Г. М. ГОСПОДАРЕНКО,
О. Д. ЧЕРНО,
О. В. НІКІТІНА

АГРОХІМІЯ КАЛІЮ

За загальною редакцією Г. М. Господаренка

Київ – 2021

УДК 631.8 : 631.83
Г 722

Рекомендовано до друку Вченою радою
Уманського національного університету садівництва
(протокол від 00.00.2020 р. № 00

Рецензенти:
д-р с.-г. наук, доц. *В. В. Іваніна* (Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН);
д-р с.-г. наук, проф. *П. Г. Копитко* (Уманський національний університет садівництва);
д-р с.-г. наук, проф. *В. І. Лопушняк* (Національний університет біоресурсів і природокористування України).

Г 722 **Г. М. Господаренко, О. Д. Черно, О. В. Нікітіна**
Агрохімія калію / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.; іл.

ISBN 978-617-7894-00-0

Видання вчених Уманського національного університету садівництва включає роботи з вивчення впливу доз, форм, строків застосування калійних добрив і польової сівозміни на формування калійного стану ґрунту, винесення калію врожаями, продуктивність сільськогосподарських культур.

Висвітлено історію питання, теоретичні основи живлення рослин калієм, формування калійної складової родючості ґрунтів, умови ефективного застосування калійних добрив.

Книга буде корисною науковим і науково-педагогічним працівникам, студентам і фахівцям сільськогосподарського виробництва.

УДК 631.8 : 631.83

ISBN 978-617-7894-00-0

© Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В., 2021

ЗМІСТ

ВСТУП *(Господаренко Г. М.)* 5

Розділ 1. КАЛІЙНА СКЛАДОВА ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН І РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ 11
1.1. Колообіг калію у природі *(Господаренко Г. М.)* ... 11
1.2. Значення калію для рослин *(Черно О. Д.)* 13
1.3. Калійні добрива і стійкість рослин до пошкодження шкідниками і хворобами *(Черно О. Д.)* 20
1.4. Калійний фонд ґрунту *(Нікітіна О. В.)* 25

Розділ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ *(Господаренко Г. М.)* 41
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови 41
2.2. Методика проведення досліджень 47

Розділ 3. ЗМІНИ У КАЛІЙНОМУ ФОНДІ ҐРУНТУ ЗА ТРИВАЛОГО УДОБРЕННЯ *(Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В.)* 55
3.1. Взаємодія калійних добрив з ґрунтом 55
3.2. Легкорозчинні сполуки калію 64
3.3. Рухомі сполуки калію 68
3.4. Вплив ступеня подрібнення ґрунту на вміст рухомих сполук калію 78
3.5. Обґрунтування верхньої межі оптимального вмісту рухомих сполук калію у ґрунті 80
3.6. Методи оцінювання калійного стану ґрунту 82
3.7. Вміст обмінного калію 84
3.8. Необмінно-гідролізований і жорсткозв'язаний калій 89
3.9. Зміни у структурі калійного фонду ґрунту після тривалого удобрення 94
3.10. Термодинамічні показники калійного стану ґрунту 101

Розділ 4 ВИНЕСЕННЯ КАЛІЮ ВРОЖАЯМИ І ЙОГО БАЛАНС У ҐРУНТІ ЗА ТРИВАЛОГО УДОБРЕННЯ *(Нікітіна О. В.)* 119
4.1. Вміст калію в урожаї сільськогосподарських культур 119
4.2. Господарське та відносне винесення калію сільськогосподарськими культурами 124
4.3. Баланс калію у ґрунті 130

Розділ 5. СИСТЕМА ЗАСТОСУВАННЯ КАЛІЙНИХ ДОБРИВ *(Господаренко Г. М., Черно О. Д.)* 140
5.1. Особливості застосування калійних добрив 140
5.2. Форми калійних добрив і їх взаємодія з ґрунтом 151
5.3. Ефективність калійних добрив 158
5.4. Ефективність калійних добрив за тривалого застосування в польовій сівозміні *(Господаренко Г. М., Бойко В. П.)* 174

Розділ 6. ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ КАЛІЙНИХ ДОБРИВ У ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ *(Господаренко Г. М., Нікітіна О. В.)* 199
6.1. Вплив калійних добрив на вміст хлору у ґрунті та врожайність гречки 202
6.2. Вміст калію, кальцію і магнію у ґрунтово-вбирному комплексі 212
6.3. Вміст натрію у ґрунті 215
6.4. Вміст радіоактивних ізотопів у ґрунті 216

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ 224

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ 231

ВСТУП

Вирішення актуального національного завдання забезпечення продовольчої безпеки країни, що стоїть перед агропромисловим комплексом України, тісно пов'язане з науково-технічним прогресом у рослинництві, з раціональним інтегрованим застосування засобів хімізації. Особливе значення в цьому належить мінеральним добривам, причому не тільки збільшенню об'ємів їх застосування, але і, що особливо важливо, підвищенню агроекономічної ефективності. Їх застосування створює умови для збереження родючості ґрунтів і підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. При цьому виникає низка проблем: збільшення антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище, підвищення собівартості одержаної продукції, інколи зниження її якості. У зв'язку з новими соціальними, економічними та екологічними викликами функції агрохімічної служби в аграрному секторі нині є більш широкими, а її значення у вирішенні продовольчої проблеми зростає.

Відсутність об'єктивної інформації про родючість ґрунтів, у тому числі, поживний режим, призводить до неправильних управлінських рішень у сфері землекористування та сільського господарства, помилок у меліорації земель, нераціонального застосування добрив тощо.

Вперше думку про необхідність калію для рослин в 1840 р. висунув Ніколо Теодор Соссюр на основі аналізу золи, в якій він завжди був присутній (Минеев В. Г., 2002). Потім Юстус Лібіх також зробив висновок про необхідність застосування калійних добрив (Либих Ю., 1936). Проте перші експериментальні дані про обов'язкову потребу рослин у калії були одержані Сальм-Горстманом у 1846 р. (Либих Ю., 1936). На калійне живлення рослин постійно звертали увагу класики агрономічної науки. Так, О. М. Енгельгард вказував на необхідність «калювання» ґрунтів. Ще до відкриття родовищ калійних солей

Д. М. Прянишников (1952) пропонував організувати збирання золи, як джерела калію для рослин. Пізніше В. Н. Прокошев (1980, 1985) зазначав, що відсутність калійних добрив упродовж ротації сівозміни знижує врожайність культур. З того часу калійні добрива стали невід'ємною складовою систем удобрення сільськогосподарських культур.

Калій є одним з основних елементів живлення, що оптимізує у рослинах кислотно-лужний баланс, підвищує фотосинтетичну активність, прискорює відтік і здатність до накопичення продуктів фотосинтезу, бере активну участь у білковому і вуглеводному обмінах, активує діяльність більш як 60 ферментів і ферментативних систем, підвищує водоутримувальну здатність. Тому забезпеченість рослин калієм підвищує їх стійкість до посухи, несприятливої дії високих і низьких температур. Під впливом калію рослини стають більш морозостійкими; посилюється синтез целюлози і пектинових речовин, що підвищує міцність тканин; потовщуються стінки соломи, що збільшує стійкість рослин проти вилягання, особливо на тлі інтенсивного азотного живлення. Калій пришвидшує засвоєння азоту, утворення білка і зниження вмісту нітратів; посилює азотфіксацію та сприяє формуванню бульбочок на коренях бобових культур; поліпшуються вихід і якість волокна льону, конопель тощо; накопичується більше цукрів у буряках та інших коренеплодах, крохмалю – в бульбах картоплі, підвищується стійкість рослин проти грибкових і бактеріальних захворювань, наприклад картоплі, коренеплодів, овочевих культур – проти збудників гнилі, зернових – проти борошнистої роси, іржі тощо. Крім того, калій позитивно впливає на смакові якості плодів, знижує надходження радіонуклідів у рослини.

Отже, функціональне значення калію в рослинах багатогранне. За калійного голодування проходить багато порушень у процесі обміну речовин у рослинах. У наслідок цього врожайність сільськогосподарських культур і його якість знижується. Тому інтерес до вирішення проблеми

їх калійного живлення постійно росте в багатьох країнах світу (Safoora Asadi, 2010; Bernardi A. C. C. et al., 2011). У найближчі роки темпи росту застосування калійних добрив будуть значно вищими, ніж азотних і фосфорних.

Дані агрохімічного обстеження свідчать, що площі з низьким і середнім вмістом обмінного калію у ґрунтах України збільшуються. Багатогранні функції калію (екологічні, фізіолого-біохімічні, агрохімічні) та зростаюча в часі реакція сільськогосподарських культур на цей біогенний елемент потребують перегляду стратегії оцінювання забезпеченості ґрунтів та умов оптимізації живлення ним рослин.

Практика рослинництва останніх десятиліть показала, що без мінеральних добрив не можливо підвищити продуктивність сільськогосподарських культур і вести прибуткове сільське господарство в Україні. Тому обсяги застосування мінеральних добрив, у тому числі і калійних, постійно збільшуються.

У розвинутих країнах світу застосування калійних добрив зберігається на високому рівні та перевищує обсяги застосування фосфорних добрив. Причому така закономірність характерна не лише для країн з низьким рівнем вмісту калію у ґрунті (Минеев В. Г., Бычкова Л. А., 2003).

Зусиллями вчених (Пчелкин В. У., 1966; Горбунов Н.И., 1978; Соколова Т. А., 1980; Ониани О. Г., 1981; Прокошев В. В., 1984; Arnold P. W., 1970; Sparks D. L., 1987; Tributh, 1987 та ін.) накопичений значний експериментальний і теоретичний матеріал у відношенні трансформації калію в системі «ґрунт–рослина». Це робить особливо актуальним розроблення моделі і прогнозування змін режимів калію в агроекосистемі в різних зовнішніх умовах.

У попередніх дослідженнях учених (П. А. Власюка, К. К. Гедройца, О. І. Душечкіна, А. А. Маслової, Б. С. Носка, В. У. Пчолкіна, А. В. Соколова, В. Ф. Чирикова та ін.) вивчалась ефективність застосування калійних добрив на чорноземах. Проте зазвичай ці досліди були нетривалими, проводились у різних кліматичних умовах за низьких доз

добрив, різної структури сівозміни і низького рівня продуктивності сільськогосподарських культур.

Узагальнення даних географічної мережі дослідів з добривами і даних агрохімічної служби України показало, що ефективність застосування калійних добрив залежить від низки чинників: рівня агротехнології, забезпеченості ґрунтів поживними речовинами, погодних умов. Невисока ефективність калійних добрив на грунтах, що сформувалися на лесових породах (каштанових, чорноземах південних, звичайних і типових) пояснюється не їх достатнім забезпеченням калієм, а з нестачею вологи, характерною для регіонів поширення цих ґрунтів (Христенко А. А., 2017). На більшості інших ґрунтів України, за умови оптимальних умов вирощування сільськогосподарських культур, ефективність калійних добрив досить висока (Носко Б. С., Лисовой Н. В., Столяр В. М., 1996; Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999; Христенко А. А., 2017).

Низький рівень застосування калійних добрив в Україні можна пояснити не лише відносно високою їх вартістю, але і помилковим поглядом учених, агрономів і керівників, що зазвичай ґрунти важкого гранулометричного складу Степу та Лісостепу мають достатній вміст рухомих сполук калію. На думку А. О. Христенка (2017), причиною цього є недосконаліть методів ґрунтової діагностики живлення рослин, що завищує або занижує оцінку стану родючості ґрунтів не лише окремих полів, але і цілих регіонів.

У результаті різкого зниження доз застосування калійних добрив, вміст рухомих сполук калію в більшості орних ґрунтів України близький до рівня природного його стану, що відповідає середній забезпеченості цим елементом живлення рослин (Христенко А. А., 2017). Тому ґрунти зазвичай не містять достатньої кількості залишкового калію добрив і для отримання високих урожаїв необхідно обов'язково вносити калійні добрива. В цих умовах чинником, що дозволяє оптимізувати живлення сільськогосподарських культур, є дані про калійний стан ґрунтів.

Точна інформація оцінювання родючості ґрунтів дозволяє підвищити економічну ефективність застосування добрив, а також зробити мінімальним негативний їх вплив на навколишнє природне середовище. Вважається (Павлов К. В., Егоров В. С., 2002), що складність оцінювання калійного стану ґрунтів є значною перешкодою ефективного застосування калійних добрив. Не дивлячись на те, що відомо більш як 150 методів визначення рухомих сполук калію у ґрунті, проблема далека від оптимального рішення (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000). Міжнародного нормативного документу (ISO) на метод визначення калію у ґрунтах не існує. Зазвичай країни застосовують свій метод: Великобританія – 1 М NH_4NO_3, Німеччина – подвійний лактат або лактат кальцію та амонію, Нідерланди – 0,1 М HCl + 0,2 М щавлева кислота, Швеція та Угорщина – лактат амонію + CH_3 COOH (pH 3,75).

Практика землеробства показує, що діагностика калійного режиму ґрунту за вмістом рухомих сполук калію у багатьох випадках веде до значних помилок, а системи удобрення, побудовані на основі балансового підходу, не забезпечують достатньої рентабельності аграрного виробництва.

Значення точної діагностики стану родючості ґрунтів нині важко переоцінити. Основна проблема в тому, що домінуючі так звані «жорсткі» методи обстеження ґрунтів не дозволяють отримувати об'єктивну інформацію. Відсутність її веде до неефективного застосування добрив, вартість яких до того ж постійно зростає. Загальноприйнято, що доступність рослинам калію визначається хімічним методом визначення у ґрунті рухомих його сполук. Проте потенційно доступна ця форма калію, чи ні – може відповісти лише сама рослина. Але якщо хімічний метод для певного ґрунту підібрано правильно, поняття «рухомий» максимально наближається до поняття «доступний» (Христенко А. А., 2017).

Загальноприйняте правило про те, що чорноземи багаті калієм і не потребують внесення калійних добрив, вже

не актуальне в умовах інтенсивного вирощування сільськогосподарських культур, тому виникає потреба вивчення кількісних і якісних змін їх калійного фонду. Необхідні знання про трансформацію, міграцію калію у ґрунті, його баланс у системі добриво–ґрунт–рослини за тривалого застосування добрив з метою розроблення практичних рекомендацій з оптимізації калійного режиму ґрунту, підвищення врожайності, поліпшення якості одержаної продукції та охорони навколишнього природного середовища. Саме ці питання і визначали напрямок проведених досліджень.

Розділ 1.

КАЛІЙНА СКЛАДОВА ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН І РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ

1.1. Колообіг калію у природі

Середній вміст калію в земній корі становить 2,5 % K_2O. Це один з основних біогенних елементів. Його кількість у біомасі змінюється від 20 (у пустелях) до 2000 кг/га (у дібровах). У міру розвитку життя на Землі калій гірських порід активно залучався в біологічний колообіг, переходив у рухомий стан і відповідно до інтенсивності та спрямованістю регіональних біологічних процесів накопичувався в кореневмісному шарі ґрунту, закріплюючись в її мінеральній і органічній частинах, вилуговувався, вилучався з біомасою та під час ерозії. Щороку у ґрунт з біомасою повертається від 3–5 до 300 кг/га K_2O. Водночас із сільськогосподарських угідь з урожаєм виноситься від 20 до 500 кг/га K_2O. Проте його колообіг у землеробстві сприятливіший, ніж фосфору. На відміну від азоту і фосфору основна частина калію міститься в нетоварній частині рослинницької продукції – листках, стеблах, соломі, що служить кормом і підстилкою. Тому за раціонального використання нетоварної частини врожаю і гною значна частина калію може повертатися у ґрунт.

Невелика кількість калію надходить у ґрунт з насінням (близько 2 кг/га) і атмосферними опадами (5 кг/га). Проте ні цей калій, ні повернений з органічними добривами не може компенсувати його винесення з урожаєм і втрати з ґрунту.

На інтенсивність вимивання калію з кореневого шару ґрунту впливають гранулометричний склад ґрунту, його зволоженість (опади, поливи), рівень залягання ґрунтових вод, дози добрив, сільськогосподарське використання.

Частина калію сільськогосподарських угідь втрачається внаслідок ерозії. Фіксація калію глинистими мінералами, його активна участь у біологічному колообігу зменшують вміст калію в геологічному колообігу.

Поряд з калієм у тканинах рослин майже завжди міститься натрій (0,1–0,2 %). Це свого роду факультативний макроелемент: у багатьох випадках він є баластом, хоча за його наявності рослини ростуть краще, але деякі підвищують продуктивність.

Відношення між калієм і натрієм у земній корі наближається до одиниці. За хімічними властивостями натрій подібний до калію, але його іони на відміну від іонів калію, кальцію і магнію не фіксуються і слабко утримуються колоїдами ґрунту. Натрій – основний катіон, що легко вимивається з ґрунту. Тому в природних водах його вміст вищий, ніж калію (калію не більш як 1–2 мг/л). Цим і пояснюється солонкуватий смак морської та океанської вод.

Зазвичай у ґрунтах міститься достатня кількість рухомого натрію для задоволення потреб рослин у ньому. Позитивний вплив натрію на життєдіяльність рослин переважно залежить від їх біологічних особливостей і забезпеченості калієм. Розрізняють чотири групи рослин: 1) рослини, які потребують натрію за нестачі калію у ґрунтовому розчині (люцерна, пшениця, ячмінь, овес, горох, соняшник, помідор, капуста брюссельська, морква); 2) рослини, які мало потребують натрію за нестачі калію у ґрунтовому розчині (кукурудза, конюшина, цибуля, картопля, гречка, огірок, жито, соя); 3) рослини, які потребують мало натрію за достатньої кількості калію (горох, пшениця, ячмінь, льон, капустяні); 4) рослини, яким потрібно багато натрію за достатньої кількості калію (селера, буряк, турнепс, сафлор, цибуля). Найпозитивніше на нього реагують буряк, редиска, капуста, льон і деякі інші культури, що мабуть пов'язано з походженням цих культур із регіонів, де поширені засолені ґрунти з високим вмістом натрію. У цих культур натрій виконує функції, дещо подібні до функцій

калію: підвищується посухостійкість рослин; збільшуються розміри листків, зокрема буряку; нерідко тканини стають «м'ясистішими»; у льону поліпшується якість волокна. Для інших культур, зокрема зернових і картоплі, потребу в натрії не доведено.

1.2. Значення калію для живлення рослин

Калій, поряд з азотом і фосфором, є основним елементом живлення рослин. Для отримання високого врожаю слід звертати увагу на достатній рівень його вмісту у ґрунті (Власюк П. А., 1965; Прокошев П. А., 1965). Калій у рослинах бере активну участь у білковому і вуглеводному обмінах, активує діяльність ферментів, а також бере участь в одній із перших реакцій фотосинтезу – утворенні АТФ (Ягодин Б. А., 1989; Сисикевич Ю. И., Никонова Г. Н., 2006; Носко Б. С., Гладкіх Є. Ю., 2012).

Органічні сполуки, в структуру яких входив би калій, в рослинах невідомі. Тому калій є виключно функціональним елементом і бере участь в основних фізіологічних процесах. Він переважно зосереджений у цитоплазмі та вакуолях. Більше 4/5 загального його вмісту в рослині знаходиться в клітинному соку і добре екстрагується водою, тому вимивається дощами із листків, особливо старих (Олифер В. А., 1972). Так, квасоля, що розвивалася впродовж 48 годин на поживному розчині з калієм, втратила його після штучного 4 годинного дощу 5 % вдень і 71 % вночі (Петербургский А. В., 1967).

Калій у рослинах оптимізує кислотно-лужний баланс, підвищує фотосинтетичну активність, прискорює відтік і здатність до накопичення продуктів фотосинтезу, бере активну участь у білковому і вуглеводному обмінах. Під дією калію більш інтенсивно накопичуються вуглеводи у рослинах, підвищується вміст цукрів у плодах, крохмалю в бульбах картоплі. В овочевих і плодових культурах збільшується зав'язування плодів, формування врожаю, поліпшується забарвлення, смак і лежкість плодів.

Калій активує діяльність ферментів і ферментативних систем, регулює процеси відкривання і закривання продихів на листках, що знижує інтенсивність транспірації і підвищує водоутримувальну їх здатність, поглинання вологи кореневою системою та сприяє раціональному й ефективному використанню води. Тому забезпеченість рослин калієм підвищує їх стійкість до посухи, несприятливої дії високих і низьких температур (Курсанов А. Л., Восребникова Э. И., 1967; Usherwood N. R., 1985; Munson R. D., 1988).

Під впливом калію рослини стають більш морозостійкими, що пов'язано зі збільшенням у клітинах вмісту цукрів і підвищення осмотичного тиску; посилює синтез целюлози і пектинових речовин, що збільшує товщину клітинних стінок, підвищує міцність та якість волокон у луб'яних культурах; потовщуються стінки соломи, що збільшує стійкість рослин проти вилягання, особливо на тлі інтенсивного азотного живлення, збільшується осмотичний тиск клітинного соку, внаслідок чого підвищується зимостійкість рослин. За достатнього забезпечення калієм підвищується якість врожаю (Reed J. F., 1953; Hembert R. P.; 1958; Шкварук М. М., Делеменчук М. І., 1975; Соколова Т. А., 1987). Посилення кореневого живлення є потужним чинником формування кореневої системи, особливо в плодових дерев і ягідних кущів.

Доведено (Прокошев В. В., 1993), що калій позитивно впливав на зменшення ураженості рослин грибковими захворюваннями у 70 % дослідів. У Канаді на ґрунтах з низьким вмістом обмінного калію внесення навіть 30 кг K_2O/га зменшувало захворювання ячменю звичайною гниллю з 91 до 40 %. У результаті застосування калійних добрив відмічені факти зниження захворювань кукурудзи стебловою гниллю, бурою плямистістю, звичайною гниллю, сажкою; пшениці – іржею, борошнистою росою; буряку цукрового – кореневою гниллю, що істотно збільшувало врожайність цих культур. Крім того, калій позитивно впливає на смакові якості плодів, знижує над-

ходження радіонуклідів у рослини. Калійні добрива, посилюючи імунні властивості рослин, можуть також знижувати шкідливість комах.

Фізіологічні функції калію пов`язані також з азотним обміном у рослин. За недостатнього забезпечення рослин калієм накопичується значна кількість амінокислот і амідів, а перетворення їх у білки гальмується (Mengel K., 1974). Калій пришвидшує засвоєння азоту, утворення білка і зниження вмісту нітратів; посилює азотфіксацію та сприяє формуванню бульбочок на коренях бобових культур; поліпшує вихід і якість волокна льону, конопель тощо.

У свою чергу азотні добрива значно впливають на засвоєння рослинами калію. Так, в дослідах В. І. Никитишена зі співавторами (1981) без азоту рослини використали лише 7–11 % внесеного з добривами калію, тоді як на фоні 60 кг/га азоту в складі NPK вони спожили його 80–86 %. У свою чергу надлишок (у відношенні до калію) азоту у ґрунті веде до утворення великих листків у рослин, в яких створюється надмірна, порівняно з вуглеводами, концентрація азотистих сполук. Все це призводить до небажаних наслідків: такі рослини більш схильні до ураження грибковими захворюваннями, знижується їх посухостійкість. Калій виступає як нейтралізатор шкідливого впливу азоту і тому досить необхідний для культур, що потребують високого рівня азотного живлення (Ониани О. Г., 1981).

Калій поглинається рослинами у вигляді катіону і залишається у клітинах рослин у формі заряджених іонів, які за накопичення в значних кількостях у клітинах виступають основними протиіонами нейтралізації від'ємних зарядів неорганічних аніонів і клітинних поліелектролітів, створюючи при цьому іонну асиметрію та різницю електричних потенціалів між рослинними клітинами і ґрунтовим середовищем. Цю особливість катіонів калію відзначав ще Д. А. Сабінін (1955), довівши, що роль катіонів калію, натрію, частково кальцію обмежується їх значенням в утворенні цитоплазматичних структур і в підтриманні елек-

тричних властивостей утворень протопласту (Носко Б. С., 1999; Бершадская С. И., Дерека Ф. И, 2012).

Вміст калію в клітинах рослин значно вищий, ніж інших катіонів, він також перевищує концентрацію його в навколишньому розчині (Ягодин Б. А., 1989). Дослідженнями встановлено прямий взаємозв'язок між вмістом калію в клітинах та інтенсивністю процесів росту. Нестача калію гальмує поділ, ріст і розвиток клітин. Молоді рослини містять його значно більше, ніж старі органи. В процесі росту й розвитку рослин відбувається його переміщення із старих органів рослин у молоді, де він повторно використовується. Тому у вегетативних органах вміст калію завжди більш високий, ніж у насінні, бульбах, коренеплодах. Так, у листках картоплі, буряку, соняшнику його міститься 4–6 %, в соломі зернових – 1–1,5, капусті – 0,5 % (у перерахунку на суху речовину), тоді як у насінні зернових близько 0,5 %, у коренеплодах – 0,3–0,6 % (Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М., 1991).

Вміст калію в рослинах багатьох сільськогосподарських культур дещо менший, ніж азоту, однак всі рослини використовують його більше, ніж фосфору. Різні сільськогосподарські культури потребують неоднакову кількість калію. Порівняно багато цього елементу споживають плодоягідні культури, буряк цукровий, капуста, коренеплоди, картопля, зернобобові, соняшник, кукурудза, гречка. Менше калію міститься в урожаях жита, ячменю, вівса, пшениці.

З усіх зольних елементів рослини найбільше засвоюють калій. За середньої врожайності зернові виносять 50–90, буряк цукровий, картопля, овочеві культури – 200–400 кг K_2O/га. Засвоєння калію рослинами впродовж вегетації залежить від їх біологічних особливостей. Так, зернові культури найбільше його засвоюють у фази виходу в трубку–колосіння, льон – під час цвітіння, картопля і буряк цукровий – у період найбільшого приросту біомаси. У зернових культур винесення калію врожаєм складає 60–70 % від максимального засвоєння його у фазу цвітін-

ня. Причина цього – відмирання і обпадання листків під час достигання продуктивних органів і вимивання калію атмосферними опадами із листків, що закінчили вегетацію (Kafkafi U. et al., 2001).

В овочевих культур, особливо пізніх сортів, тривалі-ший період засвоєння калію і відносно незначне його поглинання в перший місяць після сівби або висаджування розсади. Тому роздрібне внесення калійних добрив, особливо за умов зрошення і вирощування культур на ґрунтах легкого гранулометричного складу, дозволяє оптимізувати живлення рослин і одержувати врожаї з кращими показниками якості (Wu-Zhong N., Liang J. S., Härdter R., 2001; Прокошев В. В., 2004; Cakmak I., 2010).

Засвоєння калію з ґрунту і внесених добрив залежить від особливостей розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур (довжини і розподілення коренів у ґрунті) та її поглинальної здатності (Marschner H., 1995). Наприклад, біологічна особливість ячменю – швидкий ріст пагонів у перші 2–3 тижні після сходів за відносно повільного росту кореневої системи. Коренева система вівса відрізняється більшою поглинальною здатністю, завдяки швидкому розростанню в орному шарі ґрунту. Злакові культури з високим вмістом у своєму складі силіцію (пшениця, овес, жито, кукурудза тощо) краще, ніж зернобобові культури, використовують калій ґрунту завдяки розкладанню алюмосилікатів. Специфічний характер кореневої системи у льону, яка проникає досить глибоко у ґрунт, але у відношенні до фітомаси вона складає незначну частину, а її основна маса розміщується у шарі 0–10 см (Marschner H., Kirkby E. A., Cakmak I., 1996; Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000).

За динамікою та інтенсивністю засвоєння калію впродовж вегетації рослини діляться на дві групи:

• високочутливі до рівня калійного живлення та чутливі до високих доз калійних добрив – картопля, буряк цукровий, ячмінь, кукурудза, соняшник, ріпак, гречка,

просо, льон, капуста білоголова, селера, гарбуз, баклажан, петрушка, аґрус, суниця, хрін, морква, огірок; у системі їх удобрення (у співвідношенні N : P : K) має переважати калій, тоді як для зернових найбільше потрібний азот; але за гострого дефіциту калію вони погано кущаться, міжвузля стебел вкорочуються, а листки (переважно нижні) в'януть навіть за достатньої вологості;

• решта культур з нормальними вимогами до калію, що позитивно реагують і на післядію калійних добрив, внесених у високих дозах під попередник.

Вважається також, що в рослин, які накопичують багато кількість вуглеводів, спостерігається висока потреба до рівня калійного живлення.

