна сіль). Його поповнення в ґрунтах відбувається в процесі вивітрювання мінералів, випадання опадів (особливо в приморських районах і на територіях, де розташовані переробні підприємства хімічної промисловості). Накопичення хлору в верхніх ґрунтових шарах при посушливому кліматі може викликати хлоридне засолення грантів, яке перешкоджає нормальному поглинанню рослинами води та інших мінеральних речовин (Меліорація ґрунтів..., 2015).

Поповнення хлором ґрунту відбувається внаслідок унесення хлорвмісних мінеральних добрив насамперед хлористим калієм (KCl, 47 % Cl). Це добриво рекомендується вносити під коренеплоди, капусту та інші хлорофільні рослини. Необхідно також пам'ятати, що хлор із калійних добрив підвищує кислотність ґрунтового розчину, що сприяє зменшенню корисної дії калійних і азотних добрив. Іншими можливими добривами, що містять хлор є хлористий натрій (NaCl), який містить 62 % хлору, хлористий кальцій (CaCl₂) з 64 % хлору та бішофіт або хлорид магнію (MgCl₂), який містить 90 % хлору.

Мідь та мідні добрива

Середній уміст міді в рослинах 0,0002 %, або 2 мг на 1 кг маси, і залежить від їхніх видових особливостей та ґрунтових умов.

У рослинній клітці близько 2/3 міді може міститися в нерозчинному, зв'язаному стані. Мідь у рослинах відіграє важливу роль. Зокрема мідь (Handbook..., 2015):

- уходить до складу ферментів, що відіграють важливу роль в окисно-відновних процесах, які поліпшують інтенсивність фотосинтезу, сприяють утворенню хлорофілу, позитивно впливають на вуглеводний та азотний обміни, підвищують стійкість рослин до грибних і бактеріальних захворювань;

- під її впливом збільшується вміст білку в зерні, цукру в коренеплодах, жиру в насінні олійних культур, крохмалю в бульбах картоплі, цукру та аскорбінової кислоти – у плодах і ягодах.

Мідь не підлягає процесу реутилізації. Нестача міді за ознаками часто збігається з нестачею цинку, а на піщаних ґрунтах – також і з нестачею магнію. Унесення високих норм азотних добрив посилює потребу рослин в міді, спричинює загострення ознак її нестачі. Найчутливіші до нестачі міді овес, ячмінь, пшениця, рис, яблуня, груша, слива, абрикос, цитрусові; досить чутливі – просо, соняшник, горох, буряк, картопля, овочеві культури, льон,

лучні, бобові та злакові трави; менш чутливі – жито, кукурудза, гречка, капуста. За відсутності візуальних ознак дефіциту мікроелемента істотно знижується врожай культур. Застосування мідних добрив на ґрунтах, бідних на мідь, підвищує врожайність зернових культур на 2-3 ц/га. Характерною особливістю дії міді є збільшення стійкості рослин до грибних і бактеріальних хвороб (Handbook..., 2015).

Валовий уміст міді в різних ґрунтах коливається від 0,1 до 150 мг на 1 кг ґрунту. Найбільш бідні міддю верхові торфовища, дерново-карбонатні ґрунти, болотні та заболочені, піщані та супіщані (Господаренко, 2018).

У рослинництві використовують як добриво мідний купорос (сульфат міді) $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ (23-24 % Cu) та піритні (колчеданні) недогарки Cu (56-58 % K_2O та 1 % Cu) (Швартау, Гуральчук, 2009). Ці добрива використовуються для передпосівного оброблення посівного матеріалу, основного внесення (1,5-2,0 кг/га) та позакореневого підживлення (переважно сульфат міді, з концентрацією в водному розчині 0,05 %).

Також мідні добрива виготовляють у вигляді хелатних сполук (наприклад, Квантум-хелат міді (Cu міститься в ньому 6,5 %)). Мідь також уходить до складу деяких комплексних хелатних добрив (Novalon (0,4-0,5 % Cu), Powerfol (0,04-0,1 % Cu) тощо), які зазвичай використовують для позакореневого підживлення сільськогосподарських культур та фертигації (Терратарса..., 2020).

Залізо та залізні добрива

Залізо вважається одним із найважливіших мікроелементів, які забезпечують життєдіяльність рослин. Воно бере участь (Handbook..., 2015):

- у процесі утворення хлорофілу;
- під час фотосинтезу, коли органічні комплекси заліза беруть участь у перенесенні електронів;
- у відновленні нітритів і сульфатів, де залізовмісні білки беруть участь;

– у метаболізмі нуклеїнової кислоти.

Особливо чутливі до нестачі заліза кукурудза, бобові, картопля, капуста, помідор, виноград, плодови, цитрусові та декоративні культури. Характерною ознакою нестачі заліза в живленні рослин є захворювання молодих листків на хлороз. Вони набувають жовто-білого забарвлення, старі листки стають світло-зеленими. Рослини відстають у рості, квітки формуються дрібними, а в окремих випадках відмирають навіть молоді пагони. За гострої нестачі заліза неминуче настає загибель рослин (Handbook..., 2015).

Валовий уміст заліза складається з двох основних груп сполук: силікатного, який уходить до складу кристалічних ґраток первинних і вторинних мінералів та рухомих форм, які не містяться в кристалічних ґратках мінералів. Щодо вмісту заліза рухомих форм, то його концентрація в ґрунті коливається в межах від 478,5 до 1558,2 мг/кг.

У важких за гранулометричним складом ґрунтах заліза міститься більше, ніж у піщаних. Найчастіше нестача заліза для рослин спостерігається в карбонатних та перевапнованих ґрунтах. Перешкоджають засвоєнню заліза високий уміст у ґрунті іонів-антагоністів: фосфору, кальцію, міді, цинку. Сприяють швидкому засвоєнню рослинами заліза висока кислотність ґрунту (рН менш ніж 5,5) та оптимальний уміст у ґрунті калію і молібдену, що зумовлює синергію цих елементів живлення залізом.

Як залізні добрива використовують залізний купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (містить 20 % заліза) і хелати заліза. Як важлива складова залізо входить також в різноманітні комплексні хелатні добрива (Novalon foliar, Novalon seed treatment, Мікрокат залізо, Цеовіт залізо, Квантум халат заліза тощо).

Залізні добрива використовують переважно для позакореневого підживлення, оскільки в ґрунті мінеральні форми заліза швидко зв'язуються в малодоступні для рослин сполуки. На лужних ґрунтах хелати заліза утворюють стійкі, але розчинні та швидкозасвоювані рослинами сполуки. Водночас широке внесення хелатів заліза у ґрунт стримується їхньою високою

вартістю, тому хелатні форми залізних добрив найчастіше застосовують лише для позакореневого підживлення.

Марганець та марганцеві добрива

Уміст марганцю в рослинах становить близько 0,001 % або 10 мг на 1 кг сухої маси. Основна кількість його локалізована в листках і хлоропластах. Марганець у рослинах відіграє надзвичайно важливу роль, зокрема (Handbook..., 2015):

- активує дію різних ферментів або входить до складу ферментів, які беруть активну участь в окисно-відновних процесах, фотосинтезі, диханні тощо;

- разом із кальцієм забезпечує вибіркоче засвоєння іонів із навколишнього середовища;

- знижує транспірацію, підвищує здатність рослинних тканин утримувати воду, пришвидшує загальний розвиток рослин, позитивно впливає на їхнє плодоношення;

- посилює синтез вітаміну С, каротину, глютаміну, підвищує вміст цукру в коренеплодах буряку цукрового і в помідорі, а також вміст крохмалю в бульбах картоплі;

- марганець бере участь в окисненні аміаку та відновленні нітратів, що покращує процес азотного живлення рослин.

При гострій нестачі марганцю дуже швидко з'являються бурі некротичні плями. Листки відмирають навіть швидше, ніж за нестачі заліза. У тканинах рослин при цьому підвищується концентрація основних елементів, порушується оптимальне співвідношення між ними. Нестачу цього елемента інколи пов'язують з низкою захворювань – появою хлорозу та сірої плямистості у злаків і плямистої жовтяниці в цукрового буряку. Були також зафіксовані випадки нездатності до плодоношення у редису, капусти, томатів, гороху (Handbook..., 2015).

Попри на значний уміст марганцю в ґрунтах (від 100 до 4000 мг/кг) він здебільшого міститься у вигляді важкорозчинних сполук. Рослини засвоюють із ґрунту лише двовалентний марганець, а тому ступінь забезпеченості та рівень засвоєння марганцю рослинами тісно пов'язані з реакцією ґрунтового розчину. У нейтральних і слабколужних ґрунтах він міститься в малодоступних для рослин три- та чотиривалентних сполуках. Ознаки дефіциту марганцю в рослинах спостерігаються, насамперед, на карбонатних і сильно вапнованих ґрунтах та на деяких торф'яних ґрунтах із $\text{pH} > 6,5$. Це пояснюється тим, що при підвищенні показника pH ґрунтового розчину на одиницю вміст марганцю розчинних сполук знижується в десять разів, а тому кислі ґрунти багатші на вміст рухомого двовалентного марганцю ніж нейтральні або лужні ґрунти. Більш того, на сильно кислих ґрунтах можливе накопичення марганцю в токсичних кількостях.

Як добриво використовуються відходи підприємств марганцево-рудної промисловості з умістом Mn до 10-18 %, сірчаноокислий марганець (MnSO_4) та різні комплексні добрива, зокрема, марганцевий суперфосфат, а також різноманітні хелатні комплексні добрива, що містять марганець і які використовують для позакореневого підживлення (Швартау, Гуральчук, 2009).

Марганцеві добрива найефективніші на чорноземах звичайних, карбонатних і вилужених та солонцюватих і каштанових ґрунтах, на кислих ґрунтах після вапнування за використанням їх під овес, пшеницю, кукурудзу, соняшник, картоплю, коренеплоди, люцерну, плодоягідні та овочеві культури.

Молібден та молібденові добрива

У рослинах міститься 0,1-300 мг молібдену на 1 кг сухої маси. Він локалізується в молодих складових рослин. Більше його міститься в листках, ніж у стеблах та коренях. Кореневою системою рослин він поглинається у вигляді аніону MoO_4^{-2}

У рослинах молібден виконує низку важливих функцій. Зокрема (Handbook..., 2015):

- відіграє значну роль у різноманітних біохімічних процесах, таких, як біосинтез амінокислот, фіксація молекулярного азоту бульбочковими бактеріями, біосинтез нуклеїнових кислот і білків;
- уходить до складу ферменту нітротредуктази;
- бере участь у відновленні нітратів до нітритів.

При різкому дефіциті молібдену гальмується ріст і розвиток рослин, не розвиваються бульбочки на коренях бобових рослин, рослини мають блідо-зелене фарбування, листові пластинки деформуються і листки передчасно відмирають. Найчутливіші до нестачі цього елемента бобові культури, деякі рослини родини Капустяних (капуста цвітна і білоголова, салат, гірчиця), цитрусові та буряк. Позитивно реагують на наявність молібдену в ґрунті пшениця, овес, кукурудза, льон, помідор, картопля, гречка. Під його впливом значно підвищується якість продукції, збільшується вміст білка в зерні та сіні бобових трав, вітамінів і цукрів в овочах тощо.

У ґрунті молібден міститься в окисненій формі у вигляді молібдатів кальцію й інших металів. Кількість його коливається від 0,20 до 5,00 мг/кг валових форм і 0,10-0,27 мг/кг рухомих форм. Найвищий вміст молібдену в чорноземних ґрунтах становить в середньому 4,6 мг/кг. Найбільш бідні їм засолені ґрунти (0,95 мг/кг), не набагато багатшими є темно-каштанові, дерново-підзолисті та сірі-лісові, особливо утворені на піщаних субстратах (1,1 мг/кг). У кислих ґрунтах молібден створює погано розчинні сполуки з алюмінієм, залізом, марганцем, а в лужних – гарно розчинні сполуки молібдату натрію.

Зараз на ринку мінеральних добрив є такі сполуки:

- молібдат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ (53,8 % Mo);
- молібдат натрію Na_2MoO_4 ;
- суперфосфат простий та подвійний гранульований із молібденом.

Молібденові добрива використовуються в розчинах для замочування насіння перед посівом, а також у бакових сумішах під час позакоренових підживлень.

Для позакоренових підживлень та фертигації використовують комплексні хелатні добрива з молібденом. Наприклад, Novalon Seed Treatment спеціальний передпосівний комплекс для оброблення насіння, який також може бути використано також для позакоренового підживлення. Уміст молібдену в цьому добриві 0,01 %. (Терратарса..., 2020).

Нікель та нікелеві добрива

Нікель міститься в рослинах у настільки низьких концентраціях, що тільки всередині 70-х років стало можливим визначити його наявність у рослинах. Але сьогодні нікель визнаний необхідним елементом живлення рослин.

Нікель є незамінним компонентом ферменту уреазу, який відповідає за гідроліз сечовини. Позакореневі обробки нікелем підвищують активність уреазу та запобігають накопиченню сечовини. Стимулюючий ефект нікелю позначається на ефективності процесів фіксації азоту, тому бобові особливо мають велику потребу в цьому елементі. Були отримані нові дані про захисні функції нікелю – він може мати фунгіцидний ефект, безпосередньо впливаючи на патогени під час внесення його в ґрунт (Handbook..., 2015).

Середні показники вмісту нікелю в рослинах становлять 0,05-5,0 мг/кг сухої маси (в травах – 0,1-1,7, конюшині – 1,2-2,7, овочах – 0,2-4,0, зернових – у середньому 0,5 мг/кг). При нестачі нікелю сечовина накопичується в тканинах листків, спочатку в кінчиках, і руйнує клітини, тому характерним симптомом дефіциту нікелю є хлороз, а потім некроз кінчиків листя. Дефіцит нікелю в культурних рослинах настає при його вмісті менше, ніж 0,1 мг/кг сухої речовини. Фактори, які можуть спричинити дефіцит нікелю в рослинах, це:

- азотне живлення тільки карбамідом;

- щорічні високі норми внесення Zn, Cu, Mn, Fe, Ca і Mg;
- рН ґрунту вище 6,7.

У верхніх горизонтах ґрунту нікель міститься у вигляді органічно пов'язаних форм зокрема легкорозчинних хелатів. Однак форми нікелю, пов'язані з оксидами заліза і марганцю, також добре доступні рослинам. Уміст нікелю в ґрунтах світу становить 1-450 мкг/кг, середнє значення – близько 20 мкг/кг повітряно-сухого ґрунту. Розчинні форми нікелю активно адсорбуються корінням рослин. Характер поглинання залежить як від ґрунтових, так і рослинних чинників, але найсильніше від рН ґрунтового розчину. Як визначено вище, при рН більше 6,7 надходження нікелю в рослини утруднюється.

Потреби в цьому елементі для більшості однорічних рослин становлять близько 0,5 кг/га. Нікель безпосередньо не вносять у ґрунт, де він необмінно закріплюється ґрунтовими частинками та стає важкодоступним для поглинання рослинами. Позакореневе підживлення розчином сірчанокислового нікелю є найпростішим і ефективним способом унесення цього елемента. Іншим джерелом можуть бути деякі види фосфорних добрив.

Нікель може розглядатись як поллютант (забруднювач), що надходить у навколишнє середовище з викидами металообробних підприємств та під час спалювання нафти та газу. Багато нікелю в доступній формі містять стічні води.

Цинк та цинкові добрива

Уміст цинку в рослинах становить 15-60 мг/кг сухої речовини, і він відіграє надзвичайно непересічну роль. Зокрема цинк

- активує синтез цукрів і крохмалю, збільшується загальний уміст вуглеводів, білкових речовин, аскорбінової кислоти і хлорофілу;
- підвищуються посухо-, жаро- і холодостійкість рослин;
- уходить до складу окисно-відновних, антиоксидантних ферментів і багатьох білків;

- впливає на стабільність клітинних мембран;
- визначає запилення та життєздатність насіння.

Найчутливіші до нестачі цинку плодови та цитрусові культури, виноград, кукурудза, хміль, соя, льон, томати, часник, сорго, бобові; менш чутливі – буряк, соняшник, конюшина, цибуля, картопля, капуста, огірок, ягідники; майже нечутливі – овес, жито, пшениця, ячмінь, морква. Особливо велике значення має цинк для розвитку рису, що пов'язано зі специфікою вирощування цієї культури. За нестачі цинку в ґрунті сформовані листки рослин набувають жовто-зеленого забарвлення, укриваються плямами і відмирають.

Майже 60 % ґрунтів України характеризуються низькою забезпеченістю рухомими формами цинку, що обмежує потенціал урожайності багатьох сільськогосподарських культур. Найбільший валовий уміст цинку в чорноземах (24-90 мг на 1 кг), а найменший – у дерново-підзолистих, піщаних, слабо лужних або близьких до нейтральних і карбонатних ґрунтах (20-67 мг на 1 кг ґрунти). Але навіть за достатньої кількості рухомого цинку в ґрунті ціла низка чинників заважає рослинам повноцінно засвоїти наявний цинк із ґрунту. Це насамперед низька температура ґрунту, високий рівень рН, вапнування або високий уміст карбонатів, ущільнений ґрунт і низький уміст органічної речовини, що можуть знижувати рухомість та засвоюваність цього елемента кореневою системою.

Високі норми фосфорних і азотних добрив, значне збільшення глибини оранки посилюють ознаки нестачі цинку в рослині. Особливо цинкові добрива потрібні в разі внесення високих норм фосфору (тому що фосфати цинку малорозчинні) і вапна за низької температури ґрунту. Сприяють засвоєнню цинку кислотність ґрунту на рівні рН 5,0-6,5 та оптимальний вміст іонів-синергетиків цинку – калію і молібдену. Слід також урахувати, що цинк майже не піддається реутилізації.

Як цинкові добрива застосовують деякі відходи промисловості:

- технічний сірчаноокислий цинк ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 22-36 % Zn);
- полімікродобриво (ПМУ-7) – відходи від виробництва цинкових білил (20-40 % Zn).

Ці добрива використовують для обробітку насіння та позакореневого підживлення.

Цинк також входить в склад різноманітних хелатних добрив (Хелатин цинк (16 % Zn), Мікрохелат цинку (15 % Zn), Novalon foliar (0,035-0,06 % Zn), Powerfol (0,85-3,0 % Zn) тощо), які найчастіше використовують для позакореневого підживлення та фертигації.

Алюміній та алюмінієві добрива

Алюміній входить до складу тканин і міжклітинних розчинів у рослинах, контролюючи їхні колоїдні властивості, бере участь у ферментативних процесах (і як активатора, і як інгібітора), у деяких овочевих культур відносний надлишок алюмінію сприяє підвищенню їх солестійкості.

У ґрунтах алюміній зазвичай міститься в формі важкорозчинних сполук, а розчинні його форми зустрічаються лише в ґрунтах з кислою реакцією. Дія солей алюмінію на рослини неоднозначна і залежить від ґрунтових особливостей. Так, однакову кількість цього мікроелемента, внесеного на чорноземних ґрунтах і на підзолистих, практично не мало ніяких наслідків у першому випадку і справляло негативний вплив на культури в другому.

Вапнування ґрунтів, що містять надмірну кількість алюмінію, допомагає знизити їх кислотність і усунути надлишки цього металу в ґрунтового розчині. Застосування в цьому випадку препаратів, що містять магній, дозволить отримати більш надійний результат. Рекомендується також застосування фосфорних добрив. У цьому випадку фосфор пов'язує вільний алюміній, що призводить до утворення нерозчинних солей і нейтралізує шкідливий вплив цього мікроелемента.

Кобальт та кобальтові добрива

У рослинах уміст кобальту (Co) не більш 0,00002 % від сухої маси, причому, біля половини міститься в іонній формі. Кобальт може вільно пересуватися з листків в інші органи рослини, що є важливою властивістю, яка робить ефективним позакореневе підживлення цим елементом. В рослині кобальт концентрується в генеративних органах, у пилку і прискорює його проростання.

Цей мікроелемент живлення (Handbook..., 2015, Госпадаренко, 2015):

- є складовою частиною вітаміну B12;
- позитивно діє на формування азотофіксуючих бульбочкових бактерій у бобових культур.

При недостатній кількості кобальту ознаки подібні до азотного голодування, при цьому ослаблюється інтенсивність фізіолого-біологічних процесів (уповільнення росту, розвитку рослини, знижується активність азотфіксуючих бульбочкових бактерій та зниження врожайності), порушення біосинтезу білків (кобальтовий хлороз – пожовтіння листків). Зернові та бобові культури найбільш чутливі до дефіциту у ґрунті кобальту.

У ґрунті кобальт міститься в двовалентній формі і здатний давати комплексні сполуки з органічними речовинами. Значна його частина міститься в ґрунті в розсіяному вигляді в гратках алюмосилікатів, інша частина зв'язана із силікатами в результаті обмінної сорбції. Середній уміст кобальту в ґрунтах – близько $3 \cdot 10^{-7}$ %.

Як кобальтові добрива використовують сульфат $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ і хлорид кобальту CoCl_2 , які застосовують для позакореневого підживлення та обробки насіння перед посівом (Швартау, Гуральчук, 2009).

Кремній та кремнієві добрива

Кремній (Si) – важливий елемент мінерального живлення сільськогосподарських культур. Кремній виконує функції захисту культур від різного роду зовнішніх стресів – високої або низької температур,

пошкодження шкідниками, браку ефективних опадів, нестачі освітлення, засолення ґрунту тощо (Erstein, 2009; Handbook..., 2015).

Незважаючи на те, що до складу ґрунту входять силікати і алюмосилікати, у яких міститься дуже багато кремнію, культури постійно потерпають від його нестачі. Це зумовлено, з одного боку, природним підкисленням ґрунтового розчину, а з іншого – підкисленням ґрунтового розчину мінеральними добривами, які сприяють утворенню нерозчинних сполук кремнію з алюмінієм, залізом та марганцем. Крім того, брак рухомих сполук кремнію (SiO_3^{-2} та SiO_4^{-4}) в ґрунті може спричинити недостатнє застосування органічних добрив, ущільнення ґрунту і низька мікробіологічна активність ґрунту, яка викликана недостатньою кількістю органічної речовини в ґрунті.

Найчастіше подолати дефіцит кремнію може вчасне та системне застосування органічних добрив та доведення кислотності ґрунту до нейтральної або й слабколужної реакції.

При сильному дефіциті кремнію найчастіше використовують органічні добрива та силікат кальцію (CaSiO_3), який є шламом під час виробництва, наприклад, сталі, та добре розчиняється. Іншими джерелами кремнію є сполуки, які інколи використовують як добрива. Це гідрат силікату кальцію ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), силікагель та фосфорне добриво термофосфат ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + \text{SiO}_2$).

Кремній також уходить до складу багатфункціональних рідких кремнієво-калійних добрив (наприклад, Авангард Кремній Біо), упровадження яких показують високу біологічну та економічну ефективність на зернових і зернобобових культурах, кукурудзі, ріпаку, картоплі, овочевих культур.

Натрій

Кількість натрію в рослинах коливається у межах 0,001-0,04 %. Натрій бере участь в транспортуванні корисних речовин через клітинні мембрани, бо

є одним з компонентів так званого натрій-калієвого насосу. Крім того, він регулює транспорт вуглеводів у рослинах. За умови гарної забезпеченості культур натрієм підвищується їх зимостійкість.

Недолік елемента сприяє погіршенню утворення хлорофілу. Можливо також поява хлорозу і некрозу в листі рослин.

Серед польових культур, що містять найбільшу кількість цього мікроелемента, можна виділити всі види буряків (цукровий, кормовий і столовий), кормову моркву, турнепс, люцерну, капусту. З урожаєм кормових буряків із ґрунту виноситься натрію до 300 кг/га. Для цукрового буряку цей показник дещо менший – до 170 кг/га.

Валовий уміст натрію в ґрунтах становить приблизно 1,3 %. Основні його запаси представлені різними силікатними важко розчинними мінералами. Він зосереджений переважно у первинних мінералах (польовий шпат, слюда та ін.). У ґрунтового розчині натрій входить до складу водорозчинних солей (карбонат натрію, гідрокарбонат натрію, сульфат натрію, хлорид натрію, нітрат натрію). Завдяки високій розчинності та рухливості натрій легко виноситься з ґрунтів за умови достатньої вологості. У разі посушливих кліматичних умов цей елемент накопичується в ґрунті, викликаючи його засолення.

Ванадій

Недолік цього елемента викликає значне зменшення кількості хлорофілу в рослинах, що візуально виявляється в зниженні яскравості забарвлення листя. І хоча потреба в ньому у рослин незначна, його мінімальну необхідну кількість становить 2 мг/кг сухої маси рослини.

Уміст ванадію в рослинах (0,1-0,2 %) значно вище, ніж в організмах тварин. Такі культури, як соя, петрушка, кріп, злаки відрізняються великою кількістю цього мікроелемента.

Ванадій поглинається культурами з ґрунту, де його природний уміст може становити від 50 до 260 мг/кг. Найвищі показники притаманні

гумусовому шару. Найнижчим умістом ванадію відрізняються торф'янисті ґрунти (5-22 мг/кг). У чорноземах кількість ванадію може коливатися в межах 67-113 мг/кг. Трохи нижче цей показник для каштанових ґрунтів (35-91 мг/кг).

Селен та селенові добрива

Селен (Se) – елемент, який за своїм значенням для росту і розвитку рослин наближається до таких найважливіших мікроелементів, як мідь або цинк. Цей елемент живлення має такі особливості:

- бере участь у реакціях утворення хлорофілу, синтезу трикарбонових кислот, у метаболізмі довго ланцюгових жирних кислот;
- протидіє поглинанню і транспортуванню важких металів;
- підвищує стійкість до водного стресу, соле- і посухостійкість.

Його наявність у ґрунтах є необхідною умовою нормальної життєдіяльності людського організму. Багатьма дослідженнями доведено, що збільшення виникнення інфарктів, інсультів і онкологічних захворювань у населення певної території пов'язано з низькою забезпеченістю ґрунтів селеном, оскільки добова норма споживання на людину часто нижче оптимальної (0,05-2 мг). Уважається, що єдиним методом усунення дефіциту цього елемента є отримання збагаченої селеном продукції рослинництва.

Основні ознаки дефіциту цього елемента виявляється в тому, що сільськогосподарські рослини відстають у розвитку, виникають проблеми із цвітінням та формуванням плодів. На молодих листках з'являються хлорозні плями, із часом листя в'яне, сохне і відпадає. Відзначається в таких рослин і втрата тургору.

Здебільшого ґрунти містять 0,2-0,4 мг селену на кілограм ґрунту. Але найменша кількість (до 0,17 мг) характерна для підзолистих і дерново-підзолистих ґрунтів, а також для ґрунтів, які утворилися на піщаних та супіщаних субстратах. Максимальні концентрації селену (від 0,5 до 0,7 мг на кілограм) виявлені в торф'яних, оглеєних, карбонатних ґрунтах.

Як селеновмісне добриво для позакорневих підживлень і оброблення насіння в світовій практиці застосовують солі селенистої кислоти, зокрема селеніт натрію (Na_2SeO_3).

16. КОМПЛЕКСНІ МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА

Загальні положення

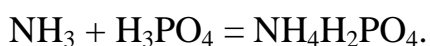
Комплексними мінеральними називають добрива, які містять у різному співвідношенні два, три або більше елементів живлення: азот, фосфор, калій та (або) мікроелементів. Застосування комплексних добрив економічно вигідніше, оскільки на практиці треба вносити практично одночасно не один елемент живлення, а два, три або більше. Водночас окреме внесення кожного добрива зумовлює додаткові витрати коштів та праці.

Раніше (гл. 10) була розглянута класифікація комплексних добрив в залежності від способів отримання і були виділені кілька груп добрив – *складні, комбіновані (або складно-змішані), змішані та суспензійні.*

Складні комплексні мінеральні добрива

Якщо добриво містить кілька елементів живлення та отримане внаслідок певної хімічної реакції в заводських умовах та описується одною хімічною формулою, то його називають *складним*. Складні добрива використовують у вигляді однорідних часточок, кристалів або гранул і мають однаковий або близький хімічний склад.