Надходження калію в рослини. Основна кількість калію поступає до рослин у результаті дифузії і в меншій мірі – масового потоку, розмір яких залежить від концентрації калію у ґрунтовому розчині та вологості ґрунту. Зменшення вологості ґрунту до 30 % ППВ може знизити поглинання калію рослинами на 15–45 %, а коли вологість ґрунту досягає 20 % ППВ, надходження калію до кореневих систем зменшується на 40–70 %. Тому глибоке внесення калійних добрив за посушливих погодних умов істотно підвищує їх дію (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000). Специфічний розвиток кореневої системи конюшини і люцерни дозволяє завдяки більшої кількості коренів в орному шарі, асимілювати у симбіозі з бульбочковими бактеріями, азот з повітря і одночасно, завдяки глибокому проникненню по профілю ґрунту стержневих коренів, використовувати вологу і поживні речовини більш глибоких шарів.

Мінімальна концентрація калію в розчині, при якій рослини ще можуть його засвоювати, складає 0,01 мг K_2O/л. Щоб рослини могли живитися калієм із такого розчину необхідна велика кількість вологи, якої у ґрунті, зазвичай, не вистачає. Тому потреба рослин у внесенні калійних добрив виникає за значно вищої концентрації

водорозчинного калію. Так, у дослідах Миронівської дослідної станції ознаки калійного голодування буряку цукрового з`явились за вмісту калію водорозчинних сполук біля 6 мг K_2O/кг ґрунту.

Нестача калію гальмує деякі біохімічні процеси у рослині, що негативно впливає на обмін речовин. Зовнішні ознак калійного голодування проявляються в побурінні країв листків, у вигляді так званих «опіків» або з появою на них іржавих цяточок. Рослини в'януть, стебла стають ламкими, що спричинює вилягання зернових культур, затримується розвиток репродуктивних органів, зерно формується щуплим і має погану схожість. Недостатнє живлення калієм збільшує витрати цукрів на дихання, знижує врожайність та якість продукції, погіршує здатність овочів і фруктів до зберігання. Ці ознаки виникають у рослин, коли вміст калію в них знижується в 3–5 разів. У здорових листках буряку цукрового міститься 5 % K_2O (від маси сухої речовини), у хворих 0,9 %; у листках ячменю – відповідно 2,7 і 0,8 %; у листках багаторічних трав його біля 2 %, а у хворих менше 1,2 % (Шкварук М. М., Деменчук М. І., 1975).

За надмірного калійного живлення рослин спочатку між жилками листків з'являється мозаїка блідих плям, які з часом буріють і листки опадають. Ріст і цвітіння рослин гальмуються, в бульбах картоплі знижується вміст крохмалю, погіршуються їх смакові якості. Крім того, за надлишку калію у ґрунті спостерігається магнієве голодування рослин (Härdter R., Krauss A., 1999).

Отже, потреба рослин у калію досить значна, що слід враховувати при розробці системи удобрення як окремих культур, так і сівозміни в цілому.

1.3. Калійні добрива і стійкість рослин до пошкодження шкідниками і хворобами

Незважаючи на те, що стійкість рослин до хвороб і шкідників обумовлена переважно генетичними чинниками, калій впливає також на механізми захисту рослин від шкідливих патогенів. За дефіциту калію спостерігається зниження імунітету рослин до основних збудників хвороб і шкідників сільськогосподарських культур (іржі, борошнистої роси, фітофторозу, збудників кореневої і стеблової гнилі, плямистостей зернових культур, попелиць, бурякової нематоди і т. д.), і, тим самим, призводить до зростання витрат на хімічні засоби захисту рослин. Упродовж десятиліть було визнано, що калій збільшує здатність рослин протистояти шкідникам і хворобам. Це стосується не лише декількох видів сільськогосподарських культур, але включає в себе широкий спектр як рослин, так і патогенних мікроорганізмів. Значення калію у стійкості культур до хвороб широко показано Міжнародним інститутом калію в огляді 2450 літературних джерел. Встановлено, що достатня забезпеченість калієм знижує ураження грибковими хворобами на 70 , бактеріальних хворобами – на 69, ушкодження комахами і кліщами на 63 %, і вірусами на 41 %. Достатнє удобрення калійними добривами сприяє розвитку сильних рослин, які можуть протистояти хворобам і комахам набагато краще, ніж ті, які недостатньо забезпечені цим елементом живлення. За його ефективної дії у ролі в регулюванні обміну речовин рослин і протидії шкідливому впливу надмірної кількості азоту, нормалізується розвиток рослин і їхній пропорційний ріст. Це сприяє формуванню здорових і витривалих рослинних тканин, що стійкі до пошкодження шкідниками і ураження хворобами.

Хоча пошкоджень шкідниками не можливо уникнути лише достатнім живленням, проте, вони можуть бути значно зменшені завдяки внесенню калійних добрив. Застосування калійних добрив є важливою складовою систе-

ми захисту рослин. При включенні калійного живлення як частини комплексної боротьби зі шкідниками знижується потреба в інших хімічних заходах контролю за шкідниками і хворобами, що забезпечує зменшення негативного впливу залишків пестицидів. Застосовуючи збалансоване удобрення, можна знизити застосування агрохімікатів і довести, що продукція виробляється «природним» способом (Hartz T. K. et al., 1999).

Зазвичай, існує обернений зв'язок між вмістом доступного калію у ґрунті та ступенем ураження хворобою. Існує поширена практика внесення калійних добрив для зменшення певних захворювань. Так, листкова плямистість у бавовнику пов'язана з низьким вмістом калію у ґрунті, рослинних тканинах або черешках листків. Різні форм калійних добрив, що застосовуються для позакореневого підживлення, дуже ефективні як індуктори системного захисту від борошнистої роси на огірках. Дефіцит калію в кінці достигання сої може призвести до зниження врожайності і поганої якості насіння, що викликані стручковою та кореневою гнилями і пурпуровим церкоспорозом насіння. У картоплі за внесення калійних добрив спостерігалось зниження ураженості певними хворобами, такими як фітофтороз, суха фузаріозна гниль, порошиста парша та альтернаріоз. Встановлено, що кращою формою калійних добрив на азотно-фосфорному тлі під картоплю є калімагнезія. Це добриво значно підвищує врожай картоплі, зменшує грибкові захворювання, збільшує вміст крохмалю (Гилис М. Б., 1975).

Калій найбільше впливає на хвороби, діючи на структури тканинних клітин і біохімічні та метаболічні функції. Рослини, які відчувають нестачу калію, мають більшу концентрацію розчинних цукрів, які придатні для росту багатьох патогенів. Неорганічний азот накопичується в соку рослин кукурудзи з недостатнім вмістом калію через погіршення азотного метаболізму, що створює більш сприятливі умови для росту бактерій і подальшого в'янення рослин.

Застосування калійних добрив – один з небагатьох ефективних заходів з пригнічення стеблових гнилей кукурудзи. Як показали результати 12-річного польового досліду, проведеного у провінції Цзилинь, внесення у ґрунт калію хлористого знижувало ступінь розповсюдження стеблових гнилей кукурудзи на 48 % (Цзинь Цз., Луи Кс., Хэ П., 2013).

Калій також збільшує утворення сполук, таких як феноли, фітоалексини і ауксини, які пригнічують розвиток хвороб та підвищують стійкість рослин до шкідливих організмів. Підвищена стійкість до хвороб завдяки внесенню калію пояснюється різними механізмами, наприклад зменшенням клітинної проникності та зниженням чутливості тканин до виснаження патогенними мікроорганізмами. Крім того, калій у поєднанні з фосфором індукує розвиток більш товстих кутикул і клітинних стінок, які функціонують як механічні бар'єри для проникнення та інфікування патогенами. Там, де азот вноситься у надмірних кількостях за недостатнього забезпечення калієм, клітинні стінки стебел рослин можуть бути тоншими, що пов'язано зі швидким ростом, у результаті чого відбувається вилягання рослин. Вилягання зернових за надмірної вологості створює ідеальний мікроклімат для проростання спор грибів, що зумовлює розвиток хвороб. Тому важливо переконатися, що внесення азотних добрив збалансоване з достатньою забезпеченістю рослин калієм. Фізична стійкість до хвороб підвищується завдяки тому, що достатнє живлення калієм забезпечує повне закриття продихів рослини і збільшує здерев'яніння судинної тканини. Тріщини, щілини та пошкодження, які розвиваються за дефіциту калію на поверхні листків і плодів зумовлюють легкий доступ для патогенів.

Широко відома роль калію в зменшенні ушкоджень рослин комахами. Рослини, надмірно забезпечені азотом і недостатньо калієм, мають м'які тканини з невеликою стійкістю до сисних і гризучих комах. Жовтувате забарв-

лення рослин, які страждають від дефіциту калію, діє як сигнал, що приваблює попелицю. М'яка поверхня тканин з підвищеним вмістом азоту допомагає попелицям проникати у поверхню листків, і не тільки конкурувати за живлення, але і одночасно передавати віруси. В'янення, що є ще одним показником дефіциту калію, також приваблює шкідників. Надмірне забезпечення азотом, за незбалансованого удобрення, для його перетворення потребує вуглецю, невелика кількість якого вивільняється з циклу Кребса для синтезу вторинних сполук, таких як феноли та хінони. Ці фенольні сполуки, як основа для багатьох захисних механізмів, мають важливе значення у взаємозв'язку між патогеном і рослиною-господарем. Вони виступають в якості фітоалексинів або попередників лігніну і суберину, які в листках і стеблах діють як механічні бар'єри проти нападів комах-шкідників. У довготривалих дослідженнях із соєю в Індії, внесення калію сприяло зменшенню нападів комах, таких як п'явиця синя болотна, сірий п'ядун, вусач *Oberea Brevis* і муха паросткова, в результаті чого врожайність сої насіння зростала (Munson R. D.).

Дослідження, проведені у США у штатах Вісконсін і Мічіган показали, що в низці випадків рослини сої, які відчували нестачу калію, більше страждали від пошкоджень соєвою попелицею порівняно з рослинами, достатньо забезпеченими калієм (Bruulsema N. C., Fonzo C. Di., 2010).

Нині споживачі прагнуть відшукати переваги продуктів, які містять природні сполуки, корисні для здоров'я (функціональні харчові продукти). Наприклад, фітохімічні речовини з медичного погляду визначаються як біологічно активні інгредієнти у продуктах харчування, що підтримують здоров'я і фізичну форму. Лікопін у помідорах, аллицин у часнику, або ізофлавоноїди в сої належать до цієї групи. Вони запобігають раку, діабету, гіпертонії і серцево-судинним захворюванням (Karppanen H., Karppanen P., Mervaala E., 2005). Калій може підвищити, наприклад, вміст лікопіну в помідорах. Підтверджено

позитивний зв'язок між удобренням сої та вмістом у насінні ізофлавоноїдів. Зокрема у ґрунтах з низькою родючістю, калійні добрива збільшили вміст основних ізофлавоноїдів – геністеїну, даїдзеїну і гліцитеїну – до 16 % (Vyn T. J. et al., 2002.).

Куркумін є фітохімічною речовиною, яку екстрагують з популярної індійської спеції куркуми, і може бути корисним для профілактики і лікування низки захворювань. Якість кореневища куркуми оцінюють за вмістом куркуміну. Було показано, що якість кореневища значно поліпшується у відповідь на внесення калійних добрив. Невідомо, чи відіграє калій особливу роль в синтезі фітохімічних речовин, але це, можливо, тому, що калій є важливим кофактором ферменту для багатьох метаболічних реакцій рослин. Також відомо, що калій зменшує вміст токсичних фітохімічних речовин. Наприклад, маніок містить потенційно токсичні, ціаногенні глікозидні сполуки, які можуть викликати отруєння і смерть людини. Відзначається значне зниження вмісту синильної кислоти у бульбах маніоку внаслідок внесення калійних добрив.

Незбалансоване удобрення з недостатнім забезпеченням калієм може призвести до накопичення $N–NO_3$ у рослинах. Калій сприяє підтриманню вміст $N–NO_3$ у фруктах і овочах у допустимих межах, встановлених органами охорони здоров'я. Законодавством ЄС визначено максимально допустимі рівні нітратів у зелених листкових овочах, таких як салат і шпинат. Калій бере участь у циклі азоту як активатор ферменту в його метаболізмі. Було встановлено (Koch K., Mengel K., 1974; Mengel. K., 1977), що рослини тютюну з дефіцитом у живленні калію не тільки поглинають на 26 % менше $N–NO_3$, ніж рослини, які отримують достатню кількість калію, але і лише 15 % поглинутого $N–NO_3$ включається до складу білка, а 45 % все ще залишається як $N–NO_3$. На відміну від цього, рослини, добре забезпечені калієм, перетворюють 40 % $N–NO_3$ у білок і тільки 30 % залишається у вигляді $N–NO_3$. Лише невелика

кількість $N–NO_3$, що залишилася в тканинах, має високу швидкість перетворення і задовольняє потребу споживача в «безпечній» їжі, а за достатнього забезпечення калієм поглинається більше $N–NO_3$, що відповідає вимогам екологічно чистого виробництва сільськогосподарської продукції.

Польові дослідження, що проводились в Китаї показують, що селера, забезпечена достатньою кількістю калію, має на 27 % менший вміст нітратного азоту, ніж за незбалансованого живлення. Калій допомагає підтримувати вміст нітратів у селері в допустимих межах.

1.4. Калійний фонд ґрунту

Калій – один із шести основних елементів (кисень, силіцій, алюміній, залізо, кальцій, калій), що складають 96 % усіх хімічних речовин ґрунту. У земній корі його міститься 2,5 %.

Загальний вміст калію залежить від його мінералогічного складу, від того, як представлені в ньому калієвмісні мінерали групи польових шпатів і слюд з вмістом K_2O, що досягає 10–12 %, і продукти їх вивітрювання – так звані вторинні мінерали – ілліт, вермикуліти, смектити та інші з вмістом 1–6 % K_2O. Під час вивітрювання в процесі утворення ґрунту, як видно з даних рис. 1.1, проходить подрібнення часточок, втрата (вилуження) калію і підвищення ємності катіонного обміну – важливої властивості ґрунту, що визначають його водно-повітряний режим і динаміку всіх ґрунтових процесів.

Найважливішою особливістю мінерального комплексу ґрунту є його здатність регулювати, підтримувати обумовлене природою слюдяних глинистих мінералів калійпостачальну силу, властиву кожному ґрунту.

В агрохімічній практиці для характеристики ґрунту зазвичай виділяють чотири стани калію, які у природному ґрунті нерозривно зв'язані один з одним і постійно змінюються для досягнення рівноваги, типової для певного ґрунту (рис. 1.2).

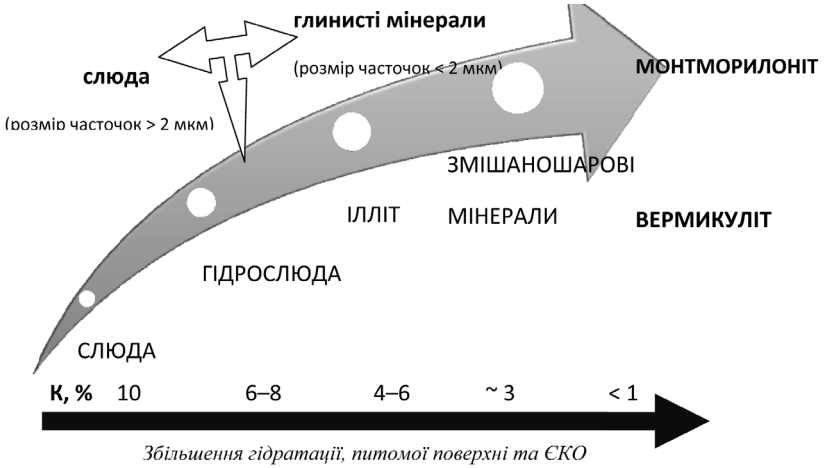

Рис. 1.1. **Схема трансформаційних змін тришарових мінералів у процесі вивітрювання** (Schroeder J. I., 1984)

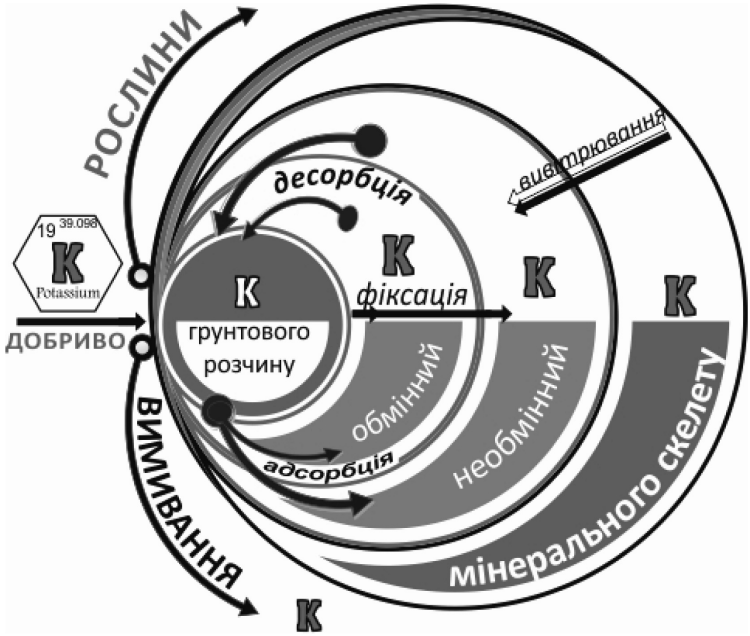

Рис. 1.2. **Форми калію у ґрунті та їх трансформація** (Krauss A., 1998)

Частка участі складових цього комплексу в забезпеченні рослин калієм у різних ґрунтах не рівнозначна як за кількістю елемента в доступному для рослин стані, так і за ступенем стійкості всієї системи до зовнішнього впливу (вилучення рослинами, міграція, погодні умови, меліоративні заходи). Тому лише за вмістом однієї із вказаних форм неможливо оцінити стан калію у ґрунті та його здатність забезпечувати рослини калієм у процесі росту.

Добрива, що надходять у ґрунт піддаються різним перетворенням. Вони не залишаються незмінними, а входять в тісний взаємозв'язок з ґрунтом. Характеру перетворення калію у ґрунті за довготривалого застосуванні добрив присвячено чимало робіт (Пчелкин В. У., 1966; Никитишен В. И., 1984; Соколова Т. А., 1987; Медведева О. П., 1987; Черно О. Д., 1996). Проте дані про зміну його вмісту і форм у ґрунті під впливом добрив досить часто носять суперечливий характер.

Калій мінерального скелета. Практично весь калій знаходиться в мінеральній частині ґрунту. Він входить до складу кристалічної ґратки первинних і вторинних мінералів, таких як польові шпати, слюди, монтморилоніт, хлорит, вермикуліт тощо (Важенин И. Г., Карасева Г. И., 1959; Пчелкин В. У., 1966; Соколова Т. А., 1984).

Найбільше калію міститься в ортоклазі, менше – в мусковіті, біотиті, глауконіті та нефеліні. Проте цей калій практично не доступний для живлення рослин. Більш доступною формою є калій, що знаходиться в обмінно- і необмінно-поглиненому ґрунтовими колоїдами стані, післязбирально-кореневих рештках і мікроорганізмах та мінеральних солях ґрунтового розчину.

В результаті вивітрювання та фізико-хімічних процесів, які постійно проходять у ґрунті, калій звільняється із кристалічної ґратки мінералів і переходить у доступні для рослин форми і стає основним джерелом живлення рослин на неудобрюваних ґрунтах. Але, як встановлено дослідженнями (Rich C. I., 1972), вивітрювання польових шпатів

проходить досить повільно. Втрачаючи калій у процесі вивітрювання, слюда перетворюється в ілліт і вермикуліт (Farmer V. C., Wilson M. J., 1970). Частина калію мусковіту, біотиту, нефеліну переходить в засвоювану рослинами форму в процесі реакції обмінного розкладання з солями ґрунтового розчину (Горбунов Н. И., 1967). Деяка кількість калію цих мінералів може переходити в доступні для рослин форми внаслідок взаємодії з вугільною та іншими мінеральними і органічними кислотами (Минеев В. Г., 1990).

Вивчення доступності рослинам калію, адсорбованого кристалічною ґраткою мінералів показали, що рослини (досліди проводились з кострицею безостою) порівняно добре використовують калій із таких мінералів як флогопіт, гідрофлогопіт, мусковіт, нефелін за умови їх застосування в дрібнодисперсному стані (Петербургский А. В., Кузнецов А. В., 1972).

Калій органічних речовин. Калій у ґрунті міститься також в рослинних і тваринних рештках, в складі плазми мікроорганізмів та інших органічних речовин, що потрапляють у ґрунт. Оскільки калій у живих організмах не утворює стійких органічних сполук, його вміст у цій формі у ґрунті незначний. В основному ця форма калію присутня у верхніх шарах ґрунту в складі свіжої біомаси, вона досить недовговічна. В процесі мінералізації калій цієї форми швидко переходить у ґрунтовий розчин і стає добре доступним для рослин (Карасюк І. М., Геркіал О. М., Господаренко Г. М., 1991).

Найбільш суттєвим джерелом калійного живлення рослин є калій ґрунтових колоїдів. Вміст цього калію у ґрунті змінюється від 50 до 300 мг/кг ґрунту і навіть більше. Його частка від загального вмісту знаходиться в прямій залежності від типів і підтипів ґрунтів та їх гранулометричного складу. В супіщаних ґрунтах ця форма калію складає менш як 0,8 %, а в чорноземах і сіроземах – 1–3 % від загального вмісту (Важенин И. Г., 1960).

Калій мінеральних солей, що знаходиться у ґрунтовому розчині, не перевищує 50 мг/кг ґрунту. Це в основному солі вугільної, нітратної, сульфатної, хлоридної та інших мінеральних і органічних кислот. Ця форма є найліпшим джерелом калію для живлення рослин (Медведева О. П., 1987).

Валовий вміст калію в орному шарі ґрунту у 5–50 разів перевищує вміст азоту і у 8–40 разів – вміст фосфору (Ягодин Б. А., 1989). При цьому, як було зазначено вище, кількісний вміст форм калію у ґрунті визначається перш за все його гранулометричним складом і змінюється в широких межах: від 0,1 до 3–4 % (Соколова Т. А, 1987; Иваненко Н. К, Переверзнев В. Н., 1991). Вивченню вмісту калію в різних ґрунтах присвячено значну кількість робіт (Адерхин П. Г., Тихова Е. П., 1939; Синягин И. И., 1940; Горбунов Н. И., 1963; Черно О. Д., 1999; Литвинович А. В., Павлова О. Ю., Маслова А. И., 2006; Косолап М. П., Кротінов О. П., 2014).

Дані про валовий вміст калію показують лише загальні його запаси у ґрунті. Більше його в глинистих і суглинкових ґрунтах. Це пояснюється тим, що у ґрунтах важкого гранулометричного складу він входить до складу мінералів, які представлені мулистими фракціями. Найбільш багаті на калій чорноземи, сірі лісові ґрунти і сіроземи. Південні чорноземи і каштанові ґрунти містять його до 2 %, чорноземи опідзолені – 0,6–0,9 %. Значно менше калію містять піщані та супіщані, а особливо торфові ґрунти. Його кількісний вміст у цих ґрунтах знижується до 0,1 %. Зі збільшенням диспергованості ґрунтів вміст калію зростає (Минеев В. Г., 1990). Запаси валового калію в орному шарі важкосуглинкових ґрунтів сягають 31–79 т/га (Кулаковская Т. Н., 1970), у метровому шарі вони складають: у сірих лісових ґрунтах 240–237 т/га (Важенин Е. А., 1974), у чорноземних – 230–280 т/га (Шконде Э. И., 1974; Листопадов И. Н, Шапошникова И. М., 1984; Бурлакова Л. М., 1984).

Доступність калію для живлення рослин і збагачення ґрунту його рухомими формами виявляється лише на основі фракційного складу калійних сполук. Вміст валового калію у ґрунті мало змінюється з часом і в процесі його сільськогосподарського використання. За даними Л. М. Жукової, В. І. Силаєвої (1966), Л. С. Любарської (1973) тривале застосування мінеральних добрив і гною дещо збільшує загальний вміст калію в чорноземних ґрунтах. Проте інші вчені (Гринченко А. М., Чесняк Г. Я., Чесняк О. А., 1964; Мамонтов В. Г.,1973; Чесняк Г. Я, 1973; Корнева Н. Г, Чернова Н. Г, Чернова Г. Д., 1988) стверджують, що систематичне застосування мінеральних і органічних добрив істотно не впливає на його запаси у ґрунті.

Питання про форми калію у ґрунті, не дивлячись на численні дослідження, вивчені недостатньо. По суті немає єдиного критерію характеристики ґрунту у відношенні калію. Незважаючи на це, всі класифікації ґрунтових сполук калію дають цінну інформацію про його генезис, метаболізм та доступність рослинам. Основною ознакою при класифікації форм ґрунтового калію є його відношення до різних екстрагентів: міцність зв`язків з твердою фазою ґрунту, здатність бути засвоєним рослинами. На цій основі виникло багато класифікацій (Важенин И. Г., Карасева Г. И, 1959; Пчелкин В. У., 1966; Петербургский А. В., 1975; Горбунов Н. И., 1978), але всі вони значно дублюють одна одну.

Для вирішення ж практичних питань виробництва більшість вчених сходиться на тому, щоб загальні запаси калію у ґрунті класифікувати на: 1) водорозчинний калій (легкодоступний рослинам); 2) обмінний калій (добре доступний рослинам); 3) рухомий калій (сума водорозчинного й обмінного калію), що вилучається з ґрунту сольовими і кислотними витяжками; 4) необмінний гідролізований калій (важкообмінний, інертний або резервний), додатково вилучається з ґрунту киплячим розчином сильної кислоти (0,2 М або 10 % розчином хлоридної кислоти) і є

найближчим резервом для живлення рослин; 5) кислоторозчинний калій, об'єднує всі чотири попередні форми і вилучається з ґрунту киплячим розчином сильної кислоти; 6) необмінний калій (різниця між вмістом валового і кислоторозчинного калію).

Водорозчинний калій – це калій мінералів, легкорозчинних солей мінеральних і органічних кислот, а також той, що переходить у водну витяжку із ґрунтового вбирного комплексу і калієвмісних мінералів при взаємодії ґрунту з водою.

Вміст цієї форми калію складає 1/5–1/10 частини від його загальної кількості, що знаходиться в обмінному стані (Минеев В. Г., 1990). Він утворюється в процесі хімічного і біологічного вивітрювання мінералів ґрунту та їх гідролізу і є найбільш доступним для живлення рослин. Частина цього калію може переходити із обмінного стану в розчин внаслідок витіснення його із вбирного комплексу різними солями, в тому числі і внесеними у ґрунт добривами (Соколова Т. А., 1987).

Кількісний вміст водорозчинного калію у ґрунті приблизно відповідає його вмісту у ґрунтовому розчині. У зв'язку з цим О. Г. Оніані (1981) запропонував групування ґрунтів за цим показником на малозабезпечені (10 мг/кг ґрунту); середньозабезпечені (10–30 мг/кг) і високозабезпечені (більш як 30 мг/кг ґрунту). Вважається (Та Ван Шон, 1982; Никитишен В. И., 1984), що вміст водорозчинного калію може дещо змінюватися залежно від удобрення.

Обмінний калій є основною формою, за вмістом якої у ґрунті визначають забезпеченість рослин цим елементом живлення (Русакова Г. Т., 1964; Та Ван Шон, 1982; Медведева О. П, 1987; Шаймухаметов М. Ш., 1991). Як зазначає Н. І. Горбунов (1978), обмінний калій є безпосереднім резервом живлення рослин. Він складає 0,5 % від загального його вмісту в дерново-підзолистих ґрунтах і 1,5–2,5 % – в чорноземах і сірих лісових ґрунтах (Тютюнов С. И., Воронин А. Н., Никитин В. В., 2014).

За адсорбційною здатністю у ґрунтовому вбирному комплексі іони обмінного калію нерівноцінні. Найміцніше адсорбуються і утримуються іони калію в міжпакетних гексагональних пустотах кристалічної ґратки. Це – екстенсивно обмінний калій. Іони ж, що адсорбуються і утримуються на планарних поверхнях кристалів і займають ці позиції, відносяться до категорії інтенсивного обмінного калію (Beckett P. H. T., 1964; Горбунов Н. И., 1978; Гоголев И. Н., Анастасьева О. М., 1991; Христенко А. О., 2011).

Проте щодо зміни вмісту обмінного калію у ґрунті під впливом добрив учені однозначної думки не мають. Так, О. А.Чесняк (1965), Л. С. Любарська (1973), В. Г. Мамонтов (1973), А. І. Крилова (1989), Н. М.Сирий і А. Г Язикова (1990), І.М. Карасюк, О.Д. Черно (2000) вважають, що внесення мінеральних та органічних добрив підвищує його вміст у ґрунті в 2–4 рази.

Проведені на чорноземі типовому дослідження показали, що після тривалого застосування добрив вміст обмінного калію на тлі систематичного внесення мінеральних добрив збільшувався на 23–30 мг/кг, на тлі гною – на 9–60 мг/кг ґрунту. Аналогічні результати були одержані на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України (Нікітіна О. В., 2017).

Підкреслено (Беляєв, Г. Н., 1967), що при систематичному внесенні калійних добрив протягом 20–30 років, ґрунт зазвичай збагачувався обмінним калієм. В той же час В. У. Пчолкін (1966), Л. М. Жукова (1967), Е. Н. Алексеєва (1970), А. Я. Гетманець, Дудченко Л. М., Усенко Ю. І. (1978), Г. М. Білоус, В. С. Чумак (1982), Ш. І. Литвак, Е .А. Бабаріна і Л. В. Нікітіна (1991) вважають, що в результаті застосування добрив збільшення вмісту обмінного калію не істотне і не перевищує 2–9 %.

Поряд з цим є багато даних, які свідчать, що систематичне внесення добрив значно збільшує вміст не лише обмінного, але і водорозчинних і необмінних форм калію

(Жукова Л. М., Паникова Н. К., 1985; Ничипоренко О. С., 1985; Стрельников В. Н., Соловьев П. П., 1985).

За даними зарубіжних учених (Zarrabi M., Jalali M., Hajilouei Sh. M., 2007; Zhou J. M., Huang P. M., 2007), практично у всіх типах ґрунтів калійні добрива, незалежно від дози добрив, підвищують вміст рухомих сполук калію і не тільки в орному шарі. Накопичення обмінного калію відбувається залежно від типу ґрунту і систем удобрення. За даними Л. М. Жукової і Н. К. Панковою (1985) щорічне внесення впродовж 8 років 60 і 120 кг/га K_2O підвищувало вміст обмінного калію з 90 мг до відповідно 108 і 164 мг/кг ґрунту. На важкосуглинкових ґрунтах при щорічному застосуванні протягом 7 років 87 і 161 кг/га K_2O вміст обмінного калію зріс із 136 до 166 і 200 мг/кг ґрунту. За щорічного внесення 40 т/га гною на темно-сірому ґрунті вміст обмінного калію становив 217 мг/кг, що в три рази перевищувало його вміст на неудобрених ділянках (Жуков М. С., Грабовський Н. П., 1968).

Незважаючи на від'ємний баланс калію на всіх фонах із запасним внесенням добрив після завершення четвертої ротації сівозміни, в орному шарі ґрунту накопичується так званий «залишковий» калій добрив. На думку Б. С. Носка (2006), саме калійні добрива сприяють підвищенню рухомості ґрунтових ресурсів калію і тільки цим можна пояснити накопичення у ґрунті його рухомих сполук за від'ємного балансу цього елемента в польовій сівозміні.

На підставі узагальнення даних восьми основних тривалих польових дослідів, виконаних Всеросійським науково-дослідним інститутом добрив і агроґрунтознавства (ВІУА), вчені приходять до висновку, що за систематичного внесення калійних добрив відбувається накопичення калію у ґрунтах, навіть за констатованого від'ємного балансу (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000). У ґрунтах Роменської дослідної станції НІУІФ, у тривалому досліді виявлено від'ємний баланс калію і, разом з тим, збільшення вмісту обмінного калію у ґрунті. Ймовірною причиною

такого явища вважають не стільки посилене використання важкорозчинного ґрунтового калію з орного шару, стільки засвоєння калію з усього кореневмісного шару, в якому помітити зміни дуже складно (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000).

Згідно з сучасними публікаціями (Лазарев В. И. и др., 2020), в агроекосистемах за беззмінного вирощування сільськогосподарських культур (пшениця озима) як без внесення добрив, так і на удобрених ділянках, незважаючи на від'ємний баланс калію, запаси обмінного калію в шарі ґрунту 0–40 см мають тенденцію до збільшення. Вчені пов'язують це з невисоким винесенням калію врожаями культури, що вирощуються беззмінно.

Тривалими дослідженнями (Черно О. Д., 2003) встановлено, що зв'язаний з органічними рештками калій досить рухомий і в процесі їх мінералізації та обмінних реакцій переходить в доступну для рослин форму. В результаті 30-річного застосування добрив у шарі ґрунту 0–20 см вміст рухомих сполук калію збільшився в усіх варіантах залежно від доз добрив і систем удобрення: за мінеральної системи на 9–93 %, органічної – 5–86 та органо-мінеральної – на 12–82 %. Найбільш сприятливим фоном для поліпшення цієї форми обмінного калію були варіанти з потрійними дозами добрив.

Систематичне внесення добрив на чорноземах не привело до значного збільшення вмісту рухомих форм калію навіть за його додатного балансу. Так, в дослідах Миронівської дослідної станції на чорноземі слабковилуженому та Льговської дослідної станції на чорноземі типовому після тривалого застосування добрив спостерігалося лише незначне підвищення вмісту обмінного калію. Така ж закономірність спостерігалась й на інших типах чорноземів (Жукова Л. М., Панкова Н. К., 1985; Кураков В. И., Никитаев Н. Н., 1985; Панников В. Д., Минеев В. Г., 1987), що пов'язано з високою насиченістю вбирного комплексу чорноземів двовалентними катіонами, які заважають поглинанню калію.

У мінеральних горизонтах підзолистих піщаних ґрунтів вміст обмінного калію порівняно не високий. Значне накопичення цієї форми калію в верхній частині ілювіального горизонту пов'язане з підвищенням вмісту органічної речовини. У підзолистих горизонтах зміни його вмісту незначні, а в більш глибоких шарах ґрунту відсутні (Иваненко Н. К., Переверзнев В. Н., 1991).

Оцінюючи забезпеченість рослин калієм, важливо знати не кількісний його вміст у ґрунті, а ступінь рухомості, тобто здатність десорбуватися із твердої фази ґрунту (Авакян Н. О., 1969). Цей термін було запропоновано Н. П. Карпінським (1966) для оцінювання здатності різних за гранулометричним складом ґрунтів «віддавати» обмінний калій у ґрунтовий розчин.

Не мають однозначної думки вчені і щодо міграції калію по профілю ґрунту. Так, за даними В. І. Никитишена (1984), систематичне внесення 120 кг/га K_2O на тлі високих доз, що значно перевищує винесення поживних речовин урожаями, створює умови для міграції калію в сірому лісовому ґрунті.

Проте калій при цьому не переміщується за межі кореневмісного шару, і тому вважати його втраченим для рослин не можна. При цьому слід пам'ятати, що доступність калію для рослин із глибоких шарів нижча, ніж із верхнього, багатого гумусом (Кобзаренко В. И., 1968; Трифоненкова Л. М., 1970). В той же час А. І. Крилова (1989) вважає, що в процесі міграції калій переміщується і за межі кореневмісного шару ґрунту.

Необмінний калій. Необмінний калій – частина калію ґрунту, що знаходиться в структурі слюдоподібних мінералів і органо-мінеральних смектитових комплексів, які беруть участь у формуванні рівноважної системи, частково доступний для рослин. Для вирішення питання оптимізації живлення рослин він має важливе значення, оскільки іноді складає до половини загального вмісту і здатний переходити в обмінні форми, на що в свій час вказував К. К. Гедройц (1930). Повне вилучення обмінного калію із

чорнозему в дослідах не викликало істотного розладу калійного живлення рослин. Рослини нормально розвивалися і не виявляли видимих ознак калійного голодування.

Можливість використання рослинами калію силікатів глибоко вивчалася лабораторією Д. М. Прянишникова. У вегетаційних дослідах, проведених на дерново-лугових важко- і середньосуглинкових і лугових заплавних ґрунтах (Бобко Е. В., 1923), а також на чорноземі типовому (Медведева О. П., 1976).

Встановлено (Кораблевою Л. І., Слуцькою Л. Д., 1978), що у випадках калійного виснаження ґрунту і зниження в ньому до мінімуму вмісту обмінного калію, залежність між калійним режимом і урожаями досліджуваних культур була зазвичай відсутня.

Аналіз даних літератури дозволяє констатувати, що до 90 % калію рослини можуть засвоювати із необмінних форм, при цьому чим менше у ґрунті обмінного калію, тим активніше вони його використовують. Так, в лабораторних дослідженнях Миронівської дослідної станції рослини пшениці озимої на чорноземах використали калій із обмінних форм 0,5 мг, а із необмінних – 14,1 мг (Столярова А. А., 1940). Це підтверджено роботами цілої плеяди учених у наступні роки (Кирсанов А. Т., 1940; Силаєва В. Е., 1966; Могилевкин И. А., 1970; Кораблева Л. И., Слуцкая Л. Д., 1972; Забавская К. М., 1972; Nielsen D. R., 1979; Martin H. W., 1985).

Використання необмінного калію стає можливим внаслідок безперервних процесів мобілізації його з резервів ґрунту (Прокошев В. В., 1964; Кудзин Ю. К., Сухобрус С. В., Фареник Г. Г., 1967; Горошков П. А., Макаренко В. М., 1972). Тому про потенціальну родючість ґрунту, пов'язану з калієм, на думку низки учених (Chander R., Peich M., Chand C., 1945; Arnold M., 1958), найліпше судити за кількістю і швидкістю його переходу із необмінної форми в обмінну.

Між формами калію існує динамічна рівновага (необмінний ↔ обмінний ↔ водорозчинний). В міру використання калію рослинами з ґрунтового розчину поповнення

запасів обмінного калію відбувається за рахунок необмінної форми. Це свідчить про те, що у ґрунті рослинам доступні всі форми калію. При використанні більш доступних форм їх поповнення відбувається за рахунок менш доступних (Маслова А. А., 1938; Кирсанов А. Т., 1940; Прокошев В. В., 1964; Жукова Л. М., Силаева В. Е., 1966; Горшков П. А., Макаренко В. М., 1972; Забавская К. М., 1972; Мерзляков Л. Д., Решетникова Н. В., Юдин Ф. А., 1977).

Як зазначає О. П. Медведева (1987), ступінь доступності форм калію рослинам залежить від постійного перерозподілу іонів калію в системі ґрунт – ґрунтовий розчин, а також зміни їх положення (місця сорбції) у твердій фазі ґрунту внаслідок порушення динамічної рівноваги у процесі вегетації (винесення калію) чи за внесення добрив. Проте досліджень вмісту у ґрунті необмінних форм калію, які можуть бути мобілізовані і використані рослинами, дуже мало. Практично ще не вивчено це питання за тривалого застосування добрив на чорноземах. Більше того, при оцінюванні забезпеченості рослин калієм ця форма до цього часу не береться до уваги.

Як відомо, необмінний калій включає в себе природний необмінний калій ґрунту і необмінно-фіксований калій добрив. Природний необмінний калій ґрунту – це калій кристалічної ґратки мінералів, який звільняється після його руйнування, що пов'язано з великими енергозатратами і здійснюється дуже повільно в процесі їх вивітрювання (Могилевкина И. А., 1970).

Ґрунти важкого гранулометричного складу, які містять велику кількість дрібнодисперсних фракцій, відзначаються підвищеною фіксацією калію. Особливо активно калій фіксується за наявності у ґрунті глинистих мінералів групи монтморилоніту і гідрослюд, яким властива внутрішньокристалічна адсорбція катіонів (Соколова Т. А., 1987). Каолінітова група глинистих мінералів цих властивостей не має, тому різні типи ґрунтів мають неоднакову здатність фіксувати калій у необмінній формі. Найбільш

інтенсивно він фіксується солонцями. Чорноземи фіксують калій сильніше, ніж дерново-підзолисті ґрунти. Колоїдна фракція більшості дерново-підзолистих ґрунтів представлена зазвичай гідрослюдами і високодисперсними мінералами монтморилонітової групи (Горбунов Н. И., 1965; Шаймухаметов М. Ш и др., 1991), тобто мінералами, що можуть фіксувати значну кількість калію, однак ці ґрунти мають невисоку фіксувальну здатність (Иваненко Н. К., Переверзнев В. Н., 1991). Автори пояснюють це тим, що кисла реакція ґрунтового розчину, ненасиченість основами, невисокий вміст органічної речовини і підвищена зволоженість створюють несприятливі умови для необмінного поглинання калію. Тому тривале застосування добрив не приводить до істотного збільшення вмісту необмінного калію, а іноді його кількість навіть зменшується. Певне значення у зменшенні необмінної фіксації калію мають і супутньо внесені азотні добрива. Його фіксація на тлі азотних добрив зменшується більш, ніж у два–три рази.

Процес фіксації калію в чорноземах істотно відрізняється від накопичення водорозчинного і обмінного калію. Це пов'язано з виключно сприятливими умовами для його фіксації в цих ґрунтах. Висока насиченість вбирного комплексу основами, велика кількість органічної речовини, мінералогічний склад колоїдної фракції, зменшення конкурентного впливу іонів амонію внаслідок інтенсивних процесів нітрифікації сприяє необмінному закріпленню калію у верхньому шарі ґрунту (Минеев В. Г., 1990). Фіксація калію ґрунтом різко знижує коефіцієнт його використання із добрив у рік їх внесення.

Необмінно-фіксований калій добрив не є складовим елементом кристалічної ґратки мінералів ґрунту, тому він більш доступний для рослин (Metson A. J., 1968). Використання його рослинами зазвичай починається, раніше, ніж вміст обмінного калію досягне мінімального рівня. Необмінно-фіксований калій являє собою ту частину калію добрив, яка після їх внесення не екстрагується із ґрунту

витяжками, призначеними для екстракції обмінного калію. На думку багатьох учених (Reitemeier R, F., 1951; Кук Д. У., 1970; Медведева О. П., 1971), зі збільшенням доз добрив значення фіксованого калію в живленні рослин зростає, а дія внесених добрив буде знижуватися.

Значне збільшення фіксації калію з добрив спостерігається у ґрунтах важкого гранулометричного складу. Так, суглинковий ґрунт польової станції ТСГА і важкосуглинковий ґрунт Довгопрудної дослідної станції фіксували у два–три рази більше калію, ніж ґрунти легкого гранулометричного складу Люберецького дослідного поля і Солікамської дослідної станції (Важенин И. Г., 1959).

Низкою досліджень було доведено, що на ґрунтах з високою фіксувальною здатністю за систематичного застосування калійних добрив і неповному їх використанні культурами сівозміни, біля 40–90 % невикористаного калію необмінно фіксується ґрунтом (Короблева Л. И., 1969; Медведева О. П., 1976). За даними І. Ф. і С. М. Кушніренків (1975), за щорічного застосування 45 кг/га K_2O частка необмінно фіксованого калію за 8 років досягла на чорноземі легкосуглинкового гранулометричного складу 69 % від внесеного, на середньосуглинковому – 85 %. Сірий опідзолений ґрунт за щорічного застосування 90 кг/га K_2O необмінно фіксував за чотири роки 39–49 % внесеного калію.

Деякі вчені (Жукова Л. М., Силаева В. Е., 1966; Сегеда М. Н., 1975) вважають, що для більшості ґрунтів, а особливо для тих, що мають високу фіксувальну здатність, оцінювання забезпеченості рослин доступним калієм лише за вмістом обмінних форм недостатня. Крім того, О. П. Медведєва (1983) вважає, що доступність необмінно фіксованого калію добрив зменшується з часом унаслідок зростання міцності фіксації, а його частка за повторного застосування добрив зменшується. Відсутність задовільних методів визначення необмінного калію, в тому числі й фіксованого з добрив, ускладнює використання цієї форми як показника характеристики калійного фонду ґрунту.

Для визначення необмінного калію використовують жорсткі умови екстракції: міцні електроліти, високі температури (Martin H. W., 1985). Найчастіше для визначення необмінного калію використовують кислотні витяжки (Агрохимические ..., 1975; Методические указания ..., 1983).

Раніше для визначення необмінного калію широко застосовували метод Скотта (Scott A., 1966), за яким осадження калію, що знаходиться в розчині, ведеться тетрафенілборатом натрію. Нині для його визначення більш широко застосовується метод Пратта (Pratt P. F., 1954; Барбер С. А., 1988), де за основу взято кипіння ґрунту з 1 М розчином нітратної кислоти за співвідношення ґрунт : розчин – 1 : 10. Цей метод найповніше відображає ступінь удобреності ґрунту калієм і екстрагує необмінно-фіксований калій добрив у кількостях, близьких до винесення його рослинами.

Отже, для ґрунтів з високою і середньою фіксувальною здатністю оцінювання умов калійного живлення рослин за вмістом обмінного калію є недостатньою, оскільки використання рослинами необмінно-фіксованого калію залежить від фіксувальної здатності ґрунту, яка може спостерігатися як за високого вмісту у ґрунті обмінного калію, так і за мінімального його рівня. Чим більше калію добрив фіксує ґрунт, тим слабкіше він утримується кристалічною ґраткою мінералів і краще засвоюється рослинами. Висока доступність необмінно-фіксованого калію добрив дозволяє коректувати дози калійних добрив на ґрунтах з високою і середньою фіксувальною здатністю.

Короткий критичний аналіз літературних даних показує, що об'єктивно оцінювати запаси доступного калію у ґрунті і контролювати їх зміни можливо лише з допомогою взаємодоповнювальних один одного показників калійного фонду, а кількість і вид показників залежить від конкретних ґрунтово-кліматичних умов і біологічної специфіки вирощуваних культур.

Розділ 2.

УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови

Експериментальну частину роботи виконано на дослідному полі Уманського національного університету садівництва, розміщеному в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Середньо-Дніпровсько-Бузького округу Лісостепової Правобережної провінції зони Лісостепу з географічними координатами за Гринвічем 48° 46′56,47″ північної широти і 30° 14′48,51″ східної довготи. Висота над рівнем моря – 245 м.

Загальна площа Лісостепової Правобережної провінції 9895,4 тис. га, з них сільськогосподарських угідь 7565,9 тис. га, рілля 6373,3 тис. га (Мартин А. Г. та ін., 2015).

До Правобережного Лісостепу належать центральні та південні частини Подільської і Придніпровської височин, що відносяться до Українського щита.

Значною розчленованістю характеризуються території вздовж Дніпра, Південного Бугу. Побужжя (басейн Південного Бугу) являє собою горбисту рівнину з давніми долинами. Південна частина провінції знаходиться на схилу щита.

Для провінції характерний помірно континентальний клімат з достатнім зволоженням. Радіаційний баланс становить 40–45 ккал/см^2. Річна сума опадів змінюється від 400 до 650 мм. Упродовж року вони розподіляються нерівномірно, 75 % річної суми їх випадає за період з додатними температурами. Характерними є зливи. Тривалість існування снігового покриву 60–75 діб, на півдні провінції він не постійний.

У ґрунтовому покриві великі площі займають сірі та ясно-сірі опідзолені ґрунти, особливо на межиріччі

Дністра і Південного Бугу. Ґрунти кислі, малогумусні, зазнають площинної ерозії. На Придніпровській височині значно поширені чорноземи опідзолені та темно-сірі ґрунти, а на плоских рівнинах – чорноземи типові.

На формування врожаю сільськогосподарських культур та його якість значно впливають погодні умови, що складаються впродовж вегетаційного періоду. У Правобережному Лісостепу України волога є одним з основних чинників, що лімітують їх продуктивність.

Гідротермічний коефіцієнт вегетаційного періоду в середньому по зоні відповідає вологим умовам і становить 1,27, а у східній частині – посушливим умовам (0,90–1,18). У вегетаційний період вологі умови спостерігаються з ймовірністю 45 %, проте за таких умов у зоні можливе настання посушливих і недостатньо вологих умов. Загальна тенденція змін ГТК у квітні–вересні з 1961 р. направлена на зниження з 1,33 на 1,24. Коефіцієнт зволоження у зоні змінюється в межах 0,82–0,95.

За даними метеостанції Умань середньорічна кількість опадів становить 633 мм, але в окремі роки бувають значні відхилення від цієї величини. Цей регіон характеризується недостатнім зволоженням. Під час вегетації спостерігаються бездощові періоди. Інколи 2–3, а в окремі періоди 3–5 років у десятиліття посушливі. Розподіл опадів за періодами вегетації та інтенсивністю також нерівномірний. У теплий період (квітень–жовтень) випадає близько 70 % річної її кількості (табл. 2.1).

За тепловим режимом клімат регіону помірно-середньоконтинентальний, гідротермічний коефіцієнт – 1,1–1,2, сума активних температур становить 2400 ^{0}С на півночі та 3200 ^{0}С на півдні провінції. Період з середньодобовою температурою вище 10 ^{0}С триває 140–160 діб, понад 5 ^{0}С – до 230 діб.

Всі пори року в Правобережному Лісостепу виражені чітко. Літо настає за переходу середньодобової температури повітря через 15 ^{0}С і характеризується високими

Таблиця 2.1

Кліматичні умови дослідного поля Уманського національного університету садівництва (за даними метеостанції Умань)

Показник	За рік	Місяць											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кількість опадів, мм	633	47	44	39	48	55	87	87	59	43	33	43	48
Температура повітря, ^{0}C	7,4	–5,7	–4,2	0,4	8,5	14,6	17,6	19,0	18,2	13,6	7,6	2,1	–2,4
Відносна вологість повітря, %	76,2	86	85	82	68	64	66	67	68	73	80	87	88

й стійкими температурами, триває до середини вересня. Середня температура літнього періоду становить 19 ^{0}C, з можливими відхиленнями в окремі роки – до 17 та 22 ^{0}C. Тепла та порівняно волога погода в літній період позитивно впливає на проходження вегетації культур помірного поясу. Проте в окремі роки може спостерігатися літня посуха, яку спричиняє тривалу нестачу в надходженні вологи з опадами та висока температура повітря, що призводить до значних втрат ґрунтових запасів вологи. Ці явища сприяють посиленню природного процесу ущільнення, а тому досить часто, починаючи з середини вегетаційного періоду, ґрунт набуває високої злитості, масивної бриластої структури, характеризується високою щільністю та твердістю верхніх його шарів. У літній період можуть також спостерігатися часті та інтенсивні зливові дощі, значна частина води яких не поглинається ґрунтом, а тому в таких випадках формуються значні поверхневі стоки. Вони за хвилясто-увалистих форм рельєфу і значної розораності та розчленованості території мережею ярів, річок і балок викликають сильну ерозію ґрунту, внаслідок чого разом з великою кількістю дрібнозему втрачається і значна частина гумусу та поживних речовин.

Настання осіннього періоду характеризується пониженням температури повітря, але осінь зазвичай тепла, сонячна. Іноді вона може бути тривалою. Перехід температури повітря нижче 10 ^{0}С настає зазвичай з середини жовтня. У кінці жовтня встановлюється похмура та дощова погода. Пізня осінь характеризується мінливою температурою з періодичним випаданням дощу та снігу, які сприяють накопиченню вологи у ґрунті, що також позитивно впливає на зменшення щільності та підвищення пористості ґрунту, оскільки у вологому ґрунті під час його замерзання проявляється розпушувальна дія кристалів води, які при цьому збільшуються в об'ємі.

Зима характеризується переважно теплою і хмарною погодою з частими відлигами. В найхолодніший її період середня температура повітря може знижуватися до рівня – 5...– 7 ^{0}С. Під час відлиги вона може підніматися до позначки + 10–12 ^{0}С, що зумовлює розмерзання ґрунту та поглинанню ним частини талої води. Періодичне розмерзання та замерзання ґрунту, особливо у зволоженому стані, в зимовий період також позитивно впливає на формування його структури.

У цілому кліматичні умови регіону сприятливі для вирощування більшості польових культур помірного поясу. Однак в окремі роки спостерігаються несприятливі умови (низькі температури, відлиги, льодові кірки, посухи, суховії, сильні грозові дощі), які завдають значної шкоди сільськогосподарським культурам.

На Правобережжі чорноземні ґрунти покривають всю територію Лісостепової зони, починаючи від стародавніх дніпровських терас аж до Середньоруської височини.

Чорноземи опідзолені в межах Лісостепу України залягають на площі 2,02 млн га, в тому числі орних – 1,75 млн га. Як і в інших регіонах країни, не займають суцільної смуги, а розміщені окремими масивами у верхній частині вододілів і на пологих схилах. Вони займають близько 16 % загальної площі Лісостепу України і

найбільш розповсюджені на Правобережжі (Бреус Н. М., 1981). Для профілю чорнозему опідзоленого характерне об'єднання генетичних ознак, властивих чорноземам типовим (глибока і висока гумусованість, наявність кротовин та ін.) і темно-сірим лісовим ґрунтам (більш-менш чітка диференціація профілю за алювіально-ілювіальним типом, білувата присипка в гумусовому горизонті, ущільнення та оглинювання в середній частині профілю, глибока вилуженість карбонатів) (Визначник..., 2005).

Ці ознаки дещо варіюють залежно від геоморфологічних і кліматичних умов ґрунтоутворення. Глибина гумусового горизонту зростає від 60 до 110 см зі сходу на захід із підвищенням вологості клімату, а також дещо вища на рівних вододільних плато та в нижній третині схилів.

Елювіальний та ілювіальний горизонти чіткіше виділяються на ґрунтах з важким гранулометричним складом. За всіх інших однакових умов ці ознаки чіткіші на схилах північної експозиції.

Чорноземи опідзолені характеризуються невеликим запасом органічних речовин у гумусовому горизонті та глибоким заляганням карбонатного горизонту. В цих ґрунтах карбонати залягають на такій глибині, звідки не завжди забезпечується їх підняття до гумусового горизонту. Через це у верхній частині гумусового горизонту періодично може встановлюватись дефіцит кальцію у ґрунтовому розчині та слабкокисла реакція (Бреус Н. М., 1981).

Спостерігається географічна залежність і в гранулометричному складі цих ґрунтів. В них переважають крупні пилуваті часточки – 40–65 %, мулисті в межах 17–40 і фізична глина – 23–65 %. З півночі на південь ці ґрунти поступово змінюються від крупнопилувато-важкосуглинкових у передполіській частині зони до пилувато-важкосуглинкових і навіть легкоглинистих у південній (Ґрунти України..., 1964; Недвига М. В., 1994).

Гранулометричний склад водороздільних ґрунтів, незалежно від генетичної породи, суглинковий на північній

периферії зони крупнопилувато-важкосуглинковий у середній смузі – крупнопилуватий, а в південній частині, що межує зі Степом – важкосуглинковий і навіть легкоглинистий.

Для чорноземів опідзолених характерний перерозподіл до 5 % мулистих часточок з елювіального в ілювіальний горизонт. Верхні горизонти збіднені на півтораоксиди і відповідно в них більше SiO_2.

Характерною особливістю чорнозему опідзоленого є глибоке залягання карбонатів нижче гумусового горизонту. Товщина ґрунтового профілю, включаючи горизонт P(h)k, становить 140–160 см. Будова ґрунту у межах профілю помірно щільна, гранулометричний склад однорідний. Ступінь насиченості основами 87–97 % із середньокислою реакцією ґрунтового розчину. Потенційна кислотність змінюється від 1,8 до 4,2 смоль/кг ґрунту. Максимальна ємність вбирання катіонів у верхньому горизонті 29–32 смоль/кг ґрунту (Недвига М. В., 1994).

Чорноземні ґрунти мають високу природну родючість. Однак тривале їх розорювання та інтенсивне сільськогосподарське використання призвело до втрат значної частини органічних речовин, агрофізичної деградації і, як наслідок, до істотного зниження родючості в цілому.

Близькість морфології профілю, формування в подібних екологічних умовах – одна з причин об'єднання свого часу темно-сірих опідзолених ґрунтів та чорноземів опідзолених в один тип – опідзолених ґрунтів Лісостепу.

Рельєф дослідного поля Уманського НУС, де проводилися польові досліди, являє собою вирівняне, підвищене плато вододілу з пологими 2–3° схилами південно-східної та північно-західної експозицій. Підземні води залягають на глибині 22–24 м, тому вони не впливають на властивості і будову ґрунту. Ґрунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі. Морфологічні особливості окремих генетичних горизонтів чорнозему опідзоленого характеризуються такими ознаками:

$Не_{(0–42)}$ – гумусний слабоелювійований, темно-сірого кольору, рівномірно гумусований, розпилено-зернисто-грудкуватої структури, підорний ущільнений, грудкувато-горіхувато-брилистої структури, має помітно крем'янкову присипку, пронизаний дрібними коренями, перехід помітний;

$Нрі_{(42–70)}$ – гумусний слабоілювійований, темно-бурого кольору з відтінком материнської породи, дрібногоріхуватої структури, пронизаний коренями, ходами землерийок, гумусований нерівномірно, перехід помітний;

$РІh_{(70–100)}$ – порода ілювійована слабогумусована, темно-палевого кольору, структура горіхувато-стовпчаста з переходом у стовпчасту, гумусований слабо і нерівномірно, перетритий, перемішаний, ходи землерийок засипані ґрунтовою масою з верхніх горизонтів;

$Рі\ (h)_{(100–120)}$ – порода слабоілювійована темно-палевого кольору, структура призмоподібна; на бокових стінках помітно темний наліт, перетритий і перемішаний землерийками, гумусованість слабо виражена, нерівномірна; поступовий перехід до материнської породи;

$Рk_{(120)}$ – порода лес, темно-палевого кольору, дрібнозернистої структури, карбонати у вигляді цвілі, прожилок, окремими скупченнями, є сліди землерийок. Лінія скипання карбонатів на глибині 120 см (Путівник..., 2002).