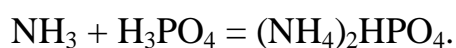
Амофос ($NH_4H_2PO_4$) (моноамонійфосфат (МАФ) monoammonium phosphate (MAP)). Це однозаміщений фосфат амонію, а у ньому може міститися невелика кількість діафосфату амонію $(NH_4)_2HPO_4$. Подвійне азотно-фосфорне добриво, складові якого, іони амонію і фосфату, легко засвоюються рослинами на всіх ґрунтах. Амофос містить 11-12 % N, 46-50 % P_2O_5 (Добрива..., 2011). У ньому практично немає баласту. Технологія виробництва його проста: аміак нейтралізують фосфорною кислотою:



Головний недолік амофосу – нестандартне співвідношення між азотом і фосфором (1:4 або навіть 1:5), що обмежує широке застосування цього добрива у виробництві, але може бути важливим компонентом тукоsumішей

(змішаних комплексних добрив), тому для отримання кращого співвідношення азоту та фосфору до амофосу необхідно додавати певну кількість моноазотного добрива, наприклад – аміачної селітри (NH_4NO_3) та (або) сечовини ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Добриво мало гігроскопічне і добре розчиняється у воді. Під час його застосування реакція ґрунтового розчину змінюється на слабо кислу, а тому амофос рекомендується використовувати для нейтральних і лужних ґрунтів, на початку сезону, коли потреба кореневої системи в фосфорі особливо висока. Можна також уносити амофос як припосівне (рядкове) добриво та для підживлення під усі культури.

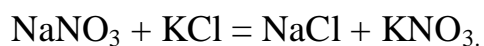
Діамофос (NH_4)₂*HPO*₄) діамонійний фосфат, ДАФ, diammonium phosphate (DAP). Виробництво діамофосу базується на насиченні аміаку вільною фосфорною кислотою:



У діамофосі міститься 18 % і більше азоту і близько 50 % P_2O_5 (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Це найбільш концентроване (68 % поживної речовини) з усіх складних добрив. Властивості та застосування діамофосу таке ж, як і амофосу. Але порівняно вузьке співвідношення азоту до фосфору (1:2,5) робить його більш універсальним.

Калійна селітра (KNO_3), *нітрат калію*, potassium nitrate. В природі зустрічається у вигляді мінералу нітрокаліту. В Індії наявне одне з найбільших родовищ цього мінералу, звідси друга назва – «індійська» селітра. Досить довго використовувався в піротехніці, зокрема як основний компонент чорного пороху.

У сучасній хімічній промисловості нітрат калію отримують декількома способами, але найбільш поширений так званий конверсійний спосіб отримання нітрату калію. Він базується на обмінному розкладанні хлориду калію і нітрату натрію:



Ця сіль містить близько 13 % N і до 45 % K_2O , не містить баластових речовин і відрізняється гарними фізичними властивостями. Як джерело калію

особливо важлива для культур, які чутливі до надлишкового хлору. Нітрат калію вноситься в ґрунт залежно від умісту в ньому калію та азоту. Водночас це добриво підходить для всіх типів ґрунтів, але особливо для дефіцитних на калій ґрунтів, які утворилися на піщаних та карбонатних субстратах. Під час внесення в ґрунти в регіонах із надмірним зволоженням потрібно враховувати високу ймовірність втрати азоту. Калієва селітра використовується для кореневого і некореневого підживлення протягом усього вегетаційного періоду.

Трансформація калієвої селітри в ґрунті зумовлена взаємодією з ґрунтовим розчином і ґрунтово-вбирним комплексом іонів калію та аніону азотної кислоти в складі речовини. Під час внесення в ґрунт добриво швидко розчиняється в ґрунтовому розчині. Катіони калію вступають у взаємодію з ГВК за двома типами поглинання: обмінного (фізико-хімічного) і необмінного (фіксації). Нітрати, як і в односкладних нітратних азотних добривах, швидко пересуваються водночас з ґрунтовою вологою і можуть бути поглинені рослинами або ґрунтовою мікрофлорою.

Широке співвідношення між азотом і калієм складає 1:3,5, що є головним недоліком цього добрива.

Фосфатамомагnezія ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$), магній-амоній-фосфат (МАФ). Це слабо розчинне складне добриво, яке містить 8 % N і 40 % P_2O_5 (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011), а також магній. Нітрифікація амонію цього добрива в ґрунтових умовах протікає так само швидко, як і нітрату амонію. Має важливе значення для землеробства закритого ґрунту.

Монофосфат калію (KH_2PO_4), дигідрофосфат калію, monopotassium phosphate (МКР). Містить близько 50 % фосфору і 33 % калію (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Випускається як порошкоподібним, так і в гранульованому вигляді. Гарно розчиняється в воді, гігроскопічний, не впливає на кислотність ґрунту. Часто використовується в землеробстві закритого ґрунту.

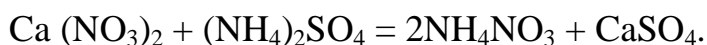
Комбіновані (або складно-змішані) мінеральні добрива

До комбінованих добрив належать комплексні мінеральні добрива, які отримують за єдиним технологічним процесом і які містять в одній гранулі два, три або більше основних елементів живлення рослин у вигляді різних хімічних сполук. Виробляють за допомогою спеціальної як хімічного, так і фізичного оброблення первинної сировини або різних одно- і двокомпонентних добрив. Співвідношення між елементами живлення в цих добривах визначається кількістю вихідних матеріалів під час їхнього виробництва. Для комбінованих добрив характерна висока концентрація основних поживних елементів і відсутність або мала кількість баластних речовин, що забезпечує значну економію праці та коштів для їхнього транспортування, зберігання і застосування.

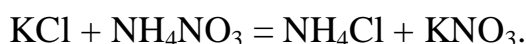
Нітрофоска та нітрофос. Технологія виготовлення нітрофоски є результатом кількох хімічних реакцій. Спершу вихідну фосфорну сировину обробляють азотною кислотою:



На другому етапі переводять кальцієву селітру в аміачну селітру. Для цього в суміш-пульпу, коли вона ще гаряча та кашкоподібна, вводять сульфат амонію. Він реагує з кальцієвою селітрою, утворюючи аміачну селітру і безводний сірчаноокислий кальцій:



Для одержання потрібного добрива на цій стадії процесу в пульпу додають у необхідній пропорції ще і хлористий калій. Частково він взаємодіє з аміачною селітрою з утворенням хлористого амонію і калійної селітри:



Далі утворену суміш висушують і гранулюють (Марка А). Це універсальне азотно-фосфорно-калійне добриво являє собою гранули світло-сірого або рожевого кольору. У них міститься $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NH_4NO_3 , NH_4Cl , KCl , KNO_3 , CaSO_4 та інші домішки, які були у вихідній фосфатній сировині. Негранульований варіант цього добрива у вигляді

порошку є маркою Б. Вміст трьох основних елементів живлення коливається в межах від 2 % до 52 % (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Наявність CaSO_4 дає можливість називати це добриво *сульфатною нітрофоскою*. Використовують для всіх ґрунтів. Співвідношення азоту, фосфору і калію в нітрофосці можуть бути різними, що визначає його використання як допосівне та припосівне добриво. «Класичною» можна вважати нітроамофоску, де всі три елементи містяться в рівному співвідношенні – по 16 %. Її можна використовувати на всіх типах ґрунтів, проте, якщо в ґрунті рослини відчувають нестачу того чи іншого елемента, краще застосовувати добриво зі зміненим співвідношенням азоту, фосфору і калію. Інші варіанти нітрофоски – 17:17:17; 15:15:15; 21:7:14; 10:20:20; 15:20:15; 12:24:12 (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Без калію добриво має назву нітрофос і має такі співвідношення азоту і фосфору – 23:17; 24:14; 20:20; 25:25; 28:14 (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011).

Нітроамофос ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) отримується як результат нейтралізації азотної та фосфорної кислот аміаком. У добриві присутня деяка кількість сірки. Випускають трьох марок: 23:23:0, 16:24:0, 25:20:0 (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). До його складу входять нітрати та різного ступеня заміщення фосфати амонію. Переважна більшість фосфору (>95 %) має водорозчинну форму. Нітроамофос використовується для вирощування всіх сільськогосподарських культур і ґрунтів за будь-яких способів унесення.

Нітроамофоска. Це складне азотно-фосфорно-калійне добриво, яке виробляється за тією же схемою, що нітроамофос, але з додаванням калію. Зазвичай джерелом калію є хлорид калію, і отримують нітроамофоску з різним співвідношенням між елементами живлення (16:16:16, 17:17:17, 10:22:18, 10:26:26, 13:19:19 тощо) (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Якщо джерелом калію є сульфат калію, то отримують без хлорну нітроамофоску.

Аммофоска. У цьому добриві, на відміну від нітроаммофоски, азот представлений тільки в амонійній формі, що робить його більш безпечним із погляду накопичення рослинами нітратів. До складу добрива входять азот (12 %), фосфор і калій (по 15 %), а також сірка (до 14 %), яка допомагає азоту переходити в засвоювану рослинами форму і покращує таким чином якість продукції (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011).

Карбоаммофоска. Містить азот в амідній і аміачній формах, а фосфор і калій – у водорозчинній формі. Карбоаммофоску одержують із сечовини, фосфорної кислоти, аміаку і солей калію. Вона містить до 60 % поживних речовин (20:20:20). Без додавання калію одержують карбоаммофос, який містить до 60 % поживних речовин (30:30) (Добрива..., 2011).

Фосфати сечовини. Фосфат сечовини одержують у процесі взаємодії термічної фосфорної кислоти та синтетичної сечовини. Виробництво базується на здатності останньої утворювати комплекси з фосфорною кислотою: $(\text{CONH}_2)_2 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (27:27). Добре розчиняється в воді. Можна додатково вводити аміак і додавати хлорид калію.

Нітроаммофоска-М. Комплексні мінеральні добрива з мікроелементами, які випускають у двох варіантах. У першому варіанті співвідношення азоту, фосфору і калію – 9:18:22, а також наявні мезо- та мікроелементи: Са – 20 %, Mg – 0,5 %, S – 3,0 %, Na – 0,5 %, Fe – 0,1 %, Mn – 0,04 %, Zn – 0,01 %, Cu, Co, Ni, Mo (Добрива..., 2011).. В. У другому варіанті співвідношення мікроелементів живлення 8:20:25, а вміст мезо- та мікроелементів такий: Са – 10 %, Mg – 0,5 %, S – 3,0 %, Na – 0,5 %, Fe – 0,6 (Добрива..., 2011). Добриво добре розчиняється в воді, має універсальне значення для всіх культур і ґрунтів. Але перший варіант, через великий уміст кальцію краще використовувати на кислих ґрунтах.

Змішані мінеральні добрива

Змішані добрива («тукові суміші») виготовляють механічним змішуванням кількох простих та (або) комплексних мінеральних добрив

Таблиця 16.1. Допустимі варіанти змішування різних форм добрив

Добриво	Аміачна селітра	Сульфат амонію	Карбамід	Суперфосфати	Амофос, діамофос	Нітрофос, нітроамофос	Нітрофоска, нітроамофоска	Карбоамофос, карбоамофоска	Калій хлористий
Аміачна селітра	+								
Сульфат амонію	-	+							
Карбамід	-	-	+						
Суперфосфати	0	+	0	+					
Амофос, діамофос	+	++	+	+	+				
Нітрофос, нітроамофос	+	+	-	+	+	+			
Нітрофоска, нітроамофоска	0	0	-	0	0	+	+		
Карбоамофос, карбоамофоска	-	0	0	0	0	-	-	+	
Калій хлористий	+	+	+	+	+	+	0	+	+

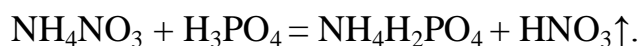
Примітки: «+» – змішувати можна; «0» – змішувати можна перед унесенням у ґрунт; «-» – змішувати не можна.

(Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Така процедура буде ефективною, коли треба одночасно вносити на великі площі кілька елементів живлення з попередньо визначеним співвідношенням. У цьому разі очевидна господарська та агрономічна ефективність такого заходу. Слід зазначити, що такі механічні суміші виготовляють без істотних хімічних перетворень вихідних компонентів. Змішуються як порошкоподібні субстрати так і гранульовані. Є певні вимоги та обмеження щодо механічного змішування добрив (табл. 16.1).

Однією з головних вимог до гранульованих сумішей є одержання добрив, які не злежуються та придатні до механізованого розсіву. Для виготовлення сумішей найчастіше використовують такі добрива: сечовина,

аміачна селітра, подвійний і простий суперфосфат, амофос, хлористий калій. Вологість аміачної селітри, сульфату амонію і карбаміду перед змішуванням має бути не вищою за 3 %, а калійних добрив – за 2 %, суперфосфату – за 5 %. Фізичні властивості змішаних добрив поліпшують уведенням добавок: крейди, вапняку, фосфорного борошна тощо. Водночас для поліпшення фізичних властивостей найпоширеніших сумішей добрив, до складу яких входить суперфосфат гранульований, для нейтралізації вільного компонента суперфосфату і зниження його гігроскопічності використовують доломітове борошно. Його обсяг може доходити до 10-15 % від загального обсягу суміші. Така суміш зберігає сипучість більше ніж 4-5 місяців.

Під час добору компонентів потрібно враховувати їхню хімічну взаємодію, зокрема щодо втрат елементів живлення, то під час змішування аміачної селітри із суперфосфатом, який містить вільну фосфорну кислоту, можуть виділятися пари азотної кислоти або оксиду азоту, що зумовлює втрати азоту:



Тому таке змішування можливе лише безпосередньо перед унесенням добрив.

Карбонат і бікарбонат кальцію, які мають лужну реакцію та металургійні основні шлаки, які містять вільний окис кальцію, не можна змішувати з фосфатами амонію і його поліфосфатами, а також з аміачною селітрою або сульфатом амонію через можливі втрати аміаку:



У разі змішування суперфосфату із сульфатом амонію суміш спочатку розігрівається і зволожується, а через деякий час після утворення гіпсу цементується, тому її перед унесенням у ґрунт потрібно подрібнювати та просіювати. Якщо компонентом змішаних добрив є карбамід, слід урахувати його високу реакційну здатність, особливо в сумішах з хлоридами. При цьому утворюється гігроскопічний хлорид амонію, що призводить до злипання і злежування суміші.

Рідкі комплексні добрива (РКД)

До цих добрив відносять розчини поживних солей, які мають у своєму складі два або три основних поживних елементи (N, P, K), мезоелементи живлення (Ca, Mg, S) та (або) мікроелементи (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Co тощо) (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011).

РКД мають такі переваги перед змішаними добривами:

- застосування РКД дозволяє механізувати трудомісткі процеси навантаження, розвантаження та внесення в ґрунт, при цьому цілком виключається ручна праця й істотно знижуються витрати;
- не мають у своєму складі вільного аміаку, тому їх транспортування не обов'язково повинно бути в герметично закритій тарі;
- можна вносити не тільки на визначену глибину в ґрунт, але і розприскувати поверхнею, а також уносити в рядки;
- за необхідністю в РКД можна вводити деякі пестициди, стимулятори росту тощо;
- поліфосфатні РКД мають пролонговану дію і не переходять в недоступну для рослин форму навіть на карбонатних ґрунтах;
- через вищий коефіцієнт отримання рослинами поживних речовин, вартість одиниці ефективної діючої речовини з РКД нижче ніж із традиційних твердих добрив;
- РКД рівномірно розподіляються поверхнею ґрунту, що дає, широкі можливості під час застосування в «точному» землеробстві;
- РКД прості в зберіганні, вибухо- та пожежонебезпечні, не отрутні.

Принципова схема одержання РКД полягає в нейтралізації аміаком ортофосфорної кислоти до рН, близького до 6,5. Сполукою, яка нейтралізує залежно від схеми одержання, служить або водний, або безводний аміак. Як джерело азоту для РКД можна застосовувати також нітрат амонію, сечовину або суміш нітрату амонію з сечовиною. У ході використання сечовини як азотного компонента виходить добриво більш концентроване ніж нітрат

амонію, особливо за наявності в розчині калію, тому що в результаті реакції утвориться нітрат калію – найменш розчинна сіль у рідких добривах.

Співвідношення азоту, фосфору і калію в РКД може бути різним, уміст азоту – 5-10 %, фосфору – 5-40 % і калію – 6-10 % (Добрива..., 2011). Найбільш популярним на ринку РКД є співвідношення азоту, фосфору і калію 9:9:9. Можливі також інші співвідношення – 7:14:7; 6:18:6; 8:24:0 тощо, тобто сумарний вміст поживних елементів в РКД, яке виготовляється на основі ортофосфорної кислоти, не перевищує 30 % (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011). Співвідношення 10:34:0 та 11:37:0 у РКД отримуються лише в тому разі, коли замість ортофосфорної кислоти використовують поліфосфатні кислоти. У цьому разі загальний вміст поживних речовин може сягати 50 % і більше.

Суспензійні комплексні добрива (СКД)

Під час виготовлення та зберігання РКД часто виникає проблема перенасиченості сольового розчину і випадіння осаду, особливо під впливом низьких температур, або в процесі порушення сольового балансу в розчині. Тому в РКД додають тонкодисперсні бентонітові або палигорськітові глинисті матеріали, які стабілізують пересичений розчин від випадання твердої фази в осад. На виготовлення 1 т таких добрив витрачається приблизно 9-22 кг колоїдної глини або кремнієвої кислоти. Активні речовини містяться цьому випадку у вигляді суспензії. Основною перевагою суспендованих комплексних добрив є широкі можливості варіювання вмісту активних речовин, порівняно висока їхня концентрація і нижча порівняно з РКД ціна. Негативними характеристиками СКД є нестабільність за умови тривалого зберігання, а також обмеження під час змішування з окремими агрохімікатами та добривами.

Для застосування суспензій необхідно використовувати спеціальний комплекс машин, які відрізняються від механізованих засобів для внесення звичайних РКД. Для визначення ємності складів, потреби в машинах для

транспортування і внесення важливе значення має щільність добрива, тому оцінювати СКД доцільно за концентрацією поживних речовин в одиниці об'єму (Швартау, Гуральчук, 2009; Добрива..., 2011).

Комплексні водорозчинні добрива для підживлень та фертигації

Використання комплексних добрив як сухих сумішей мінеральних солей має свої недоліки. Головна проблема полягає в тому, що елементи живлення, які в них містяться, погано засвоюються рослинами. Поживні елементи або неодмінно поглинаються ґрунтом, або вимиваються токами води, або випаровуються. До рослин доходить лише 20-30 % від загальної кількості поживних речовин таких добрив. Крім того, ці солі, за умови перевищення дози внесення, можуть бути токсичними для кореневих систем рослин, а їх розчини можуть викликати опіки листків у місцях прямого контакту.

Найбільша ефективність процедури удобрення буде спостерігатись або за умови позакореневого внесення водних розчинів або (за наявності зрошення) внесення поживних речовин разом із поливною водою. Такі процедури удобрення, завдяки «адресному» доставленню поживних речовин, приводить до повного засвоювання поживних елементів. Ці технології удобрення мають, окрім суто агрономічного ефекту, ще й економічні та екологічні зиски. А саме, виключається негативний вплив хімікатів на навколишнє середовище тому, що поживний розчин потрапляє безпосередньо або на лист рослини, або в прикореневий шар ґрунту. Окрім усього, у ході фертигації та позакореневого підживлення, яке часто об'єднується з унесенням фунгіцидів та стимуляторів росту, скорочуються витрати праці та виробничі витрати. Найбільшою мірою переваги позакорневих підживлень та фертигації спостерігається в другій половині вегетаційного періоду рослин, оскільки в цей період «механічне» внесення в ґрунт добрив стає практично неможливим.

Завдяки фертигації є можливість використання непродуктивних для традиційних методів землеробства земель, зокрема, схилів, а також піщаних і засолених ґрунтів.

До недоліків фертигації та позакореневого внесення добрив слід віднести:

- необхідність постійного контролю за складом та дозуванням добрив;
- необхідність постійного контролю за елементами живлення в ґрунті та в рослині;
- додаткові витрати на обладнання (при фертигації);

Такі технології внесення поживних речовин формують досить високі вимоги для удобрюваних субстратів (Kafkaf, Tarchitzky, 2011), а саме, вони повинні:

- мати абсолютну, 100% розчинність;
- бути хімічно чистими;
- сильно не впливати на рН ґрунтового розчину;
- містити збалансований макро- (N,P,K), мезо- (Ca, Mg, S) та мікроелементний склад (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn тощо), щоб забезпечити поживними речовинами с.-г. культури на різних фазах розвитку;
- бути сумісними з фунгіцидами та пестицидами.

Якщо враховувати такі вимоги, то обов'язковою складовою таких добрив є наявність хелатних компонентів. Це пов'язано з тим, що хелати добре розчинні у воді, повністю засвоюються рослинами, нетоксичні, не зв'язуються ґрунтом, не конкурують один з одним. Коефіцієнт їх засвоєння при позакореному підживленні сягає 95 %.

Як визначено вище (див. гл. 10), хелатні добрива отримуються поєднанням катіонів металів (елементів та мікроелементів живлення) із молекулами органічних кислот з утворенням відносно стійких сполук.

У різних добривах використовуються різні органічні кислоти, які відрізняються силою зв'язування іонів та стабільністю в середовищі з

Таблиця 16.2 Хімічний склад та застосування добрив
Novalon foliar

Параметри	Добриво					
	Novalon foliar 9-12-40+ 0,5MgO +Me	Novalon foliar 10-45-15 +0,5MgO +Me	Novalon foliar 29-11-11 +0,5MgO +Me	Novalon foliar 20-20-20 +0,5MgO +Me	Novalon foliar 13-40-13 +Me	
Хімічний склад, %	N	9	10	29	20	13
	P	12	45	11	20	40
	K	40	15	11	20	13
	Mg	0,5	0,5	0,5	0,5	-
	Fe(EDTA)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,08
	Mn(EDTA)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,035
	Zn(EDTA)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,035
	Cu(EDTA)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,015
	B	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	Mo	0,005	0,005	0,005	0,005	0,002
	Сільськогосподарські культури, фази	Зернові колосові	1-2 кг/га, фаза куціння	-	1-2 кг/га у період максимально го споживання азоту	1-2 кг/га, молочна спілість
Кукурудза		-	-	-	1-2 кг/га. 3-5 листіків та 5-7 листіків.	-
Цукровий буряк		1-2 кг/га, змикання міжрядь	-	-	1-2 кг/га. 6-8 листіків та змикання міжрядь.	-
Соняшник		-	1-2 кг/га. 5-7 листіків	1-2 кг/га, у період максимально го споживання азоту	-	2-4 кг/га. 5-7 справжніх листіків
Соя		-	1-2 кг/га. 1-2 кг/га. 2-3 трійчастих листка	1-2 кг/га, у період максимально го споживання азоту	1-2 кг/га. бутонізація	2-4 кг/га. 2-3 трійчастих листка
Ріпак		-	1-2 кг/га. фаза розетки, бутонізація	1-2 кг/га, у період максимально го споживання азоту	1-2 кг/га, фаза стеблвання (весна).	2-4 кг/га. Фаза позетки (восени) і фаза бутонізації.
Томат, перець, огірок		1-2 кг/га, формування плодів	1-2 кг/га. 3-4 справжніх листка	-	1-2 кг/га. вегетація та бутонізація	3-5 кг/га. 5-7 днів після сходів
Баштанні		1-2 кг/га, період формування плодів	1-2 кг/га. 3-4 справжніх листка	-	-	4 кг/ га. 5-7 днів після сходів.
Капуста		1-2 кг/га. за 2 тижні до збирання	1-2 кг/га, висадка розсади	-	1-2 кг/га. формування качана	4 кг/ га. 5-7 днів після сходів

різною кислотністю (лужністю). Тому під час вибору хелатного добрива потрібно враховувати, для яких саме рослин і в яких саме ґрунтах його належить використовувати. Наприклад, ЕДТА (див. гл. 10) найкраще виявляє свою здатність до хелатування при рН=1,5-8,0, ДТПА при рН=1,5-7,0, ЕДДБ при рН=3,0-10, ОЕДФ при рН=4,5-11. Тобто, якщо реакція ґрунтового розчину лужна (тобто рН більш 8), то хелатні добрива, які створені на основі ЕДТА та ДТПА, будуть погано утримувати іон металу і він швидко потрапить у поживне середовище і буде або спожитий кореневою системою рослин, або утворить в ґрунті малорозчинну сіль.

Зараз на ринку наявні великі кількості різних комплексних водорозчинних добрив для підживлень та фертигації, а тому розглянемо лише деякі з них. Наприклад, підприємство «Терратарса» (м. Каховка) виготовляє і реалізує низку комплексних добрив Novalonfoliar («foliar» – листовий, позакореневий) (табл. 16.2), які рекомендується використовувати як для фертигації, так і для позакореневого підживлення. При відносно сталому вмісту мікроелементів живлення (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo), зокрема їхніх хелатних форм (ЕДТА), за рахунок зміни співвідношення макроелементів живлення (N, P, K) та мезоелемента (Mg) отримується весь перелік комплексних добрив Novalonfoliar (Терратарса..., 2020).

Зокрема Novalonfoliar 9-12-40+0,5MgO+Me, добриво зі збільшеним вмістом калію, рекомендується до застосування на завершальних етапах вегетації культур, коли потреба рослин у калії зростає. Він підвищує якість урожаю, сприяє більшій посухостійкості рослин і стійкості до інших несприятливих факторів. Рекомендується до застосування абсолютно на всіх культурах (Терратарса..., 2020).

Novalonfoliar 10-45-15+0,5MgO+Me, добриво зі збільшеним вмістом фосфору. Стимулює розвиток кореневої системи рослин і сприяє закладенню генеративних органів. Особливо ефективний за умов, які обмежують поглинання фосфору кореневою системою (зокрема в погано прогрітих ґрунтах та в ґрунтах з лужною реакцією ґрунтового розчину), а також коли

коренева система погано розвивається через фізіологічні чинники. Це добриво рекомендується до застосування абсолютно на всіх культурах (Терратарса..., 2020).

Novalonfoliar 29-11-11+0,5MgO+Me це комплексне добриво з великою часткою азоту. Рекомендується до застосування в період інтенсивного зростання надземної частини рослин і за високої потреби культур в азоті. Застосовується практично на всіх культурах (Терратарса..., 2020).

Novalonfoliar 20-20-20+0,5MgO+Me є комплексним добривом з однаковим вмістом N, P, та K. Рекомендується до застосування в період інтенсивного зростання рослини. Містить азот в амідній формі, який найбільш швидко та ефективно засвоюється через поверхню листка. Рекомендується до застосування абсолютно для всіх культур (Терратарса..., 2020).

Novalonfoliar 13-40-13+Me використовується на всіх культурах у початкових періодах вегетації. Підвищує морозостійкість озимих культур, прискорює дозрівання, підвищує якість продукції. На таких культурах, як соняшник, ріпак, соя, буряк, томати, рекомендується використовувати впродовж усієї вегетації (Терратарса..., 2020).

17. ОРГАНІЧНІ ДОБРИВА

Загальні положення

Органічні добрива – добрива, які містять елементи живлення рослин переважно у формі органічних сполук. Це комплексні добрива тому, що містять кілька елементів живлення (N,P,K, Ca та мікроелементи), а також органічні речовини, які позитивно впливають на рослину (стимулятори росту, вітаміни тощо) та на властивості ґрунту. Така поліфункціональність дозволяє віднести органічні добрива ще й до багатофункціональних комплексних добрив.