Результати аналізу гранулометричного складу профілю свідчать про слабку його диференціацію за елювіально-ілювіальним типом (табл. 2.2).

У цілому властивості ґрунту і рельєф дослідного поля відповідають основним ґрунтовим різновидностям помірно-континентальної східноєвропейської ґрунтово-кліматичної фації, в межах якої можуть бути поширені отримані результати дослідження.

2.2. Методика проведення досліджень

Основні дослідження проведені на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні у стаціонарних

Таблиця 2.2

Гранулометричний склад чорнозему опідзоленого дослідного поля Уманського НУС (Путівник ..., 2002)

Глибина, см	Розмір часточок у мм, кількість у %							Втрати від хімічного обробленя, %
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	< 0,01	
0–20	0,2	38,4	23,3	3,3	6,4	28,5	38	–
35–42	0,2	30,6	28,1	3,5	7,3	30,3	41	–
42–52	0,2	28,9	26,6	3,5	6,4	32,4	42	–
55–65	0,1	37,4	19,2	6,9	3,5	32,9	42	–
90–100	0,4	32,1	24,2	8,3	2,4	32,8	43	–
125–135	0,5	32,5	22,5	6,7	6,9	30,9	44	–
150–160	0,3	15,4	31,5	13,0	2,9	33,9	50	3,1

(номери реєстрації НААН України 87 і 88) (Стаціонарні польові ..., 2014) і короткотермінових дослідах кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського національного університету садівництва.

Основою досліду за № 88 є 10-пільна сівозміна з типовим для регіону набором сільськогосподарських культур, розгорнута на всіх полях (табл. 2.3).

Під час закладання досліду (1964 р.) шар ґрунту 0–20 см характеризувався такими агрохімічними показниками: вміст гумусу (за методом Тюрина) – 3,31 %; pH_{KCl} – 6,2; гідролітична кислотність – 2,5 смоль/кг; ступінь насиченості основами – 95 %; вміст азоту легкогідролізованих сполук (за методом Тюрина–Кононової) – 48 мг/кг; рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) відповідно 122 і 135 мг/кг.

В сівозміні застосовується органічна, мінеральна та органо-мінеральна системи удобрення з одинарним, подвійним та потрійним рівнями насиченості основними елементами живлення площі сівозміни. Одинарна доза мінеральних добрив становила $N_{45}P_{45}K_{45}$, органічних – 4,5 т гною на 1 га сівозмінної площі, тоді як за органо-

Таблиця 2.3

Схема тривалого (з 1965 р.) стаціонарного досліду (номер реєстрації НААН 88) «Розробити технологію збереження родючості та раціонального використання ґрунтів Правобережного Лісостепу України»

Варіант досліду	Насиченість на 1 га сівозмінної площі			
	Гній, т	Мінеральні добрива, кг		
		N	P_2O_5	K_2O
Без добрив (контроль)	–	–	–	–
$N_{45}P_{45}K_{45}$	–	45	45	45
$N_{90}P_{90}K_{90}$	–	90 (135)	90 (135)	90 (135)
$N_{135}P_{135}K_{135}$	–	135	135	135
Гній 9 т	9	–	–	–
Гній 13,5 т	13,5	–	–	–
Гній 18 т	18 (13,5)	–	–	–
Гній 4,5 т + $N_{23}P_{34}K_{18}$	4,5	23	34	18
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	9 (6,8)	45 (101)	68 (118)	36 (95)
Гній 13,5 т + $N_{67}P_{102}K_{54}$	13,5	67	102	54

Примітка. У дужках – у I і II ротаціях сівозміни.

мінеральної системи удобрення дози основних елементів живлення урівняно з відповідними рівнями мінеральної системи.

У досліді застосовували такі добрива: напівперепрілий підстилковий солом'яний гній великої рогатої худоби, аміачну селітру, суперфосфат гранульований, калій хлористий. У I і II ротаціях сівозміни калійні добрива вносили у вигляді калійної солі змішаної з вмістом 40 % K_2O і 20 % Na_2O. Дози мінеральних добрив визначали за кількістю N, P_2O_5, K_2O, що містилися у відповідних дозах гною і, залежно від культури, диференційовано розміщували у полях сівозміни (табл. 2.4).

Схема досліду була непостійною. На основі результатів, одержаних у перших двох ротаціях, внесено часткові зміни, що було пов'язано з відсутністю істотної відмін-

Таблиця 2.4

Система удобрення культур у польовій сівозміні тривалого (з 1965 р.) досліду (гній – т/га, мінеральні добрива, кг/га д. р.)

На 1 га площі сівозміни (назва варіанту досліду)	Вид добрива	Схема чергування культур									
		Конюшина	Пшениця озима	Буряк цукровий	Кукурудза	Горох	Пшениця озима	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Буряк цукровий	Ячмінь ярий + конюшина
Без добрив (контроль)		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
$N_{45}P_{45}K_{45}$	N	–	45	90	50	10	45	50	45	90	25
	P_2O_5	–	45	90	50	10	45	50	45	90	25
	K_2O	–	45	90	50	10	45	50	45	90	25
$N_{90}P_{90}K_{90}$	N	80	90	135	100	30	90	100	90	135	50
	P_2O_5	80	90	135	100	30	90	100	90	135	50
	K_2O	80	90	135	100	30	90	100	90	135	50
$N_{135}P_{135}K_{135}$	N	50	135	180	200	60	135	200	135	180	75
	P_2O_5	50	135	180	200	60	135	200	135	180	75
	K_2O	50	135	180	200	60	135	200	135	180	75
Гній 9 т	Гній	–	–	30	–	–	–	30	–	30	–
Гній 13,5 т	Гній	–	–	45	–	–	–	45	–	45	–
Гній 18 т	Гній	–	–	60	–	–	–	60	–	60	–
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	N	–	22,5	30	50	–	22,5	22,5	22,5	30	25
	P_2O_5	–	22,5	67,5	50	10	22,5	50	22,5	67,5	25
	K_2O	–	22,5	15	47,5	10	22,5	–	22,5	15	25
	Гній	–	–	15	–	–	–	15	–	15	–
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	N	–	45	60	100	20	45	50	45	60	25
	P_2O_5	25	45	135	100	20	45	50	45	135	75
	K_2O	20	45	30	100	20	45	–	45	30	25
	Гній	–	–	30	–	–	–	30	–	30	–
Гній 13,5 т + $N_{67}P_{102}K_{54}$	N	–	67,5	90	150	20	67,5	75	67,5	90	47,5
	P_2O_5	50	67,5	202,5	150	30	67,5	100	67,5	202,5	75
	K_2O	17,5	67,5	45	150	30	67,5	–	67,5	45	50
	Гній	–	–	45	–	–	–	45	–	45	–

ності між варіантами з розподілом гною під третю і п'яту культури сівозміни (6-й і 7-й варіанти) та мінеральних добрив (3-й і 4-й варіанти), а також для чіткого виділення трьох рівнів удобрення за різних систем їх застосування. У третій ротації сівозміни картоплю замінили кукурудзою на силос. Це дозволяє вичленити дію різних систем удобрення з еквівалентною кількістю основних елементів живлення, встановити оптимальне насичення польової сівозміни зерно-просапного виду гноєм і мінеральними добривами.

Закономірності та нормативні показники впливу різних доз калійних добрив і співвідношення їх з іншими видами добрив на продуктивність сільськогосподарських культур вивчали у короткоротаційній польовій сівозміні (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Схема тривалого (з 2010 р.) стаціонарного досліду (номер реєстрації НААН 87) «Агрохімічна ефективність різного співвідношення видів мінеральних добрив у польовій сівозміні»

Насиченість добривами 1 га площі сівозміни	Сівозміна			
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
Без добрив (контроль)	–	–	–	–
N_{55}	N_{75}	N_{80}	N_{35}	N_{30}
N_{110}	N_{150}	N_{160}	N_{70}	N_{60}
$P_{60}K_{80}$	$P_{60}K_{80}$	$P_{60}K_{110}$	$P_{60}K_{70}$	$P_{60}K_{60}$
$N_{110}K_{80}$	$N_{150}K_{80}$	$N_{160}K_{110}$	$N_{70}K_{70}$	$N_{60}K_{60}$
$N_{110}P_{60}$	$N_{150}P_{60}$	$N_{160}P_{60}$	$N_{70}P_{60}$	$N_{60}P_{60}$
$N_{55}P_{30}K_{40}$	$N_{75}P_{30}K_{40}$	$N_{80}P_{30}K_{55}$	$N_{35}P_{30}K_{35}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$
$N_{110}P_{60}K_{80}$	$N_{150}P_{60}K_{80}$	$N_{160}P_{60}K_{110}$	$N_{70}P_{60}K_{70}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
$N_{110}P_{30}K_{40}$	$N_{150}P_{30}K_{40}$	$N_{160}P_{30}K_{55}$	$N_{70}P_{30}K_{35}$	$N_{60}P_{30}K_{30}$
$N_{110}P_{60}K_{40}$	$N_{150}P_{60}K_{40}$	$N_{160}P_{60}K_{55}$	$N_{70}P_{60}K_{35}$	$N_{60}P_{60}K_{30}$
$N_{110}P_{30}K_{80}$	$N_{150}P_{30}K_{80}$	$N_{160}P_{30}K_{110}$	$N_{70}P_{30}K_{70}$	$N_{60}P_{30}K_{60}$

Примітка. Азотні добрива вносяться навесні, а під пшеницю озиму – у три строки.

Технологія вирощування сільськогосподарських культур у дослідах була прийнята в регіоні. В сівозміні застосовували диференційовану систему обробітку ґрунту з проведенням оранки (під буряк цукровий на 30–32 см, під кукурудзу на 25–27 см, під пшеницю озиму після конюшини на 25–27 см, горох і ячмінь ярий – на 20–22 см) і поверхневих обробітків під пшеницю озиму після гороху та кукурудзи на силос.

Відбирання ґрунтових проб і підготовку їх до аналізу проводили згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 і ДСТУ ISO 11464:2007. Для визначення у ґрунті основних показників калійного стану його зразки відбирали на ділянці після збирання врожаю конюшини у шарі 0–160 см через кожні 20 см.

У відібраних згідно з програмою досліджень зразках ґрунту проводили такі визначення:

– вміст вологи – гравіметричним методом за ДСТУ ISO 11465-2001;

– pH – згідно з ДСТУ ISO 10390:2007;

– гідролітичну кислотність – за ГОСТ 26212 -91;

– вміст азоту нітратних і амонійних сполук – згідно з ДСТУ 4729:2007;

– вміст азоту гідролізованих сполук – за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7863:2015;

– вміст у ґрунті рухомих сполук фосфору й калію – за модифікованим методом Чирикова згідно ДСТУ 4115 і Мачигіна згідно з ДСТУ 4114;

– вміст легкорозчинного калію – за методом Дашевського;

– вміст обмінного калію – за методом Маслової згідно з ГОСТ 26210;

– обмінні катіони – за методом Шоленбергера в ацетатно-амонійній витяжці з pH 7 згідно з МВВ 31–497058–007;

– вміст хлору у ґрунтовому розчині згідно з ГОСТ 26425;

– калій-буферність ґрунту – ДСТУ 4375;

– калійний потенціал (іонометричним методом);

– активність іонів калію – ДСТУ 4725;

– вміст необмінно-гідролізованих сполук калію (у витяжці 2 н HCl);

– вміст слабозв'язаних сполук за різницею між обмінними та легкорозчинними формами і жорскозв'язаних сполук за різницею між нобмінно-гідролізованими та обмінними формами;

– валовий калій – ДСТУ 429;

– питома активність радіонуклідів – спектрометричним методом.

Зразки нетоварної частини урожаю відбирали методом пробного снопа.

Якісні аналізи рослин проводили згідно зазначених нижче методик:

– накопичення біомаси – гравіметричним методом;

– рослинні зразки після мокрого озолення аналізували на вміст азоту, фосфору, калію за методикою Г. М. Господаренка (2002): азот за допомогою реактиву Неслера колориметричним методом, фосфор – за допомогою молібдату амонію фотоколориметричним методом, калій – на полуменевому фотометрі; на основі цих показників розраховували господарське винесення елементів живлення та їх витрати на формування одиниці врожаю;

– коефіцієнт використання елементів живлення з добрив розраховували різницевим методом.

Для спрощення балансових розрахунків було скорочено кількість співставних і рівних статей як у частині надходження, так і у частині вилучення. Вважали, що сумарна кількість калію, що надходить з атмосфери та із насінням відповідає їх втратам від ерозії і вимивання. У зв'язку з такими спрощеннями у приходній частині балансу залишили лише статтю внесення з добривами, а у витратній – винесення з товарною і нетоварною частинами урожаю (господарське винесення) (Господаренко Г. М., 2015).

Збирання врожаю зернових культур проводили суцільним поділяночним методом прямим комбайнуванням, не-

товарної частини врожаю – методом пробного снопа з наступним визначенням співвідношення зерна до соломи. Збирання врожаю буряку цукрового проводили вручну після механізованого підкопування рослин з наступним доочищенням і зважуванням коренеплодів. Облік врожаю гички проводили за співвідношенням із коренеплодами – проба з 40 рослин (Єщенко В. О., 2014).

Статистичну обробку даних проводили методом дисперсійного та кореляційного аналізу, використовуючи комп'ютерні технології (ПІК «Agrostat», MS Office Excel) (Ушкаренко В. О., 2008; Єгоршин О. О., 2009). Для якісної оцінки тісноти зв'язку використовували коефіцієнт детермінації за шкалою Чеддока: 0,1–0,3 – незначний зв'язок; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1 – функціональний (Синицький О. М., 2011).

Розділ 3.

ЗМІНИ У КАЛІЙНОМУ ФОНДІ ҐРУНТУ ЗА ТРИВАЛОГО УДОБРЕННЯ

3.1. Взаємодія калійних добрив з ґрунтом

Калій є важливим елементом мінерального живлення рослин. За винесенням з урожаєм він займає провідні позиції серед інших елементів-біофілів. Проте, моніторингу калійного стану ґрунтів агроценозів приділяється найменше уваги, а застосування калійних добрив продовжує знаходитися на низькому рівні. В обґрунтуванні цього зазвичай приводиться той факт, що ґрунти містять досить високі запаси валового калію, а його розподіл по профілю ґрунту, на відмінну, наприклад, від азоту та фосфору, достатньо рівномірний. Однак при цьому оцінка наявного у ґрунтах фонду доступного для рослин калію і вкладу різних ґрунтових горизонтів у цей фонд не завжди адекватна (Вильдфуш И. Р., 1996; Якименко В. Н., 2007; Середина В. П., 2013). У зв'язку з цими та іншими чинниками все більшого значення набувають дослідження процесів взаємодії калію добрив з ґрунтом, рослинами й навколишнім природним середовищем, прогнозування спрямованості та інтенсивності проходження цих процесів й розробка обґрунтованих практичних рекомендацій їх керування з метою забезпечення найбільшої віддачі і збереження екологічної рівноваги (Господаренко Г. М., 2001). Недосконалість діагностики живлення рослин веде до викривлення (заниження, або, навпаки, завищення) оцінки стану родючості ґрунтів не лише конкретних полів, але й цілих регіонів (Христенко А. А., 2014).

Основним чинником зниження рівня застосування добрив у землеробстві України та їх невеликої ефективності послужили недостатньо продумані соціально-економічні

зміни в країні. Друга причина такого явища – це помилкова оцінка стану родючості ґрунтів, нераціональна система удобрення культур і, як наслідок, низька віддача від застосування дороговартісних добрив і зниження попиту на них (Грант С., 2009; Христенко А. А., 2014). При цьому найменша увага приділяється регулюванню режиму калію в агроценозах. Калійні добрива часто не вносяться, баланс елемента є перманентно сильнодефіцитним. Очевидно, що має місце неврахування та ігнорування важливих екологічних законів – рівнозначності і незамінності чинників життя рослин, повернення мінімуму калію, що безумовно може негативно відобразитися на агрохімічному та екологічному стані ґрунтів (Якименко В. Н., Малюга А. А., 2014). Ситуація погіршилася після підвищення цін на калійні добрива.

До 2000 року застосування добрив, у тому числі калійних в землеробстві різко впало. Нині ситуація частково поліпшилась, проте середня доза внесення $К_2О$ залишається дуже низькою – лише 13,0 кг/га (2016 рік), що відповідає рівню внесення 1966–1970 рр. Органічні добрива майже не вносяться – біля 0,5 т/га (Христенко А. А., 2017).

Дотепер все ще вважають, що запаси калію у ґрунті невичерпні. Але інтенсивне сільськогосподарське використання ґрунтів, у тому числі і чорноземів типових, без застосування добрив на фоні від'ємного балансу призводить до зниження вмісту всіх форм калію, що свідчить про тісний взаємозв'язок процесів перетворення калійного фонду після розорювання перелогу. Застосування мінеральних добрив відіграє важливу роль у підтриманні калійного фонду ґрунтів (Дричко В. Ф., Поникарова Т. М., 1992; Лісовий М. В., Нікітюк М. Л., 2006; Носко Б. С., 2012).

Усі калійні добрива добре розчинні у воді. Після внесення у ґрунт вони швидко розчиняються ґрунтовою вологою і вступають у реакції обміну з ҐВК:

$$(ҐВК)H^+ + KCl = (ҐВК)K^+ + HCl;$$

$$(ҐВК)Ca^{2+} + 2KCl = (ҐВК)2K^+ + CaCl_2.$$

Унаслідок обмінних реакцій калій вбирається ґрунтовими колоїдами, що знижує його рухливість у ґрунті, але при цьому він залишається доступним для живлення рослин. Іони хлору зостаються у ґрунтовому розчині, тому легко вимиваються з орного шару ґрунту.

За правильного і повного використання органічних відходів калій повертається у більших кількостях у ґрунт, ніж азот та фосфор. Однак для створення оптимального калійного живлення рослин за високого азотного та фосфорного живлення зазвичай необхідно вносити у ґрунт промислові калійні добрива (Крупеников И. А., 2008; Минеев В. Г., 1999; Чен Фан, Хе Пинг, Ли Шутиан, 2013).

Дози калійних добрив, місце і час внесення під різні культури сівозміни залежать від багатьох чинників і їх взаємодії в умовах кожної природної зони: від фізичних особливостей і загального рівня родючості ґрунту; рівня забезпеченості рослин іншими елементами живлення; біологічних властивостей культур та їх реакції на калій; величини очікуваного врожаю і рівня продуктивності сівозміни; післядії калійних добрив та інших умов (Душечкин А. И., 1937; Носко Б. С., Прокошев В.В., 1999).

Вважають (Литвинович А. В., и др., 2006; Лопушняк В. І., 2013), що динаміка зниження вмісту рухомих сполук калію у ґрунті може відбуватися інтенсивніше від динаміки азоту та фосфору. Проблема поглиблюється недотриманням оптимального співвідношення між азотом, фосфором і калієм та абсолютним переважанням у складі добрив азотної складової під час вирощування культур. Неналежна увага до оптимізації калійного режиму в агроценозах зазвичай обґрунтовується високими валовими запасами цього елемента у ґрунтах і, відповідно, низькою ефективністю його додаткового внесення (Якименко В. Н., 2007).

Калійні добрива у ґрунті піддаються різноманітним перетворенням, у результаті яких утворюються сполуки, що мають різний ступінь засвоюваності для рослин. Рухомі сполуки калію вважаються показовими для характерис-

тики впливу тривалого застосування добрив на калійний фонд ґрунту та є підсумком складної взаємодії добрив, ґрунту і рослин, а не просто результатом фізико-хімічних реакцій між ґрунтом і добривами (Беляев Г. Н., 1971; Жукова Л. М., 1974; Прокошев В. В., 1990). За надлишкового внесення калійних добрив їх трансформація може проходити у протилежному напрямі (Господаренко Г. М., 2001; Путятина Л. А., 2015).

Внесення калійних добрив призводить до зміни не лише показників калійного стану ґрунту, але й до зміни деяких його фізико-хімічних властивостей. Спостерігається зниження показника pH і вмісту обмінного кальцію (Бозенко С. Г., 2006).

За внесення калійних добрив поповнення запасів доступного рослинам калію відбувається за рахунок легкорозчинних його сполук і міцнофіксованого калію. При цьому зі збільшенням дози добрив кількість міцнофіксованого калію не змінюється (Массуд А. Р., 1985). Основним чинником, що обумовлює накопичення калію у ґрунті за систематичного застосування добрив, є доза калію внесеного з добривами (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999).

Доведена можливість внесення калійних добрив «у запас». Проте, виходячи з екологічних та економічних міркувань, треба уникати одноразового внесення занадто високих доз калійних добрив, бо це призводить до необмінної фіксації калію, порушує відношення Ca : (Na + K), що прискорює заміну у ґрунтовому вбирному комплексі (ҐВК) двовалентних катіонів одновалентними і погіршує фізико-хімічні властивості ґрунту (Примак І. Д., Манько Ю П., Рідей Н. М., 2010).

Динаміка калійного стану ґрунту викликає гострі дискусії серед учених. З одного боку, вважається, що підвищення запасів рухомих сполук калію у ґрунті потребує значних витрат на внесення високих доз калійних добрив через інтенсивний перехід елемента в необмінну форму (Минеев В. Г., 2002). З іншого боку, є матеріали, які під-

тверджують тезу, що зростання вмісту рухомих сполук калію може відбуватися навіть за від'ємного балансу цього елемента (Сычев В. Г., 2003). Є переконливі експериментальні дані про, щонайменше, марне внесення навіть азотних і фосфорних добрив на бідному калійному фоні (Якименко В. Н., 2009).

Найбільш вдало відповідає оптимальному калійному живленню сільськогосподарських культур сумісне внесення гною і мінеральних добрив. На ґрунтах, збагачених органічними речовинами, перехід калію добрив у необмінний стан може досягти 70 %, тоді як зазвичай не перевищує 20 % (Дегедюк Е. Г., Сайко В. Ф., Корнійчук М. С., 1992; Соколова Т. А., Исаенко М. А., Носов В. В., 1999).

Під час внесення добрив частина калію засвоюється рослинами, а частина необмінно закріплюється у ґрунті (Лопушняк В. І., 2015). Встановлено, що при взаємодії калійних добрив з ґрунтом в необмінній формі фіксується 70–80 % внесеного калію, більша частина якого впродовж 3–4 років вирощування сільськогосподарських культур використовується на формування врожаю (Кук Дж. У., 1970; Медведева О. П., 1983; Слуцкая Л. Д., 1977). Причому, чим менший вміст у ґрунті обмінних форм калію, тим активніше рослини використовують необмінний (Жукова Л. М., 1974; Прокошев В. В., 2000). Тому навіть в тих регіонах, де за період інтенсивного застосування добрив було досягнуто підвищення вмісту рухомих сполук калію у ґрунті, потреба в калійних добривах на тлі його дефіцитного балансу буде постійно зростати. Для кожного типу ґрунту властивий гранично допустимий рівень калію у ґрунтовому розчині, нижче якого спостерігається різке зниження його родючості (Минеев В. Г., 1999; Носко Б. С., 1999). Встановлено, що за систематичного внесення калійних добрив і неповного використання їх культурами, 40–90 % незасвоєного рослинами калію необмінно фіксується ґрунтом (Кораблев Л. И., 1969; Шон Т. В., 1982; Медведева О. П., 1983; Ross G. J., 1989; Носко Б. С.,

Лисовой Н. В., Столяр В. М., 1996). Міцність фіксації іонів калію зростає в часі. Це пов'язано зі зміною положення, яке займають іони калію всередині ґратки: переміщенням їх з периферійних позицій на глибші (Медведева О. П., 1983). Зі збільшенням доз добрив роль фіксованого калію в живленні рослин зростає, а дія внесених добрив знижується (Кук Дж., 1970; Медведева О. П., 1983; Ross G. J., 1989).

Суттєвий вплив на доступність калію рослинам має застосування добрив, перш за все калійних та органічних. Формування запасів рухомих сполук калію у ґрунті залежить від дози калійних добрив, текстури та фізико-хімічних властивостей ґрунту, механізмів обміну і трансформації калію у ґрунтовому середовищі (Пчелкин В. У., 1966; Собачкин А. А., 1978; Мартинович Л. И., 1992; Цвей Я. П., 2001; Афанасьев Р. А, 2013; Заришняк А. С., 2013;). Як показує світовий досвід, оптимізувати баланс калію в умовах сільськогосподарського виробництва можна лише завдяки мінеральним калійним добривам (Прокошев В. В., 2005).

У тривалих стаціонарних дослідах чітко виявлено зростаюче в часі значення калійних добрив для стійкого та ефективного функціонування агроценозів (Пчелкин В. У., 1966; Соколов А. В., 1968; Прокошев В. В., 2005; Фатєєв А. І., 2006). Зміна вмісту рухомих сполук калію у ґрунтах знаходяться у певній залежності від стану його балансу (Кулаковская Т. Н., 1990; Носко Б. С., 1999; Сычев В. Г., 2000). Роль калійних добрив найліпше виявляється на ґрунтах легкого гранулометричного складу. Загалом райони ефективності калійних добрив збігаються з районами дії азотних добрив (Христенко А. А., Іванова С. Е., 2011; Господаренко Г. М., 2015). Зі збільшенням застосування добрив роль фіксованого калію в живленні рослин буде зростати, а дія знову внесених добрив знижуватися (Кук Дж., 1970).

Ефективність калійних добрив визначається низкою чинників, в тому числі культурою землеробства, погодно-кліматичними умовами, рівнем родючості ґрунту (Хрис-

тенко А. О., Мірошниченко М. М., 2014). Як свідчать дані тривалих дослідів, з виснаженням малоудобрених чорноземів ефективність калійних добрив зростає в часі від ротації до ротації сівозміни (Литвак Ш. І., Бабаріна Е. А., 1991; Носко Б. С., Бабинін Б. І., 1997). Одним із найбільш швидких і економічних способів підвищення врожайності сільськогосподарських культур і отримання при цьому продукції відповідної якості є розроблення оптимальних систем удобрення на основі точного оцінювання стану родючості ґрунту (Христенко А. О., 2014). Неодноразово було доведено, що розумне застосування калійних добрив підвищує рентабельність сільськогосподарського виробництва в цілому (Прокошев В. В., 2005).

Аналіз робіт, що свідчать про досить слабку ефективність калійних добрив, показує, що проведені досліди в основному були короткотривалими, а фонові дози добрив і врожайність культур – невисокими. Зроблені за таких умов висновки про недоцільність застосування калійних добрив, очевидно, недостатньо обґрунтовані (Mengel K., 1978; Якименко В. Н., 2003; Крупеников И. А.; 2008; Нікітіна О. В., 2017).

На ґрунтах з високим рівнем забезпеченості калієм ефективність калійних добрив різко зменшується – середні дози мало ефективні, а високі – не ефективні. На таких ґрунтах калійні добрива слід вносити з розрахунку 80–90 % від винесення, з метою підтримання досягнутого рівня забезпеченості рослин цим елементом (Котвицький Б. Б., 2009).

За високого природного вмісту обмінного калію в чорноземах, який може досягати 600 мг K_2O/кг ґрунту і вище (за методом Маслової), навряд чи слід очікувати ефекту від застосування добрив, особливо на зернових культурах (Якименко В. Н., 2012).

Встановлено, що ефективність форм калійних добрив (KCl, K_2SO_4, сильвініт, каїніт) була майже однаковою. З'ясовано, що в середньому за 30 років приріст урожаю пшениці озимої досягнув від KCl – 0,15 т/га; K_2SO_4 – 0,07 т/га;

сильвініту і каїніту – 0,16 т/га. Високий ефект від калійних добрив одержано на буряку цукровому. На тлі NP приріст урожаю коренеплодів досягнув від KCl – 1,0 т/га; K_2SO_4 – 0,7 т/га; сильвініту – 1,7 т/га і каїніту – 1,5 т/га (Фатєєв А. І., 2006). Встановлено, що за внесення підвищених доз сильвініту підвищується рухомість сполук калію (Методики ..., 2005). За поєднаного застосування гною та високих доз мінеральних добрив ($N_{3600}P_{3360}K_{3480}$) краще використовувались значні запаси слабкозв'язаного калію, а вміст жорсткозв'язаних сполук залишався практично незмінним (Доценко О. В., 2013).

Ефективність калійних добрив залежить від типу і гранулометричного складу ґрунту, наявності легкодоступного калію у ґрунті, потреби у ньому культури, кількості атмосферних опадів і температури, вологості ґрунту, рівня застосування азотних і фосфорних добрив, форми калійних добрив тощо (Корнева Н. Г., 1988; Носко Б. С.; 1999; Носко Б. С., 2000; Минеев В. Г., 2006). Деяке зниження ефективності добрив на ґрунтах із підвищеним вмістом фосфору може пояснюватись погіршенням у таких умовах надходження в рослини калію (Кудзин Ю. К., 1960).

Культури по різному реагують на поліпшення калійного живлення. Дія калійних добрив у значній мірі визначається генетичними особливостями ґрунтів та їх гранулометричним складом (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999).

Залишкові форми калію добрив відрізняються від природних доступністю для рослин і більше впливають на врожай культур та ефективність додатково внесених добрив. Одним з найважливіших чинників, що визначає дію калійних добрив, є забезпеченість ґрунтів рухомими формами калію. Про це свідчать результати дослідів, в яких вивчали ефективність калійних добрив при внесенні під пшеницю озиму на ґрунтах з різним вмістом калію. В усіх випадках найбільші прирости врожаю від калійних добрив були на ґрунтах з низьким вмістом калію (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999).

За низької калійної забезпеченості ґрунту доцільно збагачувати його калієм – підтримувати додатний баланс калію. Відмова від застосування калійних добрив на ґрунтах з високим рівнем забезпеченості калієм не знижує врожайності та продуктивності сільськогосподарських культур. Однак, тривале використання без компенсації вилученого калію з урожаєм веде до виснаження родючості ґрунту і цей чинник стає лімітуючим (Мюррел Т. С., 2014). Існує певна ступінь калійного виснаження ґрунту, після якого проходять незворотні втрати ґрунтової родючості – погіршення якості ґрунту (Датта С., Маджумар К., Селевки Г., 2014). За щорічного тривалого від'ємного балансу поживних речовин у землеробстві знижується рухомість калію і здатність ґрунту до відновлення початкового рівня його вмісту в легкодоступній формі, що негативно впливає на величину та якість урожаю основних сільськогосподарських культур. При цьому знижується ефективність азотних і фосфорних добрив (Прокошев В. В., Дерюгин Е. Н., Ефремова Е. Н., 2005).

Визначення вмісту доступних для рослин форм калію у ґрунті не завжди дозволяє виявити походження виснаження резервів ґрунтового калію. Це пов'язано з тим, що за калійного виснаження ґрунту відбувається вивільнення калію з необмінних форм, вміст яких зазвичай не визначається під час проведення масових ґрунтових аналізів. Однак таке «непомітне» виснаження резервів ґрунтового калію може призвести до суттєвого погіршення родючості ґрунту. Відповідно, в майбутньому знадобляться вищі інвестиції на відновлення ґрунтової родючості стосовно калію (Датта С., Мажумдар К., 2014).

Встановлено, що в умовах післядії добрив у ґрунті зменшився вміст найбільш рухомих і доступних для рослин сполук калію, що свідчить про необхідність періодичного поновлення запасів його легкодоступних сполук з добривами для забезпечення стабільно високої продуктивності сільськогосподарських культур (Доценко О. В.,

2013). Достатньо стабільний вміст обмінного калію у ґрунтах за низького рівня застосування добрив не може бути основою для відмови від їх внесення на чорноземах. Калійні добрива необхідно застосовувати в першу чергу під культури, які виносять багато калію з урожаєм, щоб забезпечити їх збалансоване мінеральне живлення (Лукин С. В., Васенев И. И., 2010).

Отже, нині найбільш результативним підходом вивчення калійної складової родючості ґрунту є комплексне системне опрацювання всіх його показників. Для характеристики агрохімічних параметрів показників родючості необхідно одночасно вивчити кількісний та компонентний склад форм калію, поглинальної здатності та інших властивостей ґрунту в динаміці, визначити статистичну залежність між ними і рівнями продуктивності культур, а також реакції рослин на внесення калійних добрив. У результаті це дозволить розробити системи оптимізації калійного живлення рослин і застосування добрив. В основу цієї методології входить положення Д. М. Прянишникова (1952) про агрохімічне триєднання основних складових агроценозу: ґрунт–рослина–добриво. Час показав, що до цього трикутника необхідно добавити ще дві важливі природні складові біоценозів – атмосферу і воду (рис. 3.1).

3.2. Легкорозчинні сполуки калію

Калій ґрунтового розчину знаходиться в іонній формі, найбільше піддається зовнішньому впливу, тісно пов'язаний з усім калійним комплексом ґрунту і як «дзеркало» відображає його стан; безпосереднє джерело живлення рослин, визначається у водній витяжці або в дуже слабких сольових розчинах (Прокошев В. В., 2005).

Легкорозчинний калій складається з різних солей, розчинених у ґрунтовій волозі, які можуть безпосередньо засвоюватися рослинами. Підвищений вміст легкорозчинного калію у верхніх шарах ґрунту обумовлено біологічним колообігом елементів (Массуд А. Р., 1985; Черно О. Д., 1996).

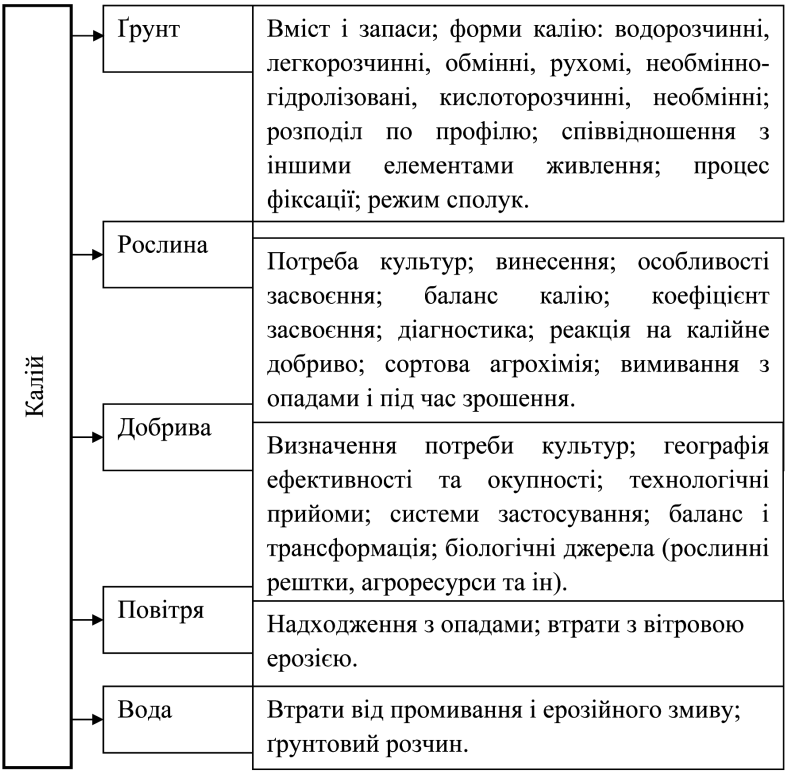

Рис. 3.1. **Основні напрями досліджень калію в агроценозах**

Встановлено, що результати аналізу ґрунту за методом Дашевського практично не залежать від вмісту термодинамічностійких сполук калію. Тому цей метод визначення легкорозчинних сполук калію є універсальним і не потребує введення поправок на негативний вплив тих чи інших властивостей ґрунту (Христенко А. А., 2014). Уміст водорозчинного калію значно менше залежить від генетичної природи ґрунту. Ця форма калію значно менше перерозподіляється і по ґрунтовому профілю (Турчина К. П., 2012).

Якщо враховувати під час оцінювання калійного стану ґрунтів лише дані «жорстких» методів (кислотних і лужних), то складається враження, що в Україні у напрямку

з північного заходу на південний схід забезпеченість рухомим калієм суттєво зростає. У той же час за даними сольового методу Дашевського калійний стан не удобрюваних орних ґрунтів мало залежить від типу ґрунту, і не перевищує 10 мг K_2O/кг ґрунту. Більш високою забезпеченістю калієм характеризуються лише орні ґрунти, що містять залишковий калій добрив (Христенко А. А., 2017).

За систематичного застосування добрив у ґрунті відбувається низка перетворень, у результаті яких утворюються сполуки, що характеризуються різною його доступністю для рослин. Оскільки перетворення калійних добрив у різних ґрунтово-кліматичних умовах відбуваються неоднаково, тому виникла необхідність вивчити питання зміни вмісту легкорозчинних сполук калію в чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу під впливом тривалого застосування різних доз гною і мінеральних добрив у польовій сівозміні.

Встановлено, що вміст легкорозчинного калію у ґрунті істотно змінювався залежно від доз добрив, але при цьому система удобрення майже не мала впливу. У варіанті досліду, де добрив не вносили упродовж 50 років, вміст легкорозчинних сполук калію знизився до 22 мг/кг ґрунту, що пов'язано із засвоєнням його рослинами (табл. 3.1).

Внесення одинарних доз добрив не сприяло істотному збільшенню вмісту калію легкорозчинних сполук у ґрунті. Застосування подвійних доз добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення сприяло підвищенню його вмісту відповідно в 1,5 та 1,7 рази. Застосування лише гною в дозі 13,5 т/га площі сівозміни не мало істотного впливу на цей показник.

Найвищим вмістом легкорозчинного калію характеризувалися варіанти із застосуванням потрійних доз добрив за всіх систем удобрення (39–51 мг/кг ґрунту), що збільшило вміст цих сполук в 1,8–2,3 рази порівняно з неудобреними ділянками.

Внесений калій з добривами зазвичай накопичується в шарі ґрунту 0–40 см, тому й легкорозчинних його сполук

Таблиця 3.1

Вплив тривалого (з 1965 р.) застосування добрив у сівозміні на вміст калію легкорозчинних сполук у ґрунті (2012–2014 рр.), мг/кг

Варіант досліду	Шар ґрунту, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Без добрив (контроль)	22	20	18	15	15
$N_{45}P_{45}K_{45}$	25	21	19	14	15
$N_{90}P_{90}K_{90}$	34	25	18	16	14
$N_{135}P_{135}K_{135}$	48	38	22	18	14
Гній 9 т	26	23	18	14	14
Гній 13,5 т	31	27	19	15	15
Гній 18 т	39	32	19	14	15
Гній 4,5 т+ $N_{22}P_{34}K_{18}$	26	22	20	15	14
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	37	26	20	16	15
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	51	43	23	15	15
HIP_{05}	4	3	2	2	1

тут більше, ніж у нижніх шарах. Внесення потрійних доз добрив сприяло підвищенню вмісту калію легкорозчинних сполук у шарі ґрунту 20–40 см в 1,6–2,2 рази у порівнянні з неудобреними ділянками.

Дослідженнями встановлена тісна кореляційна залежність (R^2 = 0,81) між показниками вмісту калію в шарі ґрунту 0–20 см, визначеного за методом Чирикова і Дашевського, яка описується таким рівнянням:

$$y = 0{,}47x - 33{,}29,$$

де у – вміст калію у ґрунті, визначений за методом Дашевського, мг/кг;

х – вміст калію у ґрунті, визначений за методом Чирикова, мг/кг.

По профілю ґрунту з глибиною щільність кореляційного зв'язку зменшується.

На основі дослідних і раніше одержаних даних (Господаренко Г. М., 2002) можна запропонувати таку градацію

ступеня забезпеченості культур польової сівозміни легкорозчинними сполуками калію (за методом Дашевського) на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу: менш як 5 мг/кг – дуже низький; 5–15 – низький; 15–25 – середній; 25–45 – підвищений; 45–65 – високий; більш як 65 мг/кг – дуже високий.

Отже, за тривалого (50 років) вирощування польових культур без внесення добрив та із застосуванням добрив чорнозем опідзолений мав середній та підвищений вміст калію легкорозчинних сполук у шарі ґрунту 0–20 см. Лише за органо-мінеральної системи удобрення за внесення на 1 га площі сівозміни 135 кг K_2O його вміст був високим.

З глибиною вплив добрив на вміст калію легкорозчинних сполук у ґрунті поступово зменшувався, що свідчить про незначну його міграцію в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому.

Підвищення вмісту калію легкорозчинних сполук у ґрунті відбувається лише за внесення подвійних і потрійних доз добрив у польовій сівозміні, тобто більше 90 кг/га д. р. Вплив внесених добрив на вміст легкорозчинних сполук калію спостерігався до глибини 0–40 см. Лише за внесення 135 кг/га K_2O з добривами його вміст підвищувався в шарі ґрунту 40–80 см.

3.3. Рухомі сполуки калію

Уміст рухомих сполук калію у ґрунті є досить універсальним індикатором забезпеченості культур ґрунтовим калієм: за подібних умов калійного живлення рослин на різних ґрунтах рівень вмісту рухомих сполук калію приблизно однаковий, незалежно від абсолютних значень вмісту в них інших форм калію (Якименко В. Н., 2003). Уміст рухомих сполук калію – це не концентрація елементів у ґрунтовому розчині, а деяка константа, величина яка передбачена фізико-хімічними умовами, характерними для поверхні планети (Христенко А. А., 2009).

Для формування врожаю сільськогосподарські культури виносять із ґрунту значну кількість калію. В основному із ґрунту засвоюються рухомі сполуки калію. Тому формування його запасів у ґрунті є важливим аспектом подальшого підвищення продуктивності культур та їх більших урожаїв у перспективі.

Уміст рухомих сполук калію у ґрунті залежить від низки чинників, серед яких найважливішими є доза застосування добрив, інтенсивність балансу калію в системі добриво–ґрунт–рослина, фізико-хімічні особливості ґрунту, структура сівозміни та ін. (Дегедюк Е. Г., Сайко В. Ф., 1992; Господаренко Г. М., 2002).

У результаті розорювання ґрунтів, природний вміст рухомих форм калію різко знижується. Зниження вмісту калію спостерігається до глибини 60 см (Христенко А. А., 2017).

Часто відмічається зв'язок між розподіленням калію добрив по профілю ґрунту і його гранулометричним складом. Так, на ґрунтах легкого гранулометричного складу міграція калію спостерігалась до глибини 100 см, на середньосуглинистих – до 60, а на важкосуглинистих – до 40 см (Богдевич И. М., Лапа В. В., Барашенко В. В., 2000; Прокошев В. В, Дерюгин И. П., 2000; Носов В. В., 2002).

Достатньо стабільний вміст рухомого калію за низького рівня застосування добрив не може бути обґрунтуванням відмови від застосування калійних добрив на чорноземах. Калійне удобрення необхідне, в першу чергу, для калієфільних культур, щоб забезпечити збалансоване мінеральне живлення (Господаренко Г. М, Черно О. Д., Сухомуд О. Г., 1988; Лукин С. В., Васенев И, И., Цыгуткин А. С., 2010).

Тривале застосування різних систем і доз добрив у сівозміні сприяє накопиченню рухомих сполук калію в орному та підорному шарах чорнозему опідзоленого. Найбільше його зосереджується в шарі ґрунту 0–20 см, що зумовлено підвищеним умістом органічних речовин, створенням умов для біологічної акумуляції, високою ємністю вбирання чорнозему опідзоленого (Черно О. Д., 2006).

Завищена оцінка вмісту рухомих сполук калію у ґрунтах чорноземного типу відбувається через підвищений уміст у них польових шпатів, алюмосилікатів, з яких добре екстрагується цей елемент живлення (Христенко А. О., 2011). За показника pH 3, що встановлюється після взаємодії розчину 0,5 М оцтової кислоти з ґрунтом (метод Чирикова), ймовірне залучення механізмів розчинення калієвмісних мінералів ґрунту, а також процесів гідролізу органічних речовин. Це спотворює картину реальної кількості доступного калію у ґрунті (Носов В. В., 2002; Прокошев В. В., 2000). Велика кількість розроблених методів визначення рухомих сполук калію свідчить у першу чергу про те, що не знайдено реактиву (екстрагенту), дія якого на ґрунт була б еквівалентною засвоювальній здатності кореневих систем рослин (Ониани О. Г., 1981; Петербургский А. В., 1981; Кулаковская Т. Н., 1990).

Застосування малих доз калійних добрив за високого винесення калію призводить до зменшення запасів рухомих його сполук у ґрунті. Натомість систематичне застосування високих доз органічних і мінеральних добрив сприяє збільшенню вмісту водорозчинних та обмінних сполук калію в орному шарі ґрунту. Проте за даними низки вчених (Якименко В. Н., 2006), збільшення вмісту калію в чорноземі типовому та вилуженому спостерігалося за дози застосування калію добрив, що становила 75 % від його винесення врожаями.

Щодо впливу органічних і мінеральних добрив на формування фонду рухомих сполук калію у ґрунті, вчені мають різні погляди. Одні з них (Шевченко А. І., Шевченко А. А., 1978) перевагу надавали органічним добривам, другі (Рощина Г. Д., 1983) – мінеральним, в інших дослідженнях найбільшого ефекту досягнуто за органо-мінеральної системи удобрення (Дегедюк Е. Г., Сайко В. Ф., 1992; Мартынович Н. Н., 1992; Цвей Я. П., Мазур Г. М., 2001; Господаренко Г. М., 2002). Встановлено, що внесення 120 т/га гною сприяло

збереженню вмісту рухомого калію на початковому рівні (Доценко О. В., 2013).

Деякі вчені вважають, що зі збільшенням ступеня еродованості чорноземів уміст рухомих сполук калію зазвичай збільшується (Каштов А. Н., 1997; Лукин С. В., 2011). Слід зазначити, що рухомі форми калію зазнають сезонної динаміки, пов'язаної переважно зі зміною вологості ґрунту (Александрова Л. М., Раппорт Л. А., 1984). Динаміка рухомого калію також, як і фосфору, виражена не чітко, хоча впродовж вегетаційного періоду відбувається деяке його підвищення восени, особливо на удобрюваних полях. Це відбувається в основному за рахунок його необмінних форм (Крамарев С. М., 2010).

Оптимальний рівень вмісту рухомих сполук калію (за методом Чирикова) для більшості сільськогосподарських культур складає 90–150 мг/кг, у тому числі для чорнозему опідзоленого – 100–140 мг/кг, вилуженого – 120–150, типового – 140–160, звичайного – 170–180 мг/кг (Акулов П. Г., 1994; Христенко А. О.; Мірошниченко М. М., 2014). Подальше насичення ґрунту калієм недоцільне (Примак І. Д., Манько Ю. П., Рідей Н. М. та ін., 2010). Для чорноземів України оптимальний вміст рухомого калію для зернових культур відповідає рівню 120–180 мг/кг, а для просапних – більше як 180 мг/кг (Гудков І. М., Гайченко В. А, 2011).

Як показали проведені дослідження, чорнозем опідзолений характеризувався підвищеним умістом рухомих сполук калію. Їх вміст закономірно зменшувався з глибиною (табл. 3.2, 3.3). Так, уміст рухомих сполук калію від поверхневого шару 0–20 см до шару 80–100 см зменшувався на 20 % на ділянках без внесення добрив.

Тривале застосування добрив у польовій сівозміні забезпечило найвищий вміст рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0–20 см, що зумовлюється високою ємністю катіонного обміну чорнозему опідзоленого, поглинанням ґрунтовими колоїдами і переведенням водорозчинного калію добрив в обмінний і необмінний стан. Відомо, що

Таблиця 3.2

Вплив тривалого (з 1965 року) застосування добрив у польовій сівозміні на вміст (за методом Мачигіна) рухомих сполук калію (K_2O) у ґрунті (2012–2014 рр.), мг/кг

Варіант досліду	Шар ґрунту, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Без добрив (контроль)	225	190	176	178	182
$N_{45}P_{45}K_{45}$	294	219	192	186	182
$N_{90}P_{90}K_{90}$	308	217	189	186	183
$N_{135}P_{135}K_{135}$	332	225	197	188	186
Гній 9 т	234	204	185	185	182
Гній 13,5 т	297	209	202	201	180
Гній 18 т	312	215	211	208	183
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	291	220	206	201	182
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	303	225	216	209	187
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	330	227	221	213	186
HIP_{05}	17	13	11	10	8

Таблиця 3.3

Вплив тривалого (з 1965 року) застосування добрив у польовій сівозміні на вміст (за методом Чирикова) рухомих сполук калію (K_2O) у ґрунті (2012–2014 рр.), мг/кг

Варіант досліду	Шар ґрунту, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Без добрив (контроль)	116	98	86	89	92
$N_{45}P_{45}K_{45}$	135	122	94	89	93
$N_{90}P_{90}K_{90}$	154	116	96	87	90
$N_{135}P_{135}K_{135}$	168	130	100	92	90
Гній 9 т	124	113	91	91	90
Гній 13,5 т	132	129	92	90	90
Гній 18 т	153	133	94	92	91
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	139	116	88	88	88
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	148	129	89	89	88
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	167	138	92	91	89
HIP_{05}	8	7	6	5	6

внесені калійні добрива поповнюють поряд з рухомими, й інші форми калію у ґрунті. Так, середньорічне внесення $N_{135}P_{135}K_{135}$ сприяло підвищенню їх вмісту в шарі ґрунту 0–20 см на 107 мг/кг (за методом Мачигіна) та 52 мг/кг за (методом Чирикова), а у варіанті Гній 13,5 т + $N_{67}P_{102}K_{54}$ – відповідно на 105 та 51 мг/кг.

Аналіз вмісту рухомих сполук калію у варіанті без добрив свідчить про чітко виражений процес його мобілізації з необмінних форм, що зберігає на достатньо високому рівні його вміст у верхніх шарах. Цей вміст відповідає, згідно ДСТУ 4362–2004, підвищеному рівню забезпеченості рослин калієм. За тривалого вирощування сільськогосподарських культур без внесення калійних добрив проходить мобілізація калію з менш доступних форм. Стійкість калійного стану ґрунту за компенсувального винесення калію врожаєм сільськогосподарських культур залежить від вихідних запасів його у ґрунті, розміру винесення врожаєм, швидкості переходу з важкодоступних для рослин сполук у легкодоступні, біологічних особливостей культур. У рухомий стан калій переходить у результаті вивітрювання калієвмісних мінералів. Кореневі виділення рослин також сприяють посиленню процесів вивільнення калію. У ґрунті постійно відбуваються взаємне перетворення одних форм калію в інші (Забавская К. М., 1970; Конончук В. В., Никитина Л. В., 2002; Маслова И. Я., Якушева Т. Г., 2011).

Встановлено, що зміни вмісту рухомих сполук калію за рахунок внесення калійних добрив у дозі 135 кг K_2O / га проходить до глибини 80 см (за визначення методом Мачигіна) і 60 см (за методом Чирикова). Якщо врахувати, що в сівозміні періодично проводилась оранка на 30–32 см, то з цієї глибини і проходила міграція калію по профілю ґрунту. З першого погляду міграція незначна, але, на нашу думку, вона значно сильніша, тому що їй протидіє потужний «біологічний насос» – кореневі системи рослин повертають калій у верхній шар ґрунту.

Залежно від варіанту досліду, щорічно з ґрунту вилучалося 85–146 кг K_2O /га калію (Господаренко Г. М., 2015).

Навіть за внесення меншої кількості калійних добрив упродовж тривалого періоду за першого (45 кг д. р/га) і другого (90 кг д. р/га) рівнів удобрення, ґрунт характеризувався високою здатністю забезпечувати рослини рухомими сполуками калію. Спостерігалося підвищення вмісту цих сполук порівняно з варіантом без добрив (до 294–330 мг/кг за методом Мачигіна та 135–167 мг/кг за методом Чирикова). Ці показники знаходяться в межах оптимальних параметрів родючості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового (120–170 мг/кг за методом Чирикова) згідно ДСТУ 4362–2004.

У переважній більшості варіантів досліду складався від'ємний баланс калію (за винятком третіх рівнів усіх систем удобрення), проте спостерігалось підвищення вмісту його рухомих сполук у ґрунті порівняно з ділянками без добрив. Це пояснюється зниженням його вмісту на ділянках без застосування калійних добрив, відставанням процесів його переходу в необмінні форми, біологічним переміщенням кореневими системами рослин з нижніх шарів ґрунту.

Численними дослідженнями встановлено (Господаренко Г. М., Черно О. Д., 1999; Господаренко Г. М., 2002; Заришняк А. С. та ін., 2012), що господарське винесення калію збільшується зі зростанням доз добрив, перш за все завдяки підвищенню росту врожайності культур. При цьому нетоварна частина врожаю містить значну кількість калію, тому залишені на полі рослинні рештки істотно впливають на калійний режим ґрунту. Крім того, спеціальними дослідженнями встановлено, що калій підорних шарів ґрунту також використовується рослинами, внаслідок чого спостерігається динаміка не лише обмінної, а й необмінної його форм до глибини 1,5 м.

Вивчення впливу різних доз добрив і систем удобрення на зміну вмісту рухомих сполук калію у ґрунті, показує, що їх уміст поступово зростає, в першу чергу, від

збільшення доз внесення калійних добрив і знаходиться в прямій залежності від них (див. табл. 3.2, 3.3).

Розглядаючи зміну вмісту рухомих сполук калію, можна відмітити особливості впливу мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення на цей процес. З підвищенням доз калійних добрив у складі повного добрива за різних систем удобрення зростали темпи накопичення рухомих сполук калію у ґрунті.

Проаналізувавши вплив органічної системи на вміст рухомих сполук калію у ґрунті, можна зробити висновок, що навіть за внесення меншої його кількості у варіантах Гній 13,5 т (3888 кг/га K_2O) та Гній 18 т (4644 кг/га K_2O) показники в шарі ґрунту 0–100 см близькі до аналогічних показників за другого рівня мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення, де кількість внесеного за 50 років K_2O становила 5220 кг/г). Це можна пояснити тим, що тривале внесення гною поліпшувало показники і властивості ґрунту: знижувались обмінна і гідролітична кислотність, підвищувалися вміст органічних речовин та ємність катіонного обміну, що призводило до збільшення числа рухомих позицій для калію і забезпечувало його накопичення.

Внесення впродовж тривалого часу гною з розрахунку 9 т/га площі сівозміни (2592 кг/га K_2O) істотно не вплинуло на зміну вмісту рухомих сполук калію. Так, у шарі ґрунту 0–20 см показники вмісту цих сполук були вищими, ніж на ділянках без внесення добрив лише на 9 мг/кг (за методом Мачигіна) та відповідно на 8 мг/кг (за методом Чирикова). При цьому показники вмісту рухомих сполук калію при застосуванні перших рівнів мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення на порядок вище, хоча було внесено на 432 кг/га K_2O менше.

Статистичним аналізом показників, отриманих у результаті дослідження встановлено високу пряму залежність між показниками, одержаними за методами Чирикова та Мачигіна ($R^2 = 0,83$). З глибиною по профілю ґрунту тіснота кореляційної залежності послаблюється. Залежність

між показниками вмісту у ґрунті рухомих сполук калію, одержаних за методами Чирикова і Мачигіна, описується таким рівняння регресії:

$$y = 1{,}8507x + 20{,}38,$$

де x – вміст рухомих сполук калію за методом Чирикова, мг/кг;

y – вміст рухомих сполук калію за методом Мачигіна, мг/кг.

Не дивлячись на те, що зазвичай всі польові культури здатні засвоювати калій з шару ґрунту 0–100 см, вносити калійні добрива про запас з метою істотного підвищення вмісту рухомих його сполук, на нашу думку, недоцільно як з агрохімічного, так і екологічного та економічного поглядів. Система застосування калійних добрив на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому повинна бути спрямована перш за все на оптимізацію калійного живлення кожної сільськогосподарської культури сівозміни.

Проаналізувавши результати досліджень вмісту рухомих сполук калію в чорноземі опідзоленому в польовій сівозміні, отриманих за методом Чирикова можна зробити висновок про те, що міграція рухомих сполук калію по профілю ґрунту спостерігалася до глибини 60 см. Так, у шарі ґрунту 0–20 см, за внесення потрійної дози мінеральних добрив вміст рухомих сполук калію збільшився на 52 мг/кг, а в шарі 40–60 см – лише на 14 мг/кг; за третього рівня органо-мінеральної системи удобрення – відповідно на 48 мг/кг і 6 мг/кг, порівняно з неудобрюваними ділянками.

Показники вмісту рухомих сполук калію у ґрунті, визначені за методом Мачигіна, вказують на міграцію калію до глибини 80 см за третього рівня мінеральної системи удобрення, подвійної та потрійної дози внесення гною та за органо-мінеральної системи удобрення. У шарі ґрунту 60–80 см за внесення потрійної дози мінеральних добрив уміст рухомих сполук калію збільшився на 10 мг/кг,

за потрійної дози гною – на 30 мг/кг, за третього рівня органо-мінеральної системи удобрення – на 35 мг/кг порівняно з варіантом без добрив. Тобто, найглибше мігрував калій добрив на ділянках з внесенням високих доз гною. Можна припустити, що це пов'язано з більшою рухомістю калію органічних добрив. Тому для визначення розмірів міграції калію добрив по профілю ґрунту, як було показано вище, доцільно визначати вміст легкорозчинних сполук калію, застосовуючи, наприклад, метод Дашевського (Турчина К. П., 2012).