Органічні добрива позитивно впливають на водне і повітряне живлення рослин, сприяють розвитку ґрунтових бактерій та мікроорганізмів, які зі свого боку покращують процес живлення рослин, особливо, азотом. Унесення органічних добрив покращує фізичні та водно-фізичні властивості ґрунтів, їх аерацію. Органічні добрива, розкладаючись, утворюють мінеральні речовини, при цьому в приземний шар виділяється CO₂, необхідний для фотосинтезу рослин.

Використання органічних добрив – це активний фактор в управлінні колообігом речовини в землеробстві. Використання гною, гноївки, пташиного посліду є повторним використанням поживних елементів, винесених з урожаєм кормових культур із ґрунту в створенні майбутнього урожаю.

Водночас органічні добрива мають *низку недоліків*. Зокрема, невеликий вміст поживних речовин порівняно з мінеральними добривами та, як наслідок, непропорційно (на одиницю ваги поживної речовини) великі витрати на транспортування та внесення. Зберігання органічних добрив, зазвичай, є складнішим і витратнішим порівняно зі зберіганням мінеральних добрив. Органічні добрива можуть містити збудників хвороб, які є небезпечними для людини та рослин.

Таблиця 17.1 Агрохімічний склад свіжого гною на солом'яній підстилці (Добрива..., 2011).

Компоненти	Гній			
	ВРХ	КІНСЬКИЙ	ОВЕЧЬЙ	СВИНЯЧИЙ
Вода	77,3	71,3	64,6	72,4
Органічна речовина	20,3	25,4	31,8	25,0
Азот (N) загальний	0,45	0,58	0,83	0,45
білковий	0,28	0,35	–	–
(органічний)				
аміачний	0,14	0,19	–	0,20
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,28	0,28	0,23	0,19
Калій (K ₂ O)	0,50	0,63	0,67	0,60
Вапно (CaO)	0,40	0,21	0,33	0,18
Магnezія (MgO)	0,11	0,14	0,18	0,09
Сірчана кислота (SO ₃)	0,06	0,07	0,15	0,08
Хлор	0,10	0,04	0,17	0,17
Кремнієва кислота (SiO ₂)	0,85	1,77	1,47	1,08
Окисли Al і Fe (P ₂ O ₃)	0,05	0,11	0,24	0,07

Підстилковий гній. Зберігання підстилкового гною

Із усіх видів органічних добрив особливе місце належить підстилковому гною. У загальній кількості органічних добрив, які використовуються в Україні, підстилковий гній складає приблизно 70-80 %. Він виконує комплексну та багатобічну дію на ґрунт. Це важливе джерело азоту та інших макро-, мезо- та мікроелементів. Гній поповнює запас рухомих поживних елементів у ґрунті та поліпшує колообіг поживних елементів у системі «ґрунт-рослина та сприяє підвищенню врожаю та його якості.

Головні складові свіжого підстилкового гною – це тверді й рідкі екскременти тварин та підстилка. В екскременти надходить приблизно 40-50 % органічної речовини, стільки ж азоту та 60-70 % фосфору й калію від

Таблиця 17.2. Хімічний склад напівперепрілого підстилкового гною (Добрива..., 2011)

Вид гною	Вміст при природної вологості, %							рН	С:N
	азоту (N)		фосфору (P ₂ O ₅)	калію (K ₂ O)	Органічної речовини	золи	Волога, %		
загального	аміачного								
ВРХ	0,54	0,07	0,28	0,60	21	14	65,0	8,1	19
Свинячий	0,84	0,15	0,58	0,62	21	17,4	60,7	7,9	13
Кінський	0,50	0,09	0,26	0,59	22,6	8,4	69,0	7,9	21
Овечий	0,86	0,14	0,47	0,88	28,0	23,0	49,0	7,9	17

вихідного вмісту їх у кормах. Рідкі екскременти жуйних тварин містять багато азоту й калію, а фосфор більше перебуває в складі калу.

Якість гною залежить від умов і тривалості зберігання. Хімічний склад й удобрювальна цінність гною залежать також від виду тварин, кормів, виду та кількості підстилки, способу зберігання гною тощо. Наприклад, кінський й овечий гній за вмістом поживних речовин істотно перевершує гній великої рогатої худоби й свиней. Під час згодовування концентрованих комбікормів у гної більше втримується поживних елементів, ніж під час годівлі грубими кормами. Гній на торф'яній підстилці більше містить азоту, ніж на солом'яній.

Оскільки відхилення в хімічному складі гною бувають досить значними, для правильного розрахунку норми гною бажано перед унесенням визначити його хімічний склад. Якщо такої можливості немає, то користуються середніми довідковими даними (табл. 17.1).

Для внесення в ґрунт кращим є підстилковий напівперепрілий гній. Його хімічний склад представлений у таблиці 17.2. При визначенні норм гною під запланований урожай у сівозміні або під конкретну культуру для розрахунку балансу поживних речовин у землеробстві користуються усередненими даними вмісту в напівперепрілому підстилковому гної: азот –

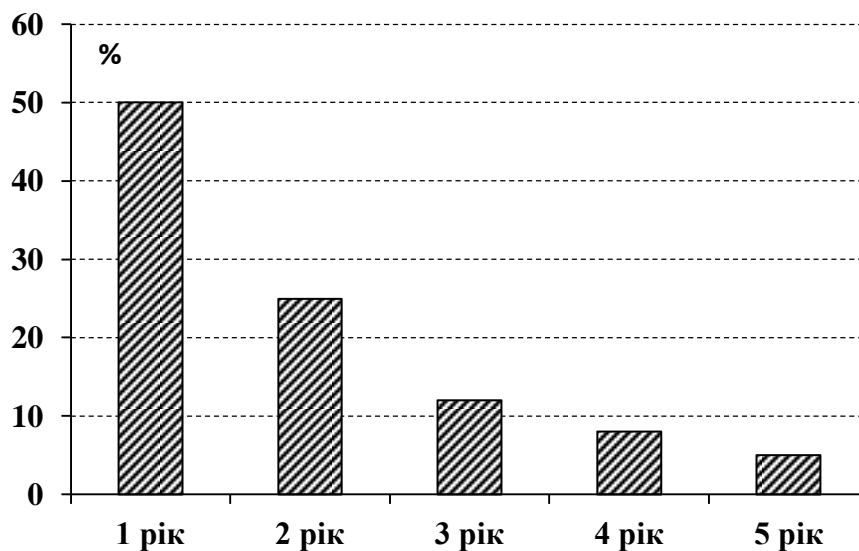
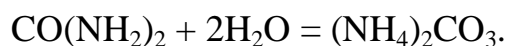


Рисунок 17.1. Післядія підстилкового гною (середні дані).

0,5 %, фосфор – 0,25 і калій – 0,6 %, або з однією тонною такого гною вноситься в ґрунт 5 кг азоту, 2,5 кг фосфору і 6 кг калію. Такий уміст поживних речовин досягається за умов правильного зберігання гною у гноєсховищах або у польових буртах. Невпорядковане зберігання його у невеликих купах призводить до 50 % втрат азоту і вуглецю, до 20-30 % вимивання фосфору і калію.

Ефективність підстилкового гною залежить від ґрунтово-кліматичних умов і зростає з півдня на північ України. Гній ВРХ використовується рослинами не тільки в прямій дії – його ефективність простежується й у післядії, на 2 та 3 рік після внесення. Доступність засвоювання поживних речовин (для рослин) із підстилкового гною (NPK) в післядії відбувається згідно з графіком (рис. 17.1).

Кількість гною, яка накопичується в господарстві, залежить від поголів'я худоби, тривалості стійлового періоду, кількості підстилки, якості кормів. Якість гною залежить і від способу його зберігання. Розкладання гною відбувається під дією мікроорганізмів. Під дією уреаз, яка виробляється уробактеріями, сечовина дуже швидко перетворюється у вуглекислий амоній:



Останній швидко розпадається на газоподібні складові і випаровуються:



Азотисті сполуки сечі під час розкладання перетворюються в газоподібний аміак, який є головним джерелом утрат азоту з гною.

Частина азоту іммобілізується мікрофлорою ґрунту. Чим більш солоmistий гній, тим більше в ньому міститься легкорозчинних без азотистих речовин, тим більша кількість азоту буде закріплена в білкових формах тіл мікроорганізмів. До без азотистих сполук, які легко розкладаються, належать цукри, крохмаль, органічні кислоти. Їхня кількість у гної залежить від якості кормів та виду тварин.

У процесі зберігання відбувається розкладання гною. Залежно від строків зберігання, умов, ступеня розкладання органічних компонентів гною він набуває відповідного зовнішнього вигляду і консистенції. За строками зберігання розрізняють чотири стадії розкладання гною, виготовленого на солом'яній підстилці: *свіжий, напівперепрілий, перепрілий і перегній*.

Свіжий, слабо розкладений гній зовнішньо має практично нетрансформований вигляд: солома підстилки незначною мірою змінює колір і міцність. У напівперепрілому гної солома набуває темно-коричневого кольору, не є міцною і легко розривається. У цій стадії розкладання гній втрачає 10-30 % первісної ваги й таку ж кількість сухої органічної речовини. Перепрілий гній являє собою однорідну масу. Солома розклаталася настільки, що не можна виявити окремі соломини. При такому ступені розкладання гній втрачає близько 50 % ваги та сухої органічної речовини, і перегноем є темна маса, гній втрачає до 75 % ваги й сухої органічної речовини. Не слід доводити гній до перепрілого стану або перегною: під час тривалого його розкладання кількість органічної речовини зменшується у 2-3 рази, а загальний уміст азоту й фосфору в ньому зменшується.

Є кілька способів (технологій) зберігання гною. *пухкий, або гарячий*, спосіб зберігання (коли гній не ущільнюється), і *холодний, або щільний*,

спосіб зберігання (коли вилучений із тваринницького приміщення гній відразу ущільнюється).

Щільний, або холодний, спосіб зберігання гною є кращим із погляду зберігання в ньому поживних речовин. У цьому разі зберігається постійна температура – 15-35°C. Утрати азоту порівняно невеликі, тому що гній увесь час перебуває в щільному й вологому стані. У такий гній доступ повітря обмежений, а вільні від води пори зайняті вуглекислотою, що сповільнює мікробіологічну діяльність. Аміак зв'язується також з органічними кислотами й добре зберігається в гної.

Під час розкладання гною відбуваються втрати не тільки азоту, але й фосфору. Це спостерігається головним чином під час пухкого зберігання гною. При цьому кількість водорозчинної фосфорної кислоти збільшується з 7 до 25-30 %, а розчинної в 0,05 н. HCl – із 30 до 80-85 % від загального змісту в гної. Фосфор, що входить до складу органічних сполук, під час розкладання гною переходить у мінеральну форму. У ході анаеробного розкладання гною в ґрунті може утворюватися фосфорний водень PH_3 і відбуватися часткова втрата фосфору.

Калій у гної під час зберігання майже не втрачається. Наприклад, у процесі пухкого зберігання у водорозчинному стані його втримувалося 85 %, у ході щільного – 93 % від первісного вмісту його у вихідному гної. Під час розкладання гною в ґрунті калій незначною мірою споживається мікроорганізмами та залишається в сполуках, доступних рослинам, а кальцій і магній зв'язуються кислотами, що утворюються в процесі діяльності мікроорганізмів.

Значно скоротити втрати органічної речовини та азоту під час зберігання можна через додавання до гною 2-3 % від маси простого порошкоподібного суперфосфату або прокомпостирувати його з фосфоритним борошном, який додають із розрахунку 3-5 % від маси гною. У цьому випадку фосфор фосфоритного борошна частково переходить у форму, доступну для живлення рослин, а отже ефективність гною

підвищується. Таку суміш можна використати не тільки на кислих дерново-підзолистих ґрунтах, але й на чорноземах.

Безпідстилковий гній

На тваринницьких промислових комплексах у великій кількості одержують рідкий гній. Традиційна технологія утримання тварин на солом'яній підстилці вимагає значних витрат праці на збирання соломи з полів, транспортування до ферм, видалення із приміщень у складі гною, вивезення в поле та його розкидання. Більші витрати на застосування підстилки твариною стали стримувати ріст продуктивності праці на великих фермах. Тому в практику проектування й будівництва великих тваринницьких комплексів і ферм промислового типу широко впроваджується технологія безпідстилкового утримання худоби.

Вихід рідкого гною від одної голови великої рогатої худоби становить 55 кг у добу, свині – 50 кг. За вмістом поживних речовин свинячий гній не менш цінний, ніж гній великої рогатої худоби. У рідкому гної 50-70 % азоту перебуває в розчинній формі, а тому добре засвоюється рослинами в перший рік. Іншу частину становить органічно зв'язаний (білковий) азот, який перетворюється в доступну для рослин форму через деякий час. У рідкому гної міститься головним чином органічно зв'язаний фосфор, який використовується рослинами краще, ніж фосфор мінеральних добрив. Калій у рідкому гної представлений винятково розчинною формою й легко засвоюється рослинами.

Безпідстилковий гній – надзвичайно цінне добриво, і його потрібно використати максимально. Утрати поживних речовин під час зберігання рідкого гною в кілька разів менше, ніж у ході щільного зберігання підстилкового гною. Залежно від ґрунтово-кліматичних й організаційно-господарських умов рідкий гній зберігають 2-6 місяців. У процесі зберігання він розшаровується на тверду й рідку частини, які мають різну удобрювальну цінність. Гній перемішують у сховищах за допомогою спеціальних

Таблиця 17.3. Хімічний склад безпідстилкового гною, %

Компоненти	Гній			
	ВРХ	Свинячий	Овечий	Кінський
Суша речовина	14,5	10,0	9,8	28,3
Азот загальний	0,77	0,43	0,72	0,95
Фосфор	0,44	0,28	0,47	0,22
Калій	0,76	0,50	0,21	0,75

пристроїв, домагаючись його однорідного стану. Іноді фракції безпідстилкового гною використовують окремо: рідку, зібрану у ході розшарування в спеціальні ємності використовують для поливу через систему дощувальних установок, а тверду – для приготування компостів або вносять, як звичайний підстилковий гній.

Торф, компости з торфу

За способами утворення торф поділяють на «верховий», «перехідний» та «низовий». Верховий торф утворюється на верхових болотах і складається переважно, з залишків сфагнових мохів. Верховий торф визначається низькою зольністю, високою теплотворністю, високою вологомісткістю, підвищеною кислотністю та низьким ступенем розкладання. Низинні й перехідні торфи утворюються, відповідно, на низинних і перехідних болотах і складаються з перепрілих залишків деревної та трав'яної рослинності.

Види та властивості торфу різноманітні та нерівноцінні за якістю, тому і способи використання його на добриво неоднакові. Ступінь розкладання торфу визначається за вмістом гуміфікованих речовин: слаборозкладені – 5-25 %, середньорозкладені – 25-40 та сильнорозкладені – більш ніж 40 %.

Для підстилки кращим є верховий сфагновий торф зі ступенем розкладання нижче 25 % і зольністю менш 10 %. Можна використовувати

Таблиця 17.4. Хімічний склад різних типів нормально зольного торфу, % на суху речовину

Вид торфу	Азот	Фосфор	Калій	pH сольовий
Верховий	0,8–1,2	0,06–0,12	<0,1	2,8–3,5
Перехідний	1,0–2,3	0,1–0,2	0,1	3,5–4,7
Низинний	2,3–3,3	0,12–0,5	<0,15	4,7–5,5

осоковий низинний торф зі ступенем розкладання, меншим за 20 %. Торф багатий на азот, але бідний на фосфор і дуже бідний на калій (табл. 17.4).

Азот, який утримується в торфі, міститься в органічних сполуках, а тому дуже погано засвоюється рослинами, тому застосування торфу в чистому виді неефективно. Витрати на видобуток, зберігання та внесення торфу як органічного добрива, зазвичай, не окупаються збільшенням урожайності. Сирий торф містить 80-90 % води. З одною тонною такого торфу вносить лише 100-200 кг сухої речовини. Крім цього сирий торф не можна внести якісно і рівномірно розподілити по полю. Занадто сухий торф також застосовувати недоцільно. Він має високу поглинальну здатність. Торф із вологістю 35-40 % поглинає вологу з ґрунтового шару. Це викликає висушування ґрунту. У сухому орному шарі торф розкладається дуже повільно.

Щоб підвищити вміст азоту в торфі, його компостують з біологічно активними компонентами (найчастіше, це гній), а також використовують його для підстилки худобі. Компости закладають круглими буртами або штабелями. Під час компостування торфу з гноєм усувається зайва кислотність торфу, створюються умови для розвитку біологічних процесів, прискорюється розкладання торфу, завдяки чому збільшується кількість рухомого, доступного рослинам азоту. Мікробіологічні процеси та нагромадження поживних речовин у компості протікають швидше, якщо під час компостування в штабелі піднімається температура до 60-65°C, тому штабелі торфогнойових компостів ущільнювати не рекомендують. Позитивна сторона компостування торфу з гноєм визначається ще й тим, що торф, який

Таблиця 17.5. Хімічний склад пташиного посліду, %

Послід	H ₂ O	N	P ₂ O ⁵	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
Курячий	56	1,6	1,5	0,8	2,4	0,7	0,4
Качачій	70	0,7	0,9	0,6	1,1	0,2	0,3
Гусячий	76	0,5	0,5	0,9	0,8	0,2	0,1

має високу поглинальну здатність, повністю втримує аміак, який вивільнюється з гною. У торфогнойовий компост рекомендовано додавати фосфоритне борошно (2-3 % від маси компостів), а якщо компост готується для внесення на легких ґрунтах, то рекомендується додавати й калійну сіль у кількості 0,5 % від маси компосту, однак за умови ретельного перемішування мінеральних добрив у компості й рівномірного розкидання компосту по полю.

Пташиний послід, компости з пташиного посліду сухий пташиний послід

Пташиний послід за своїми поживними якостями перевершує гній, а за швидкістю дії не поступається мінеральним добривам. Уміст поживних речовин у посліді залежить від виду птахів і кормів (табл. 17.5). Послід містить також і мікроелементи. Так, у 100 г його сухої речовини втримується 15-38 мг марганцю, 12-39 мг – цинку, 1-1,2 мг – кобальту, 1-2,5 мг – міді й 300-400 мг заліза (Добрива..., 2011). Значна частина елементів живлення в пташиному посліді перебуває у водорозчинній формі.

Послід вирізняється підвищеною липкістю, а тому його важко вносити в ґрунт звичайними агрегатами. Через наявність суспензій у посліді його розчини погано вносяться за допомогою поливної води. Радіус транспортування рідкого посліду за економічними міркуваннями обмежений до 5 км, тому на добриво доцільніше застосовувати або підстилковий послід, або компости з пташиного посліду, а в окремих випадках – сухий послід (так званий «пудрет»).

Під час виробництва підстилкового посліду використовують різні органічні матеріали: солому, торф або тирсу. Підстилка сприяє консервації живильних речовин посліду й скороченню їхніх утрат. Вологість підстилкового пташиного посліду коливається від 30 до 50 %. Найвищої якості підстилкового добрива досягають на основі підстилок із торфу й соломи. Утрати азоту із пташиного посліду можна запобігти додаванням до нього суперфосфату в кількості 6-10 % від ваги сирого посліду. Отримане з підстилкового пташиного посліду та суперфосфату концентроване добриво вносять під просапні культури (картопля, овочі) по 4-5 т/га, під зернові – 2-2,5 т/га.

Свіжий безпідстилковий послід, який ще не містить амонійного азоту, можна піддати швидкому сушінню на сушильних установках. Із 1 т сирого посліду виходить 300-350 кг гранульованого або порошкоподібного концентрованого органічного добрива вологістю 15-20 %. При вологості 20 % воно містить: N – 4,5 %, P₂O₅ – 3,7 %, K₂O – 1,8 %, CaO – 4,5 %, MgO – 1,6 %. Термічно висушений послід є значною мірою знезараженим і біологічно малоактивним матеріалом із високим умістом поживних речовин і придатним для тривалого зберігання та для транспортування на далекі відстані.

Однак сушіння посліду вимагає більших енергетичних витрат і може застосовуватися лише на тих птахофабриках, які розташовані поблизу міст або зон відпочинку, де неможливо утилізувати його іншим способом. Проте для його одержання необхідні значні капіталовкладення (до 1 млн. грн. у розрахунку на 1 т/рік продуктивності). Це пов'язано з необхідністю будівництва критих майданчиків для зберігання і підсушування пташиного посліду, цехів із сушильним устаткуванням, складськими приміщеннями для готової продукції, місткостей для зберігання палива тощо.

Солома як органічне добриво

Солома може бути важливим джерелом органічної речовини для ґрунту та джерелом поживних елементів. Хімічний склад соломи досить широко

змінюється в залежно від ґрунтових і погодних умов. У середньому вона містить 0,5 % азоту, 0,25 % фосфору, 0,8 % калію і 35-40 % вуглецю у формі різних органічних сполук. У соломі містяться деяка кількість сірки, кальцію, магнію та різних мікроелементів (бор, мідь, марганець, молібден, цинк, кобальт тощо). При середніх урожаєх зернових культур (30-40 ц/га) у ґрунт із соломою може бути повернуто 15-20 кг азоту, 8-12 кг фосфору, 18-24 кг калій, а також відповідна кількість мікроелементів.

Солома є активним енергетичним матеріалом не тільки для утворення гумусу ґрунту та підвищення мікробіологічної активності ґрунту. Важливою особливістю соломи є висока кількість безазотистих речовин (целюлози, геміцелюлози, лігніну). Широке відношення C:N у соломі (70-80) дуже впливає на процес розкладання її в ґрунті. Солома поставляє мікрофлорі ґрунту легкодоступне джерело вуглецю. Мікроорганізми, які розкладають соломку, мають порівняно високу потребу в азоті. З огляду на невелику кількість його в соломі, мікроорганізми споживають мінеральний азот із ґрунту, тобто йде процес *імобілізації азоту*. Якщо кількість азоту в ґрунті обмежена, то гальмується не лише процес розкладання соломи, а і падає вміст рухомих форм азоту в ґрунті. Установлено, що для оптимального протікання процесів розкладання соломи відношення C:N повинно бути 20-30:1. Більш вузьке співвідношення цих елементів призводить до швидкої мінералізації азотистих сполук, а більш широке підсилює процеси імобілізації азоту.

А тому ефективність удобрення соломою зростає за умови додаткового внесення азоту (10-15 кг д.р. – мінеральні добрива, рідкі органічні добрива, сидерати бобових культур тощо).

Особливе значення удобрення соломою має для *бобових культур*, які фіксують молекулярний азот атмосфери. Спостерігається більший ефект від соломи під час оброблення насіння бобових нітрогеном, а тому на площах, удобрених соломою, бажано розміщати насамперед бобові або просапні культури. Завчасно внесена в ґрунт солома стимулює здатність бобових



Рисунок 17.2. Види зелених добрив фіксувати азот і істотно підвищують їхній врожай. Живлення азотом просапних культур забезпечується внаслідок мобілізації азоту ґрунту під час міжрядкових обробок ґрунту.

Непоганий ефект спостерігається при *комбінації удобрення соломою та зеленим добривом*. При цьому можуть бути використані різні види зеленого добрива: самостійні посіви, пожнивні або поукісні культури. Особливо позитивна дія відзначається під час використання на зелене добриво бобових культур, тому що солома здійснює позитивний вплив на ріст і розвиток бобових та фіксацію ними азоту з атмосфери. Якщо як пожнивне зелене добриво використовується не бобова культура, то виникає необхідність у внесенні додаткових мінеральних азотних добрив. У всіх випадках високий позитивний ефект від комбінації «соломи як добриво»-«сидерат» будемо спостерігати під час високого врожаю культур, які висіваються на зелене добриво.

Зелене добриво (Сидерати). Сидераті культури

Зелене добриво (сидерати) – це сільськогосподарські культури, які вирощуються на зелену масу для заорювання в ґрунт як органічне добриво. Це один з ефективних способів підвищення родючості ґрунтів. Основні наукові передумови застосування зеленого добрива полягають у такому:

– зелене добриво – найважливіше джерело гумусу й азоту в ґрунтах (особливо для малородючих – піщаних, карбонатних, еродованих, дерново-підзолистих), під час заорювання високих урожаїв зеленої маси сидератів у 35-40 т/га в ґрунт потрапляє 150-200 кг азоту, що рівноцінно 30-40 т гною;

– зелене добриво змінює фракційний склад гумусу, зокрема в дерново-підзолистому ґрунті зелена маса люпину збільшила вміст гумінових кислот на 20-30 %, водночас як абсолютний і відносний вміст фульвокислот зменшується;

– зелене добриво поліпшує агрохімічні, фізико-хімічні і фізичні властивості ґрунту (підвищують величину рН у кислих ґрунтах, зростає сума поглинених основ, знижуються величина гідролітичної кислотності та рухомого алюмінію);

– підвищення вмісту гумусу і поліпшення агрохімічних і агрофізичних властивостей ґрунту під впливом сидерації, зі свого боку, приводить до посилення біологічної активності ґрунту, від чого ґрунтове і приґрунтове повітря збагачується вуглекислим газом, а це поліпшує повітряне живлення рослин.

– заорювання рослин посилює діяльність ґрунтової мікрофлори і як наслідок посилює процеси нітрифікації;

– зелене добриво виконує важливу фітосанітарну роль.

Як сидератні культури найчастіше використовуються бобові культури: багаторічний і однолітній люпини, середела, буркун, озима і ярова вика, горох, пелюшка, чина, сочевиця, еспарцет, конюшина, люцерна тощо. Із не бобових культур певний інтерес становлять гірчиця, гречка, озимий і яровий рапс, озиме жито, фацелія тощо. Удобрювальна дія зеленої маси бобових культур за своєю силою не уступає гноєві.

Зелене добриво може висіватися, як (рис. 17.2):

–*самостійна культура* в сівозміні, особливо це становить великий інтерес на неокультурених, бідних органічною речовиною ґрунтах із низькою родючістю (сидеральний пар, зайнятий пар);

–*проміжна*, якщо сидерат висівають між зняттям урожаю однієї культури та посівом іншої (пожнивні посіви, а також осінні й підзимові під заорювання навесні);

–*отавне*, коли використовують для заорювання після відростання рано скошених бобових культур.

В умовах інтенсивного землеробства Полісся важливою проміжною культурою є сидеральний багаторічний люпин. Він росте на самих бідних неокультурених ґрунтах. Тому за умови в господарстві гною та інших органічних добрив багаторічний люпин може з успіхом застосовуватися як сидеральна культура, істотно підвищуючи родючість ґрунту.

Сапропель

У результаті складних фізичних, хімічних та біологічних процесів залишки рослинних і тваринних організмів, які відмирають у прісноводних озерах (ставках, водоймищах і т. п.), створюють *сапропелі*. Верхні шари покладів сильно перезволожені, і саме в них протікає процес утворення внаслідок складних хіміко-біологічних процесів сапропелю з відмерлого планктону. У процесі стовщення шару сапропелю біологічні процеси в ньому слабшають і відбувається сильне ущільнення. У літній період відкладаються шари переважно з органічною речовиною, у зимовий – шари з більш мінералізованими субстратами. Великі скупчення сапропелевих покладів у водоймі приводять до передчасного його старіння, тобто до евтрофії (до процесу, у результаті якого у водоймі утвориться надлишок неорганічних поживних речовин, що викликає розвиток ціанобактерій і мікроорганізмів, що споживають кисень, який розчинений у воді). Тому, добуваючи сапропель, одержують не тільки органічне добриво, а і поліпшують екологічний стан прісноводних водойм.

Таблиця 17.6. Запаси сапропелю в Україні

Область	Родовища	Площа озер, га	Запаси, млн тон
Волинська	190	9821	71,8
Ровенська	37	1241	13,9
Харківська	22	659	6,3
Сумська	21	416	3,8
Київська	2	102	1,3
Чернігівська	2	17	0,06
Україна	274	12256	97,2

В Україні розвідані 274 родовища сапропелю із загальними запасами більш ніж 97 млн тонн (табл.17.6). Основні його ресурси зосереджені у водоймах Полісся, зокрема, Волинської області. Середня продуктивність місцевих озер становить більше 1 тис. т/га. В останні роки в цьому регіоні розроблялося до 8 родовищ із середнім обсягом видобутку близько 200 тис. т/рік.

У природному заляганні сапропелі мають желеподібний вигляд та чорне, коричневе, сіре, сіро-жовте фарбування, що свідчить про наявність у сапропелі певних органічних і неорганічних складових. Звичайно сапропелі не мають запаху, лише деякі його різновиди смердять сірководнем. Сапропель має колоїдну структуру і являє собою однорідну желеподібну масу вологістю від 60 до 97 %, зі змістом органічної речовини 12-80 % і зольністю 19-88 %, у розрахунку на суху масу. За ступенем зольності сапропелі підрозділяють на: малозольні (до 30 % золи), середньозольні (30-50 %), підвищенозольні (50-70 %) і високозольні (70-85 %). Найцінніші сапропелі— це малозольні сапропелі. Сапропельні поклади із зольністю більше 85 % називаються мулом.

До складу органічної маси сапропелів входять гумінові кислоти (11-43 %), фульвокислоти (2-24 %), залишок, який не гідролізується (5-23 %), геміцелюлоза (10-53 %), целюлоза (0,5-6,0 %), бітуми (6-17 %) і водорозчинні речовини (2-14 %). Крім наявності органічної речовини, сапропелі збагачені

Таблиця 17.7. Хімічний склад біогумусу

Параметри	Значення
1. Вологість	40-45%
2. Зольність	35-45%
3. Органічна речовина	55-65%
4. Гумінові речовини	25-32%
5. Азот загальний	1,0-2,0%
6. Фосфор загальний	1,5-3,0%
7. Калій загальний	1,2-2,0%
8. Кальцій	4,0-6,0%
9. Магній	0,6-2,3%
10. Залізо	0,6-2,5%
11. Марганець	60-80 мг/кг
12. Масова частка важких металів, мг/кг	нижче ГДК для ґрунтів
13. Патогенна мікрофлора	відсутня
14. Яйця гельмінтів	відсутня

кальцієм, калієм, фосфором, залізом, азотом, мікроелементами й фізіологічно активними речовинами.

Сапропель добувають за допомогою екскаваторів або гідромеханізованим способом із використанням землесосних пристроїв. Одержують сапропелеві добрива із прісноводних відкладень у спеціальних відстійниках, де подана насосами маса відстоюється, а потім улітку її фрезерують та складують після просушування в штабелі.

Сапропель як добриво застосовують кількістю 30-40 т/га під зернові культури та 50-100 т/га – під просапні. Найефективніше гранулювання сапропелів із торфом і мінеральними добривами. Карбонатні сапропелі (зі вмістом CaCO_3 не менш 20 %) застосовуються як добавки до мінеральних добрив і для вапнування ґрунтів. Прискорене окультурення земель за допомогою наміву великої кількості сапропелю дозволяє протягом тривалого часу (10-15 років і більше) одержувати стабільні врожаї сільськогосподарських культур.

Біогумус

Біогумус – концентроване натуральне органічне добриво, що містить весь комплекс поживних речовин і мікроелементів, необхідних рослинам. У біогумусі втримуються всі необхідні для розвитку рослин ферменти, ґрунтові антибіотики, вітаміни, гормони росту і гумінові речовини. Біогумус не містить патогенну мікрофлору, яйця гельмінтів, насіння бур'янів і важкі метали.

Біогумус (вермікомпост) являє собою екскременти дощових хробаків. Зовні він схожий на чорноземний ґрунт, без неприємних запахів. Виробництво добрив біогумусу (вермітехнологія) є елементом екологічно чистого сільськогосподарського виробництва.

Підвищують урожайність кукурудзи й інших зернових культур на 30-40 %, картоплі й овочів– до 70 %, тобто при внесенні в ґрунт біогумусу кількістю від 3 до 10 тонн на один гектар площі, залежно від типу і родючості ґрунтів. Дуже важливо, що під час використання біогумусу поліпшується якість продукції–кількість білка в зерні, цукру в коренеплодах, крохмалю в бульбах, вітамінів в овочах, фруктах і ягодах збільшується на 15-45 %. Продукція виходить екологічно чистою у відношенні змісту нітратів, хлорних сполук і інших шкідливих речовин (табл. 17.7). Біогумус вноситься як локально під час посадки та посіви культур, так і поверхово врозкид із подальшим закладенням (боронуванням, культивацією).

Осад і мули стічних вод з міст та підприємств

Осад і мули стічних вод являють собою специфічний вид відходів, які утворюються в результаті як господарсько-побутової, так і виробничої діяльності людини в умовах міських агломерацій. На очисних спорудах міст та промислових підприємств утворюються опади, що залежно від характеру виробництва і технологічних процесів можуть значно відрізнятися за хімічним складом, вологістю, кількістю сухої речовини, за кольором і запахом, співвідношенням органічних і мінеральних компонентів і за іншими

показниками. Основну частину сухої речовини осаду з первинних відстійників (у середньому 60-75 %) і активного мулу (у середньому 70-75 %) складають органічні речовини.

Осад і мул стічних вод являють собою бактеріологічну й епідеміологічну небезпеку. У них наявні всі основні форми бактеріальних організмів: коки, палички, спірили, а також віруси. Із патогенних мікроорганізмів є збудники шлунково-кишкових та інших захворювань, велика кількість яєць гельмінтів.

Екологічна й економічна доцільність використання комунальних мулів як нетрадиційних органічних добрив доведена багатьма вченими, але основними проблемами при цьому є:

- гельмінтове забруднення мулів і відповідно осадів комунальних стічних вод (КСВ);
- транспорт важких металів у сільськогосподарську продукцію з ґрунтів, удобрених КСВ;
- дисбаланс поживних речовин (N, P, K, гумусу в КСВ).

Проблема дегельмінтизації й знезараження мулу у процесі підготовки осадів стічних вод для внесення як органо-мінерального добрива повинна вирішуватися *компостуванням* протягом щонайменше 3-х років. Небезпечним аспектом використання осадів як добрива є ймовірність нагромадження важких металів у сільськогосподарській продукції.

Гумати

Гуматами називають численну групу добрив і препаратів, виготовлених із легкорозчинних солей гумінових кислот (Добрива..., 2011). Ці препарати застосовуються в рослинництві, рекультивації та відновленні земель.

В основі отримання гумінових добрив і препаратів лежить властивість гумінових кислот утворювати водорозчинні солі з натрієм, калієм та амонієм. Найбільш поширеним методом отримання «природних» гуматів є виділення гумінових речовин із викопної сировини (торфу, ліонардиту, бурого вугілля)

за наявності луку. У процесі виробництва отримують баластні та безбаластні гумати, які ще інколи називаються «гумінові, або гуматові добрива».

Позитивний досвід застосування гумітів у рослинництві призвів до того, що багато промислових компаній почали виробляти різноманітні гумати з органічної сировини, переважно з торфу та бурого вугілля, а також із різних органічних відходів, вермікомпосту, сапропелю тощо. Збагачення їх елементами живлення, застосування спеціальних добавок або особливих режимів виробництва спричинило до насиченості ринку комерційними гуматами, які пропонують як органічні добрива, стимулятори росту рослин, меліоранти для деградованих ґрунтів.

Гумінові речовини впливають на рослину або прямо, або опосередковано. *Непрямий ефект* пов'язаний із поліпшенням водно-фізичних властивостей ґрунту, активізацією мікрофлори, впливом на міграцію поживних речовин, зв'язуванням токсичних агентів (пестицидів, важких металів).

Прямий вплив гумінових добрив на рослини має дуже складний багатоступеневий характер і охоплює увесь період вегетації рослини. Із гуміновими речовинами в рослину потрапляє певна кількість мікроелементів живлення, а також амінокислоти, вітаміни та ростові речовини. Останні активують ферментативну активність усіх клітин рослини, що зумовлює швидке зростання клітин рослин, зміни фізико-хімічних властивостей протоплазми та інтенсифікації обміну речовин. Ці речовини здатні підвищувати стійкість рослин до різних зовнішніх несприятливих факторів (заморозків, посухи, дії пестицидів). Усе перераховане вище збільшує врожайність сільськогосподарських культур.

18. БАКТЕРІАЛЬНІ ДОБРИВА (ПРЕПАРАТИ)

Визначення

Водночас із численними мінеральними й органічними добривами, які широко застосовуються для поліпшення живлення рослин, підвищення врожайності культур, застосовують і біологічні *бактеріальні добрива* або *препарати*, що містять не поживні речовини, а певні групи ґрунтових мікроорганізмів. Метою застосування цих препаратів є поліпшення складу і підвищення активності агрохімічно корисної ґрунтової мікрофлори, а саме тих груп мікроорганізмів, які у процесі своєї життєдіяльності забезпечують рослини різними поживними речовинами. Це зумовлює підвищення врожайності сільськогосподарських культур із одночасним зменшенням обсягів унесення в ґрунт мінеральних та органічних добрив.

Бактеріальні добрива не тільки збільшують уміст у ґрунті мобільних біологічно доступних форм макро- і мікроелементів, а й стимулюють ріст рослин, а також виконують важливі фітосанітарні функції, підвищуючи стійкість рослин до ґрунтових інфекцій (Miransari, 2013).

Препарати на основі бульбочкових бактерій

Бактеріальні азотні добрива на основі бульбочкових бактерій використовуються на посівах бобових культур. За допомогою цих препаратів проводять передпосівну штучну інокуляцію насіння цих культур. Препарати на основі бульбочкових бактерій під різними торговими марками (*нітрогін*, *нітрофікс*, *ризоторфін*, *різокоут*, *нітросоїл* тощо) застосовують у рослинництві багатьох країн. До складу препаратів входять бульбочкові бактерії *Rhizobium*, які живуть у симбіозі з бобовими культурами. Споживаючи вуглеводи, які надходять до кореневої системи, бульбочкові бактерії фіксують молекулярний азот із повітря, який надалі засвоюється безпосередньо бобовою культурою-симбіотантом та тими рослинами, які вирощують після бобових (Добрива..., 2011).

Препарати можуть бути або порошкоподібними (грунтові або торф'яні), або рідкими (так званні «бульйонні»), або щільними (на основі агару). Із технологічного погляду найбільш зручними є порошкоподібні форми, проте їхня стійкість до впливу зовнішніх факторів накладає певні обмеження на процедури використання. Торф'яна форма *нітрагіну* є одним із найефективніших азотних бактеріальних добрив для бобових. Вона являє собою культуру бульбочкових бактерій, асоційованих із частинками торфу величиною не більше 150-250 мкм. Такі препарати мають значний термін зберігання і прості в транспортуванні, що пов'язано зі здатністю торфу тривалий час підтримувати життєздатності бульбочкових бактерій *Rhizobium*. Торф здатний підтримувати необхідний рівень вологості та забезпечувати бактерії поживними речовинами. До того ж дрібні частинки торфу добре прилипають до насіння бобових під час їхнього оброблення. Також вони характеризуються високою питомою поверхнею, на якій може закріпитися велика кількість клітин: в 1 г препарату міститься не менше 2,5 млрд бактерій (Добрива..., 2011; Господаренко, 2018).

Повноцінний симбіоз коренів бобових із бульбочкових бактерій можливий лише при оптимальному вмісті в ґрунті калію, фосфору і низки мікроелементів (Mo, Co, B) та відповідному рівні кислотності ґрунту.

Азотобактерин

Азотобактерин, або *азотоген* – це препарат, який містить культуру азотобактера (*Azotobacter chroococcum* і *A. agile*) (Добрива..., 2011; Господаренко, 2018). Азотобактер – це азотфіксатор, який належить до групи аеробних і таких, що вільно живуть у ґрунті бактерій. На відміну від бульбочкових бактерій, він не проникає в корінь і не утворює бульбочки, а вільно живе поблизу кореневої системи, використовуючи для свого живлення кореневі виділення і відмерлі частини коренів, та збагачує ґрунт азотом, що поліпшує живлення рослин. Унесені як добриво у ґрунт ці бактерії також виділяють у кореневий шар біологічно активні речовини (нікотинову та

пантотенову кислоти), які стимулюють ріст та розвиток рослин, а також утворювати антимікробні асоціації, які пригнічують розвиток фітопатогенних грибів і бактерій, збудників кореневої гнилі сільськогосподарських рослин.

Залежно від субстрату, за допомогою якого розмножуються мікроорганізми, азотобактерин буває ґрунтовим, торф'яним та агаровим. Ґрунтовий та торф'яний азотобактер є штучно розмноженою культурою азотобактера на перегнійному ґрунті або на торфі, яка містить в 1 г не менше 50 млн життєдайних клітин. Його застосовують під час посівів, коли виконують оброблення насіння зернових, овочевих та технічних культур, розсади овочів. Агаровий препарат розводять у спеціальному середовищі, який містить агар. Терміни придатності всіх цих препаратів не перевищують трьох місяців.

Дія азотобактерину найкраще може проявлятися на нейтральних родючих ґрунтах, забезпечених органічною речовиною та фосфором і мікроелементами живлення.

Препарати, які поліпшують живлення рослин фосфором, кремнієм, калієм тощо

Фосфоробактерин – бактеріальний препарат, який містить культуру мікроорганізмів (*Bact. Megatheriumphosphaticus*), здатну мінералізувати фосфор, який уходить в органічні сполуки ґрунту. Ці бактерії, потрапляючи в ґрунт разом із зараженим фосфоробактерином насінням, розвиваються поблизу коренів і переводять фосфор органічних речовин у легкодоступну для рослин мінеральну форму. Крім цього, бактерії виробляють біологічно активні речовини (тіамін, піридоксін, біотин, пантотенову і нікотинову кислоти тощо), які стимулюють ріст рослини. Ефективний на високогумусних ґрунтах, зокрема на чорноземах, торф'яних, а також на угноєному і вапнованому фоні дерново-підзолистих ґрунтах. На бідних

гумусом кислих дерново-підзолистих ґрунтах препарат малоефективний (Господаренко, 2018).

Випускається у вигляді порошку. У цілому виробництво фосфобактерину схоже на виробництво азобактерину і препаратів бульбочкових бактерій. Готовий препарат містить не менш 8 млрд клітин у 1г.

Кремнебактерін є бактеріальним препаратом на основі ризосферних мікроорганізмів *Bacillus mucilagenosus var. Siliceous* (так звані *силікатні бактерії*), які завдяки своїм виділенням здатні розкласти ґрунтові мінерали. Мікроорганізми в процесі своєї життєдіяльності прямо або побічно, руйнують, виділяючи слизи та ферменти, кристалічні решітки мінералів, що є причиною переходу елементів живлення (калію, магнію, марганцю, цинку, кадмію, кобальту, міді, кремнію, алюмінію, натрію тощо) з кристалічних ґраток у доступний для рослин стан. Можливий і складніший шлях цих елементів живлення: їх спочатку споживають мікроорганізми та лише після їхньої загибелі поживні речовини надходять у рослини.

Як бактеріальне добриво використовують сухі спорові й агарові препарати. Окрім безпосереднього внесення в ґрунт під час посіву, препарат силікатних бактерій можна використовувати під час бактеризації ними мінеральних сумішей і земляних компостів водночас із азобактером і фосфобактеріном.

Комбіновані бактеріальні препарати

АМБ – комбінований бактеріальний препарат, який містить низку активних бактерій, що здійснюють мінералізацію ґрунтового гумусу з утворенням легкодоступних рослинам поживних речовин. Препарат є нейтральною торф'яною масою, у якій розмножені такі ґрунтові аеробні мікроорганізми, як амоніфікатори, нітрофікатори, азотфіксатори, бактерії, які руйнують целюлозу та фосфорорганічні сполуки.

Азорган – комбінований препарат у складі двох штамів бактерій. Одним із них є штам азотфіксаційних бактерій *Azotobacter vinelandii* IMB B-7076, які характеризуються не тільки високою активністю у фіксації молекулярного азоту та його переходу в мінеральні форми, а і здатністю синтезувати біологічно активні речовини фітогормональної природи, які стимулюють ріст і розвиток рослин. Другим штамом, який уведений до складу цього бактеріального препарату, є фосфатмобілізаційні бактерії *Bacillus subtilis* IMB B-7023. Ці бактерії здатні підвищувати доступність для рослин фосфору, який уходить до складу органічних сполук у ґрунті та важкорозчинних неорганічних речовин. Фосфатмобілізаційні бактерії також здатні синтезувати та виділяти в навколишнє середовище біологічно активні речовини. Крім того, вони помітно пригнічують розвиток широкого кола фітопатогенних бактерій і грибів, здатних викликати хвороби рослин.

Препарат *Азорган* виготовляється у вигляді гранул світло-сірого кольору масою 0,25 г на основі зазначених видів бактерій, виділених із ґрунту. Препарат не має негативного впливу на здоров'я людей, не шкодить навколишньому середовищу, добре зберігається протягом шести місяців і зручний у застосуванні.

Байкал ЕМ-1 – це комплексне мікробіологічне добриво, призначене для поліпшення мікробіологічного складу будь-якого ґрунту. Завдання цієї технології – забезпечити рівновагу між корисними та патогенними мікроорганізмами. Така рівновага реалізується коли в мікробному ценозі є близько 2/3 корисних мікроорганізмів і 1/3 патогенних мікроорганізмів. Технологія включає внесення мікроорганізмів, які належать до п'яти сімейств (молочнокислі бактерії, фотосинтезувальні бактерії, дріжджі, актиноміцети, гриби) та 9 родів.

Штами корисних мікроорганізмів, що містяться в *Байкал ЕМ-1*, після попередньої підготовки в поживному розчині вносяться в ґрунт, активізують діяльність корисної мікрофлори, прискорюють процеси гумусоутворення, пригнічують розмноження збудників грибних і бактеріальних хвороб рослин.

На ринку реалізуються або як концентрований розчин, або як маточний концентрат, у якому бактерії перебувають в анабіозі.

Препарати на основі арбускулярної мікоризи

Арбускулярна мікориза (АМ) – найпоширеніша форма рослинно-грибного симбіозу, в основі якого лежить обмін продуктами метаболізму, унаслідок чого гриб отримує вуглеводи, а рослина – фосфор, азот, калій, цинк, мідь та інші елементи, а також воду. Дослідження, проведені з використанням спеціальної мікроскопії рослин, засвідчили, що діаметр гіфів мікоризних грибів становить 2-20 мкм, тоді як найтонші корені рослин мають 100-200 мкм, а довжина гіфів може бути у 50-100 разів більшою, ніж коренів рослин (Arbuscular..., 2010; Антоняк та ін., 2013).

Тому завдяки високій адсорбційній активності та здатності до розчинення солей, зокрема фосфатів, через виділення кислот і фосфатаз, мікориза поліпшує живлення та вологозабезпечення рослин. Окрім усього, АМ захищає сільськогосподарські культури від кореневих патогенів завдяки дії двох механізмів: усуненню патогену через синтез антибіотиків або конкуренції за субстрат; а також індукції імунітету в рослини-господаря. АМ змінює також фітогормональний статус рослин, впливаючи на вміст ауксинів, гіберелінів, абсцизової кислоти й цитокінінів. АМ підвищує адаптивні та конкурентні властивості рослин.

На ринку України представлені численні препарати, які забезпечують утворення мікоризи та тим самим покращують живлення рослин, підвищують захист від хвороб, стійкість до стресів (Добрива..., 2011; БТУ-Центр..., 2020).

Для бобових культур, зокрема сої використовують інокулянт *Різолайн*, який реалізується в комплексі з мікоризним препаратом. Мікоризний препарат забезпечує утворення АМ із потужною адсорбційною здатністю, посиленою фунгіцидною і бактерицидною діями, поліпшує забезпеченість рослин елементами живлення.

До складу комплексного бактеріального препарату Мікофренд уходить комплекс грибів, які утворюють мікоризу – *Glomus VS*, *Trichoderma Harzianum*, мікроорганізми, що сприяють утворенню ризосфери в кореневій зоні рослин – *Streptomyces sp.*, *Pseudomonas Fluorescens* та бактерій, які мобілізують фосфор – *Bacillus Megaterium* var. *phosphaticum*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus Muciloginosus*, *Enterobacter* sp. Мікофренд сприяє утворенню мікоризи та має фунгіцидну дію в ризосфері рослини. Для покращання технологічності внесення препарат випускається як рідина та на торфовій основі, але ці дві форми мають ідентичний склад.

Препарат Мікофікс, виготовлений на основі ендомікоризного гриба *Glomus intraradices* ендотрофної дії, використовується для передпосівного обробітку сої, соняшнику і кукурудзи. Ці гриби після приживлення на кореневих системах сільськогосподарських рослин розмножуються і поширюються в навколишній ґрунт у вигляді великої маси абсорбних ниток, збільшуючи, в такий спосіб площу поглинання рослиною води та поживних речовин. Ці нитки більш, ніж на порядок, тонші за кореневі волоски рослин і тому здатні проникати в найменші пори ґрунтових мінералів. В одному кубічному сантиметрі ґрунту, що оточує корені, загальна протяжність ниток мікоризи гриба *Glomus intraradices* коливається в межах 20-40 метрів. Нитки грибів поступово руйнують ґрунтові мінерали, добуваючи з них мінеральні елементи живлення для рослин, які не потрапили в ґрунтовий розчин, через низьку розчинність, зокрема, фосфор. Одночасно з фосфором мікоризний симбіоз забезпечує надходження до рослин певних мезо- та мікроелементів (кальцій, цинк, мідь, заліза) (БТУ-Центр..., 2020).

У посушливих регіонах мікориза *Glomus intraradices* виконує функцію забезпечення вологою рослин. Площа поглинальної поверхні цього гриба у 100 разів перевищує поглинальну поверхню кореня рослини. Слід зазначити, що ендомікоризний гриб *Glomus intraradices*, через вироблення природних антибіотиків ще і захищає рослину від патогенних організмів, зокрема від

ураження іншими шкідливими грибами та бактеріями (фузаріозу, фітофторозу, бактеріозів тощо).

19. СИСТЕМА УДОБРЕННЯ

Система удобрення: загальні положення

Система удобрення – це комплекс щорічних процедур вибору під час вирощування певної сільськогосподарської культури або групи культур, а саме,

- форм добрив;
- їхньої норми;
- термінів;
- способів їх унесення.

Метою системи удобрення є збільшення врожайності сільськогосподарських культур, поліпшення якості продукції та підвищення родючості ґрунтів.

Збільшення урожайності є суто *агрономічним критерієм* ефективності використання добрив і кількісно дещо спрощеному вигляді показує на приріст врожаю сільськогосподарських культур у кілограмах на 1 кг дієвої речовини мінеральних добрив або на 1 т органічних добрив. Така оцінка має назву *окупність добрив* урожаєм і є, по суті, головним критерієм якості розробленої та впровадженої системи удобрення. Збільшення окупності є головною метою розробника системи удобрення. Таке збільшення досягається насамперед через зростання ефективності використання елементів живлення з добрив.

Слід зазначити, що зараз ефективність використання мінеральних добрив не дуже висока (азотних – близько 33 %, фосфорних – менше як 20 %, калійних – менше ніж 40 %, добрив із мікроелементами – від 10 до 15 % (Baligar, Fageria, 2001)). Ці показники дуже варіюють у різних умовах залежно від сільськогосподарської культури, забезпеченості ґрунтів поживними елементами, гідротермічних умов, норми внесення добрив, їхньої форми, способу та глибини внесення, збалансування живлення тощо.

А тому побудова ефективної системи удобрення – це насамперед, збільшення ефективності добрив, а значить і їхньої окупності. Це можливо лише під час виконання певних заходів або правил (Мірошніченко та ін., 2018).

Традиційні (базові) правила створення системи удобрення певної культури

Традиційна система удобрення, яка домінувала в нашій країні у 80-ті роки минулого століття, базувалася на чотирьох основних правилах: (1) фізіологічна потреба окремих сільськогосподарських культур в елементах живлення протягом їхньої вегетації; (2) запланований або очікуваний рівень врожаю; (3) ступінь насиченості ґрунтів доступними рослинам формами елементів живлення; (4) зональні ґрунтово-кліматичні умови території. Урахування цих особливостей дозволяло досягти рівня окупності 1 кг NPK добрив зерном пшениці озимої в межах 2,3-5,7 кг у Степу, 2,3-6,1 кг у Лісостепу, 3,3-7,7 кг у Поліссі, зерном кукурудзи 1,4-4,1 кг у Степу, 3,0-4,7 кг у Лісостепу, що було достатнім та економічно виправданим на той час (Мірошніченко та ін., 2018).

На реалізацію *першого правила* створення системи удобрення насамперед впливають біологічні особливості рослин, які склались у процесі їхнього введення до використання як сільськогосподарської культури. Різну потребу різних рослин в елементах живлення в одних і тих самих умовах вирощування пояснюють їхнім різним біохімічним складом (різним умістом білків, жирів, клітковини, цукру, крохмалю тощо) і різним умістом макро-, мезо- та мікроелементів живлення. Для визначення потреби рослин в елементах живлення за вегетацію використовують показники їхнього виносу з урожаєм. Неоднакову потребу сільськогосподарських культур в елементах живлення наочно виражають в абсолютних величинах (кілограмах та грамах) або на одиницю маси біологічного виносу (загальна біологічна маса всієї рослини), або найчастіше – на одиницю маси господарського

Таблиця 19.1. Винос поживних речовин з ґрунту врожаєм с.-г. культур на 1т основної продукції, кг.

Культура	Вид продукції	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озима пшениця (суходіл)	Зерно	30	10	24
Озима пшениця (зрошення)	Зерно	24	9	25
Озиме жито	Зерно	29	12	21
Яровий ячмінь	Зерно	26	10	25
Озимий ячмінь	Зерно	29	11	20
Кукурудза (суходіл)	Зерно	24	9	26
Кукурудза (зрошення)	Зерно	19	11	27
Овес	Зерно	32	14	28
Горох, соя	Зерно	50	14	33
Сорго, просо	Зерно	30	14	35
Гречка	Зерно	3,4	1,8	3,1
Соняшник	Насіння	50	31	114
Рапс	Насіння	50	31	150
Буряки цукрові(суходіл)	Коренеплоди	5	1,3	0,5
Буряки цукрові (зрошення)	Коренеплоди	3,7	1,1	5,8
Буряки кормові(суходіл)	Коренеплоди	4	1,2	5
Буряки кормові (зрошення)	Коренеплоди	2,6	0,9	4,8
Кукурудза на корм (суходіл)	Зелена маса	2,6	0,9	3,6
Кукурудза на корм (зрошення)	Зелена маса	2,4	1,2	3,9
Буряки столові	Коренеплоди	3	1,2	4,5
Морква	Коренеплоди	3	1	5
Картопля	Бульба	5	2	15
Помідори	Плоди	3,5	1	4,5
Огірки	Плоди	3	1,5	4,5
Капуста білокачанна	Головки	4	1,5	5
Цибуля	Цибулини	5	1	4
Суданська трава на зелений корм	Зелена маса	2,5	1,1	3
Однорічні трави та кормові сумішки	Зелена маса	11	1,6	4,8
Багаторічні трави	Сіно	17	5	15

виносу, перерахованого на одиницю врожаю продукції (зерна, насіння, плодів, бульб тощо) у кілограмах або грамах поживного елемента на тонну товарної продукції з одного гектара. Можливі ситуації, коли винос рахується не тільки на урожай товарної продукції, а і на сумарний урожай товарної та

нетоварної (соломи, бадилля, гички тощо) продукції. Слід зауважити, що господарський винос елементів живлення є лише частиною біологічного і не вказує на повну фізіологічну потребу рослин. Але він найчастіше використовується в розрахунках витрат елементів живлення для створення одиниці урожаю, на основі яких і розробляють систему удобрення (табл. 19.1).