Отже, внесений у ґрунт калій добрив має значну післядію, а коефіцієнт його використання може наближатися до 100 %, оскільки втрати калію з ґрунту практично відсутні. Тому дози їх внесення треба періодично коригувати за даними аналізів вмісту рухомих сполук калію у ґрунті і його балансу.

Для встановлення закономірностей зміни вмісту рухомих сполук калію у ґрунті від його кількості внесеного з добривами було проведено статистичний аналіз показників, визначених за методами Чирикова (ДСТУ 4115–2002) та Мачигіна (ДСТУ 4114–2002).

Розрахунками встановлено тісні кореляційні зв'язки між кількістю внесеного калію з добривами та запасами рухомих сполук калію в шарах ґрунту 0–20 см; 0–40; 0–60; 0–80 і 0–100 см. Визначений коефіцієнт детермінації вказує на сильний кореляційний зв'язок (R^2 = 0,77–0,80) за показниками, одержаними за методом Чирикова та помірний (R^2 = 0,47–0,55) – за методом Мачигіна в шарах ґрунту до глибини 1 м.

Аналіз показників умісту рухомих сполук калію вказує на те, що внесення добрив суттєво впливає на їх зміни у шарі ґрунту до 60 см. Так, у шарі 20–40 см коефіцієнт детермінації становить 0,46; 20–60 см – 0,59 (за методом Чирикова) та відповідно 0,33 та 0,30 (за методом Мачигіна). У шарі ґрунту 60–100 см R^2 = 0,005 (за методом Чирикова) та 0,19 (за методом Мачигіна), що підтверджує

міграцію калію добрив по профілю чорнозему опідзоленого важкосуглинкового за тривалого (50 років) їх внесення у дозах 45–135 кг д. р. на 1 га площі сівозміни лише до глибини 60 см.

3.4. Вплив ступеня подрібнення ґрунту на вміст рухомих сполук калію

Контроль за вмістом рухомих форм поживних речовин у ґрунті є невід'ємною складовою частиною інтенсивного землеробства. Для подальшого його поліпшення і стандартизації необхідно постійно вдосконалювати методику їх визначення у ґрунті, що має важливе значення як для агрохімічного оцінювання якості землі, так і для розроблення державного земельного кадастру (Карасюк І. М., Господаренко Г. М., Черно О. Д., 1993).

На точність агрохімічного аналізу ґрунту впливає характер проведення операцій у технологічному ланцюзі, в тому числі і особливості його подрібнення. Для подрібнення зразків ґрунту застосовують лабораторні млинки, різні подрібнювальні машини і механізми, що істотно відрізняються між собою як за принципом роботи, так і за часом проведення операції. Такий підхід призводить до одержання в подрібненому зразку різного співвідношення між фракціями (Черно О. Д., 1998; Господаренко Г. М., 2003; Черно О. Д., 2003).

Відомо, що під час руйнування кристалів глинистих мінералів як після їх розмелювання, так і в процесі хімічного вивітрювання, істотно зростає вміст обмінного калію у ґрунтах. Це пов`язано зі звільненням іонів калію, які займали місця на внутрішніх площинах кристалічної ґратки мінералів із групи слюди (Господаренко Г. М., 2002).

Було встановлено вплив ступеня подрібнення ґрунту на вміст рухомих сполук калію в 0,5 М витяжці оцтової кислоти. У досліді використовували сірий лісовий ґрунт, чорноземи опідзолений та звичайний. Зразки ґрунтів за класичним методом з допомогою товкачика подрібнювали

у фарфоровій ступці до повного просіювання через сито з отворами певного діаметру. Дослід проводився в восьмиразовій аналітичній повторності (Карасюк І. М., Господаренко Г. М., Черно О. Д., 1993).

У результаті проведених досліджень встановлено, що ступінь подрібнення ґрунту істотно впливає на вміст рухомих сполук калію (рис. 3.1).

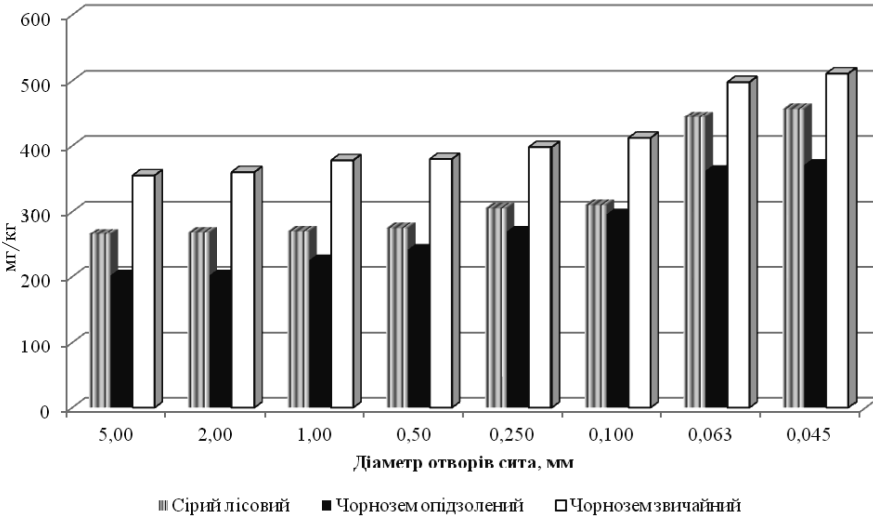

Рис. 3.1. **Вплив ступеня подрібнення ґрунту на вміст рухомих сполук калію, мг/кг**

Особливо значні відхилення в результатах можуть бути при визначенні вмісту у ґрунту рухомих сполук калію. Як видно з рис. 3.1 , найбільш істотно його вміст збільшувався після подрібнення ґрунту до часточок, що просіваються через сито з отворами діаметром 0,25 мм і менше.

Отже, щоб уникнути систематичної помилки під час аналізу ґрунтів в різних агрохімічних лабораторіях, для подрібнення ґрунту існуючими машинами і механізмами потрібно порівнювати з класичним методом підготовки його зразків до аналізу – ручним розтиранням товкачи-

ком з гумовим наконечником в фарфоровій або металевій ступці з періодичним просіюванням через сито з отворами діаметром 1,0 мм. Необхідно також мати на увазі, що пересипання ґрунту або струшування його під час транспортування або перенесення приводить до сегрегації часточок, що пов'язано з різною їх величиною і густиною. Тому перед взяттям аналітичної наважки зразок необхідно висипати із місткості і ретельно перемішати.

3.5. Обґрунтування верхньої межі оптимального вмісту рухомих сполук калію у ґрунту

Проблема оптимізації властивостей ґрунту за вмістом у ньому рухомих сполук калію досить актуальна. Дані з цього питання, що є в літературі досить суперечливі (Господаренко Г. М., Черно О. Д., Сухомуд О. Г., 1998).

Так, для чорноземів оптимальним називається вміст як 100–150, так і 200–250 мг K_2O/кг ґрунту. В літературі з'являється все більше даних про недоцільність перевищення вмісту калію у ґрунті вище оптимального рівня, тому що це пов'язано з додатковими витратами, а також із забрудненням навколишнього природного середовища (Іванова Т. І., 1983; Касицкий Ю. И., 1991; Носко Б. С., 1994; Черно О. Д., Господаренко Г. М., Олійник О. О., Бардіж Н. І., 1997; Господаренко Г. М., 1999), поняття оптимального вмісту поживних речовин кількісно відповідає їх наявності у ґрунті, за якої забезпечується 95 % врожаю всіх сільськогосподарських культур без додаткового внесення добрив. При цьому у сівозміні або її ланках оптимальний вміст поживних речовин визначається за найбільш вибагливою культурою (Прищеп Н. І., Каратуша П. І., Янішевська Ф. В., 1995). Встановлено (Господаренко Г. М., Білоножко В. Я., 1997), що із польових культур, що вирощуються на чорноземах Лісостепу, найбільше реагують на рівень калійного живлення гречка й буряк цукровий.

Для визначення верхньої межі оптимального вмісту рухомих сполук калію у ґрунті для чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу був проведений вегетаційний дослід з чотирма рівнями родючості ґрунту, відібраного після проходження третьої ротації 10-пільної польової сівозміни. Добрива у досліді вносили за схемою: 1 – NP, 2 – NPK. Повторність досліду шестиразова. На вегетаційну посудину з 9 кг ґрунту згідно схеми досліду вносили N – 1,0 г; P_2O_5 – 1,2 і K_2O – 1,2 г у формі аміачної селітри, суперфосфату гранульованого та хлористого калію і вирощували буряк цукровий. Вміст рухомого калію у ґрунті визначали за методом Чирикова (у витяжці 0,5 М CH_3COOH).

Як показали дослідження, ефективність калійних добрив істотно залежить від попереднього удобрення (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Вплив калійних добрив на врожай коренеплодів буряку цукрового залежно від вмісту рухомих сполук калію у ґрунті, г/посудину

Вміст K_2O у ґрунті, мг/кг	Варіант досліду		Приріст врожаю від калійних добрив
	NP	NPK	
105	196	243	47
134	356	393	37
175	442	450	8
243	457	463	6
HIP_{01}			29

Встановлено, що ефективність калійних добрив істотно залежала від попереднього удобрення ґрунту. Достовірний приріст урожаю коренеплодів від калійних добрив одержано за вмісту рухомих сполук калію у ґрунті 134 мг/кг. Отже, верхня межа оптимального вмісту рухомих сполук калію у ґрунті для культур польової сівозміни буде знаходитися між показниками 134 і 175 мг/кг. Дослідженнями встановлено середню кореляційну залежність між вмістом у ґрунті рухомих форм калію і приростом урожаю коренеплодів (0,6). Ця залежність описується таким рівнянням:

$$y = 0{,}0018x^2 - 1{,}2674x + 192{,}85,$$

де: x – вміст рухомих форм K_2O у ґрунті, мг/кг;

y – приріст урожаю коренеплодів, г/посудину.

Прийнявши, що найменша істотна різниця в досліді (НІР = 29 г/посудину) є тією межею приросту урожаю коренеплодів, нижче якої дія добрив була неефективною і, підставивши її у формулу, одержимо верхню межу оптимального вмісту у ґрунті рухомих сполук калію – 158 мг/кг ґрунту.

Отже, за вмісту в чорноземі опідзоленому рухомих сполук калію > 158 мг/кг застосування калійних добрив у польовій сівозміні не буде окуплюватися додатковим урожаєм. За такого вмісту рухомих сполук калію система застосування калійних добрив повинна бути підтримувальною, тобто їх внесення повинно відповідати вилученню з ґрунту в результаті винесення врожаями і втратами від ерозії.

3.6. Методи оцінювання калійного стану ґрунту

Для визначення у ґрунті рухомого калію запропоновано велику кількість методів. З метою прискорення аналітичної процедури, підвищення продуктивності праці, зниження собівартості аналізів у системі агрохімслужби було запропоновано визначати рухомі форми фосфору і калію в одній витяжці, використовуючи для цього різні екстрагенти залежно від типу ґрунту. Таке поєднання рекомендується під час аналізу ґрунту в за методами Мачигіна (1 % розчин $(NH_4)_2CO_3$), Кирсанова (0,2М HCl) і Чирикова (0,5М CH_3COOH) тощо.

Для оцінювання забезпеченості рослин доступним калієм у ґрунтах Вірменії Н. О. Авакян (1969) запропонував застосовувати не абсолютний вміст обмінного калію у ґрунтах, а ступенів насичення ним ґрунтового вбирного комплексу. Доцільність цього методу відзначається і в інших працях (Nemeth K., 1979). Це мотивується насамперед тим, що винесення калію культурами зазвичай істотно перевищує його

вміст в обмінній формі, а тому значна кількість калію в загальному винесенні врожаями припадає на частку необмінних форм цього елементу (Медведєва О. П., 1975).

Найпоширенішим екстрагентом для визначення обмінного калію є 1 М розчин ацетату амонію (метод Маслової). Переваги цього методу в тому, що він технічно не складний, універсальний, його можна застосувати на всіх типах ґрунті в лісової, лісостепової та степової зон. Невелика величина гідратної оболонки іонів калію та амонію, близька величина іонних радіусів дозволяє йому входити у кристалічну ґратку тришарових мінералів, а також витискувати міцно зв'язаний міжшаровий калій у розчин. З цих причин екстрагентом був вибраний саме CH_3COONH_4. Таких властивостей не мають іони кальцію, магнію, натрію, водню, що використовуються в інших реагентах. Тому кількість калію, що витискується ацетатом амонію вища, ніж під час застосування інших методів екстракції (Важенин И. Г., 1959; Голубева А. Л., 1968) Дослідженнями А. Н. Орлова з співавторами (1974), Н. Л. Вайнберг (1983), О. П. Медведева (1987) встановлено, що вміст обмінного калію на сірих лісових ґрунтах, визначений методом Маслової був в 1,5–2 рази вищим, ніж у витяжці 0,5М CH_3COOH (за методом Чирикова).

Не зменшуючи значення визначення обмінного калію та фосфору в одній витяжці, а також технічні переваги цього методу, слід зазначити, що у вегетаційних, польових та лабораторних дослідженнях під час вивчення динаміки, трансформації та міграції калію по профілю ґрунту застосовують витяжку ацетату амонію. Це дозволяє одноразовим обробленням екстрагувати 70–80 % обмінного калію (Медведева О. П., 1987).

За результатами проведених досліджень встановлено тісну кореляційну залежність ($r = 0,92$) між показниками вмісту обмінного калію в 0–20 см шарі ґрунту за методом Чирикова і Маслової. Наявність кореляційного зв'язку між цими методами для орного шару ґрунту підтверджу-

ється результатами, одержаними Харківською та Полтавською проектно-пошуковими станціями (Крупский Н. К. та ін., 1968)

З глибиною по профілю ґрунту тіснота кореляційного зв'язку зменшується. Такі дані не зустрічаються в літературі, тому вони потребують проведення додаткових досліджень і роз'яснень. Залежність між показниками вмісту у ґрунті обмінного калію, одержаними за методами Чирикова і Маслової, описується рів таким рівнянням регресії:

$$y = 1{,}34x + 7{,}18,$$

де x – вміст обмінного калію у ґрунті за методом Чирикова.

Отже, використання як екстрагентів сполук, що не містять іонів амонію, дають занижені результати вмісту обмінного калію у ґрунті. Це може призвести до помилок під час розрахунку доз добрив і оцінюванні забезпеченості рослин доступним калієм. Тому для конкретних ґрунтово-кліматичних умов важливим питанням є розроблення шкали, що характеризує ступінь забезпеченості рослин калієм, визначеним різними методами. Оскільки, коли була встановлена верхня межа оптимального вмісту рухомого калію у ґрунті для буряку цукрового за методом Чирикова, то можна запропонувати наступну градацію забезпеченості чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу калієм для польових сівозмін (табл. 3.5).

Розроблена градація забезпеченості калієм носить уточнювальний характер для конкретних ґрунтових умов і культур.

3.7. Вміст обмінного калію

Основним джерелом живлення рослин калієм є обмінна форма, відносний вміст якої у загальних його запасах може складати понад 2 % (Литвинович А. В., Павлова О. Ю. и др., 2006; Кучер Л. І., 2012). Вважають (Прянишников Д. Н., 1951; Турчина К. П., 2012), що обмінний калій

Таблиця 3.5

Градація чорнозему опідзоленого щодо здатності забезпечувати рослини обмінним калієм, мг K_2O/кг

Забезпеченість рослин калієм	В 1 М CH_3COONH_4 (метод Маслової)		У 0,5 М CH_3COONH_4 (метод Чирикова)	
	Діюча	Запропонована	Діюча	Запропонована
Дуже низька	50–100	< 130	< 20	<50
Низька	100–150	130–160	20–40	50–90
Середня	150–200	160–230	40–80	90–130
Підвищена	200–250	230–290	80–120	130–170
Висока	250–300	290–310	120–180	170–210
Дуже висока	> 300	> 310	>180	>210

є найближчим резервом для його переходу у ґрунтовий розчин. Під терміном «обмінний калій» мають на увазі іони калію, поглинені колоїдами ґрунту. Його вміст зазвичай становить близько 0,8–1,5 % (від 50 до 300 мг/кг ґрунту) від загального вмісту елемента у ґрунтах. У такій формі калій найдоступніший для рослин завдяки його здатності переходити у розчин під час обміну з іншими катіонами. Із розчину калій засвоюється найліпше, тому обмінний калій відіграє основну роль у живленні рослин. У процесі засвоєння калію з розчину в нього переходять все нові порції обмінного калію. Однак, чим більше його засвоюється, тим повільніше проходить процес переходу, а залишок елемента міцніше утримується в поглиненому стані. Тому вміст обмінного калію є важливим показником і слугує для оцінювання ступеня забезпеченості рослин калієм. Така форма елемента в більшій кількості зустрічається в чорноземах і сіроземах. У дерново-підзолистих і піщаних ґрунтах обмінного калію дуже мало (Горбунов Н. И., 1967; Важенин И. Г., 1975; Прокошев В. В., Дерюгин И. П., Ефремов Е. Н., 2005; Ярошко М., 2013).

Потенційна родючість чорноземів важкого гранулометричного складу характеризується підвищеною забезпеченістю засвоюваним калієм завдяки його значним запасам

у ґрунтоутворювальній породі, представленій зазвичай лесами і лесоподібними суглинками (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999).

На Волинській державній сільськогосподарській дослідній станції встановлено, що вміст обмінного калію в дерново-підзолистому ґрунті на абсолютному контролі починав зменшуватися лише після третьої, а на сірому опідзоленому ґрунті – вже з першої ротації сівозміни (Котвицький Б. Б., 2009).

Дослідженнями Л. І. Кучер (2012) встановлено, що мінімалізація обробітку ґрунту сприяла підвищенню вмісту обмінного калію в шарі 0–15 см на 9–11 мг/кг порівняно з аналогічним показником за оранки. Це обумовлено підвищенням рухомості цього елемента і поліпшення умов переходу іонів у ґрунтовий розчин.

Витрати калію добрив на збільшення вмісту обмінного калію на 10 мг K_2O/кг ґрунту змінюється від 62 кг/га K_2O до 425 кг/га K_2O (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999). Вважається, що оптимальний вміст обмінного калію для чорнозему опідзоленого – 100–140 мг/кг (Акулов П. Г., 1994; Лукин С. В. и др., 2010).

Причина того, що за різкодефіцитного балансу калію вміст його обмінних форм в орному шарі впродовж тривалого часу змінюється несуттєво, пов'язана з високою ємністю катіонного обміну чорнозему. Вважається, що в результаті переходу калію в необмінну форму вміст його доступних форм після внесення добрив практично не збільшується. І навіть без застосування добрив, у зв'язку з постійним поповненням кількості обмінного калію за рахунок необмінних форм у процесі збереження динамічної рівноваги, концентрація доступного калію може тривалий час залишатися на незмінному рівні (Сискевич Ю. И., Никонова Г. Н., 2006).

Тривале внесення калійних добрив призводить до накопичення обмінного калію в орному та підорному шарах ґрунту. Застосування підстилкового гною також забезпечує

високе накопичення у ґрунтах обмінного калію і сприяє посиленню фіксації у необмінній формі (Жукова Л. М., 1974). Зі збільшенням ступеня еродованості чорноземів вміст обмінного калію зазвичай збільшується (Каштанов А. Н., Явтушенко В. Е., 1997).

Встановлено, що в результаті 50-річного застосування різних систем удобрення та доз добрив у сівозміні вміст обмінних сполук калію підвищувався як в орному, так і в підорних шарах ґрунту (табл. 3.6). При цьому найбільше його містилося в метровому шарі ґрунту на ділянках, де калійні добрива вносили у високих дозах.

Таблиця 3.6

Вміст обмінного калію у ґрунті після тривалого (з 1965 р.) **застосування добрив у польовій сівозміні** (2015 р.), мг/кг

Варіант досліду	Шар ґрунту, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Без добрив (контроль)	161	135	124	127	134
$N_{45}P_{45}K_{45}$	189	150	126	126	132
$N_{90}P_{90}K_{90}$	210	162	132	124	128
$N_{135}P_{135}K_{135}$	232	181	140	130	128
Гній 9 т	187	150	125	126	126
Гній 13,5 т	199	158	128	127	125
Гній 18 т	214	165	131	130	129
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	196	162	125	125	125
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	206	180	126	127	126
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	237	192	130	129	126
$НІР_{05}$	9	9	8	6	7

Найбільше обмінного калію накопичилося в шарі ґрунту 0–20 см. Це зумовлено тим, що у цьому шарі підвищений вміст органічних речовин, сприятливі умови для біологічної акумуляції та висока ємність вбирного комплексу ґрунту. Зв'язаний з рослинними рештками калій досить рухомий і в процесі їх мінералізації та обмінних реакцій переходить в доступну для рослин форму. У результаті

50-річного застосування добрив вміст обмінного калію в шарі ґрунту 0–20 см був вищим порівняно з контролем за всіх варіантів удобрення: за мінеральної системи на 17–44 %, органічної – 16–33 і за органо-мінеральної на 22–47 %. Згідно з прийнятою градацією (див. табл. 3.5) забезпеченість ґрунту в орному шарі обмінними сполуками калію є високою (151–200 мг K_2O/кг) і дуже високою (більш як 200 мг K_2O/кг).

Найсприятливішими для підвищення вмісту обмінної форми калію були варіанти досліду з внесенням потрійних доз добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення. Його кількість при цьому зростала відповідно на 71 мг/кг та 76 мг/кг ґрунту порівняно з варіантом без застосування добрив. Така ж сама закономірність спостерігалася і в підорному шарі ґрунту. Добрива сприяли підвищенню вмісту обмінного калію в шарі ґрунту 20–40 см залежно від дози і систем удобрення на 11–42 %.

Вплив внесених добрив на вміст обмінних сполук калію у ґрунті на глибині 40–80 см був значно слабший, ніж у верхніх шарах. При цьому максимальне зростання його вмісту спостерігалось у варіантах із застосуванням мінеральних добрив у дозі 135 кг/га K_2O та гною у дозі 18 т/га і склало відповідно 2–12 % та 2–5 % у порівнянні з контролем. У шарі ґрунту 80–100 см вміст обмінних сполук калію на всіх дослідних ділянках, судячи за показником $НІР_{05}$, був на одному рівні. Слабка міграція калію по профілю ґрунту пояснюється переходом обмінного калію в необмінну форму (Рубин С. С., 1974; Носко Б. С., Лисовой Н. В., Столяр В. М., 1996; Господаренко Г. М., 2002; Лямцева Е. Г., Иванова А. И., 2008; Лопушняк В. І., 2015).

Стосовно впливу органічних і мінеральних добрив на вміст обмінних сполук калію в орному шарі ґрунту існують суперечливі дані. Одні вчені (Гринченко А. М., Чесняк Г. Я., 1964; Жукова Л. М., 1974) вважають, що більше обмінного калію накопичується за органічної системи удобрення завдяки тривалішій взаємодії з ґрунтом, другі

(Рощина Г. Д., Пестряков А. М., 1983) – за мінеральної, треті (Аркуша В. Е., Буджерак А. И., 1983) надають перевагу органо-мінеральній системі удобрення. Проте проведеними дослідженнями не виявлено значної переваги тієї чи іншої системи удобрення після 50-річного застосування їх у польовій сівозміні.

Отже, тривале застосування добрив сприяє накопиченню обмінних сполук калію лише у верхніх шарах ґрунту, що свідчить про відсутність його втрат у результаті вимивання. Ця форма калію може бути використана культурами польової сівозміни в майбутньому.

3.8. Необмінно-гідролізований і жорсткозв'язаний калій

На участь небмінного калію в живленні рослин вказував ще К. К. Гедройц (1955), що потім було підтверджено низкою спеціальних дослідів (Пчелкин В. У., 1996). В оптимізації живлення рослин необмінний калій має велике значення, оскільки іноді становить близько половини загального його вмісту і здатний переходити в обмінні форми (Гедройц К. К., 1935). Тому для більш повної характеристики калійної складової родючості ґрунту потрібно врахувати і необмінні сполуки калію, які слугують резервом поповнення запасів доступного калію (Лопушняк В. І., 2013). Завдяки фіксованому калію рослини задовольняють до 60 % загальної потреби у цьому елементі живлення (Никитишен В. И., 1984).

Необмінний калій включає в себе природний необмінний калій і необмінно-фіксований калій добрив. Використання їх рослинами відбувається через обмінну форму, але перехід цих форм в обмінний стан відбувається по-різному. Вилучення природного необмінного калію, що входить до складу кристалічної ґратки, відбувається під час руйнування її основи, пов'язане з великою витратою енергії і тому відбувається дуже повільно в процесі вивітрювання

ґрунту (Могилевкина И. А., 1970). Перехід фіксованого калію добрив в обмінний стан проходить відносно легко і не потребує перебудови самої ґратки. Використання фіксованого калію добрив часто розпочинається раніше, ніж вміст обмінного калію досягне мінімального або близького до нього рівня (Медведева О. П., 1983).

Необмінний, або фіксований, калій входить до складу алюмосилікатних мінералів, які поєднані міцними зв'язками. Це переважно калій польових шпатів, який є малодоступним для рослин. У свою чергу, під впливом води з розчиненою в ній вугільною кислотою, зміни температури та діяльності ґрунтових мікроорганізмів відбувається поступове розкладання цих мінералів з утворенням розчинних солей калію. Завдяки вивітрюванню польових шпатів і фізико-хімічним процесам, що відбуваються у ґрунті, калій вивільнюється з кристалічних ґраток мінералів і на не удобрюваних ґрунтах є основним джерелом живлення рослин (Никитишен В. И., 1984).

Тривале внесення середніх доз калійних добрив сприяє формуванню запасу потенційно доступного калію завдяки збільшенню вмісту його необмінної форми (Тюрникова Е. Г., Титова В. И. и др., 2011). Проте темпи переходу необмінної форми калію у водорозчинну відбуваються повільніше, ніж інтенсивність засвоєння його рослинами (Господаренко Г. М., 2002).

Активність закріплення необмінного калію у ґрунті залежить від наявності в ньому глинистих мінералів. Високий вміст органічних речовин і кальцію посилюють закріплення калію в необмінний формі (Цвей Я. П., Мазур Г. М., 2001; Минеев В. Г. 2006; Іваніна В. В., 2014).

Катіон K^+ може займати *i*-, *e*- і *p*-позиції у кристалічній ґратці мінералів (Schouwenburg J., Schuffeien A., 1963; Becktt P. H. T., 1967). Міжплощинний *i*-калій фіксується необмінно і безпосередньо недоступний для рослин, в той час як катіони K^+, що знаходяться на кутових *e*- і особливо поверхневих *p*-позиціях, легко вступають в

обмінні реакції і добре доступні рослинам. Ступінь селективності цих зв'язків визначає динамічну рівновагу між вмістом калію у ґрунтовому розчині та калієм, сорбованим глинистими мінералами (Никитишен В. И., 1984).

Встановлено (Rich C. I., 1968), що вивітрювання польових шпатів відбувається лише з поверхні мінералів і проходить досить повільно. При цьому іон K^+ заміщується $Al(OH)_2^+$, що захищає збіднений на калій шар мінералу від подальшого вивітрювання. В процесі вивітрювання слюди, втрачаючи іони K^+, перетворюються в ілліт і вермикуліт (Farmer V. C., 1970). Ці мінерали мають у міжпакетних шарах кристалічної ґратки специфічні місця, які займають іони K^+. По мірі витіснення K^+ іншими катіонами кристалічний зв'язок між шарами пакетів послаблюється і мінерал розширюється, що сприяє його вивітрюванню. Підвищення кислотності ґрунту сприяє посиленню вивітрювання вторинних мінералів завдяки здатності іонів H^+ витісняти K^+ з міжпакетного простору. При введенні K^+ між шари пакетів кристалічної ґратки іллiту та вермикуліту і витісненні інших катіонів спостерігається протилежний процес і K^+ фіксується в необмінному стані (Rich C. I., 1968).

Доступність рослинам необмінно-фіксованого калію залежить від загальної кількості калію, фіксованого ґрунтом із добрив, тобто від величини калійфіксувальної здатності ґрунту, яка визначається його мінералогічним складом, зокрема вмістом у ґрунті мінералів з ґраткою, що розширюється. Чим вища калійфіксувальна здатність ґрунту, тим слабше калій утримується кристалічною ґраткою глинистих мінералів і легше переходить у доступний для рослин стан (Barshad I., 1998). Це пов'язано з тим, що зі збільшенням загальної кількості іонів калію знижується міцність зв'язку кожного з них з ґраткою внаслідок перерозподілу міжшарового заряду. Зі зменшенням кількості фіксованого калію сила, з якою іони його утримуються ґраткою, зростає, а доступність калію рослинам знижується (Медведева О. П., 1983).