Щодо внутрішньовегетаційного споживання поживних елементів : максимальне накопичення елементів живлення рослинами припадає на початок досягання. Пізніше у зв'язку з обпаданням листя і відтоком поживних речовин у ґрунт їх стає менше. Докладніше питання із використанням концепції критичних періодів споживання поживних елементів, будуть розглянуті нижче в розділах присвячених, системам удобрення окремих культур.

Повну оцінку кількості поживних речовин, яку необхідно внести під конкретну культуру, знаючи параметри виносу (табл. 19.1), можна зробити, лише знаючи її очікувану урожайність. Перемножуючи величину виносу на заплановану урожайність, отримаємо первинну оцінку потреби рослини в певному поживному елементі. Таким чином реалізується *друге правило* створення системи удобрення. Ця величина є досить приблизною і не враховує запаси поживних речовин у ґрунті на початку вегетації та можливості використання інших джерел поживних елементів, зокрема повітря, яке може забезпечувати рослини азотом, сіркою та деякими мікроелементами.

Для коректування первинної потреби в конкретному елементі живлення необхідно визначити його вміст у ґрунті, тобто провести ґрунтову діагностику або агрохімічне обстеження ґрунтів, що є *третьім правилом* створення системи удобрення. Під час ґрунтової діагностики визначають вміст тільки рухомих форм фосфору, калію, азоту, що швидко засвоюється рослинами (мінеральний і легко гідролізований), рухомих форм мікроелементів тощо.

Урахування зональних ґрунтово-кліматичних умов певної території є *четвертим правилом* розроблення системи удобрення. На теренах України виділяють принаймні три досить контрастні ґрунтово-кліматичні зони – Зона мішаних лісів, або Полісся, Зона Лісостепу та Зона Степу.

Клімат *Полісся* помірно континентальний. Весна прохолодна, під час танення снігів бувають тривалі повені. Літо тепле, вологе. Дошова осінь. Зима сніжна, з відлигами. Середня температура січня змінюється із заходу на схід від $-4,5$ до -8°C , липня – від $+17$ до $+19^{\circ}\text{C}$. У середньому за рік випадає 600-680 мм опадів (близько 70 % у теплий період). Ґрунти Полісся (дерново-підзолисті, дерново-карбонатні, дерново-оглеєні, дерново-лучні, болотні, сірі лісові) переважно мають низькі параметри показників родючості ґрунту: кислу реакцію ґрунтового розчину, невеликий уміст гумусу і рухомих сполук макро-, мезо- та мікроелементів живлення, але гарно зволожуються. На цих ґрунтах насамперед потрібно проводити вапнування та застосовувати високі норми органічних і мінеральних добрив. Органічні добрива насамперед уносять під просапні культури (коренеплоди, картоплю, кукурудзу на силос) та під покривні культури з підсіванням трав і на ґрунтах легкого гранулометричного складу. А мінеральні добрива вносять насамперед під овочеві й технічні культури (льон, буряк цукровий та ін.), а також під картоплю, зернові культури. Система удобрення деяких культур сівозміни в зоні дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтів складається з основного, передпосівного внесення та підживлення. Роздрібне внесення азотних добрив у цій зоні підвищує ефективність їхнього використання. У Поліссі досить ефективним є застосування мікроелементів, особливо після внесення високих норм мінеральних добрив, проведення вапнування та недостатньої кількості внесення органічних добрив.

Клімат у лісостеповій зоні помірно континентальний, його континентальність збільшується у східному напрямку. Тепле літо і помірно холодна зима. Середня температура січня становить на заході -4°C , на сході -8°C , а липня – відповідно $+16$ і $+22^{\circ}\text{C}$. Опадів випадає менше, ніж у зоні

мішаних лісів, але більше, ніж у степах. Річна кількість опадів змінюється у східному напрямку від 600 до 500 мм, але майже стільки ж вологи та випаровується. В окремі роки в зоні, особливо в її південній частині, бувають посухи. Ґрунти цієї зони (сірі лісові ґрунти, чорноземи опідзолені, чорноземи вилугувані, чорноземи реґрадовані, чорноземи типові) у зв'язку з інтенсивним їх використанням у сільському виробництві, мають значний дефіцит у добривах. Тому баланс елементів живлення в ґрунтах Лісостепу характеризується високим дефіцитом, що призводить до поступового зниження їхньої родючості та погіршення фізико-хімічних властивостей. Хоча родючість цих ґрунтів залишається ще високою, але для її реалізації додатково треба середньорічне внесення 200-250 кг/га елементів живлення у вигляді органічних і мінеральних добрив. У сівозмінах оптимальні норми добрив першочергово вносять під буряк цукровий, соняшник, кукурудзу на зерно і силос, озимі зернові культури. Ярі зернові, зернобобові та круп'яні культури, які споживають післядію добрив, унесених під попередник, потребують невисокі норми добрив або застосовують лише локальне удобрення.

В основне удобрення з осені азотних добрив не вносять, за винятком озимих культур після гірших попередників. У цій зоні досить поширене внесення добрив під час передпосівної культивуації, але ефективність його порівняно з основним нижча. Підживлення сільськогосподарських культур проводять лише азотними добривами в рекомендованих дозах та в оптимальні для кожної культури строки. Особливо ефективні підживлення озимих культур. Як у зоні Полісся, так і в зоні Лісостепу досить часто виявляється сильна дія мікродобрив, які містять бор, молібден, мідь, марганець, цинк та ін. Застосовують їх з урахуванням біологічних потреб сільськогосподарських культур і даних агрохімічного обстеження ґрунтів.

Степова зона вирізняється найбільшими тепловими ресурсами та найменшою зволоженістю порівняно з іншими природними зонами країни, тому клімат степів найбільш континентальний, із найбільшими в Україні

різницями температур між зимою і літом. Середня температура січня змінюється з південного заходу на північний схід від -2 до -9°C, а липня – від +20 до +24°C. Річна сума опадів зменшується від 450 до 300 мм. Посухи спостерігаються майже щорічно.

Ґрунтовий покрив степової зони досить різноманітний. У північній його частині найбільш поширеними ґрунтами є чорноземи звичайні, а в південній частині Степу чорноземи південні та темно-каштанові ґрунти. Крім того, тут трапляються чорноземи на пісках, карбонатні чорноземи, а також гідроморфні ґрунти – лучно-чорноземні, лучні, дернові тощо. Усі каштанові ґрунти солонцюваті.

У системі удобрення в степових районах має переважити основне удобрення, яке застосовують під зяблевий обробіток ґрунту. Це забезпечує розміщення добрив у шарі ґрунту з гарантованим зволоженням, що підвищує доступність елементів живлення для рослин. Потрібно враховувати, що внесені фосфорні та калійні добрива в основне удобрення мають значну післядію на наступні культури. Іноді їхня післядія перевищує ефект прямої дії. Підживлення сільськогосподарських культур у цій зоні малоефективне, за винятком зрошуваних земель та озимих культур.

У зв'язку із розвитком зрошення мінералізованими водами, яке викликає осолонцювання ґрунтів, гіпсування є обов'язковим агрохімічним заходом.

Балансовий метод визначення норм добрив

На основі викладених вище чотирьох правил створення системи удобрення сформовано балансовий метод визначення норм добрив, який ураховує винесення елементів живлення на запланований рівень урожайності та використання їх з урахуванням коефіцієнтів із ґрунту і добрив. Величина винесення, коефіцієнти використання поживних речовин із добрив та ґрунту визначають з урахуванням зональних ґрунтово-кліматичних умов.

Норми елементів живлення за їх виносом із запланованим урожаєм розраховують за такою формулою:

$$H = \frac{100 \times Y \times B - C \times K_r}{K_d}, \quad (19.1)$$

де H – норма добрив (N , P_2O_5 , K_2O), кг/га, Y – запланована врожайність, т/га, B – винос елемента живлення 1 т продукції, кг, C – запас рухомих сполук елемента живлення в ґрунті, кг/га; K_r – коефіцієнт використання елемента живлення з ґрунту, %, K_d – коефіцієнт використання елемента живлення з добрив, %.

Є різні варіації використання рівняння (19.1), але всі вони спираються на показники виносу елементів живлення з ґрунту, їх запасів у ґрунті та на коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту та добрив.

Сучасні правила створення системи удобрення певної культури

Подальше вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур, засобів захисту рослин, сільськогосподарської техніки та селекційно-генетичні досягнення, актуальне збільшення концентрації CO_2 в атмосфері (Ghannoumetal., 2000; Акатов, 2013), що зумовило посилення інтенсивності фотосинтезу, зростання теплозабезпеченості території в процесі зміни клімату, дозволили значно підняти не тільки рівень урожайності, а й окупність мінеральних добрив. За даними вчених Інституту зернових культур НААН, якщо за період 2001-2008 рр. за норми внесення $N_{60}P_{60}K_{30}$ окупність 1 кг дієвої речовини становила 6,3-7,3 кг зерна пшениці озимої, то за період 2008–2015 рр. – 9,7-17,0 кг (Черенков та ін., 2018). У 2015-2020 рр. нормою стає окупність в 12-14 кг зерна пшениці озимої та більше (Мірошніченко та ін., 2018). А тому на думку фахівців-агрохіміків, зараз, окрім викладених вище чотирьох правил для створення систем удобрення сільськогосподарських культур, формують нові правила, які суттєво покращують ефективність добрив.

Зокрема *п'ятим правилом* формування системи удобрення є нові підходи щодо збалансованості живлення. В останні десятиліття селекційно-генетичні розробки були спрямовані на більш ефективне споживання азоту, завдяки чому значною мірою й були досягнуті суттєво вищі рівні врожайності сільськогосподарських культур. Іншою можливою причиною збільшення споживання азоту сільськогосподарськими культурами є сучасна зміна хімічного складу атмосфери, а саме зростання вмісту CO₂, що приводить до зростання інтенсивності фотосинтезу та збільшення споживання азоту. Усе це зумовлює зміни співвідношення між основними елементами живлення (азоту, фосфору, калію) та посилення ролі мезо- та мікроелементів у формуванні урожаю. Наприклад, співвідношення N:P:K як 1:0,35:0,24, що витікало з вмісту поживних речовин у зерні пшениці і яке було в нормі ще в 90 роках ХХ століття, зараз, для нових сучасних сортів та в нових умовах їх вирощування, змінилося до 1:0,27-0,30:0,22 (Мірошниченко та ін., 2018). Така тенденція спостерігається зараз під час вирощування низки сільськогосподарських культур у всьому Світі.

Використання застарілих нормативів може спричинити суттєве зменшення окупності добрив та їхньої ефективності, а також забруднення навколишнього середовища через надлишок поживних речовин у ґрунті.

Шостим правилом сучасного формування системи удобрення є врахування сучасних та майбутніх змін клімату. Як відомо, ефективність удобрення, їхня окупність, напряду залежить від ступеня зволоженості ґрунту. Розрахунки за різними сценаріями зміни клімату (A1B, A2, GFDL-30) до 2050 року в Україні показують, що в усіх природних зонах річна кількість опадів зростає на 110-133 % від базового періоду (1986-2005 рр.) (Степаненко та ін., 2015). Водночас помітне потеплення приводить до зростання випаровуваності, яке компенсує зростання опадів. Гідротермічний коефіцієнт (співвідношення опади/випаровуваність) назагал зменшується, а тому посушливість клімату тільки буде зростати, особливо в степовій та лісостеповій зонах.

Водночас дуже важливим, з погляду ефективності добрив, є внутрішньорічний розподіл зволоженості ґрунту. Визначальний вплив на окупність має зволоження ґрунту у квітні-травні, коли швидке зростання біологічної маси ярових і озимих культур потребує великої кількості поживних речовин, особливо азоту (Мірошніченко та ін., 2018). В умовах дефіциту опадів у цей період на окупність добрив позитивно буде впливати диференціація норм добрив на окремі дози, які вносять через підживлення. Іншими засобами збільшення ефективності добрив буде збільшення глибини внесення добрив до 20 см, що зменшує залежність процесу розчинення мінеральних добрив від поточних метеорологічних факторів. У ході такого розташування добрив у ґрунті коренева система швидко розвивається в глибші горизонти, що збільшує вірогідність «перехоплення» нітратного азоту коренями польових культур (Мірошніченко та ін., 2018).

Іншим засобом координації системи удобрення до поточних гідротермічних умов поточного року є комбінування добрив зі стрес-протекторами та стимуляторами росту, які активізують захисні механізми рослини в періоди абіотичних стресів, зокрема посухи, та прискорюють відновлення живлення після його гальмування в умовах дефіциту вологи (Мірошніченко та ін., 2018).

Урахування сортових особливостей певної культури є *сьомим правилом* збільшення агрономічної ефективності системи удобрення.

В огляді, присвяченому механізмам сортової варіабельності мінерального живлення, резюмується, що інформація щодо процесів живлення різних сортів рослин дуже обмежена та потребує більшої уваги. Маса врожаю, що припадає на 1 кг фосфору (унесеного з добривами), для «найбільш ефективного» та «неефективного сорту» кукурудзи становить 625 та 125 кг, калію – 46 та 18 кг, кальцію – 256 та 115 кг, магнію – 476 та 333 кг відповідно (цитуються за Мірошніченко та ін., 2018). Однак до цього часу системою удобрення сільськогосподарських культур сортові особливості живлення рослин не враховано, що знижує ефективність споживання

поживних речовин. У науковій літературі є достатньо багато свідчень про значно відмінну реакцію окремих сортів на певні види добрив або системи удобрення. Особливо наочною є різниця для сортів та гібридів різних груп стиглості. За даними фахівців ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії НААН України», якщо формування врожаю гібриду кукурудзи НС 251 з ФАО 250 на чорноземі опідзоленому майже не залежало від способу внесення та форми азотних добрив, то за вирощування гібриду ДК 291 з ФАО 280 більш ефективним виявилось локальне внесення безводного аміаку, що сформувало осередок накопичення азоту у глибших шарах ґрунту (Мірошніченко та ін., 2018).

Розробка системи удобрення до потреб кожної окремої рослини не є можливим без адекватного врахування неоднорідності ґрунтового покриву, що є *восьмим правилом*, яке потрібно виконувати під час розроблення системи удобрення. У сучасних умовах, коли земельний ринок ще по суті не відкритий, а великі земельні масиви, на яких вирощують різні сільськогосподарські культури, складаються з безлічі орендованих ділянок із складною історією використання. Цей факт, а також просторова неоднорідність ґрунотворних порід, широкого поширення ерозії приводить до виключної строкатості в територіальному розподілі вмісту поживних елементів у ґрунті певної земельної ділянки (рис. 19.1), що суттєво, згідно з формулою (19.1), буде впливати на розподіл норми добрив по площі поля. Урахування цієї строкатості є одним із головних принципів *точного землеробства*. При реалізації такої системи землеробства для оцінки різних неоднорідностей на конкретному полі використовують системи глобального позиціонування, аерофотознімання й знімків зі супутників, а також спеціальні програми для менеджменту на базі геоінформаційних систем. Зібрані дані використовують для точнішої оцінки, зокрема, норм унесення добрив, а також виконання інших операцій (посіву, обробки посіву засобами захисту рослин, точнішого прогнозу врожайності і фінансового планування).

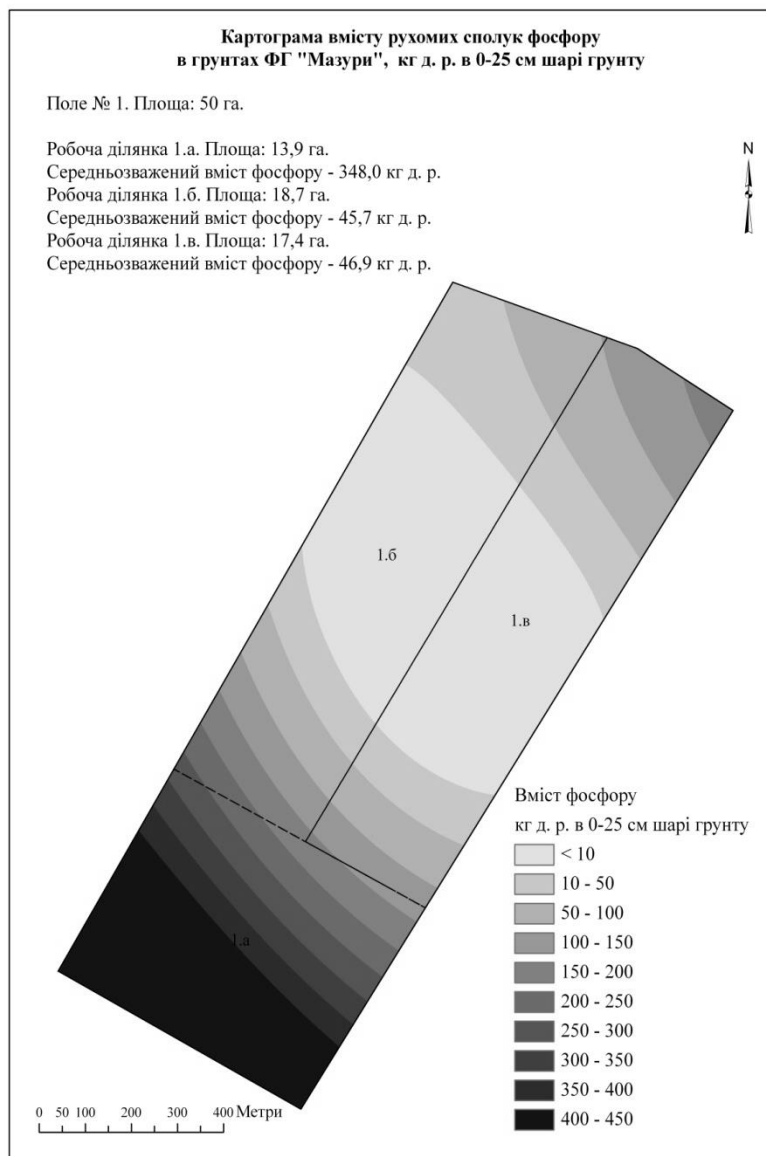


Рисунок 19.1. Уміст рухомих сполук фосфору в ґрунтах поля № 1 ФГ «Мазури» Снігурівський район Миколаївської області

На цей час більш-менш відпрацьованою та реалізованою є технологія точного азотного підживлення, диференційованого у просторі за даними супутникового зондування, аерофотознімання або надземних методів діагностики. Просторовий розподіл фосфорних, калійних, мезо- та мікродобрив у межах певного поля залишається рівномірним, а норми внесення коригуються тільки на середні показники по полю (Мірошніченко та ін., 2018).

Останнім *дев'ятим правилом* побудови системи удобрення є її економічна доцільність. При таких підходах найкращим показником ефективності удобрення буде окупність добрив, яка розраховується в грошовому еквіваленті. Очевидно, що окупність добрив урожаєм у грошовому вираженні буде відрізнятися від оцінки ефективності добрив у натуральних показниках. У сучасних українських реаліях вона є, зазвичай, нижчою. Це пов'язано з непропорційно високими цінами на мінеральні добрива в Україні порівняно з цінами на продукцію рослинництва, особливо в останні роки. Так, у 1990 р. 1 т аміачної селітри коштувала 0,26 т пшениці, амофосу – 0,84 т, у 2000 р. відповідно 0,86 т і 2,56 т, у 2010 р. відповідно 1,8 т і 3,6 т, а у 2013 р. – у 28,1 та 2,3 рази більше проти 1990 р., тобто 1,9 т і 3,2 т пшениці треба було продати за цінами 2013 р., щоб придбати відповідні мінеральні добрива. Те саме стосується цукрових буряків, соняшнику та картоплі (Кучер Л., Кучер А., 2017). Одночасно найвищої окупності, зазвичай, досягають за найменших норм унесення добрив, але це не завжди відповідає економічній стратегії господарства.

Залежно від специфіки економічної стратегії, наявних фінансових і сировинних ресурсів доцільними можуть бути системи удобрення, що базуються на місцевих ресурсах, зокрема за використання відходів тваринництва та птахівництва, сапропелю, торфу тощо. Отже, не використовуючи дорогі мінеральні добрива, досить легко оптимізувати прибутковість і окупність витрат та досягти простого або розширеного відтворення родючості ґрунту. За таких умов розроблення й упровадження системи удобрення в господарствах можна у сприятливі роки одержувати врожайність сільськогосподарських культур на рівні генетично зумовленого рівня.

«Критичне» та «максимальне» споживання певних елементів живлення сільськогосподарськими культурами

Споживання елементів живлення протягом вегетації проходить у край нерівномірно. У зв'язку з цією періодичністю виділяють:

- критичний період живлення;
- період максимального споживання поживних речовин.

Під час *критичного періоду* споживається невелика кількість поживної речовини, але вона вкрай необхідна і її недолік або повна відсутність значно обмежує розвиток рослини, що зрештою призводить до великого зниження врожайності. Критичний період зазвичай збігається з початковими фазами розвитку рослини.

Період максимального споживання характеризується найбільш інтенсивним поглинанням поживної речовини. Він переважно збігається з періодами швидкого зростання і накопичення біологічної маси рослинами.

Таку нерівномірність споживання слід урахувувати під час застосування добрив. Для створення оптимальних умов мінерального живлення рослин протягом усього вегетаційного періоду використовують різні терміни, прийоми внесення та їх зароблення у ґрунт.

Прийоми внесення добрив

Розрізняють три прийоми внесення добрив: основне удобрення (допосівне, передпосівне), рядкове (припосівне) і підживлення (післяпосівне) (Господаренко, 2018).

Основне внесення забезпечує живлення рослин протягом усієї вегетації, особливо в період інтенсивного зростання. Його можна вносити восени або навесні. Розміщення добрив у ґрунті залежить від знаряддя закладення. Вибір оптимальних строків унесення основного добрива визначається гранулометричним складом ґрунту, умовами зволоження та властивостями добрив.

Азотні добрива нітратної й аміачно-нітратної форм в умовах надлишкового та достатнього зволоження вносять навесні із закладенням під культивуацію зябу. Це пов'язано з тим, що нітратний азот швидко мігрує по

грунтовому профілю з опадами. Аміачний азот у теплий весняний період протягом двох тижнів перетворюється в нітратний азот і легко просувається вниз з атмосферними опадами або поливною водою. У зонах недостатнього зволоження на ґрунтах непромивного режиму азотні добрива вносять з осені під зяб.

Фосфорні добрива в усіх випадках варто заорювати більш глибоко, під оранку на зяб або навесні під його культивації.

Калійні добрива застосовують навесні тільки на піщаних та супіщаних ґрунтах вологої зони (або під час зрошення). На інших ґрунтах їх краще вносити восени під зяб, особливо хлоровмісні добрива. За осінньо-весняний період хлор вимивається з верхніх шарів ґрунту.

Гній (компост) уносять під зяб або під весняне переорювання. Весняне внесення гною практикується в тому випадку, якщо до осені його нагромадилося в господарстві недостатньо, а також на піщаних і супіщаних ґрунтах через можливі втрати азоту й калію.

Основне добриво можна вносити врозкид і локально.

Припосівне (рядкове) удобрення проводять локально. Це підвищує коефіцієнт використання добрив, зокрема фосфору із суперфосфату. У результаті його впровадження поліпшується ріст молодих рослин, стійкість сходів до несприятливих умов. Норми внесення припосівного добрива, зазвичай невеликі (5-20 кг/га кожного елемента живлення). Це пов'язано з тим, що при прямому контакті добрив із насінням висока концентрація розчину солей у ґрунтовому розчині може негативно позначитися на їхній схожості. Під час рядкового удобрення найбільший ефект досягається в ході внесення фосфору, найменший – у ході внесення азоту. Унесення калію в рядки під час посівів часто не дає позитивного ефекту. Як припосівне добриво застосовують гранульований простий та подвійний суперфосфат, а також комплексні добрива, які містять фосфор (амофос, діамфос, нітрофос, нітрофоску, нітроамфос і нітроамфоску).

Післяпосівне удобрення, (або підживлення), виконують не завжди й мають певні обмеження. Зокрема на ґрунтах середнього й важкого гранулометричного складу, особливо в посушливих районах, де мала ймовірність вимивання поживних речовин, перенесення частини азотних, калійних і фосфорних добрив з основного удобрення у підживлення часто супроводжується зниженням урожаю. Це пов'язано з тим, що добрива, які внесені поверхнево, протягом вегетації часто потрапляють у пересушений ґрунт і слабо використовуються рослинами. Підживлення має позитивний результат за наявності вологи.

Назагал післяпосівне удобрення виправдане за таких обставин:

- підживлення озимих зернових і багаторічних трав азотними добривами;
- підживлення азотними й калійними добривами просапних культур на легких ґрунтах під час зрошення та в зоні достатнього або надлишкового зволоження;
- під час використання високих річних норм мінеральних добрив під культури, які чутливі до підвищеної концентрації солей (наприклад, овочі);
- для багаторічних трав у польових сівоzmінах, коли всю норму фосфорних і калійних добрив не вдалося внести відразу під покривну культуру;
- під час використання спеціально розроблених для підживлень комплексних водорозчинних добрив (див. гл. 16).

Особливості удобрення сільськогосподарських культур у ході застосування «нульової» технології (технології No-till)

У традиційних системах землеробства ґрунт готують до сівби за допомогою різноманітних операцій (оранка, культивация, боронування), для того щоб створити насінневе ложе з однорідним пухким ґрунтом, придатним для посіву звичайними сівалками. Головною з цих операцій є оранка, за допомогою якої не тільки спускають ґрунт, а і заорюють пожнивні залишки,

зачищають поверхню поля від бур'янів і заробляють добрива в ґрунт. Недоліком такої технології, окрім значних витрат ресурсів, особливо паливних, є те, що механічне оброблення ґрунту ще і стимулює розвиток водної та вітрової ерозії та погіршення низки важливих фізичних, водних та повітряних властивостей ґрунтів. Альтернативою типовим технологіям вирощування сільськогосподарських культур є різні безплужні, консервативні, мінімальні, «нульові» технології (No-till-технології) тощо.

«Нульова» технологія набула поширення у світі і в Україні, що пов'язано з її економічними аспектами, ґрунтозахисними перевагами та зі зменшенням непродуктивного випаровування вологи з ґрунту. Наявність постійного рослинного покриву з рослинних решток на поверхні ґрунту докорінно змінює всі елементи технології вирощування сільськогосподарських культур, зокрема й унесення добрив. Система No-till, базується на повній відмові від механічного оброблення ґрунту. Але під час запровадження цієї системи передпосівне внесення мінеральних добрив стає проблематичним, а тому головна кількість добрив уноситься під час посіву та підживлення. Органічні добрива зазвичай не вносять узагалі (Медведев, 2015). Водночас є рекомендації щодо внесення органічних добрив (перепрілий гній, торфогноеві компости, вермікомпости тощо) зверху по шару рослинних решток, утворюючи, в такий спосіб змішаний шар мульчі з органічними добривами. Особливо ефективним такий прийом може бутив перші роки впровадження технології No-till, коли спостерігається гострий дефіцит азоту, який виникає через повільну мінералізацію рослинних решток унаслідок широкого співвідношення C:N, що уповільнює мікробіологічну діяльність (Косолап, Кротінов, 2011; Медведев, 2015).

Використання мінеральних добрив за «нульової» технології ефективніше у порівняно з традиційним обробленням, що пов'язано з локальним (стрічковим) їх унесенням під час посіву та з кращим водним режимом ґрунтів.

Унесення азотних добрив, які укладаються в ґрунт під час посіву в стрічку кількістю 40-60 кг д.р. на гектар, зазвичай забезпечує дружні сходи і нормальний розвиток сільськогосподарських рослин. Під час сівби доцільно також уносити комплексні мінеральні добрива, надаючи перевагу фосфору. Співвідношення NPK має бути 1:2:1 (або 1:2:0 на ґрунтах, які утворилися на лесах та лесоподібних суглинках), норма внесення – 30-35 % від загальної кількості мінеральних добрив, розрахованих на запланований урожай. Проте доза дієвої речовини не повинна бути занадто великою. Надлишкова кількість солей у ґрунтового розчині негативно впливає на сільськогосподарські рослини на перших етапах вегетації (Косолап, Кротінов, 2011). Залишок із запланованих мінеральних добрив доцільно вносити вже в підживлення. Найвідповідальнішими є позакореневі підживлення, їх проводять 3-4 рази за вегетаційний період. Ці обприскування зазвичай поєднують з унесенням засобів захисту рослин та стимуляторів росту, що значно скорочує виробничі витрати. За системи землеробства No-till найдоцільніше вносити комплексні добрива, які містять макроелементи, мезо- та мікроелементи живлення в різних співвідношеннях (Косолап, Кротінов, 2011).

20. УДОБРЕННЯ ЗЕРНОВИХ ТА ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР

Динаміка споживання елементів живлення злакових культур

Хлібні зернові культури (пшениця, ячмінь, жито, овес, рис, кукурудза, сорго, просо, тощо) здебільшого належить до ботанічної родини злаків. У злакових культур (озима та яра пшениця, озимий та ярий ячмінь, овес, жито, кукурудза тощо) динаміку споживання елементів живлення можна умовно розділити на *n'ять періодів* (Господаренко, 2015).

У перший період – від проростання насіння до початку кущіння (1-й етап органогенезу, 0-19 стадія ВВСН), рослини практично не потребують зовнішнього джерела мінерального живлення. До появи третього листа (початку кущіння) вони розвиваються в основному через використання поживних речовин що містяться в насінні. Назагал інтенсивність їхнього зростання в цей період зумовлюється тільки екологічними умовами (температурою, вологістю ґрунту) і мало залежить від умісту поживних речовин у ґрунті.

Другий період живлення (2 і 3-й етапи органогенезу, 20-29 стадії ВВСН) – від початку до кінця кущіння, пов'язаний із диференціацією в конусі наростання зародкового стебла, вузлів і міжвузля, що визначає надалі габітус рослин (висоту, кількість листя) і врожай надземної маси. Рослини в цей час посилено кущуються і накопичують у листі значно більше елементів мінерального живлення, ніж у них є фізіологічна потреба, створюючи тим самим запаси поживних речовин для подальшого використання. Тому цей період у житті рослин є критичним щодо цілої низки елементів живлення, але насамперед до фосфору. При гострому дефіциті фосфору або азоту на цій стадії розвитку в конусі наростання значно лімітується утворення та диференціація майбутнього листя і міжвузліїв (Господаренко, 2015).

Третій період (4-7 етапи органогенезу, 30-49 стадія ВВСН) в живленні злакових культур най триваліший – від виходу в трубку до початку

колосіння. Він характеризується найбільш інтенсивнішим споживанням елементів живлення та швидким приростом наземної маси. Середньодобове споживання елементів мінерального живлення в цей період становить 4-10 кг/га, а сумарний винос рослинами N, P₂O₅ і K₂O з ґрунту від кушіння до цвітіння залежно від виду злакової культури та її врожайності може становити 100-250 кг/га. Цей період живлення є максимальним і водночас критичним для споживання низки елементів, але особливо для споживання азоту. На цій стадії розвитку рослин (на 4-5 етапі органогенезу) відбувається закладення в конусі наростання зачатків майбутнього колоса. Низька забезпеченість рослин елементами живлення в попередньому та в цьому періодах значно зменшує кількість колосків у колосі та погіршує їхню диференціацію і спричинює до зниження врожаю.

Четвертий період – від фази цвітіння до фази молочної стиглості (8-9 етапи органогенезу, 51-77 стадії ВВСН), характеризується значним зниженням, а, в кінці періоду і повним припиненням споживання рослинами поживних речовин із ґрунту. Налив зерна відбувається переважно через відтік значної частини мінеральних речовин та амінокислот із вегетативних органів. Це характерно для азоту, фосфору, сірки й магнію та меншою мірою, для калію і кальцію. До фази молочної стиглості зерна біомаса рослин містить практично весь спожитий за період вегетацію азот, фосфор, калій, мезо- і мікроелементи живлення. Більш того, до кінця цього періоду частина калію перетікає назад через коріння у ґрунт, а також вимивається опадами зі старого листа (Господаренко, 2015).

У п'ятий період (10-12 етапи органогенезу, 78-99 стадії ВВСН) – від молочно-воскової стиглості до повного дозрівання насіння, коли повністю закінчується відтік поживних речовин із верхньої частини вегетативних органів у репродуктивні та відбувається швидке старіння і відмирання вегетативних органів. На цьому періоді спостерігаємо значні втрати калію з рослин.

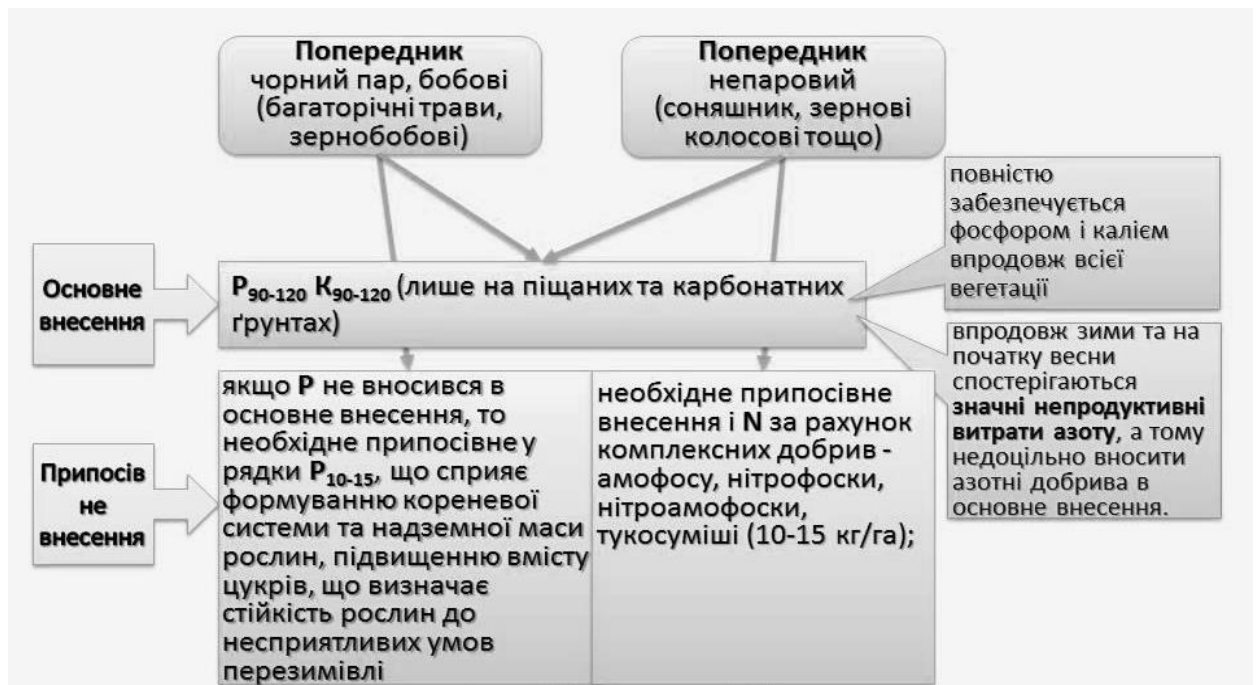


Рисунок 20.1. Приблизна схема удобрення озимої пшениці восени.

Удобрення озимої пшениці

Головна продовольча культура України *озима пшениця* виносить з урожаєм значну кількість елементів живлення з ґрунту. Для формування врожаю зерна 1 т/га необхідно: 25-35 кг азоту; 10-13 кг фосфору; 20-27 кг калію, 5 кг кальцію, 4 кг магнію, 3,5 кг сірки, 5 г бору, 8,5 г міді, 270 г заліза, 82 г марганцю, 60 г цинку, 0,7 г молібдену (Господаренко, 2015; Лопушняк та ін., 2018).

Ураховуючи викладені вище періоди споживання поживних речовин, удобрення озимої пшениці здійснюють у кілька етапів. Обсяги удобрення восени (передпосівне і припосівне) залежить від попередників та родючості ґрунтів (рис.20.1) і головним чином складаються з унесення фосфорних і (для ґрунтів, які утворилися на лесах та лесоподібних суглинках) калійних, а внесення азотних, мезо- і мікродобрив переноситься на весну в підживлення. Зазвичай розрізняють три терміни внесення азотних добрив під пшеницю озиму весною і літом: підживлення ранньовесняне (*регенеративне*), у фазу виходу рослин у трубку (*продуктивне*) та якість зерна (*позакореневе*).



Рисунок 20.2. Приблизна схема ранньовесняного (регенеративного) підживлення озимої пшениці.

Точно визначити дозу азотних добрив у конкретне підживлення треба за допомогою методів рослинної та ґрунтової діагностики. Приблизні сценарії проведення ранньовесняного підживлення проілюстровані на рисунку 20.2. Ефективність використання азотних добрив у системі ранньовесняних підживлень залежить від строків та способів їх унесення. Дія азоту в ті чи інші фази росту та розвитку рослин озимої пшениці абсолютно різна. Чим раніше проводиться ранньовесняне підживлення, тим більше воно впливає на урожайність, а чим пізніше – на поліпшення якісних показників зерна (Господаренко, 2015; Лопушняк та ін., 2018).

Друге (продуктивне) підживлення проводять у терміни від початку трубкування до початку колосіння (40-50 стадія ВВСН). Воно сприяє кращому росту бокових стебел, які за продуктивністю наближаються до головного стебла. Воно найбільше зі всіх підживлень азотом впливає на врожай зерна. На якість підживлення впливає вологість ґрунту: чим менша вологість, тим нижче його ефективність. Оптимальну норму добрив другого підживлення встановлюють за листковою діагностикою. Але, якщо рано

навесні внесли 30 % загальної норми азоту, то під час другого підживлення вносять приблизно 50 %, тобто N_{60-90} . Для підживлення озимих можна застосовувати більшість форм азотних добрив: аміачну селітру, сечовину, сульфат амонію тощо. У районах недостатнього зволоження для другого підживлення можуть застосовуватися азотні добрива в рідкій формі.

Найкращим азотним добривом для позакореневого підживлення є карбамід. На відміну від інших форм азотних добрив розчин карбаміду у воді має нейтральну реакцію і, крім того, добре засвоюється рослинами. Розчин карбаміду є не тільки джерелом азотного живлення, а й фізіологічно активною речовиною, яка значно посилює процес фотосинтезу. Для проведення позакореневого підживлення оптимальною дозою азоту є 30-45 кг/га у вигляді 10-30 %-го розчину карбаміду. Істотне збільшення вмісту білка (на 1,5-2,0 %) та клейковини в зерні переважно відбувається під час проведення підживлення в період «колосіння-початок молочної стиглості зерна», який зазвичай триває впродовж 10 діб.

Пшениця озима ефективно реагує на внесення мезо- та мікродобрив. Під час формування низького рівня врожайності зерна (2-3 т/га) на більшості ґрунтів обмежувальним чинником продуктивності рослин є її забезпечення макроелементами живлення. Але після внесення високих норм мінеральних добрив, що містять азот, фосфор і калій, подальше підвищення врожайності (більше, ніж 5-6 т/га) залежить від живлення мезо- та мікроелементами живлення. Інколи невнесення кількох десятків грамів на гектар одного з мікроелементів обмежує засвоєння інших елементів живлення і перепиняє зростання врожайності навіть на високих фонах живлення мікроелементами (Господаренко, 2015; Лопушняк та ін., 2018).

Із мезоелементів живлення ключовим є сірка. Для формування врожаю зерна в 10 ц/га потрібно приблизно 3,5 кг сірки. Однією з істотних особливостей пшениці озимої, як і інших рослин, є нерозривність азотного і сірчаного живлення. У разі дефіциту сірки в поживному середовищі припиняється відновлення та асиміляція азоту рослинами. Припускають, що

якщо співвідношення N:S у зерні пшениці озимої перевищує 15, то спостерігаємо нестачу сірки і затримуємо процес утворення білків. Для діагностики нестачі сірки для злакових культур критичним є співвідношення N:S як 14:1.

Найважливішими мікроелементами для озимої пшениці є марганець, молібден, мідь, цинк, бор. Їх уносять у ґрунт або разом із мінеральними добривами, а також у процесі позакореневого підживлення (у бакових сумішах) та передпосівним обробленням насіння солями мікроелементів.

Удобрення ярих зернових

Для отримання урожаю ярові зернові витрачають велику кількість поживних елементів. На формування 1 тонни зерна та відповідної кількості побічної продукції *ячмінь ярий* виносить з ґрунту 33 кг азоту, 11-15 кг фосфору та 29 кг калію, *яра пшениця*—35-45 кг азоту, 8-12 кг фосфору і 17-27 кг калію. *Овес* і *просо* мають приблизно такий же рівень споживання макроелементів живлення.

Як і в усіх злакових, найінтенсивніше надходження основних елементів живлення в рослин ячменю ярого та інших ярих зернових культур відбувається протягом третього періоду живлення – від виходу в трубку до початку колосіння (40-50 стадія ВВСН). За цей період рослини споживають 42-46 % азоту, 61-64 % фосфору і 64-74 % калію. Якщо враховувати досить короткий період вегетації, система удобрення ярих зернових культур, значною мірою, залежить від удобрення попередника (рис. 20.3).

Під час вирощування ярих зернових культур ґрунти з кислою реакцією ґрунтового розчину обов'язково вапнують, особливо в разі вирощування пивоварного ячменю (підвищує вміст крохмалю в зерні), фосфорні та калійні добрива вносять під основний обробіток ґрунту, азотні – одночасно з передпосівною культивуацією зазвичай на глибину не більше 10-12 сантиметрів. Мінеральні добрива вносять також у рядки під час сівби ячменю: у Степу й Лісостепу – гранульований суперфосфат, із розрахунку

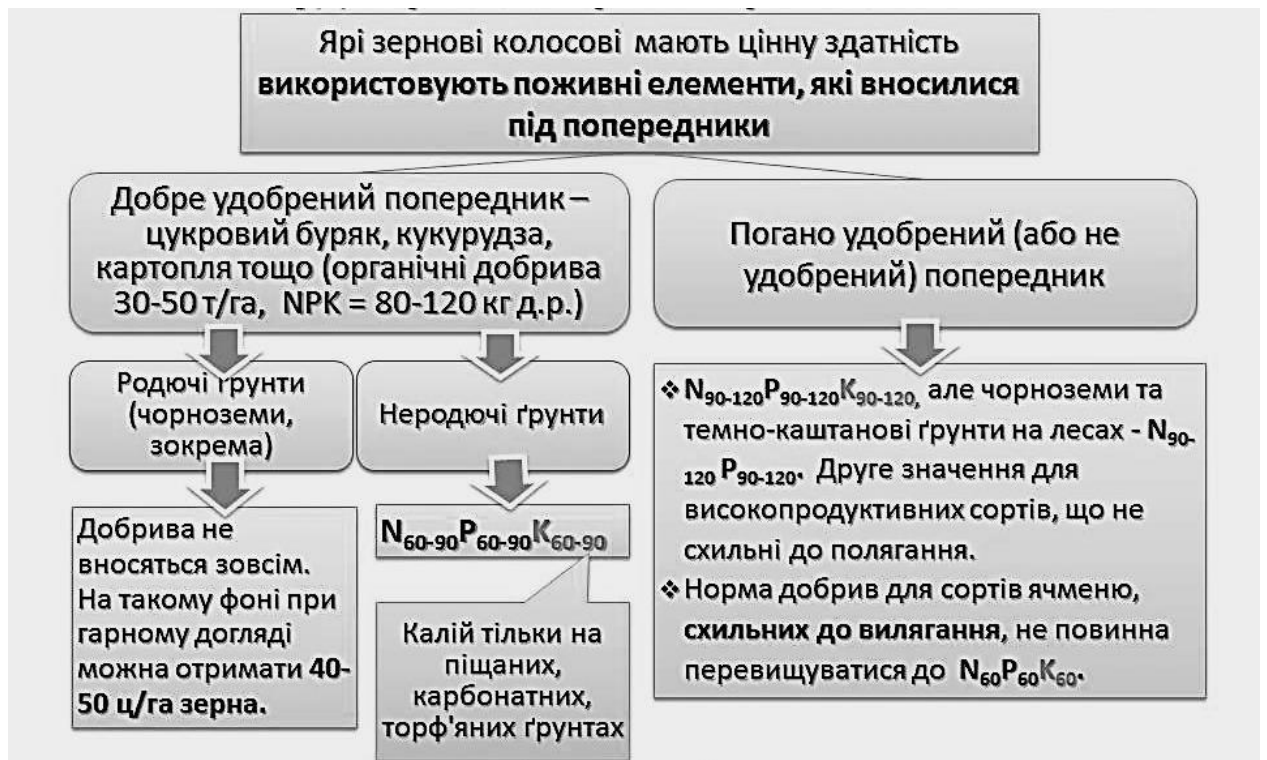


Рисунок 20.3. Приблизна система удобрення ярого ячменю 10-15 кг/га фосфору, на Поліссі – повне мінеральне добриво (приблизно, по 10-15 кг азоту, фосфору й калію). З мікродобрив під час посівів додають ті, що містять мідь, бор, марганець.

У вологі роки в Лісостепу і Поліссі на початку виходу в трубку (40-43 стадії ВВСН) проводять перше підживлення (N_{20-40}), а у фазі колосіння (50-55 стадії ВВСН) підживлюють удруге (N_{20-40}) для покращення якості зерна. У Степу переваги роздрібненого внесення азоту в цілому не виявлено, що пов'язано з високою ймовірністю посухи, при яких підживлення азотом неефективні.

Окремі сценарії удобрення сільськогосподарських культур мають пивоварні сорти ячменю, однією із вимог до систем удобрення є необхідність зниження вмісту в зерні білку і збільшення вмісту крохмалю. А тому під час вирощування пивоварного ячменю дозу азотних добрив зменшують на 25-50 % від розрахованої кількості та вона повинна перевищувати:

- після бобових та попередників, які були гарно удобрені N_{30} ;
- після попередників, які були неудобрені N_{60} .

Підживлення азотом під час вирощування пивоварних сортів ячменю не проводять. На тлі такого досить помірною удобрення рослин азотом норма фосфорних та калійних добрив повинна переважати норму азотних. Важливою вимогою до системи удобрення пивоварного ячменю є врахування просторової строкатості параметрів ґрунтової родючості. Неякісний розподіл добрив поверхнею ґрунту створює умови для формування нерівномірних за вмістом білку посівів ячменю, що знижує його пивоварні якості.

Удобрення кукурудзи

Кукурудза дуже вибаглива до родючості ґрунту, погано росте на ґрунтах із кислою та лужною реакцією ґрунтового розчину (оптимальне значення рН 6,0-7,0), на глинистих та важкосуглинкових, особливо постійно перезвожених та на засолених ґрунтах. Кукурудза має дуже розвинену кореневу систему, здатну засвоювати елементи живлення з великого обсягу ґрунту. Водночас основна маса кореневої системи (близько 60 %) розміщена в шарі ґрунту 0-20 см.

На формування 1 т зерна з відповідною кількістю листостеблової маси різні за скоростиглістю гібриди кукурудзи споживають у середньому 24-30 кг азоту, 10-12 кг – фосфору, 25-30 кг – калію, 6-10 кг – магнію і кальцію, 3-4 кг сірки; 11 г бору, 14 г міді, 110 г марганцю, 0,9 г молібдену, 85 г цинку та 200 г заліза (Господаренко, 2018). Зазвичай гній та фосфорно-калійні добрива вносять восени під основний обробіток ґрунту, а азотні – під передпосівну культивуацію. Така система удобрення особливо ефективна в районах достатнього зволоження (Лісостеп і Полісся). Ефективне також локальне припосівне внесення добрив, особливо фосфорних (P₁₀₋₂₀). За такого внесення фосфор менше закріплюється ґрунтом, а тому помітно збільшується частка, яка засвоєна рослинами.

Підживлення кукурудзи азотом посилює дію основного удобрення, але не замінює його. Зазвичай потреба в підживленні азотними добривами виникає на слабо забезпечених азотом дерново-підзолистих, сірих лісових

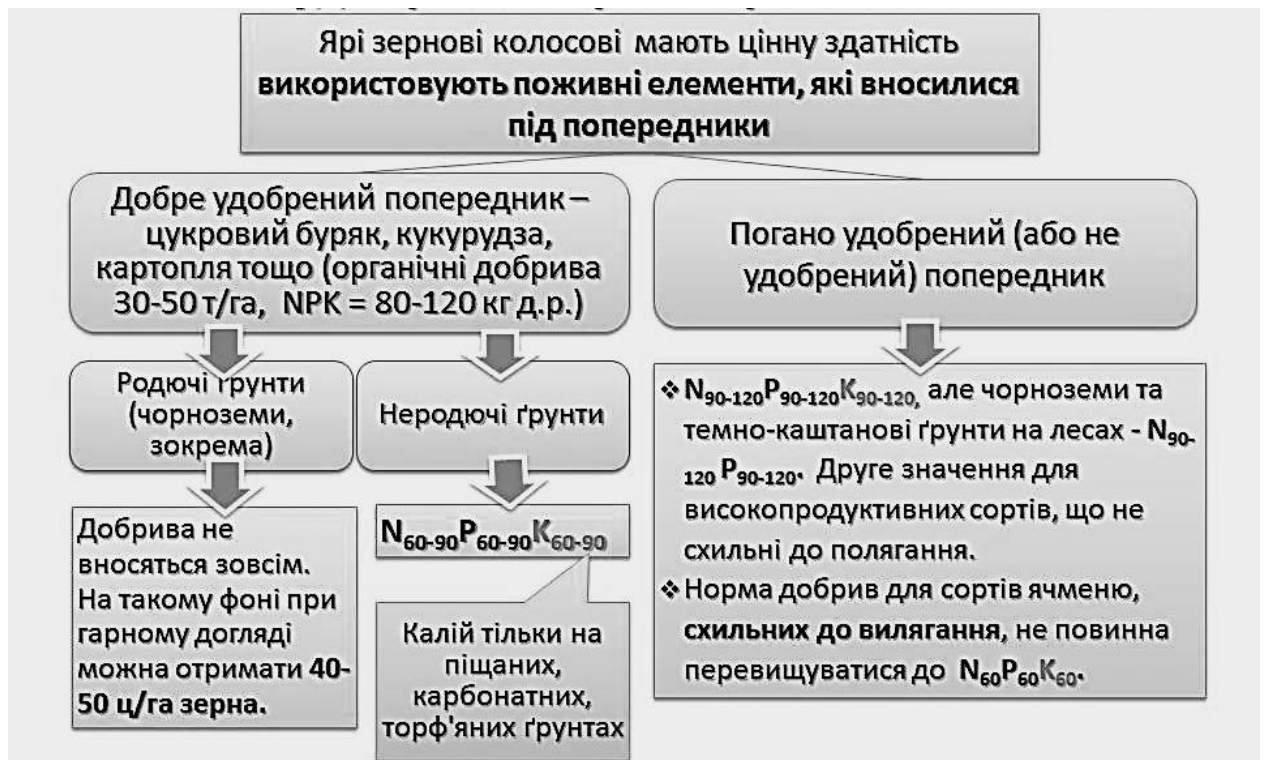


Рисунок 20.3. Приблизна система удобрення ярого ячменю ґрунтах і вилужених чорноземах. Але за умов достатнього зволоження. Найефективніше раннє підживлення, відразу після формування густоти сходів (7-8 листків, 15-17 стадії ВВСН), тобто перед початком інтенсивного поглинання рослинами азоту. Запізнення з підживленням знижує його ефективність, особливо в районах нестійкого та недостатнього зволоження. Можливе друге підживлення розчином карбаміду (6-8 % розчин) по листу (до початку викидання волоті).

Ріст і розвиток кукурудзи може гальмуватися при відсутності в ґрунті сірки. Компенсують нестачу сірки (і магнію) позакореневим підживленням сульфату магнію (3-5 % розчин), одночасно з карбамідом. Одночасно можна вносити інші мікроелементи (цинк, мідь, бор, залізо). Ефективним способом забезпечення рослин мікроелементами є листкове підживлення, головним чином у фазах інтенсивного росту і розвитку, коли елементи живлення необхідні у великих кількостях, а коренева система не завжди здатна засвоїти їх у повному обсязі. У стресових ситуаціях (посуха, низькі температури тощо) позакореневе підживлення є практично єдиним способом забезпечення

деякими елементами живлення, особливо мікроелементами. Навіть невелика їх кількість є дуже корисною, оскільки макро- і мікроелементи містяться в легкодоступній формі й швидко проникають у рослину.

Удобрення зернобобових

У кореневій системі бобових сільськогосподарських культур (горох, соя, квасоля, люпин, нут тощо) розвиваються бульбочкові бактерії, які фіксують газоподібний азот з атмосфери (так звана біологічна фіксація азоту – БФА). За оптимальних умов вирощування бобові засвоюють із повітря за допомогою бульбочкових бактерій у середньому 50-60 % азоту від загального його вмісту в рослинах, а решта використовується із ґрунту. Під час вирощування бобових на неродючих ґрунтах, без унесення азотних добрив, частка БФА може сягнути 80 % (Господаренко та ін., 2017).

Попри те, що зернобобові мають досить короткий вегетаційний період і слаборозвинену кореневу систему, їх потреба в поживних речовинах дуже велика. Наприклад, для формування 1 т зерна *гороху* і відповідної кількості соломи необхідно 35-60 кг азоту, 12-20 кг фосфору, 25-40 кг калію, 17-30 кальцію, 5-13 кг магнію та інших мікроелементів, передусім молібдену та бору. На створення 1 т зерна *сої* з ґрунту виноситься 70-75 кг азоту, 18-20 кг фосфору, 20-25 кг калію (Господаренко. 2015).

Зернові бобові (окрім люпину) чутливі до підвищеної кислотності ґрунту, тому кислі ґрунти необхідно вапнувати.

Фосфорні та калійні добрива слід уносити під зернові бобові з осені під зяблеву оранку. Із-поміж калійних добрив перевагу надають безхлорним добривам, оскільки надлишок іонів хлору в ґрунтовому розчині послаблює БФА. Із фосфорних добрив, окрім суперфосфату, на дерново-підзолистих ґрунтах та вилужених чорноземах можна застосовувати фосфоритне борошно. Особливо ефективно його внесення під люпин і горох, які здатні засвоювати фосфор із важкорозчинних фосфатів.

Для отримання високого врожаю зернових бобових культур необхідно використання бактеріальних препаратів, зокрема нітрагіну. Оброблення насіння цим препаратом збільшує вміст бульбочкових бактерій у ґрунті. Ефективне також припосівне внесення молібденових, кобальтових добрив, особливо на ґрунтах із низьким умістом цього елемента—насамперед на дерново-підзолистих, сірих лісових ґрунтах та вилужених чорноземах.

Унесення невеликої дози гранульованого суперфосфату (10-15 кг фосфору на 1 га) в рядки під час посіву забезпечує живлення рослин фосфором у початковий період росту.

До початку активної БФА рослини бобових потребують ґрунтове азотне живлення, яке може бути достатнім лише на дуже родючих ґрунтах. БФА у звичайних умовах починається у фазі 2-3 листків, досягає максимуму у фазі бутонізації – початку цвітіння (51-60 стадії ВВСН) і практично припиняється до початку наливу зерна (до 81 стадії ВВСН). Якщо на момент посіву запаси нітратного азоту в орному шарі будуть менші, ніж 30 мг/кг ґрунту, то потрібно вносити під час посіву або перед посівом під культивуацію приблизно 20-30 кг/га азоту. Потреба у припосівному (допосівному) внесенні більших доз (40-60 кг/га д.р.) азотних добрив виникає під час вирощування бобових зернових або на малородючих ґрунтах (із вмістом гумусу менше 2 %), або в умовах холодних затяжних весен, коли мікробіологічна діяльність в ґрунті сильно пригнічена. Водночас, при дуже високих нормах умісту мінерального азоту в ґрунті, можуть знижуватися відносні розміри БФА. Не слід забувати також, що посилене живлення мінеральним азотом може спричинити до надмірний розвиток у зернових бобових вегетативної маси та затягування періоду дозрівання зерна.