Інертний калій колоїдів ґрунту можна розглядати як джерело поповнення його засвоюваних запасів для рослин. Для його визначення запропоновано застосовувати видозмінений метод К. К. Гедройца (Петербургский А. В., 1981), за яким у витяжку переходить 70–80 % загальної кількості калію, що знаходиться в колодній фракції ґрунту. Тому цей метод не дає повного уявлення про загальні запаси інертного калію у ґрунті, але дозволяє, в певній мірі, простежити його фіксацію з добрив.

Дослідження показали, що залежно від системи удобрення в сівозміні та доз добрив вміст необмінно-гідролізованого калію в шарі ґрунту 0–20 см, порівняно з показником на контролі, збільшився за органічної системи удобрення на 4–11 %, мінеральної – на 5–16 та органо-мінеральної – на 5–17 % (табл. 3.7). Застосування добрив упродовж п'яти ротацій 10-пільної сівозміни обумовило підвищення вмісту необмінно-гідролізованого калію, що свідчить про зростання його потенційних запасів завдяки високій вбирній здатності ґрунту. В цьому аспекті найбільші зміни відзначені за внесення потрійної дози добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення. Така кількість добрив сприяла збільшенню вмісту необмінного калію в шарі 0–20 см на 488–521 мг/кг, 20–40 см – на 379–409 і 40–60 см – на 190–259 мг/кг ґрунту відносно контролю. При цьому більший вплив на підвищення вмісту необмінно-фіксованих форм калію в шарі ґрунту 40–60 см був за мінеральної системи удобрення. Тобто за внесення мінеральних добрив ґрунт мав найвищу фіксувальну здатність.

В процесі оброблення ґрунту 2 н HCl екстрагується близько 4–6 % слабозв'язаних сполук калію, що досить легко переходять у доступну для рослин форму. Дослідженнями встановлено, що кількість калію цих сполук суттєво залежить від доз добрив і систем удобрення. В шарі ґрунту 0–20 см встановлено зростання вмісту калію слабозв'язаних сполук залежно від доз внесених до-

Таблиця 3.7

Вміст різних форм калію у ґрунті після тривалого (50 років) застосування добрив у польовій сівозміні, мг/кг

Варіант досліду	Форма калію								
	необмінно-гідролізована			слабозв'язана			жорсткозв'язана		
	Шар ґрунту, см								
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
Без добрив (контроль)	3097	2977	2856	139	115	106	2936	2842	2732
$N_{45}P_{45}K_{45}$	3257	3100	2975	164	129	107	3068	2950	2849
$N_{90}P_{90}K_{90}$	3398	3286	2996	176	137	114	3188	3124	2864
$N_{135}P_{135}K_{135}$	3585	3386	3115	184	143	118	3353	3205	2975
Гній 9 т	3208	3089	2906	133	127	107	3049	2939	2781
Гній 13,5 т	3289	3175	2951	155	134	111	3103	3014	2821
Гній 18 т	3425	3270	2986	175	133	112	3211	3105	2855
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	3237	3128	2909	170	140	105	3041	2966	2784
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	3390	3239	3024	169	154	106	3184	3059	2898
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	3618	3356	3046	186	149	107	3381	3164	2916
HIP_{05}	142	169	204	10	7	6	155	140	137

брив на 12–34 % відносно контролю. Внесення одинарної дози гною не забезпечувало підвищення вмісту сполук калію, які легко переходять у доступну для рослин форму.

Розподілення жорсткозв'язаної форми калію по профілю ґрунту та зміни його вмісту залежно від доз добрив і систем удобрення повторює виявлену закономірність вмісту необмінно-гідролізованого калію.

Встановлено, що під впливом тривалого застосування добрив у сівозміні на чорноземі опідзоленому відбувається підвищення вмісту жорсткозв'язаного калію відносно контролю за середніх і високих доз добрив за систем удобрення. Застосування одинарних доз добрив не сприяло істотному підвищенню вмісту жорсткоз'язаного калію у ґрунті відносно контролю, тоді як потрійні дози добрив

залежно від системи удобрення створили умови для підвищення цієї форми калію на 9–15 %.

Отже, вирощування сільськогосподарських культур без застосування добрив призводить до збіднення ґрунту на необмінно-фіксовані сполуки калію. Це вказує на його калійне виснаження внаслідок переходу калію в більш рухомі форми і вилучення з урожаями культур.

Під впливом добрив у ґрунті проходить накопичення як слабозв'язаної, так і жорсткозв'язаної форм калію. Отже, доведено, що внесений у ґрунт з добривами калій, крім доступної для рослин форми, може переходити також у жорсткозв'язану.

3.9. Зміни у структурі калійного фонду ґрунту після тривалого удобрення

Калій мінерального скелету визначає його валові запаси у ґрунті. Він представлений ґрунтоутворювальними первинними і вторинними мінералами. Зазвичай їх калій для рослин недоступний (Прокошев В. В., 2005). У чорноземах переважають мінерали монтморилоніт, каолініт і гідрослюди. При цьому слюди найбагатші на калій. Різноманітність мінералогічного складу значно змінюється залежно від валового вмісту в них калію (Горбунов Н. И., 1978).

Дані про валовий вміст калію показують лише загальні його запаси у ґрунті. Більше його знаходиться в глинистих і суглинкових ґрунтах. Це пояснюється тим, що у ґрунтах важкого гранулометричного складу він входить до мінералів, які представлено мулистими фракціями (Минеев В. Г., 2006).

Валовий вміст калію в орному шарі ґрунту в 5–50 разів перевищує вміст азоту і в 8–40 разів – вміст фосфору. При цьому кількісний вміст усіх форм калію у ґрунті визначається перш за все його гранулометричним складом і змінюється в широких межах: від 0,1 до 3–4 % (Ягодин Б. А., 2002; Прокошев В. В., 2005). Крім того, ґрунти важкого гранулометричного складу вирізняються підвищеною фіксацією калію (Чен Фан, Хе Пинг, Ли Шутиан, 2013).

За тих чи інших умов, що порушують стабільність вмісту у ґрунті форм калію, ґрунт намагається повернутися до стійкого співвідношення. Високі валові запаси дозволяють підтримувати генетичний статус ґрунту за принципом гомеостазу екосистеми трансформацією сполук цього елемента (Тютюнов С. И., Воронин А. Н., Никитин В. В. и др., 2014).

Валовий вміст калію у ґрунті не завжди характеризує забезпеченість ним рослини, тому що у ґрунті буває лише біля 1 % валових запасів, що доступні рослинам (Джин Е. Лестер, Дональд Дж. Макус, 2012).

Вміст валового калію у ґрунті мало змінюється з часом і в процесі його сільськогосподарського використання. За даними Л. М. Жукової (1974) тривале застосування мінеральних добрив і гною дещо збільшує загальний вміст калію в чорноземних ґрунтах. Проте низка вчених (Гринченко А. М., Чесняк Г. Я., Чесняк О. А., 1964; Чесняк Г. Я., 1987) стверджує, що систематичне застосування мінеральних і органічних добрив істотно не впливає на його валові запаси у ґрунті. Розподіл валового калію по профілі основних типів ґрунтів рівномірний, особливо коли ґрунтоутворювальною породою є лес і лесоподібні суглинки (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999).

Дослідженнями встановлено, що вміст валового калію на ділянках без застосування добрив у шарі ґрунту 0–20 см був високий і складав 2,20 % (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Вміст валового калію у ґрунті після тривалого (1965–2014 рр.) **застосування добрив у польовій сівозміні**, %

Варіант досліду	Шар ґрунту, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Без добрив (контроль)	2,20	2,25	2,27	2,31	2,30
$N_{135}P_{135}K_{135}$	2,22	2,26	2,30	2,29	2,32
Гній 18 т	2,18	2,23	2,31	2,30	2,28
$НІР_{05}$	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13

Тривале внесення навіть потрійної дози мінеральних добрив (135 кг K_2O/га сівозмінної площі) не сприяло істотному підвищенню вмісту валового калію у ґрунті.

Дослідженням зміни вмісту форм калію у ґрунті за їх сільськогосподарського використання присвячено цілу низку робіт (Пчелкин В. У., 1966; Забавская К. М., 1970; Прокошев В. В., 1984; Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф., Черных И. Н., 1988; Черно О. Д., 1996; Убугунов Л. Л., Убугунова В. И., 1999; Якименко В. Н., 2000; Богдевич И. М., Лапа В. В., Барашенко В. В. та ін., 2000; Демин В. А., Муса А., 2002; Носов В. В., 2002; Беляев Г. Н, 2005; Окороков В. В., 2005; Кучер Л. І., 2012; Носко Б. С., Гладкіх Є. Ю., 2012; Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е., 2013).

Встановлено, що вміст і форми калію у ґрунті визначаються гранулометричним складом і природою глинистих мінералів. За вмістом валового калію між піщаними і важкосуглинковими ґрунтами спостерігаються досить істотні відмінності. Зазвичай чим важчий ґрунт, тим більше в ньому мулистих часточок і вищий валовий вміст калію. Калій у ґрунті міститься в різних формах. У складі первинних і вторинних мінералів його не менш як 91 %, в обмінній формі – в межах 0,5 – 2 %, у складі післязбиральних решток – до 0,05 %.

Калійна система ґрунту є відкритою поліморфною і поліскладовою термодинамічною системою, в якій постійно відбуваються самовільні, енергетично вигідні процеси розпадання та руйнування, що врівноважуються процесами синтезу (Медведева О. П., 1983; Ермохин Ю. И., 1995; Носко Б. С., Гладкіх Є. Ю., 2012). Вміст розчинного у воді калію не перевищує 0,2–0,4 %, а обмінного – 1,5–2,0 % від загальної кількості у ґрунті. Сума розчинних форм складає 5–10 % від валових запасів калію (Носко Б. С., Лисовой Н. В., Столяр В. М., 1996). Забезпеченість ґрунту рухомими формами калію залежить від їх вмісту в окремих гранулометричних фракціях, а також відносної кількості самих фракцій. Тому визначення ролі різних ґрунтових

часточок в забезпеченні рослин калієм і функціонуванні ґрунтового калійного режиму дозволяє більш повно оцінити родючість ґрунту за цим елементом (Воронин А. Н., 2013).

Спеціальними дослідженнями було виявлено значення різних гранулометричних фракцій ґрунтів у функціонуванні їх калійного режиму. Встановлено, що забезпеченість рослин калієм, режим і масштаби мобілізації ґрунтового калію залежить від ступеню участі різних пилових фракцій і мулу (Якименко В. Н., 1999; Андрієнко В. О., Марчук І. У., Яценко Л. А., 2000).

Максимальна кількість внесеного у ґрунт калію фіксується в пиловій (0,002–0,05 мм) і тонкопіщаній (0,05–0,25 мм) фракціях ґрунту, де зазвичай зосереджений вермикуліт (Носов В. В., 2013).

Відомі численні дослідження основних чинників, що контролюють режим калійного живлення рослин, поведінку калію у ґрунті, його здатність до необмінної сорбції калію тощо (Лисовал А. П., 1986; Дмитрук Ю. М, Вархол О. В., Гамак Н. Д., 2008). Встановлено, що у ґрунтовому профілі стан і режим калію тісно пов'язані з мінералогічним і гранулометричним складом ґрунтоутворювальних порід, їх фізико-хімічними властивостями.

Аналіз профільного розподілу форм калію показує, що чітко проявляється двочленна диференціація ґрунтової товщі за вмістом обмінного та особливо необмінного калію, тобто верхні генетичні горизонти збіднені ними, а нижні збагачені. На це суттєво впливає вміст глинистих мінералів (зокрема з групи слюд і гідрослюд), які мають закономірності профільного розподілу в різних типах ґрунтів (Прокошев В. В., 1985).

Запаси доступного рослинам калію обмежені на всіх типах ґрунтів. Причиною погіршення забезпеченості сільськогосподарських культур калієм може бути не лише абсолютне зниження його кількості, але й послаблення здатності ґрунту підтримувати свій вихідний стан (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000).

Тривале систематичне застосування органічних і мінеральних добрив як окремо, так і сумісно впродовж п'яти ротацій 10-пільної сівозміни сприяло збільшенню вмісту усіх форм калію у ґрунті (табл. 3.9). У варіанті без добрив та у варіантах першого рівня досліджуваних систем удобрення було найнижче співвідношення всіх форм калію до його валового вмісту.

Таблиця 3.9

Вміст різних форм калію у ґрунті після тривалого (1965–2014 рр.) **застосування добрив у польовій сівозміні,** % від валового

Варіант досліду	Шар ґрунту, см	Форма калію					
		легкорозчинна	рухома	обмінна	необмінно-гідролізована	слабозв'язана	жорсткозв'язана
1	2	3	4	5	6	7	8
Без добрив (контроль)	0–20	0,08	0,44	0,61	11,70	0,52	11,04
	20–40	0,07	0,37	0,50	11,04	0,42	10,46
	40–60	0,07	0,32	0,45	10,38	0,38	9,88
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0–20	0,09	0,51	0,71	12,28	0,61	11,54
	20–40	0,07	0,45	0,56	11,45	0,47	10,87
	40–60	0,07	0,34	0,46	10,79	0,39	10,29
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0–20	0,12	0,58	0,79	12,78	0,66	12,04
	20–40	0,09	0,43	0,60	12,12	0,51	11,54
	40–60	0,07	0,35	0,48	10,87	0,42	10,38
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0–20	0,18	0,63	0,87	13,53	0,70	12,62
	20–40	0,14	0,48	0,67	12,53	0,53	11,87
	40–60	0,08	0,37	0,51	11,29	0,42	10,79
Гній 9 т	0–20	0,10	0,43	0,60	12,12	0,50	11,45
	20–40	0,08	0,42	0,56	11,37	0,47	10,87
	40–60	0,07	0,33	0,46	10,54	0,39	10,04
Гній 13,5 т	0–20	0,12	0,50	0,70	12,37	0,58	11,70
	20–40	0,10	0,47	0,60	11,70	0,50	11,12
	40–60	0,07	0,33	0,43	10,71	0,40	10,29
Гній 18 т	0–20	0,15	0,57	0,81	12,87	0,66	12,12
	20–40	0,12	0,49	0,61	12,12	0,49	11,45
	40–60	0,07	0,34	0,47	10,79	0,41	10,29

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8
$_4K_{18}$	0–20	0,10	0,52	0,74	12,20	0,64	11,45
	20–40	0,08	0,43	0,60	11,54	0,51	10,96
	40–60	0,07	0,32	0,46	10,54	0,38	10,04
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	0–20	0,14	0,56	0,77	12,78	0,64	12,04
	20–40	0,10	0,47	0,66	11,95	0,57	11,29
	40–60	0,07	0,32	0,46	10,96	0,38	10,46
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	0–20	0,19	0,63	0,90	13,61	0,70	12,70
	20–40	0,16	0,51	0,71	12,37	0,55	11,70
	40–60	0,08	0,33	0,47	11,04	0,39	10,54

За внесення добрив у чорнозем опідзолений суттєво зростає частка легкорозчинних сполук калію відносно рухомої форми цього елементу (рис. 3.2).

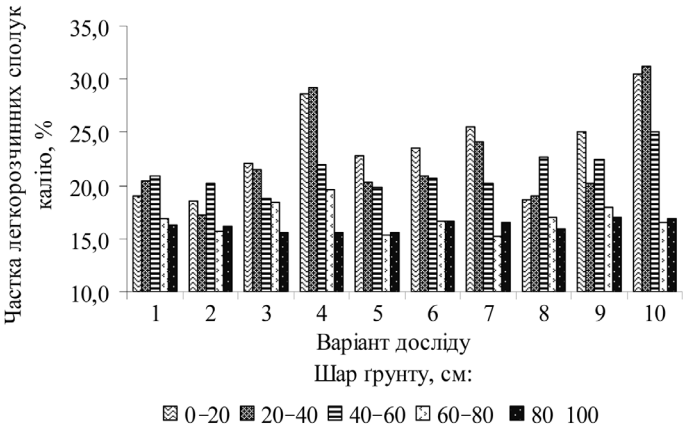

Рис. 3.2. **Частка легкорозчинних від рухомих сполук калію у ґрунті після тривалого (1965–2014 рр.) застосування добрив у польовій сівозміні: 1) без добрив (контроль); 2) $N_{45}P_{45}K_{45}$; 3) $N_{90}P_{90}K_{90}$; 4) $N_{135}P_{135}K_{135}$; 5) Гній 9 т; 6) Гній 13,5 т; 7) Гній 18 т; 8) Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$; 9) Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$; 10) Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$**

Особливо чітко проявляється ця тенденція у варіантах з потрійними дозами добрив, де частка легкорозчинних

форм калію від рухомих в орному шарі склала 25,5–30,5 %, а в підорному – 24,1–31,2 %, що в середньому перевищує показники у контрольному варіанті на 8,5 %. За внесення одинарних доз мінеральних добрив за мінеральної та органо-мінеральної системи удобрення виявлено зниження частки легкорозчинних форм калію відносно рухомих.

Це можна пояснити тим, що калій у складі мінеральних добрив знаходиться в легкорозчинній формі і засвоюється рослинами відразу ж, що в свою чергу підвищує врожайність сільськогосподарських культур та винесення ними калію, але цієї дози не достатньо для підвищення вмісту легкорозчинної форми калію у ґрунті. Калій, що міститься у гної, знаходиться у складі органічних речовин важче переходять у ґрунтовий розчин, тому рослини у таких умовах використовують інші форми калійних сполук чорнозему опідзоленого.

Аналіз частки рухомих сполук калію від необмінно-гідролізованих вказує на те, що за внесення добрив у ґрунт відбувається поповнення як доступних для рослин форм калію, так і необмінних форм (рис. 3.3).

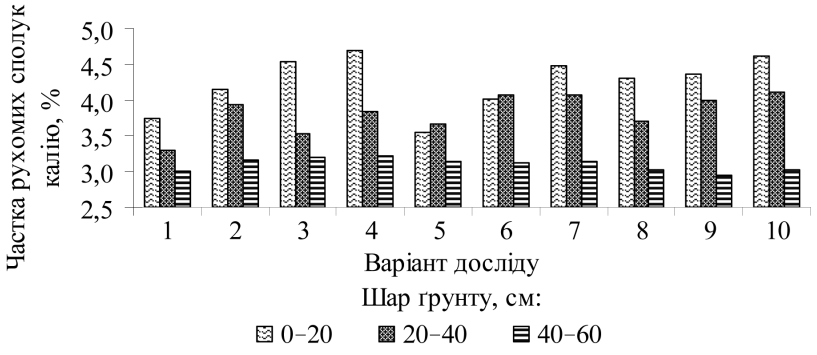

Рис. 3.3. **Частка рухомих від необмінно-гідролізованих сполук калію у ґрунті після тривалого (1965–2014 рр.) застосування добрив у польовій сівозміні: 1) без добрив (контроль); 2) $N_{45}P_{45}K_{45}$; 3) $N_{90}P_{90}K_{90}$; 4) $N_{135}P_{135}K_{135}$; 5) Гній 9 т; 6) Гній 13,5 т; 7) Гній 18 т; 8) Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$; 9) Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$; 10) Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$**

Частка рухомих форм калію відносно необмінно-гідролізованої форми у чорноземі опідзоленому за всіх систем удобрення залежно від шару ґрунту склала від 3 до 5 %. Вниз по профілю ґрунту ця частка знижувалась. Очевидно це обумовлено появою карбонатів, високим вмістом калію в материнській породі та більшою фіксацією калію ґрунтом.

Отже, калійний фонд чорнозему опідзоленого зазнає помітних змін за тривалого систематичного внесення мінеральних та органічних добрив. Застосування добрив зумовлює створення стійкої рівноваги процесів обміну калію між доступними та необмінними формами у ґрунті. При вирощуванні сільськогосподарських культур без застосування калійних добрив може наступити суттєве зниження їх урожай. Тому внесення калійних добрив є обов'язковою складовою раціонального природокористування і відновлення родючості ґрунту.

3.10. Термодинамічні показники калійного стану ґрунту

Калій в рослини надходить головним чином за рахунок дифузного потоку у відповідності до градієнту його концентрації у ґрунтовому розчині. Лише незначна кількість калію може надходити завдяки контактному обміну і масовому потоку. Абсолютна величина вмісту калію у ґрунті не відображає ступеню забезпеченості рослин цим елементом. Рослини можуть засвоювати калій як із обмінно-поглиненного стану, так і з ґрунтових мінералів (Авакян Н. О., 1972; Прокошев В. В., Матерова Е. А., Грекович А. Л., 1978; Петербургский А. В, Репина О. А., 1981). Тобто, здатність ґрунту забезпечувати рослини калієм пов'язана не лише з його кількісними показниками в обмінно-поглиненому стані, а й з можливістю переходу його з твердої фази у ґрунтовий розчин для підтримання відповідної концентрації (Медведева О. П., 1968; Авакян Н. О., 1970).

З цією метою було запропоновано різні діагностичні методи визначення природи живлення рослин із ґрунто-

вих запасів. Основними параметрами здатності ґрунтів забезпечувати рослини доступним калієм є кількісні. Серед них ті, що визначають вміст обмінного і необмінного калію у ґрунті; показники активності (концентрації) або активність калію в рідкій фазі і параметр мобільності – швидкість переходу за одиницю часу з відповідної площі кореневої поверхні (Shoroeder P., 1975). Тому роль калію в генезисі ґрунтів, формуванні їх властивостей і родючості можна визначити з допомогою двох принципово різних методів. Перший із них заснований на характеристиці калійного стану, що визначається за допомогою емпіричних витяжок, які імітують дію рослин на ґрунт. Вони умовно поділяються за розчинністю та міграційною здатністю. Другий – заснований на застосуванні законів термодинаміки. Вчені Д. С. Орлов (1967), В. І. Савич (1986), А. А. Понізовський, Д. Л. Пінський і Л. А. Воробйова (1986), Н. В. Князев (1988), М. Ш. Шаймухаметов (1991) вважають, що застосування законів термодинаміки має велике теоретичне і практичне значення в розумінні теорії ґрунтових процесів, регулюванні ґрунтових режимів і розробленні діагностичних показників для оцінювання рівня вмісту та доступності елементів живлення.

Термодинамічні дослідження дають можливість отримувати додаткові дані, що підтверджують результати визначень можливої доступності елементів і достовірніше характеризують стабільність забезпеченості ґрунту тим чи іншим елементом живлення (Никитина Л. В., Шаймухаметов М. Ш., Бабарина Х. А., 1991; Чешко Н. Ф., 2015).

У низці досліджень (Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Чешко Н. Ф., 2004; Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Чешко Н. Ф., 2006; Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Соколова Н. Ю., 2007) буферним властивостям ґрунтів надається пріоритетне значення в діагностуванні їхнього поживного режиму. Калій-буферну діагностику застосовують для того, щоб визначити, наскільки поглинальний комплекс певного ґрунту здатний підтримувати оптималь-

ну концентрацію калію у ґрунтовому розчині за умов інтенсивного удобрення й хімічної меліорації та винесення калію з урожаєм. За результатами буферної діагностики можна передбачити ефективність застосування різних видів добрив і меліорантів для оптимізації поживного режиму конкретного ґрунту та обрати шляхи усунення можливих екологічних ризиків.

Чим вища калій-мобілізаційна здатність ґрунту, тобто його здатність поновлювати використаний рослинами калій ґрунтового розчину завдяки резервних, недоступних рослинам запасів калію, тим менше ґрунт потребує внесення калійних добрив (Зубковська В. В., 2015; Чешко Н. Ф., 2015).

Фіксацію калію ґрунтом і здатність віддавати фіксований калій добрив під час зниження вмісту більш доступних форм можна розглядати як проявлення його калійної буферної здатності. Процес фіксації калію – позитивне явище, яке оберігає калій добрив від вилуження і надмірного, нераціонального використання рослинами, особливо в початковий період росту, коли потреба рослин у ньому невисока (Медведева О. П., 1983).

Основною формою, що відображає рівень забезпеченості ґрунту засвоюваним калієм і характеризує його родючість, вважають обмінний калій, який входить до складу колоїдного комплексу і є безпосереднім джерелом живлення рослин (Кулаковская Т. Н., 1990). Калійну функцію ґрунту можна ефективно діагностувати на основі побудови графічної моделі калій-буферної здатності. При цьому поняття «буферності» визначає ту частину внутрішнього енергетичного потенціалу ґрунту, яка обумовлює процеси іммобілізації (депонування) і мобілізації (вивільнення) відповідного елемента родючості (Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., 2003).

Різні ґрунти за близьких значень калійного потенціалу можуть мати різну здатність протидіяти зміні калійного потенціалу під впливом рослинності. Більш повну характеристику калійного стану ґрунту і забезпеченості рослин

калієм дає величина потенційної буферної здатності ґрунтів (PBC^K) відносно калію, тобто здатності ґрунту підтримувати активність іонів калію у ґрунтовому розчині на порівняно постійному рівні – незалежно від винесення калію рослинами або внесення з добривами (Середина В.П., 2003; Філон В. І., Білецька Н. Є., 2008) . Величина $PBC^к$ виражає залежність між чинником «інтенсивності» (I), загальною кількістю рухомого калію у ґрунті – чинником «ємності» (Q), що виражається таким рівнянням:

$$PBC^K = \frac{Q}{I},$$

де Q – кількість рухомих сполук калію у ґрунті, смоль/кг ґрунту;

I – відношення $^aK^+ \Big/ \sqrt{^aCa^{2+}}$.

Під потенційною буферною здатністю ґрунтів відносно елементів живлення розуміють його здатність підтримувати активність іонів на певному рівні (Орлов Д. С., 1985). Інколи під потенційною калійною буферністю ґрунтів мають на увазі здатність підтримувати на постійному рівні калійний потенціал (Філон В. І., Білецька Н. Є., 2008).

Калійна буферність ґрунтів значно обумовлена запасами обмінної і необмінної форм калію. Поведінка калію у ґрунті визначається буферними механізмами, які можуть функціонувати у двох протилежних напрямках – поглинання його ґрунтом і мобілізацією, тобто переходу у ґрунтовий розчин. Кожен ґрунт володіє генетично-зумовленою кривою буферності відносно калію і, відповідно, показниками, які характеризують його буферні властивості (Лобова О. В., 2014). Тобто крива буферності відображає динаміку найдоступнішої рослинам частини калію. Відхилення кривої буферності ґрунту від так званої «нуль-буферності» характеризує буферну ємність (Трускавецький Р. С., 2003; Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Чешко Н. Ф., 2006). Показники буферності залежать від генетичної природи ґрунту і характеризують його схильність до окультурювання чи деградації (Трофименко П. І. , 2005).

Слід звернути увагу на такий показник буферності, як коефіцієнт асиметрії. Він має важливе агроекологічне значення. Найліпше, коли він низький, а з наближенням до нуля досягається повна симетрія. Тобто, якщо весь депонований ґрунтом калій, що впливає на його родючість, залишається доступним для рослин, не вимивається і легко переходить у ґрунтовий розчин із депонованих місць при зрушенні калійного потенціалу, то продуктивні функції таких ґрунтів найефективніші. Такі буферні механізми забезпечують стабільність поживного режиму ґрунту (Габріель А. Й., Цапко Ю. Л., Оліфір Ю. М., 2008).

Після тривалого (50 років) застосування добрив у польовій сівозміні у ґрунті визначали такі основні показники буферної здатності: буферну ємність в позитивному (БЄп) і у негативному (БЄн) крилах, або інтервалах навантажень, у балах; коефіцієнт буферної асиметрії (КБА) за співвідношення між різницею та сумою вищеназваних ємностей; загальний оцінювальний показник буферності (ЗОПБ) у балах.

Для побудови графічної моделі калій-буферності на горизонтальній осі відкладали значення калійних навантажень на ґрунт, а на вертикальній – відповідну цим навантаженням зміну концентрації калію у ґрунтовому розчині в показниках від'ємних десяткових логарифмів (рК).

Важливе значення для оцінювання агроекологічного стану за калійною функцією має чинник «інтенсивності», який визначається за місцезнаходженням на графіку калій-буферності відображувальної точки (ВТ), яка дорівнює від'ємному десятковому логарифму активності іонів калію і характеризує вихідну концентрацію потенційно доступного рослинам калію у ґрунті (Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., 2003). При цьому чим більше числове значення, тим нижча концентрація калію рухомих сполук у ґрунті (Зубковська В. В., 2016).

Встановлено, що найбільша концентрація калію спостерігалася в шарі ґрунту 0–20 см у варіанті досліду з вне-

сенням потрійної дози добрив (Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$) за органо-мінеральної системи удобрення, яка становила 3,74 одиниці рК (табл. 3.10). З глибиною по профілю ґрунту концентрація доступного калію знижувалася.