Зараз часто під час посівів зернобобових культур уносять комплексні добрива, до складу яких, крім основних елементів живлення (NPK), входять мезо- та мікроелементи, такі, як сірка, магній, бор, марганець, цинк, залізо. Ці добрива збагачують ґрунт легкокорозчинними та доступними поживними

речовинами, а також активізують життєдіяльність багатьох ґрунтових мікроорганізмів та азотфіксаторів.

На посівах зернобобових культур особливо ефективно позакореневе підживлення азотом, що сприяє поліпшенню якості зерна. Його проводять на початку утворення бобів 3 % розчином карбаміду. Позакореневе підживлення часто поєднують із внесенням мезо- і мікроелементів живлення – сірки, бору, кобальту, магнію, міді, цинку.

Можливе й окреме підживлення комплексними мікродобривами, особливо в критичні фази розвитку зернобобових – 4-6 листків (14-17 стадії ВВСН), бутонізації (50-59 стадії ВВСН) та формування бобів (71-79 стадії ВВСН). За допомогою позакорневих підживлень цими добривами рослини забезпечуються всіма необхідними елементами живлення у збалансованому співвідношенні, унаслідок чого стимулюються біохімічні процеси в рослинах, що сприяє реалізації генетичного потенціалу. Застосування цих добрив підвищує толерантність рослин сої до стресових факторів, які виникають унаслідок дії пестицидів та несприятливих погодних умов (посухи, перепадів температур), грибних та бактеріальних хвороб тощо.

21. УДОБРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

Удобрення соняшнику

Соняшник має добре розвинену кореневу систему, яка проникає на глибину 3-4 м, а в горизонтальному напрямку на 0,8-1,2 м, що дає змогу рослинам засвоювати вологу та елементи живлення з глибоких шарів ґрунту. Він добре використовує фосфор і калій із ґрунту, а також післядію раніше внесених добрив, здатний засвоювати фосфор із важкорозчинних сполук ґрунту і добрив, а калій – із важкорозчинних сполук ґрунту.

На формування 1 т насіння і відповідної кількості нетоварної продукції соняшник виносить із ґрунту значну кількість поживних речовин: 40-55 кг азоту, 15-25 фосфору, 100-150 кг калію, 0,1 кг бору та цинку, 0,2 кг заліза (Городній, 2008; Господаренко, 2015). Через це переважає думка, що вирощування соняшнику спричинює виснаження ґрунту. Водночас не слід забувати, що значна частина поживних елементів повертається в ґрунт із рослинними рештками. Таке повернення для азоту становить приблизно 74 % від винесеного з урожаєм, 54 % для фосфору 94 % для калію. Для ріпаку таке повернення складає відповідно 60 %, 36 %, 71 %, для кукурудзи 51 %, 34 %, 98 %; для сої – 27 %, 28 %, 28 %; для зернових колосових – 24-32 %, 17-18 %, 68-72 %. Великий винос калію з урожаєм та великий відсоток його повернення дозволяє, з одного боку, класифікувати соняшник як *калієфільну культуру*, а з іншого, констатувати, що соняшник ще виконує функції перерозподілу калію (а інколи й фосфору) за профілем ґрунту з нижніх горизонтів на поверхню (Городній, 2008; Господаренко, 2015)..

Чільні позиції соняшнику в структурі посівних площ Степу і Лісостепу України пояснюють високою рентабельністю цієї культури, яка тісно пов'язана з великими запасами калію в ґрунтах, які утворилися на лесах та лесоподібних суглинках, що зменшує витрати на вирощування цієї калієфільної культури.

Оптимальне значення показника рН ґрунтового розчину під час вирощування соняшнику дорівнюють 6.2-7.0. Важливо не допускати занадто високих (вище 7,0) показників рН, бо при таких значеннях дуже важливий мікроелемент живлення бор стає недоступним рослинам.

Соняшник добре реагує на післядію органічних добрив, тому в сівозміні його розміщують після культур, під які вносили гній. Можливе внесення гною і безпосередньо під соняшник. Тоді гній, фосфорні та в деяких випадках і калійні добрива вносять під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під час передпосівної культивуації. Частина азоту можна перенести в підживлення. Високі результати забезпечує рядкове внесення добрив під час сівби, зокрема на ґрунтах із низьким умістом рухомих сполук елементів живлення. Доза рядкового удобрення становить P_{15-30} у вигляді суперфосфату або $N_{10-15}P_{15-30}$ у вигляді комплексних добрив.

Підживлення ефективно в районах, які добре забезпечені вологою, та коли добрива не були внесені в допосівний період. Доцільно проводити підживлення в рядки азотом (30 кг/га), іноді, при гарній вологозабезпеченості посівів, із додаванням фосфору (20-30 кг/га). В інших випадках рядкове підживлення макроелементами малоефективні (Доценко та ін., 2017).

Позакореневе підживлення мезо- та мікроелементами в хелатній формі (сірка, бор, цинк, залізо, мідь) проводять уперше у фазі 4-6 пар листочків (14-16 стадії ВВСН). У цей період активно росте і розвивається коренева система, яка забезпечуватиме рослини елементами живлення з ґрунту. Саме тому необхідно в цю фазу вносити комплексні добрива по листу.

Друге підживлення має виконуватися в фазі 8-10 пар листя (18-20 стадії ВВСН), коли рослини соняшнику активно зростають, збільшується вегетативна маса, висота рослин і розмір листя. Це підживлення впливає на вкорінення, формування кошика та закладку насіння.

Удобрення ріпаку

Оптимальне значення рН ґрунтового розчину під час вирощування ріпаку залежно від типу і підтипу ґрунту становить 6,2-7,0. Тобто для ґрунтів із кислою реакцією ґрунтового розчину вапнування обов'язкове. Водночас слід зазначити, що, якщо значення рН більш 6,5, то знижується вірогідність ушкодження рослин ріпаку капустяною килою.

На створення 1 т насіння з відповідною масою соломи з ґрунту виноситься 47-65 кг азоту, 20-40 кг фосфору, 40-80 кг калію, 30-70 кальцію, 7-12 кг магнію, 15-30 сірки (Городній, 2008; Господаренко, 2015)., що значно більше, ніж виносять інші культури (за винятком соняшнику). Ріпак належить до найвибагливіших культур щодо сірки. Після збирання ріпаку на 1 га в ґрунті залишається 4-7 т післяжнивних і кореневих залишків.

Ріпак добре реагує на післядію органічних добрив, унесених під попередник. Повну норму фосфорних та інколи й калійних добрив найкраще вносити після збирання попередника під основний обробіток ґрунту.

Під час вирощування озимого ріпаку азотні добрива вносяться в кілька етапів. Унесення азоту до сівби або восени для підживлення кількістю 30-60 кг/га д.р. необхідне, якщо був неоптимальний попередник, наприклад, злакові культури. Перше підживлення азотними добривами (N₆₀₋₁₀₀) проводять по мерзлоталому ґрунті. Найкращим добривом для першого підживлення є аміачна селітра та КАСи. Можливо частину азоту треба вносити у вигляді сульфату амонію для забезпечення потреб рослини в сірці. Удруге азот найкраще вносити у вигляді аміачної селітри з нормою N₄₀₋₉₀ через три тижні після першого внесення, у фазу початку росту стебла (30 стадія ВВСН). У районах із посушливим кліматом більш вірогідне лише одноразове ранньовесняне внесення азоту (N₁₀₀).

Для ріпаку озимого можна виділити три основні критичні етапи, коли його потреба в мікроелементах найбільша. Це:

– формування листової розетки (20-23 стадії ВВСН), коли позакореневе підживлення дає змогу підготувати рослини до зими;

– формування стебла (30-33 стадії ВВСН), коли підживлення забезпечує активізацію морфофізіологічних процесів;

– зав'язування і розвиток бруньок, а також кінець цвітіння (50-69 стадії ВВСН), коли підживлення поліпшує процеси цвітіння, формування і розвиток насіння.

З усіх мікроелементів вирішальне значення має бор. Підживлення бором рослини потребують у період активного росту стебел і пагонів, а також на початку цвітіння, що значно зменшує обпадання квіток. Манган бере участь у відновленні нітратів, у процесі фотосинтезу, синтезі білків. Нестачу молібдену фіксують на кислих ґрунтах ($\text{pH} < 5,5$), особливо після внесення високих норм нітратних азотних добрив. Нестача в живленні рослин міді спостерігається лише на ґрунтах легкого гранулометричного складу і після вапнування. Нестача цинку може виявлятися на ґрунтах під час посухи.

Для розв'язування проблем забезпечення рослин ріпаку мезо- та мікроелементами у визначені вище фази розвитку для позакореневого підживлення використовують або хелатні комплексні добрива (Квантум, LF-олійні, Брасістрел олійний тощо), інколи водночас із унесенням фунгіцидів та інсектицидів, або розчини монодобрив, які містять мезо- та мікроелементи– сірчаноокислий магній, молібдат амонію, сульфат марганцю, борна кислота тощо.

Удобрення цукрового буряку

Буряк цукровий дуже вибагливий до родючості ґрунту і зовсім не виносить кислої реакції ґрунтового середовища. Для отримання високих урожаїв необхідна нейтральна або навіть слабколужна ($\text{pH} 7,0-7,5$) реакція ґрунтового розчину. При $\text{pH} < 6,5$ ґрунтів обов'язково потрібно вапнувати. Буряк цукровий добре реагує на вапнування, яке в бурякосійних районах часто проводять дефекатом. Вапнування, окрім меліоративної ролі, є ще і процедурою удобренням цукрового буряку кальцієм.

Буряк цукровий визначається високою солестійкістю, толерантністю до аніонів хлору і в процесі вегетації виносить із ґрунту велику кількість елементів живлення. У середньому 1 т коренеплодів із відповідною масою гички виносять з ґрунту 4-5 кг азоту, 1,5-2 кг фосфору, 5-9 кг калію, по 1-2 кг магнію і кальцію, 0,5 кг сірки, 1 кг натрію, 0,005-0,01кг марганцю, бору, цинку, заліза, міді(Городній, 2008; Господаренко, 2015). Діапазон наведених даних щодо виносу показує на його залежність і від кількості, і від асортименту внесених мінеральних добрив, родючості ґрунту, конкретних погодних умов. Однак на загал на Поліссі в умовах більш вологого клімату винос поживних елементів цукровим буряком завжди буде більшим, ніж у Лісостепу та Степу, що пояснюється більшою часткою гички в урожаї цієї культури.

У розвитку буряку цукрового умовно виділяють три критичних періоди:

- формування кореневої системи (01-04 стадії ВВСН);
- формування листкового апарату (06-19 стадії ВВСН);
- накопичення цукру(91-99 стадії ВВСН).

На початку росту буряк споживає небагато азоту, фосфору і калію. Проте в цей період його коренева система ще слаборозвинена, тому молоді рослини досить чутливі до наявності в ґрунті рухомих сполук елементів живлення, особливо фосфору. У період росту листків у поживному середовищі має переважати азот та калій, що сприяє швидшому формуванню оптимального фотосинтетичного апарату. У період накопичення цукру зниження частки азоту в живленні буряку цукрового позитивно впливає на збір цукру. Важливий вплив на процес накопичення цукру має фосфор та мікроелементи.

Органічне добриво (15-20 т/га гною) в основному удобренні безпосередньо під цукровий буряк вносять під глибоку зяблеву оранку (30-32 см). Можливе використання післядії органічних добрив, коли вони вносилися під попередник (як правило, це озима пшениця).

Фосфорні і калійні добрива вносяться під основний обробіток на зяб восени, а азотні під час передпосівної культивуації весною. Із фосфорних добрив найкращим є суперфосфат, особливо гранульований. Фосфоритне борошно, фосфатшлак, термофосфати, преципітат треба вносити в ґрунти з підвищеною кислотністю. Із калійних добрив найбільш ефективний хлорид калію, а також ті форми, які містять домішки хлориду натрію: каїніт, 30-40 % калійна сіль тощо.

Під час основного внесення азотних добрив найкращими вважаються натрієва та аміачна селітра. Добре діють на рослини сечовина та аміачна вода.

Важливий ресурс для збільшення врожаю цукрового буряку – припосівне удобрення. Мінеральні добрива рекомендують уносити в рядки в таких кількостях: $N_{8-10}P_{15-20}K_{10}$. Найкращими мінеральними добривами для внесення в рядки є гранульований суперфосфат, натрієва та аміачна селітра, хлорид калію і калійна сіль. На чорноземах бажано застосовувати манганізований суперфосфат.

Посіви буряку цукрового іноді підживлюють азотними добривами. Підживлення забезпечує живлення рослин, коли коренева система в них ще недостатньо розвинена і вони нездатні засвоювати елементи живлення, унесені у глибокі шари ґрунту. Зазвичай достатньо провести одне підживлення азотом (30-40 кг/га) але можливо і повне добриво ($N_{30-40}P_{25-30}K_{30-40}$). Раннє підживлення у фазі 1-2 пар листочків (11-12 стадії ВВСН) у буряку водночас з першим міжрядним розпушуванням значно ефективніше, ніж пізніше.

Крім макроелементів, буряк цукровий для формування врожаю потребує значної кількості мезо- та мікроелементів. Найнеобхіднішим для нього є бор. Буряк цукровий також дуже чутливий до нестачі марганцю, міді, цинку, молібдену, кобальту. Важливо, щоб листкове підживлення мікродобривами проводилося саме в критичні фази розвитку рослин. Найефективнішим на посівах цукрових буряків є дворазове підживлення, а

саме, у фазі 4-6 (14-15 стадії ВВСН) та 10-12 (19-24 стадії ВВСН) справжніх листків. У фазі 4-6 листків для стимуляції росту та розвитку рослин, підвищення стійкості до несприятливих погодних умов, хвороб та для компенсації дефіциту мікроелементів в ґрунті застосовують позакореневе підживлення комплексними мікродобривами: Інтермаг-Буряк, Поліфід-цукровий буряк, Нутривант Плюс-цукровий буряк, Квантум-бурякове, Реаком-Р-цукровий буряк, Росток-Буряк.

Водночас у цей період доцільно застосовувати монодобрива, зокрема з високим умістом бору, який значно впливає на врожайність та цукристість коренеплодів.

Удобрення картоплі

Картопля не дуже вибаглива до ґрунтових умов, проте найкраще вона росте і дає високі врожаї бульб високої якості на добре аерованих, пухких ґрунтах, які швидко прогриваються. Картопля порівняно з більшістю польових культур краще виносить високі концентрації солей у ґрунтовому розчині та ґрунти з кислою реакцією ґрунтового розчину.

Коренева система в неї слаборозвинена та розміщена переважно (на 80-95 %) в орному шарі ґрунту, що обмежує її здатність поглинати поживні речовини з ґрунту. Тому картопля повинна бути забезпеченою достатньою кількістю легкозасвоюваних поживних речовин.

Із кожною тонною бульб разом із бадиллям картопля виносить із ґрунту 5-6 кг/га азоту, 1,5-2,0 кг/га фосфору, 7-9 кг/га калію, 6 кг/га кальцію та 6-8 кг сірки, 2 кг магнію (Городній, 2008; Господаренко, 2015). На врожайність картоплі позитивно впливають мікроелементи. На формування 10 т бульб потрібно 25 г бору, 20 г міді, 70 г марганцю, 1 г молібдену, 65 г цинку. Зазвичай ранні сорти засвоюють менше елементів живлення на одиницю продукції, ніж пізні. Це пояснюють порівняно високим співвідношенням бадилля і бульб у пізніх сортів.

Елементи живлення надходять у рослини упродовж вегетації нерівномірно. Найбільша їх кількість засвоюється картоплею в період бутонізації (51-59 стадії ВВСН) і цвітіння (61-69 стадії ВВСН), що відповідає найбільшому приросту її надземної маси. Елементи живлення, що надходять у рослини в період бульбоутворення, переважно витрачаються на ріст бульб. Крім того, у цей період на ріст бульб значною мірою використовуються азот, фосфор, калій та інші елементи, накопичені в бадиллі.

Картопля позитивно реагує на внесення органічних добрив. Їх норма в Лісостепу і Поліссі сягає 35-40 т/га. Вирощування картоплі в зоні Степу ускладнюється тим, що в літній період створюються надзвичайно жорсткі умови вегетації рослин. За своїми умовами степова зона України не повною мірою відповідає біологічним потребам картоплі, але є можливість отримання високих урожаїв картоплі на зрошенні. Оптимальною нормою внесення гною в південному регіоні під картоплю є 30 т/га.

Розраховані норми фосфорних і калійних добрив, зокрема хлоровмісні, краще вносити восени під основний обробіток ґрунту. Азотні вносять навесні за один прийом під час культивування або перед нарізанням гребенів, або в кілька прийомів, зокрема під час посіву та підживлення. Водночас перенесення частини азотних добрив (N_{20-40}) з основного удобрення в підживлення під час міжрядного обробітку картоплі виправдане лише в районах із достатнім зволоженням або в Степу в умовах зрошення. Слід також зазначити, що до фази цвітіння рослинам потрібно засвоїти понад 80 % від загальної потреби в азоті. Надходження азоту в рослину після цвітіння повинно бути кардинально зменшене. Надмірне азотне живлення картоплі після цвітіння затримує утворення бульб, знижує їхню якість, зокрема лежкість та вміст крохмалю.

Мікродобрива можна вносити в ґрунт разом із мінеральними добривами, а також обробляючи посівний матеріал розчинами мікродобрив одночасно з протруюванням, або обприскувати рослини в період вегетації під час першого оброблення фунгіцидами (змикання рослин у рядку).

Найгостріше реагують рослини картоплі на нестачу цинку, марганцю та особливо бору.

22. УДОБРЕННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Загальні положення

Усі овочеві культури добре реагують і дають вищі врожаї на родючих ґрунтах, які мають сприятливі агрофізичні властивості та найкращі агрохімічні характеристики, достатньо гумусовані (уміст гумусу не менше ніж 2,5-3,0 %) з потужністю гумусового горизонту не менше 30 см. На дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтах уміст рухомого алюмінію не повинен перевищувати 3-4 мг на 100 г ґрунту, а для окремих культур (цибуля, часник, салат, шпинат, перець) – не вище, ніж 1 мг на 100 г ґрунту. Уміст натрію в ґрунтово-поглинальному комплексі в осолонцьованих чорноземах та каштанових ґрунтах має бути не більше 3-5 %. Загальна кількість водорозчинних солей у ґрунті не повинно перевищувати 0,4 %. Овочі вимагають низькі рівні ґрунтових вод – навесні не вище 70-80 см, а в період вегетації не вище 100-120 см. Якщо ці обмеження не виконуються, то рослини будуть страждати від перезволоження (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

У зв'язку зі слаборозвиненою кореневою системою овочеві культури не завжди здатні засвоювати важкорозчинні сполуки та потребують вмісту в ґрунті достатньої кількості саме легкодоступних поживних речовин. Але під час розроблення систем удобрення овочевих культур треба звернути увагу, що низка овочевих культур погано переносять високу концентрацію солей (рис.21.1), а тому краще використовувати добрива пролонгованої дії.

Реакції овочевих культур до ґрунтового розчину теж різна (рис. 21.2), що вимагає точного підбору культур у конкретних ґрунтових умовах обов'язкової в деяких випадках хімічної меліорації. Щодо вимог до умов живлення ситуація теж неоднозначна і всі овочі поділяються на три групи (рис. 21.3) (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Удобрення білоголової капусти

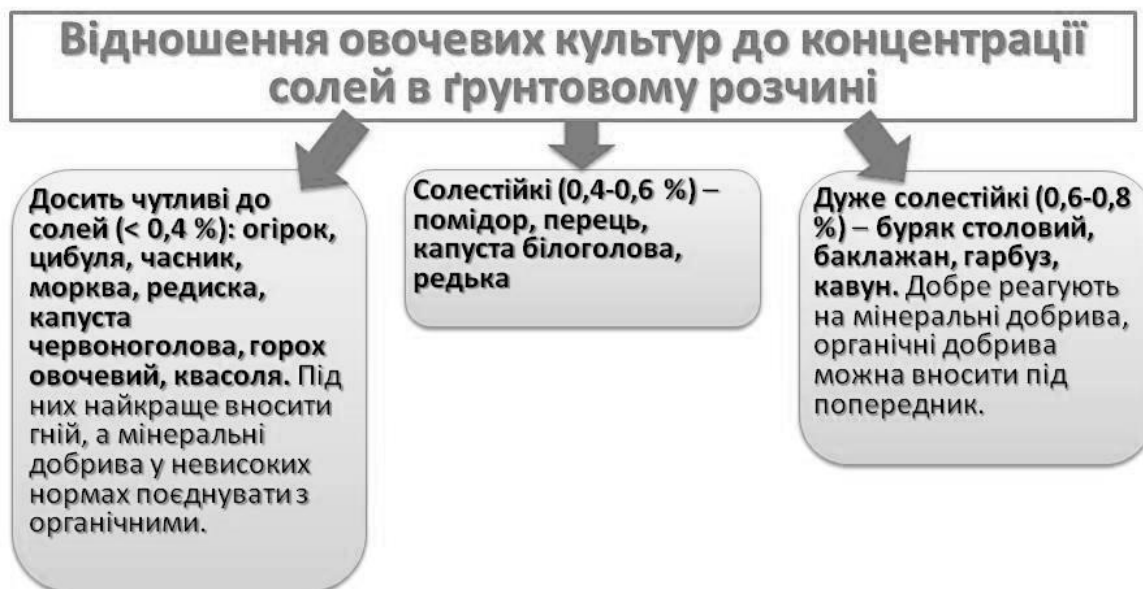


Рисунок 21.1. Реакція овочевих культур на концентрацію солей у ґрунтовому розчині



Рисунок 21.2. Відношення овочевих культур до pH ґрунтового розчину

Серед різних підвидів капусти найпоширеніша білоголова, сорти якої за тривалістю вегетаційного періоду поділяють на ранньо-, середньо- і



Рисунок 22.3. Класифікація овочів за вимогливістю до умов живлення пізньостиглі. Пізньостиглі сорти капусти більш вибагливі до родючості ґрунту, ніж ранньо- та середньостиглі.

Рослини капусти розвивають досить велику, добре розгалужену кореневу систему. При безрозсадній культурі формується головний корінь, який проникає в ґрунт на глибину 150-180 см. При розсадній культурі внаслідок обриву кореневої системи під час пересаджування рослин формується мичкувата коренева система. Окремі корінці її проникають у ґрунт на глибину до 100-130 см. Основна маса кореневої системи капусти розміщується на глибині до 60-80 см і в діаметрі до 120-140 см. Вона добре росте на родючих ґрунтах з нейтральною та слабкокислою реакцією. Тому кислі ґрунти обов'язково вапнують. Меліорант уносять під попередник або безпосередньо під капусту (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Для формування врожаю капуста потребує значно більше елементів живлення. Особливо багато вона потребує азоту і калію. На 1 т головок і

відповідну нетоварну частину врожаю використовується азоту 4,1 кг, фосфору 1,4 кг, калію 4,9 кг, кальцію 0,9 кг, сірки 0,5 кг.

Під час удобрення різних сортів капусти не слід допускати надлишку азоту, оскільки при цьому в головках підвищується вміст нітратів, унаслідок чого різко погіршується їх лежкість.

У період вегетації капуста споживає елементи живлення нерівномірно. Так, у перший місяць після садіння вона їх засвоює досить повільно: близько 10 % азоту, 7 % фосфору і 8 % калію від загальної потреби. Найінтенсивніше засвоєння здійснюється під час формування головки, коли відбувається посилене накопичення сухих речовин. За цей період, який триває 1,5-2 міс., капуста поглинає близько 80 % азоту, 86 % фосфору і 84 % калію від максимального їх умісті у рослині.

Капуста досить позитивно реагує на внесення органічних добрив. На ґрунтах з умістом гумусу до 2,5 % уносять по 30-40 т/га гною або 40-50 т/га компосту. Більше реагують на внесення гною середні й пізні сорти капусти. Це пояснюють поступовим розкладанням гною і підвищеною потребою капусти в елементах живлення саме в період формування головки. На більш родючих ґрунтах, у яких уміст гумусу сягає понад 3,5 %, достатньо вносити лише мінеральні добрива. Ранні сорти капусти краще розміщувати після добре удобрених гноєм попередників або безпосередньо вносити під них лише перепрілий гній. Свіжий гній уносити недоцільно, оскільки затягується досягання головок.

Високий ефект дає місцеве внесення перегною (8-10 т/га) – в ямки під час садіння розсади капусти, зокрема на малородючих ґрунтах. Приблизна система удобрення зображена на рисунку 21.4. Підживлення проводять, якщо планується високий урожай, здебільшого азотно-калійними добривами $N_{20-25} K_{20-25}$ перед зав'язуванням головок. Для підживлення можна використовувати органічні добрива – гноївку (2-4 т/га) або пташиний послід (0,5-0,7 т/га), розбавивши їх водою у співвідношенні відповідно 1:4-5 та 1:10-15.

Система удобрення капусти білоголової



Рисунок 22.4. Приблизна система удобрення капусти білоголової.

Позакореневе підживлення капусти часто здійснюється розчином макро- і мікроелементів (карбаміду, сульфату калію, сульфату магнію, сульфату цинку, мідного купоросу сульфату заліза) або використовують уже готові формули водорозчинних добрив. Ці добрива містять як макроелементи живлення, так і мікроелементи (Fe, Zn, Mn, Cu, B). Завдяки хелатній формі, коефіцієнт засвоєння корисних елементів живлення складає 90-95 %.

Удобрєння томатів

Томати мають дуже розвинуту кореневу систему. Корені ростуть та формуються швидко. Входять у ґрунт на велику глибину (при безрозсадній культурі до 1 м та більше), розростаючись у діаметрі на 1,5-2,5 м.

Саме тому порівняно з іншими овочевими культурами помідор менш вибагливий до умов вирощування, але потребує родючих ґрунтів, краще росте на ґрунтах легкого гранулометричного складу з високим умістом

органічних речовин та слабокислою або майже нейтральною реакцією ґрунтового розчину ($\text{pH} = 5,5-7,1$). Також добре реагує на вапнування, якщо показник $\text{pH} < 5,5$. Вапнування найефективніше проводити доломітовим борошном (уміст $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ близько 100 %), дотримуючись норм, оскільки помідор погано реагує на надмірну кількість у ґрунті кальцію.

Порівняно з іншими овочевими культурами помідор засвоює небагато елементів живлення. У розрахунку на 1 т плодів ранні сорти засвоюють 2,0-3,5 кг азоту, 0,7-0,9 кг фосфору та 4-5 кг калію, середньо- і пізньостиглі, відповідно, 3,5-4,5, 0,8-1,3, 5-6 кг. 1 т помідор виносить 2,7-3,5 кг кальцію, 0,7-1,0 кг магнію (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Із загальної кількості елементів живлення, що засвоюють помідори, у плодах міститься понад 80 %. Інтенсивне засвоєння поживних елементів залежить від темпу наростання маси сухої речовини. У розсадний період томати засвоюють близько 2 % елементів живлення, а в період цвітіння їх надходження не перевищує 10-15 % загального засвоєння. Максимальне їх споживання припадає на період цвітіння-початок досягання плодів (61-81 стадії ВВСН), коли вони використовують близько 84-87 % елементів живлення. У період наливання і масового досягання плодів засвоєння елементів живлення уповільнюється. Їх наливання відбувається завдяки переходу елементів живлення з вегетативних органів. У плоди переходить 60-65 % азоту, 70-75 – фосфору і 86 % калію від загальної кількості елементів, засвоєних рослинами (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Томати добре реагують на безпосереднє внесення органічних і мінеральних добрив, а також унесення їх під попередники. На бідних та еродованих ґрунтах Полісся і Лісостепу під томати потрібно вносити 30-40 т/га напівперепрілого гною або компосту. Уважається, що оптимальною дозою добрив у зоні Полісся є $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ на фоні 30-40 т/га гною, у Правобережному Лісостепу $\text{N}_{45-60}\text{P}_{45-60}\text{K}_{45-60}$ на фоні 30-40 т/га гною, унесеного під попередник, у Лівобережному Лісостепу і Степу $\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ на фоні післядії органічних добрив. Ефективним є внесення добрив, зокрема

комплексних або тільки фосфорних ($N_{10}P_{20}K_{10}$ або P_{20}) у ямки під час садіння розсади. Це пояснюють безпосереднім їх розміщенням у зоні основної маси кореневої системи і швидким засвоєнням рослинами.

Якщо в основне удобрення під томати було внесено недостатню кількість добрив або рослини слаборозвинені, позитивний ефект дає підживлення, зокрема в умовах зрошення чи в районах достатнього зволоження. Перше підживлення проводять через 10-14 діб після садіння розсади ($N_{20}P_{20}K_{20}$), друге ($N_{20}P_{20}K_{20}$) – під час цвітіння. Для підживлення томатів також ефективно використовувати органічні добрива: пташиний послід (0,7-1,0 т/га) або гноївку (2-4 т/га), розбавлені водою у співвідношенні відповідно 1:10-15 та 1:4-5. Під томати, які вирощують, наприклад у Лісостепу без зрошення, усю дозу добрива доцільно вносити одноразово.

На ґрунтах із низьким умістом рухомих форм мезо- та мікроелементів уносять моно- та комплексні мікродобрива. Для томатів пріоритетними є добрива, які містять сірку, цинк, бор, магній. До сівби вносять 1-3 кг/га бору, 5-8 кг/га цинку, 1-2 кг/га магнію, а позакореневе підживлення проводять або 0,02-0,1 % розчином солей цих мікроелементів, або комплексними та функціональними добривами (Новалон, Квантумголд тощо).

Удобрення огірків

Коренева система огірка дуже слаборозвинена, її основна маса поширюється на глибину 20-25 см, тому рослина вибаглива до родючості, структури ґрунту й підвищеного вмісту вуглекислого газу в приґрунтовому повітрі. Найліпшими для огірка вважають родючі легкі та середні за гранулометричним складом ґрунти з високим умістом рухомих сполук елементів живлення, які добре прогриваються навесні. Дерново-підзолисті та важкі за гранулометричним складом інші ґрунти малоприсадибні для вирощування огірка, їх можна використовувати лише за умови внесення високих норм органічних добрив (40-50 т/га) (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Потрібно також урахувати, що рослини огірка вкрай чутливі до підвищеної концентрації солей у ґрунтовому розчині. Крім того, вони чутливі до кислої реакції ґрунту, оптимальний інтервал рН для них 6,4-7,0. Огірок добре реагує на внесення вапна під попередник – капусту або багаторічні трави (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Порівняно з іншими овочевими культурами огірки характеризуються невисоким виносом елементів живлення з ґрунту. На створення 1 т товарної продукції вони використовують 3-4 кг азоту, 1-2 кг фосфору, 4-5 кг калію. Проте високі темпи засвоєння елементів живлення під час плодоношення (85 % загального виносу) і скоростиглість зумовлює високу вибагливість огірка до поживного режиму ґрунту. Для формування високого врожаю дуже важливо забезпечити посилене мінеральне живлення огірка впродовж вегетаційного періоду. До настання масового плодоношення має закінчитися накопичення рослинами потрібної кількості мінеральних речовин. Тому нестача елементів живлення в початковий період негативно позначається на продуктивності рослин. Елементи живлення, накопичені у вегетативних органах, потім використовуються для формування плодів (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Особливістю живлення огірка є сильна реакція на внесення органічних добрив, тому кращим місцем для вирощування огірка в сівозміні є поле, на яке внесли свіжий гній. Це не лише багате на поживні речовини добриво, а й субстрат, що виділяє тепло й вуглекислий газ у процесі розкладання, унаслідок чого покращується мікроклімат у зоні кореневої системи рослин. Максимальні врожаї огірків вирощують лише за умови поєднання внесення органічних і мінеральних добрив. Оптимальна доза гною під огірки на родючих ґрунтах становить 30-40, на бідних – 50-60 т/га.

Оптимальною дозою мінеральних добрив під огірки є $N_{60}P_{60}K_{90}$. В умовах зрошення на фоні 40 т/га гною вносять $N_{120}P_{120}K_{60}$. Найкраще для огірків використовувати висококонцентровані форми добрив, що не містять

хлору. Ефективним прийомом є внесення добрив у рядки під час сівби ($N_{10}P_{10}K_{10}$ або P_{10}) (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

У разі недостатнього основного удобрення та за умови відставання розвитку рослин в умовах достатнього зволоження або зрошення їх можна підживлювати. Перше підживлення проводять після утворення 3-4 листків ($N_{15-20}P_{15-20}K_{15-20}$), друге завершують до початку розстилання огудини ($N_{20-30}P_{20-30}K_{20-30}$). Досить ефективно підживлювати огірки розбавленими водою пташиним послідом або гноївкою, а також мікроелементами. У разі утворення нестандартних плодів використовують борні добрива для позакореневого підживлення (200-250 г/га).

Удобрення моркви

Особливості будови кореневої системи моркви в тому, що досягає вона до 2 м, у глибину, стійка до холодів і засух. Великий вплив на якість моркви має щільність ґрунту. Моркву обробляють на пухких, добре аерованих окультурених ґрунтах із потужним (не менше 28-30 см) орним горизонтом. Гарні фізичні властивості легкосуглинкових гумусованих ґрунтів сприяють формуванню високих урожаїв моркви хорошої якості і полегшує збирання коренеплодів. Важкосуглинкові та глинисті ґрунти малоприсадибні для вирощування моркви.

Морква малочутлива до кислотності ґрунту, але добре реагує на вапнування за зниження рН до менш ніж 5,5. Оптимальне значення рН для вирощування моркви становить 6-6,5. Водночас вона дуже чутлива до високої концентрації ґрунтового розчину (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Для формування врожаю морква використовує велику кількість елементів живлення. На 1 т коренеплодів і відповідну масу гички з ґрунту виноситься 3-4 кг азоту, 1-1,5 кг фосфору і 4-6 кг калію.

Морква швидко засвоює елементи живлення з ґрунту. На початку росту й розвитку вона потребує посиленого фосфорного живлення, під час

наростання зеленої маси у великій кількості засвоює азот, а в період росту коренеплодів – калій. Максимальну кількість елементів живлення морква використовує в період інтенсивного росту коренеплодів (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Цю культуру краще висівати в сівозміні на другий або третій рік після внесення гною. Безпосередньо під культуру не слід вносити слабо перепрілий гній, оскільки це може призвести до галуження, розтріскування коренеплодів, погіршення їх форми, зниження лежкості й товарної цінності.

Вона має відносно слаборозвинену вегетативну масу, тому потребує небагато азоту, надлишок якого в живленні знижує цукристість і лежкість коренеплодів. Тому моркву вирощують за помірного азотно-фосфорного і посиленого калійного живлення. Потреба моркви в калії велика, особливо на торфових і заплачних ґрунтах (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

В основне удобрення після угноєних попередників мінеральні добрива вносять у нормі $N_{90}P_{120}K_{120}$. Зазвичай фосфорні та калійні добрива вносять під оранку, азотні – під передпосівний обробіток ґрунту. Якщо морква розвивається слабо або в основне удобрення внесено недостатню кількість добрив, то після формування густоти рослин проводять рядкове підживлення, вносячи $N_{15-20}P_{30}K_{20}$, а також мікроелементи – марганець та бор.

Удобрення цибулі

Цибуля – одна з найвибагливіших до умов мінерального живлення овочева культура. Створити для неї оптимальний поживний режим ґрунту дуже складно. Це пояснюється тим, що цибуля має слаборозвинену кореневу систему, яка розміщена в малому об'ємі верхнього шару ґрунту і характеризується низькою здатністю засвоювати елементи живлення.

Цибуля краще росте на окультурених супіщаних і легкосуглинкових ґрунтах. Вона досить чутлива до концентрації ґрунтового розчину та

кислотності ґрунту. Оптимальна реакція ґрунтового розчину для неї становить рН =6,7-7,3 (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

Високі врожаї цибулі можна вирощувати за умови застосування органічних і мінеральних добрив та за достатньої забезпеченості рослин водою. Цибуля порівняно з іншими овочевими культурами краще використовує елементи живлення з гною, ніж із мінеральних добрив. Гній рекомендується вносити лише перепрілий або перегній (30 т/га) під зяблеву оранку. Свіжий гній краще вносити під попередник. Високі дози гною, унесені під цибулю, зумовлюють сильний ріст пера, затримують досягання цибулин. Норма мінеральних добрив під цибулю становить $N_{90-120}P_{60-90}K_{90-120}$, в умовах зрошення має не перевищувати $N_{150}P_{150}K_{120}$.

Через високу чутливість цибулі до концентрації солей у ґрунті високі норми добрив, які вносять в умовах зрошення, важливо розподіляти з урахуванням біологічних потреб культури. Фосфорні і калійні добрива вносять під зяблевий обробіток ґрунту за винятком частини фосфору (10-15 кг/га) для рядкового внесення.

Найкращий строк першого підживлення азотом – фаза 2-3 листків, другого – на початку формування цибулин. Якщо в основне удобрення було внесено недостатню кількість добрив, під час першого підживлення вносять $N_{20}P_{15-20}K_{15-20}$, другого $P_{25}K_{25}$ (Господаренко, 2018б; Латюк та ін, 2018).

23. ВИКОРИСТАННЯ ДОБРИВ ТА ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

При широкому використанні мінеральних та органічних добрив у певних умовах можлива реалізація таких наслідків, які призводять до певних екологічних проблем (Кисіль, 2005), а саме:

- забруднення навколишнього середовища, особливо ґрунту та гідросфери (річок, морів, озер, ґрунтових вод), поживними речовинами;
- накопичення нітратів у рослинах;
- забруднення ґрунту патогенними мікроорганізмами.

Забруднення навколишнього природного середовища добривами

Основні причини забруднення навколишнього природного середовища добривами такі (Кисіль, 2005; Господаренко, 2018):

- недосконалість технології транспортування, зберігання і внесення добрив;
- порушення технології їх застосування (хибне планування систем удобрення, порушення технологічної дисципліни виконавцями);
- недосконалість хімічного складу мінеральних добрив.

Недосконалість технологій транспортування мінеральних і органічних добрив пов'язана з нестачею спеціалізованої техніки, використанням звичайної техніки для перевезення та перевалки мінеральних добрив. Відсутність спеціалізованих приміщень призводить до зберігання мінеральних добрив «на вулиці», не на спеціально підготовлених (асфальтованих та бетонних) майданчиках, які не забезпечені відведенням дощових, талих і ґрунтових вод, а також зберігання добрив насипом, а не в поліетиленових мішках. Усе це спричинює забруднення навколишнього середовища.

Значні непродуктивні втрати добрив стаються під час їх унесення на надлишково зволжених ґрунтах і полях із невирівняним рельєфом, під час

основного внесення азотних добрив в осінньо-зимовий період (замість весняного внесення), проведення підживлення озимих до сходження снігу, унесення добрив на надмірно ущільнені ґрунти тощо.

Значним джерелом непродуктивних витрат мінеральних добрив і зниження їхньої ефективності є нерівномірний розподіл по площі поля під час унесення та їх розшарування під час транспортування. Нерівномірність розподілу добрив під час їх унесення у виробничих умовах іноді у 2-3 рази перевищує допустимі межі. Як результат, у ґрунті утворюються осередки як з надмірно високим вмістом елементів живлення, так і з повною відсутністю. Одночасно значна кількість елементів живлення втрачається під час ерозії, зокрема за поверхневого внесення добрив.

Неправильне планування систем удобрення приводить до того, що співвідношення між N:P:K зсунуте в бік азоту. Зараз це співвідношення дорівнює 1:0,5:0,1, а для більшості культур потрібно 1:0,9:0,7. Для точного визначення норм та доз удобрення необхідно використовувати ґрунтову та листову діагностику, але такі методи застосовуються нечасто внаслідок невисокої кваліфікації фермерів та високої вартості цих аналізів.

Недосконалість властивостей та хімічного складу добрив спричинює забруднення навколишнього середовища, зокрема мала розчинність фосфорних добрив зумовлює накопичення фосфору в ґрунті. До того ж наявність в одинарному та подвійному суперфосфаті важких металів – Pb, Ni, Cd (1 т суперфосфату містить 1 кг Pb, 0,5 кг Ni, 0,1 кг Cd) спричинює їхнє нагромадження в ґрунті, особливо за умови частого використання цих добрив. Має місце нагромадження в ґрунті хлору під час внесення такого популярного калійного добрива, як KCl.

До непродуктивних втрат поживних елементів та до забруднення навколишнього середовища призводить і надмірна розчинність нітратних та нітратно-аміачних азотних добрив, висока хімічна активність сечовини, водного та безводного аміаку.

Не слід забувати про наявність радіоактивного стронцію у фосфогіпсі.

Результатом перелічених вище негараздів є забруднення добривами водних об'єктів поживними елементами та, як наслідок, *евтрофікація* природних вод – посилений розвиток синьо-зелених водоростей та абсолютна стерилізація водойм.

Накопичення нітратів у рослинах

Невиправдано високі норми азотних добрив та нерівномірний розподіл їх поверхнею площі призводить до надмірного накопичення нітратів у продукції рослинництва. Взагалі нітрати є малотоксичними речовинами, але за участі мікрофлори травної системи та ферментів тканин вони відновлюються до нітритів, токсичність яких у 10-20 разів вища, ніж нітратів. Високий вміст цих сполук азоту у воді, кормах та їжі спричинює гострі шлунково-кишкові порушення та хронічні захворювання.

Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) людина може вживати без шкоди для здоров'я не більше 300-325 мг нітратів на добу. Доза нітратів у 600 і більше міліграм – гарантоване отруєння.

За даними ВООЗ, саме свіжі овочі є головною причиною більшості харчових отруєнь нітратами, але різні види овочевих культур різною мірою накопичують нітрати. Особливо багато нітратів (більше ніж 2000 мг/кг) накопичують шпинат, салат, редиска, селера, листова капуста, броколі, столовий буряк, кавуни та дині. Їхню середню кількість спостерігаємо у білокачанній і кольоровій капусті, огірка, моркви (300-600 мг/ кг). Найменше міститься нітратів у ріпчастої цибулі, помідорах, баклажанах, перці, зеленому горошку (10-80 мг/кг).

Вміст нітратів в овочевій продукції залежить від ґрунтового-кліматичних умов, біологічних особливостей рослин, агротехнічних прийомів, сортів, умов освітлення, збалансованості за основними елементами живлення, забезпеченості ґрунту мікроелементами, строків посіву та збирання овочів і

низки інших факторів, частиною яких можна керувати. Джерелом надлишкового накопичення нітратів у рослинах можуть бути не тільки добрива, але й природні запаси азоту в ґрунті.

Накопичення нітратів в овочевій продукції зростає за несприятливих погодних умов: у роки з холодним і похмурым літом поглинені з ґрунту нітрати не повністю витрачаються на побудову органічних сполук і акумулюються в тканинах рослин у вільній формі. Ступінь освітленості рослин робить значний вплив на процес акумуляції нітратів: за умови поганої освітленості та нестачі сонячної радіації вміст нітратів в овочах різко збільшується.

Література:

1. Акатов П.В. Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере. Живые и биокосные системы». [Електронний ресурс]. 2013. №5. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-14> (дата звернення: 09.09.2020).
2. Антоняк Г.Л., Калинець-Мамчур З.І., Дудка І.О. та ін. Екологія грибів: навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2013. 626 с.
3. БТУ-Центр. Меланориз. Комплексный микоризообразующий препарат для питания и защиты от болезней, детоксикант. URL: <https://btu-center.com/ru/promisloviy-sektor/rastenievodstvo/mikoriznyye-preparaty/melanoriz/> (дата звернення: 09.09.2020).
4. Городній М.М. Агрохімія: Навчальний посібник. Київ: Арістей, 2008. 784 с.
5. Господаренко Г.М. Агрохімія: підручник. Київ: ТОВ «СікГрупУкраїна», 2018. 476 с.
6. Господаренко Г.М. Невклад В.І., Прокопчук І.В., Прокопчук С.В. Симбіотична азотфіксація та врожай (за ред. Г.М. Господаренко). Умань: Видавець «Сочинський М.М.», 2017. 324 с.
7. Господаренко Г.М. Система застосування добрив: навчальний посібник. – Київ: СІК ГРУП Україна, 2015. 332 с.
8. Ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості. ДСТУ 3866-99. Київ: Держстандарт України, 2009. 10 с.
9. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 09.09.2020).
10. Дмитрук Ю.М. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2012. 220 с.
11. Добрива: довідник (за ред. М.М. Мірошніченко). Харків: ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. 2011. 224 с.
12. Иванова С.Е., Логинова И.В., Тиндалл Т. Фосфор: механизмы потер из почвы и способы их снижения. Питание растений. 2011. №2. С. 9-12.

13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – Москва: Мир, 1989. 439 с.

14. Казакова І.В. Особливості формування світового та вітчизняного ринків мінеральних добрив. Економіка і прогнозування. 2015. № 2. С. 104-118. URL: http://www.nbu.gov.ua/UJRN/econprog_2015_2_10 (дата звернення: 09.09.2020).

15. Колісник Г.М. Продовольча безпека України та особливості її розвитку. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2015. Вип. 5. С. 72-76. URL: http://www.nbu.gov.ua/UJRN/sepspu_2015_5_19 (дата звернення: 09.09.2020).

16. Концепція досягнення нейтрального рівня деградації земель (грунтів) в Україні/ за наук. редакцією С.А. Балюка, В.В. Медведєва, М.М. Мірошніченка. Харків: ФОП Бровін О.В., 2018. 32 с.

17. Косолап М.П., Кротвінов О.П. Система no-till. Київ: НУБіП, 2011. 372 с.

18. Крупеников И.А. История почвоведения: (от времени его зарождения до наших дней). Москва: Наука, 1981. 329 с.

19. Крупіца Д.О. Меліорація темно-каштанових вторинно-осолонцьованих ґрунтів в коротко ротацийній овочевій сівозміні: Автореф. дис.... канд. с.-г. наук: 06.01.02. Херсон, 2001. 16 с.

20. Кульман А. Искусственные структурообразователи почвы. Москва: Колос, 1982. 158 с.

21. Кучер А., Кучер Л. Економіка використання мінеральних добрив в сільському господарстві. Пропозиція: електронна версія журналу URL <https://propozitsiya.com/ua/ekonomika-vykorystannya-mineralnyh-dobryv-v-silskomu-gospodarstvi> (дата звернення 14.09.2020).

22. Кисіль В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків: Видавництво «13 типографія». 2015. 167 с.

23. Латюк Г.І., Попова Л.М., Тихонов П.С. та ін. Довідник овочівника Степу України: навчальний посібник. Одеса: ВМВ, 2010. 437 с.

24. Логвинова І. Супер ли фосфат? Агроіндустрія. URL: <https://infoindustria.com.ua/super-li-fosfat/> (дата звернення: 09.09.2020).

25. Логвинова І. Удобрєня контролюємого и пролонгированного действия. Агроіндустрія. URL: <https://infoindustria.com.ua/udobreniya-kontroliruemogo-i-prolongirovannogo-deystviya/> (дата звернення: 12.09.2020).

26. Лопушняк В.І., Шевчук М.Й., Полюхович М.М. та ін. 555 запитань та відповідей з агрохімії та агрохімсервісу. Навчально-довідковий посібник. Львів: Простір-М, 2018. 488 с.

27. Марчук І.У., Ященко Л.А.. Агроєкологічна оцінка добрив: Навчальний посібник. К: Компрінт, 2016. 287 с.

28. Медведєв В.В. Фермеру про ґрунтово- і ресурсозбережувальні інновації з обробітку. Харків: ТОВ «Смуґаста типографія», 2015. 200 с.

29. Медведєв В.В., Пліско І.В., Накісько С.Г., Тітаренко Г.В. Дєґрадація ґрунтів у світі, досвід її попередження і подолання. Харків: Стильна типографія, 2018. 18 с.

30. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія (за ред. С.А. Балюка, І.М. Ромащенко, Р.С. Трускавецького). Херсон: Грінь Д.С. 2015. 668 с.

31. Миккельсен Р., Нортон Р. Сера в почвах и серосодержащие удобрения. Питание растений. 2014. №3. С. 6-9.

32. Минеев В.Г., Лебедева Л.А. История агрохимии и методологи агрохимических исследований: Учебное пособие. Москва: Издательство МГУ, 2003. – 328 с.

33. Мірошніченко М.М., Гладкіх Є.Ю., Рєвтьє-Уварова А.В. та ін. Дєв'ять наблїжень сучасної системи удобрєння сільськогосподарських культур. Агрохімія і ґрунтознавство. 2018. Вип. 87. С. 82-91.

34. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин: Підручник. Київ: Либідь, 2005. 808 с.

35. Ніколайчук В.І., Белчґазі В.Й. Фізіологія і біохімія рослин. Ужгород: Вид-во Ужгород, нац. ун-ту, 2005. 192 с

36. Новикова А.В. Исследование засоленных и осолонцованных почв: генезис, мелиорация, экология. Избранные труды. Харків: КП «Друкарня №13», 2009. 720 с.
37. Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т. Значение серы в питании растений. Питание растений. 2014. №3. С. 2-5.
38. Носко Б.С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроекосистемах. Харків: Міськдрук, 2013. 130 с.
39. Носко Б.С. Сторінки історії агрохімічних досліджень в Україні. Харків: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2015. 292 с.
40. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. 476 с.
41. Носко Б.С., Лисовой Н.В., Столяр В.М. Калий в почвах Украины и эффективность калийных удобрений. Харьков: ИПА УААН, 1996. 177 с.
42. Носко Б.С., Прокошев В.В. Калійні добрива в землеробстві України. – Москва: Міжнародний інститут калію, 1999. 55 с.
43. Носов В.В. Применение калийных удобрений в развитых странах Европы и Америки. Агрохимия. 2013. №2. С. 37-41.
44. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. Москва: «Ледум», 2000. 234 с.
45. Рудич А.І. Оцінка динаміки та тенденції показників продовольчої безпеки регіонів України. Економічний аналіз. 2017. Том 27. № 4. С. 75-82.
46. Середина В.П. Калий в автоморфных почвах и лессовидных суглинках. Томск: Изд-во Томского университета, 1984. 217 с.
47. Степаненко С.А., Польовий А.М., Лобода Н.С. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. Одеса: Видавництво «ТЕС», 2015. 520 с.
48. Terratarса. Спеціальні добрива. URL: <http://terratarса.com/prds/fertilizers/> (дата звернення: 09.09.2020).

49. Трусовецький Р.С., Цапко Ю.Л. Агроекологічні засади застосування технології локального окультурювання кислих ґрунтів. Агроекологічний журнал. 2002. №3. С.21-23.

50. Фатеев А.И., Захарова М.А. Основы применения микроудобрений. –Харьков: Изд. КП «Типография №13», 2008. – 134 с.

51. Хімічна меліорація ґрунтів (концепція інноваційного розвитку)/ за ред. С.А. Балюка, Р.С. Трусовецького, Ю.Л. Цапка. Харків, 2012. 129 с.

52. Христенко А.А., Иванова С.Е., Гладких Е.Ю., Истомина Ю.А. Калийное состояние почв Украины и эффективность калийных удобрений. Питание растений. 2011. №4. С. 2-15.

53. Черенков А.В., Нестерець В.Г., Солодушко М.М. та ін. Вплив агроекологічних і технологічних чинників на формування врожайності пшениці озимої у Південно-східному Степу. Вісник аграрної науки. 2018. № 5. С. 18–26.

54. Цапко Ю.Л., Десятник К.О., Огородня А.І. Збалансоване використання та меліорація кислих ґрунтів: монографія. Харків: ФОП: Бовін О.В. 2018. 252 с.

55. Швартау В.В., Гуральчук Ж.З. Мінеральні добрива в Україні. Київ: Логос, 2009. 514 с.

56. Agrarian revolution. Encyclopaedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/topic/agricultural-revolution> (дата звернення: 29.07.2020).

57. Agrarian revolution. English history. URL: <https://www.britannica.com/topic/agricultural-revolution> (дата звернення: 29.07.2020).

58. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function / Hinanit Koltai, Yoram Kapulnik (eds.). Springer, 2010. 323 p.

59. Baligar V.C., Duncan R.R. Crops as Enhanced of Nutrient Use. San Diego: Academic Press Inc., 1990. 574 p.

60. Cordell D. The Story of Phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security. Linköping: Linköping University Electronic Press, 2010. 220 p. URL: <http://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A291760&dswid=3586> (дата звернення: 29.07.2020).

61. Cordell D., White S.. Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate About Long-Term Phosphorus Security, Sustainability 3, № 10. Pp. 2027–2049. URL:<https://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/2027>. (дата звернення: 09.09.2020)/

62. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants. Annals of Applied Biology. 2009, 155(2). P.155-160. URL: https://www.researchgate.net/publication/227512020_Silicon_Its_manifold_roles_in_plants (дата звернення: 09.09.2020).

63. Ghannoum, O., Caemmerer, S. V., Ziska, L. H., Conroy, J. P. The growth respons of C₄ plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. Plant, Cell and Environment, 2000. №23. Pp. 931-942.

64. Hatfield J.L., Parkin T.B. Enhanced Efficiency Fertilizers: Effect on Agronomic Performance of Corn in Iowa. Agronomy journal. 2014. 106(2). 771-780 pp.

65. History of fertilizer. Wikipedia. The free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_fertilizer#Ancient_History (дата звернення: 29.07.2020).

66. Isherwood, K.F. Fertilizer use in Western Europe: types and amounts. In: Lal, R. (Ed.), Agricultural Sciences. In Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). URL: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/E5-24-08-03B.pdf>. (дата звернення: 29.07.2020).

67. Kafkaf U., TarchitzkyJ. Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management. International Fertilizer Industry Association (IFA) International Potash Institute (IPI). Paris, 2011. 138 p. URL: https://www.haifa-group.com/sites/default/files/ifa_fertigation-Kafkafi-511.pdf (дата звернення: 09.09.2020).

68. Miransari M. Soil microbes and the availability of soil nutrients. *ActaPhysiol Plant.* 2013. №35. pp. 3075-3084. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mohammad_Miransari/publication/51709178_Soil_microbes_and_plant_fertilization/links/57737de408aeec389541e6b.pdf

(дата звернення: 09.09.2020).

69. Handbook of plant nutrition. Second edition (edited by Barker A.V., Pilbeam D.J.). London, New York: CRC Press, 2015. 774 p.

70. Neolithic Revolution. Wikipedia. The free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Neolithic_Revolution (дата звернення: 29.07.2020).

71. Rapoport Y., Shahar I. Irrigation in the Medieval Islamic Fayyum: Local Control in a Large-Scale Hydraulic System. *Journal of the Economic and Social History of the Orient.* 2012. № 55. p. 1-31. URL: https://www.academia.edu/8340943/Irrigation_in_the_Medieval_Islamic_Fayyum_Local_Control_in_a_Large_Scale_hydraulic_System. (дата звернення: 09.09.2020).

72. Syers J.K., Johnston A.E., Curtin D. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. Reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information. *FAO fertilized plant nutrition bulletin.* №18. Rome, 2008 105 p. URL: <http://www.fao.org/3/a1595e/a1595e00.htm> (дата звернення: 29.07.2020).

73. World fertilizer trends and outlook to 2020. Summary report. Rome: FAO, 2017. 76 p.