Таблиця 3.10

Показники калій-буферності ґрунту після тривалого (з 1965 р.) **застосування добрив у польовій сівозміні**, 2015 р.

Варіант досліду	Шар ґрунту, см	ВТ	Буферна ємність, бали		КБА	ЗОПБ, бали
			БЄп	БЄн		
Без добрив (контроль)	0–20	3,86	8,51	3,13	0,46	6,25
	20–40	4,02	14,10	2,02	0,75	4,04
	40–60	4,23	17,62	1,18	0,88	2,35
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0–20	3,96	7,60	2,62	0,49	5,23
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0–20	3,87	6,43	3,26	0,33	6,52
	20–40	4,25	20,38	1,07	0,90	2,15
	40–60	4,34	22,98	0,82	0,93	1,63
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	0–20	3,74	4,92	4,72	0,02	9,43
	20–40	3,96	13,19	2,30	0,70	4,59
	40–60	4,29	19,90	10,94	0,91	1,88

Буферна ємність є важливою характеристикою буферної здатності ґрунту. Чим вона більша, тим її важче «вичерпати» і тим самим зруйнувати внутрішні буферні структури ґрунту, які підтримують чинник «інтенсивності» (в цьому випадку концентрацію калію у ґрунтовому розчині). Тобто буферна ємність, як вказує Р. С. Трускавецький (2003), є надійним критерієм характеристики калійної складової, як складової родючості ґрунту.

Відомо, що БЄп характеризує іммобілізаційну або здатність ґрунту акумулювати елемент родючості, в нашому випадку калій, а БЄн – мобілізаційну здатність ґрунту, тобто вивільнювати калій у ґрунтовий розчин і, відповідно, постачати рослинам (Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Чешко Н. Ф., 2006).

Встановлено, що показник БЄн мав найбільші значення у верхньому шарі (0–20 см) чорнозему опідзоленого. Середньорічне внесення добрив у кількості 135 кг $К_2О$/га дещо підвищувало цей показник. Найсприятливіший вплив на БЄн мало сумісне застосування органічних і мінеральних добрив. Тобто, внесення гною поліпшує відновлювальні властивості ґрунту в разі виснаження його на калій. Вниз по профілю ґрунту цей показник дещо знижувався, але не суттєво (Нікітіна О. В., 2015).

Позитивне крило буферності характеризує енергію поглинання калію у ґрунтовій системі. Буферна ємність позитивного крила була значно більша, ніж негативного, що свідчить про високу здатність до поглинання (фіксації) ґрунтом іонів калію із ґрунтового розчину. Внесення добрив сприяло зниженню фіксувальної здатності чорнозему опідзоленого. Так, середньорічне застосування калійних добрив у дозі 45 кг/га $К_2О$ знизило БЄп у шарі ґрунту 0–20 см на 0,91 бали, у дозі 135 кг/га – на 2,08 бали, а сумісне внесення органічних і мінеральних добрив у дозі 135 кг/га у перерахунку на $К_2О$ на 3,59 бали порівняно з ділянками, де добрива не вносили.

Встановлено, що фіксувальна здатність чорнозему опідзоленого вниз по профілю зростала і в шарі 40–60 см перевищувала аналогічний показник шару 0–20 см на 9,11–16,55 бали.

Вважається, що фіксований калій слід розглядати як резервний, а не втрачений. Переважна його частина знаходиться в найдоступніших ділянках структур глинистих мінералів, тоді як природний калій, який залишився, накопичується зазвичай на найменш доступних ділянках. Найбільш ймовірно цей механізм такий: калій попадає в міжпакетний простір набряклого мінералу, наприклад монтморилоніту, який скорочується під час висушування і знижує доступність калію рослинам (Лобова О. В., 2014).

Зворотність процесу поглинання–мобілізації калію ґрунтом оцінюють за допомогою коефіцієнта асиметрії.

Як вказує Р. С. Трускавецький (2003), ідеально симетричного зворотного перебігу процесів реально у ґрунтах не існує. Чим ближче коефіцієнт буферної асиметрії до одиниці, тим гірше проявляються буферні механізми ґрунту з погляду доступності елемента живлення рослинам. Він визначається за відношенням між різницею та сумою буферних ємностей у від'ємному та додатному інтервалі навантажень згідно такої формули (Зубковська В. В., 2016):

$$КБА = (БЄп - БЄн) / (БЄп + БЄн).$$

Коефіцієнт буферної асиметрії (КБА) в шарі ґрунту 20–60 см свідчить про однобічне функціонування калійних буферних механізмів. Це підтверджується величинами буферних ємностей позитивного і негативного крила, що охарактеризовані вище.

У досліджуваних зразках ґрунту КБА зростав вниз по профілю чорнозему опідзоленого. Його максимум спостерігався в шарі ґрунту 40–60 см у варіанті досліду з внесенням потрійної дози мінеральних добрив ($N_{135}P_{135}K_{135}$).

Найліпші показники за коефіцієнтом буферної асиметрії зафіксовано в шарі ґрунту 0–20 см у варіанті досліду органо-мінеральної системи удобрення Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$ (КБА = 0,02).

Потенційна буферна здатність оцінюється загальним оцінювальним показником буферності (ЗОПБ). Вона прямопропорційна сумарному показнику додатної і від'ємної буферних ємностей та обернено пропорційна коефіцієнту асиметрії (Лобова О. В., 2014).

Встановлено, що на всіх удобрених ділянках порівняно з контролем без добрив суттєво підвищувався загальний оцінювальний показник буферності. Найбільше його зростання (до 9,43) спостерігалось у шарі ґрунту 0–20 см у варіанті досліду з внесенням органічних і мінеральних добрив. Цей факт є дуже важливим тому, що режими оптимального функціонування і саморегуляція високобуферних ґрунтів значно стабільніші. З глибиною цей показник знижувався.

Першим дослідником, який застосував закон діючих мас у відношенні до ґрунтових обмінних процесів, був Е. Н. Гапон (1937). В той ж час над питанням доцільності застосування вчення про ґрунтовий вбирний комплекс і закономірності фізичної хімії з метою вивчення процесів живлення рослин уже працювало чимало вчених: Б. П. Нікольський (1934), К. К. Гейдройц (1937), Т. Ф. Антипова-Каратаєва, І. Н. Антипов-Каратаєв (1940). Дещо пізніше R. Schofield (1955) і C. M. Woodrooff (1955) запропонували закон діючих мас для обґрунтування процесів мінерального живлення рослин. Забезпеченість рослин елементами живлення вони визначили не за загальними їх запасами у ґрунті, а за їх активністю під час надходження в рослини. Цей новий підхід до закону діючих мас знайшов подальший розвиток в роботах P. Arnold (1962), Н. О. Авакяна (1970), Н. А. Каннуникової, В. П. Коврига, Г. П. Дзюіна (1986), М. Ш. Шаймухаметова (1986), А. С. Меєровського, М. П. Самойловича, С. А. Касьянчика (1991) та інших учених.

Активність іонів солей є мірою їх реальної участі в хімічних реакціях. Це поняття введено для того, щоб до реальних розчинів можна було застосовувати закон ідеальних систем. Для ґрунтових процесів поняття активності стають необхідними, у зв'язку з тим, що відхилення від ідеальних систем ускладнюються гетерогенністю і багатофазністю ґрунту, а тому концентрація не може бути повною кількісною мірою складу тієї чи іншої складової у реальних розчинах.

За систематичного внесення калію у ґрунт рухомість його обмінної форми зростає, що пояснюється збільшенням кількості іонів калію у ґрунтовому вбирному комплексі і зниженням у зв'язку з цим енергії, з якою вони утримуються твердою фазою ґрунту (Чуприков Ю. П., 1974). Цим пояснюється той факт, що на ґрунтах з однаковим гранулометричним складом рухомість обмінного калію вища там, де більш високий його вміст у ґрунті (Прокошев В. В., 1984).

Нині для характеристики калійного режиму вчені все більше уваги звертають на показники активності іонів калію у ґрунтовому розчині тому, що вони разом з обмінним калієм точніше характеризують його стан у ґрунті, ніж один обмінний калій (Дараган Ю. В., Колесникова Л. П., 1980; Морозова Н. П., Краснощеков В. В., Князева Д. А., 1983). Величина активності може бути використана в таких випадках: як кількісна частка участі різних речовин у ґрунтово-хімічних реакціях; як термодинамічна характеристика стану різних елементів у ґрунті; як характеристика хімічного профілю ґрунту (Орлов Д. С., 1967). Тож вчені вважають, що аналітична концентрація калію у витяжках не може бути вичерпним критерієм для оцінювання його поведінки у ґрунті. Таким критерієм може бути лише активність іонів калію у ґрунтовому розчині (Орлов Д. С., 1968; Возбуцкая А. Я, 1998; Крупский Н. К., Паппорт Л. А., Александрова А. М., 1974; Дараган Ю. В. и др., 1982; Орлов Д. С. и др., 1991). Перші дослідження з визначення активності іонів калію безпосередньо у ґрунтових витяжках були зроблені Н. О. Авакяном (1953).

Активність іонів K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} ґрунтового розчину можна виміряти за допомогою іоноселективних електродів або розрахувати, якщо відомі концентрації компоненту та іонна сила розчину. Активність іонів калію та кальцію можна розрахувати за такою формулою:

$$a = c \cdot f,$$

де a – активність іону; c – його концентрація; f – коефіцієнт активності іону.

Коефіцієнт активності враховує всю сукупність сил, що діють у розчині: ступінь гідратації, електростатичну взаємодію між іонами, вплив міжіонних віддалей. Тобто, коефіцієнт активності може також бути використаний для загальної характеристики властивостей ґрунтового розчину у відношенні до різних іонів (Возбуцкая А. Я., 1968). Коефіцієнт активності іонів калію та кальцію розраховують за формулою Дебая-Гюккеля:

$$\lg = \frac{0{,}51 \cdot Zi\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}}$$

де f – коефіцієнт активності відповідного катіону кальцію або калію;

Z – валентність катіону (для кальцію $z = 2$, для калію $z = 1$);

I – іонна сила розчину.

Значення I визначають за формулою (Ulrich, 1961):

$$I = 3\ C_{Ca}^{2+} + C_{к}^{+},$$

де C_{Ca}^{2+} – концентрація іонів кальцію, мг/л;

$C_{к}^{+}$ – концентрація іонів калію, мг/л.

Було встановлено, що якщо на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому активність іонів калію на перелозі становила 9,5 моль/л 10^{-5}, то після внесення подвійних доз добрив за органічної, мінеральної і органо-мінеральної систем удобрення 30 років ця величина збільшилась в 1,4–1,8 рази (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Активність іонів калію після тривалого (з 1965 р.) **застосування добрив у польовій сівозміні** (1991–1993 рр.), моль/л 10^{-5}

Варіант досліду	Шар ґрунту , см							
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120	120–140	140–160
Переліг	9,50	6,00	4,03	3,73	4,22	4,03	3,73	3,73
Без добрив (контроль)	7,27	5,79	4,22	4,11	3,73	4,03	3,62	5,75
$N_{45}P_{45}K_{45}$	9,030	8,06	4,40	4,03	4,01	4,22	4,02	3,73
$N_{90}P_{90}K_{90}$	16,70	10,80	4,95	4,33	4,22	4,22	4,22	4,03
$N_{135}P_{135}K_{135}$	17,60	11,80	5,01	4,52	4,52	4,71	4,40	4,03
Гній 9 т	9,50	8,55	4,22	3,93	3,85	4,03	4,03	3,73
Гній 13,5 т	13,60	10,80	5,03	4,23	4,22	4,17	4,27	4,03
Гній 18 т	14,30	11,00	5,01	4,52	4,52	4,62	4,33	4,03
Гній 4,5 т+ $N_{22}P_{34}K_{18}$	9,63	8,45	4,27	4,17	3,85	4,03	4,03	3,73
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	13,70	10,80	5,02	4,33	4,22	4,32	4,27	4,03
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	14,70	11,80	4,95	4,68	4,52	4,52	4,37	4,03

Встановлено, що найменша активність іонів калію у ґрунті була на ділянках, де добрива не вносились. При цьому за 30 років вона зменшилась порівняно з перелогом в 1,3 рази. За внесення тільки одинарних доз добрив активність іонів калію підвищилась в 1,2–1,3 рази залежно від систем удобрення.

Застосування подвійних доз добрив збільшувало показники активності іонів калію в 1,9–2,3 рази. Перевагу при цьому мала мінеральна система удобрення. Пояснити це можна тим, що калій органічних добрив більш міцно утримується ґрунтовими колоїдами. Потрійні дози також підвищували активність іонів калію як в порівнянні з контролем (в 2,0–2,4 рази), так і з подвійними дозами добрив. З цього випливає, що поліпшення мінерального живлення рослин калієм, а значить і відповідно зростання врожайності культур може бути досягнуто зазвичай завдяки добривам.

Стосовно активності іонів калію по профілю ґрунту, отримані дані вказують на те, що її величина була більшою у верхніх шарах. В шарі ґрунту 20–40 см спостерігалася аналогічна закономірність, що і у верхньому, коли збільшення доз добрив приводило до зростання активності іонів калію, але при цьому значної різниці між системами удобрення не спостерігалось. Вниз по профілю величина активності іонів калію, зазвичай, зменшується. Найнижчі величини були характерні для найбільш глибоких шарів. Як зазначалося раніше, максимальні величини отримані були в шарі 0–20 см, при чому найвищі $17{,}610^{-5}$ моль/л – за внесення потрійної дози мінеральних добрив. Такий характер розподілу іонів калію вказує на те, що головна роль у перерозподілі концентрації та активності іонів калію по ґрунтовому профілі чорнозему опідзоленого належить рослинам. Біологічний колообіг приводить до накопичення калію у верхніх шарах, причому в найбільш рухомих його формах. Збагачення гумусом верхніх шарів ґрунту, очевидно, запобігає інтенсивному зв`язуванню калію гли-

нистими мінералами у т. ч. фіксацією в міжпакетних пустотах мінералів з лабільною кристалічною ґраткою.

Дослідженнями нами встановлено кореляційну залежність між активністю іонів калію та вмістом його обмінних форм. При цьому для шару 0–20 см коефіцієнт кореляції складав 0,9, для 20–40 см – 0,7.

Термодинамічний підхід до оцінки рівня забезпеченості ґрунті калієм поряд з визначенням величини активності іонів калію у ґрунті передбачає також визначення величини термодинамічного або «калійного» потенціалу. Нині для характеристики калійного фонду ґрунтів учені все більше користуються цим показником. Калійний потенціал (pK–0,5pCa), характеризує здатність катіонів калію ґрунтового вбирного комплексу переходити із твердої фази ґрунту у ґрунтовий розчин (Moss R., Beckett P., 1971).

За гіпотезою про динамічну рівновагу в обмінних реакціях обмін між кальцієм ґрунтового вбирного комплексу і калієм ґрунтового розчину відбувається за таким рівнянням:

$$2K^{+}_{р} + Ca^{2+}_{г} \rightarrow 2\ K^{+}_{г} + Ca^{2+}_{р},$$

де $K^{+}_{р}$, $Ca^{2+}_{г}$ – катіони калію та кальцію ґрунтового розчину;

$K^{+}_{г}$, $Ca^{2+}_{р}$ – катіони калію і кальцію ґрунтово-вбирного комплексу.

Обчислення енергії будь-якої реакції обміну між катіонами дозволяє охарактеризувати її з допомогою ізобарно-ізотермічного потенціалу, який називається ізобарним потенціалом або вільною енергією. Цю величину визначити не можна, але можна обчислити зміни для будь якої зворотної реакції. Це і буде калійним потенціалом. Він обчислюється за формулою

$$Z = -2{,}3\ RT\ (\text{pK}-0{,}5\ \text{pCa}),$$

де Z – зміна величини енергії у реакціях обміну;

R – газова стала = 1,987 кал/град;

T – абсолютна температура.

Обчислена за цією формулою зміна в кількості виділеної вільної енергії за зворотної реакції називається калійним потенціалом. У ньому випадку величина калійного потенціалу відповідає енергії, яку необхідно витратити, щоб замістити у ґрунтово-вбирному комплексі 1 моль обмінного калію половиною моля кальцію. Обґрунтування і виведення формули калійного потенціалу наведено в роботах М. Г. Синягиної (1966).

Зміни вільної енергії у реакціях обміну між катіонами можуть бути описані і через відношення активності

$$a_{К}^{+} \; / \; a_{Ca}^{2+},$$

де a_{K}^{+} – активність іонів калію;

a_{Ca}^{2+} – активність іонів кальцію та магнію.

Калійний потенціал характеризує міцність зв`язку обмінного калію. (Орлов Д. С. и др., 1991). Як індекс калійного режиму ґрунту це величина універсальна і може застосовуватися для всіх ґрунтів. Кожний ґрунт має своє оптимальне значення калійного потенціалу. Його можна виразити через активність іонів $К^{+}$ та $Са^{2+}$

$$КП = - \; lga_{K}^{+} \; - \; 0{,}5 \; lga_{Ca^{2+} + Mg^{2+}},$$

де a – активність вказаних іонів.

Калійний потенціал може служити індексом забезпеченості рослин калієм. Згідно з градаціями розробленими С. Вудруфом (Woodruf C. M., 1955), коли калійний потенціал становить понад 14,6–16,7 кДж/моль, рослини відчувають нестачу калію у ґрунті, при значенні калійного потенціалу в межах 10,5–14,6 кДж/моль рослини задовільно забезпечені калієм, коли величина калійного потенціалу нижче 10,5 кДж/моль – рослини добре забезпечені цим елементом (Орлов Д. С. и др., 1991).

Як зазначає Н. О. Авакян (1972), для ґрунтів Вірменії при значеннях рК–0,5рСа в межах 3,09–2,80 калійні добрива ще забезпечували приріст урожаю, а при значеннях 2,80–2,40 рослини були добре забезпечені калієм. Як встановила О. П. Медведєва (1968), на дерново-підзолистих

ґрунтах величини калійного потенціалу 1,40–1,50 відповідали вмісту 27 мг K_2O/кг ґрунту і більше. За даними А. В. Петербургзького і О. А. Репиної (1981) величина калійного потенціалу сірих лісових ґрунті в межах 1,80–2,40 відповідала сприятливим умовам калійного живлення зернових культур.

Проте, дані про можливість використання калійного потенціалу як діагностичного показника забезпеченості рослин калієм носять суперечливий характер (Соколова Е. Б., 1977). Дослідженнями Н. О. Авакяна (1972), І. І. Канівця і Л. Я. Бергулевої (1975), Ю. В. Дарагана зі співавторами (1980) встановлена можливість використання показника активності іонів калію та калійного потенціалу як критерію забезпеченості ґрунті в калієм. В той же час О. П. Медведєвою (1968) M. H. Nasady (1973) та іншими вченими встановлено, що величина калійного потенціалу мало змінюється під впливом добрив і не має переваг перед показниками вмісту обмінного калію у ґрунті.

Визначення калійного потенціалу не дає повної уяви про здатність ґрунтів підтримувати калійне живлення на відносно постійному рівні. Різні ґрунти за близьких значень калійного потенціалу можуть мати різну здатність протистояти його зміні залежно від засвоєння калію рослинами, що позначається на забезпеченні їх калієм. На цій основі Beckett P. H. T. і M. H. Nafagy (1964) запропонували визначити потенціальну буферну здатність ґрунту у відношенні до калію – PBC, що є постійною величиною і мало змінюється як при застосуванні калійних добрив, так при інтенсивному використанні калію сільськогосподарськими культурами. Вона виражає залежність між чинниками інтенсивності (калійним потенціалом) та ємності.

Як зазначалося вище, у зв`язку з суперечливими даними про можливість застосування калійного потенціалу як діагностичного показника, метою досліджень було визначити його після тривалого застосування добрив на чорноземі опідзоленому (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Вплив тривалого (з 1965 р.) застосування добрив на калійний потенціал чорнозему опідзоленого, 1991–1993 рр.

Варіант досліду	Шар ґрунту, см							
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120	120–140	140–160
Переліг	2,67	2,86	3,07	3,11	3,05	3,06	3,11	3,11
Без добрив (контроль)	2,78	2,94	2,09	3,02	3,07	3,03	3,04	3,19
$N_{45}P_{45}K_{45}$	2,72	2,71	2,98	3,03	3,08	2,99	3,07	3,08
$N_{90}P_{90}K_{90}$	2,48	2,63	2,97	2,99	3,01	2,96	3,02	3,05
$N_{135}P_{135}K_{135}$	2,40	2,60	2,94	2,99	2,99	2,95	3,00	3,04
Гній 9 т	2,70	2,73	3,01	3,08	3,20	3,08	3,04	3,08
Гній 13,5 т	2,51	2,65	2,94	3,00	3,05	3,06	3,02	3,06
Гній 18 т	2,41	2,58	2,92	2,99	3,03	2,95	3,04	3,04
Гній 4,5 т+ $N_{22}P_{34}K_{18}$	2,67	2,73	3,01	3,01	3,08	2,97	3,04	3,08
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	2,56	2,62	2,94	2,99	3,03	2,98	3,02	3,06
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	2,41	2,59	2,97	2,97	2,99	2,96	3,01	3,05

Оскільки калійний потенціал є алгебраїчною сумою від'ємних логарифмів активності іонів калію та кальцію, то це означає, що підвищення активності іонів калію у ґрунтовому розчині відповідає його зниженню. В той же час зменшення активності іонів кальцію підвищує калійний потенціал. Калійний потенціал можна розглядати як енергетичний показник, що характеризує перехід калію із твердої частини ґрунту у ґрунтовий розчин. Він показує відносну доступність калію рослинам: чим вище калійний потенціал, тим міцніше іони калію утримуються ґрунтом, тим вони менш доступні рослинам.

Встановлено, що найбільша величина калійного потенціалу була на ділянках, де добрива не вносились. За внесення одинарних доз добрив цей показник був майже на рівні перелогу. Внесення подвійних доз добрив привело до суттєвого зниження калійного потенціалу, що свідчить про покрашення умов живлення рослин калієм. Потрійні

дози добрив також зменшували величину калійного потенціалу, але значної різниці між другим і третім рівнями удобрення не спостерігалось, хоча тенденція до зменшення зберігалась.

Незважаючи на суттєве збільшення величини калійного потенціалу на неудобрюваних та малоудобрених ділянках порівняно з подвійними і потрійними рівнями удобрення, навіть варіанти з високими дозами добрив, за всіх систем удобрення в проведеному досліді за класифікацією C. M. Woodruf (1959) не можна вважати оптимально забезпеченими на цей елемент, оскільки величина калійного потенціалу була дещо вищою за 1,8–2,2.

У шарі ґрунту 20–40 см спостерігалась та ж сама закономірність, що і в шарі 0–20 см. Тобто величина калійного потенціалу зменшувалась під впливом добрив, але відносні його показники залишалися досить високими і за тією ж класифікацією рослини були недостатньо забезпеченими цим елементом.

Вниз по профілю ґрунту величина калійного потенціалу змінювалася в незначних межах. У шарі 80–100 см в усіх варіантах і системах удобрення вона була близькою до 2,99–3,08. Зниження величини калійного потенціалу пояснюється більшим зв`язком іонів K^+ з органічними, ніж з глинистими мінералами, а також тим, що іони калію активно накопичуються тут внаслідок біологічного колообігу, причому в легкорухомих формах сполук.

Отже, на чорноземі опідзоленому за тривалого застосування добрив визначення лише величини калійного потенціалу не може повною мірою характеризувати рівень забезпеченості рослин доступним калієм. Це підтверджує висновки О. П. Медведєвої (1968), M. H. Nasady (1973), про те, що калійний потенціал не має суттєвих переваг перед показником вмісту обмінного калію. Тому лише з застосуванням широкого спектру методів визначення вмісту калію різних сполук можна характеризувати доступність його запасів у ґрунті рослинами.

Встановлено, що систематичне внесення у сівозміні калію з органічними і мінеральними добривами у дозі 135 кг K_2O/га площі сівозміни значно поліпшує калій-буферні властивості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та підвищує активність іонів калію, що забезпечує оптимальне функціонування і саморегуляцію його калійного режиму.

Розділ 4.

ВИНЕСЕННЯ КАЛІЮ УРОЖАЯМИ І ЙОГО БАЛАНС У ҐРУНТІ ЗА ТРИВАЛОГО УДОБРЕННЯ

4.1. Вміст калію в урожаї сільськогосподарських культур

Досягнення високої продуктивності культур неможливе без забезпечення оптимального рівня їх живлення. Поглинання поживних речовин відбувається в результаті складних хімічних, фізичних, фізико-хімічних і фізіологічних процесів, перебіг яких здійснюється у ґрунті під час взаємодії з кореневою системою (Носко Б. С., Лисовой Н. В., Столяр В. М., 1996). Тому результатів аналізу ґрунту для підготовки прогнозу забезпеченості елементами живлення недостатньо. Більш точні дані отримують після аналізу рослин, оскільки зміна оптимального вмісту елементів живлення в них для різних типів ґрунтів не перевищує 5 % (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., Ефремов Е. Н., 2005).

В літературі доволі рідко приводять дані про вміст калію в зерні, де зазвичай середня величина 0,6 % на суху речовину. Це відбувається внаслідок того, що частіше всього акцент у дослідженнях роблять на загальне надходження калію в рослину (Павлов К. В., Новиков М. М., 2013).

Уміст калію в рослинах залежить від біологічних і сортових особливостей культур, ґрунтово-кліматичних умов, рівня застосування добрив та інших чинників і не є сталою величиною. Очевидно, саме тому вчені не мають одностайної думки щодо вмісту калію в рослинах. Так, деякі з них вважають, що зі збільшенням доз мінеральних добрив підвищується вміст калію і знижується вміст сухої речовин (Хлистовський А. Д., Касицький Ю. И, Бахтин Ю. И.,

1989; Зубковская В. В., 2015). Інші (Гетманец А. Я., Власюк С. И., Лаврентьев Н. М., 1985) – що значних змін у вмісті калію в сухій речовині рослин під дією добрив не відбувається.

Залежно від виду сільськогосподарської культури споживання калію суттєво змінюється (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000; Pettigrew W. T., Meredith W. J., Yong L. D., 2005) і зростає зі збільшення врожаю у зв'язку з ростом і розвитком вегетативної маси (Прокошев В. В., 2005).

Елементарний склад кожної культури здебільшого визначається її біологічними особливостями, яка зберігає притаманний лише їй обмін речовин. Тому, незважаючи на збільшення вмісту поживних речовин у ґрунті і доз добрив у 2–3 рази, вміст калію в перерахунку на суху речовину для кожної культури знаходиться фактично на одному рівні (Господаренко Г. М., 2002).

У проведених дослідженнях всі культури польової сівозміни значно різнилися між собою за вмістом калію, що зв'язано з їх біологічними особливостями та агроекологічними умовами вирощування (табл. 4.1). У відповідності з особливостями хімічного складу рослин, кількість необхідних для одержання врожаю елементів живлення була неоднаковою. Серед культур сівозміни найвищим умістом калію відзначалося зерно гороху (0,90–1,14 % K_2O на суху речовину), при цьому внесення добрив за усіх систем удобрення сприяли істотному підвищенню його вмісту. Дещо нижчим він був у зерні ячменю ярого (0,60–0,66 % K_2O у перерахунку на суху речовину), істотному підвищенню вмісту калію у ньому сприяли застосування лише високих доз добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення. У зерні пшениці озимої, залежно від попередників, уміст калію змінюється в межах 0,44–0,51 % K_2O на суху речовину. При цьому найвищі показники були за органо-мінеральної системи удобрення з подвійними та потрійними дозами добрив. Вміст калію в зерні кукурудзи істотно підвищувався за всіх рівнів і систем удобрен-

ня, але його було найменше порівняно із зерном інших культур (0,36–0,43 %). Уміст калію в перерахунку на суху речовину коренеплодів буряку цукрового, залежно від ланки розміщення їх у сівозміні, істотної різниці не мав і становив 0,82–1,14 % на суху речовину. При цьому внесення добрив істотно підвищувало вміст у ньому калію порівняно з контролем.

Отже, вміст калію в основній продукції в значній мірі зв'язаний з біологічними особливостями культур і майже не залежить від доз добрив і систем удобрення.

Таблиця 4.1

Вміст калію (K_2O) в основній продукції культур після тривалого (з 1965 р.) застосування різних доз добрив і систем удобрення в сівозміні (2012–2014 рр.), % на суху речовину

Варіант досліду		Культура сівозміни									
		Конюшина	Пшениця озима	Буряк цукровий	Кукурудза	Горох	Пшениця озима	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Буряк цукровий	Ячмінь ярий
Без добрив (контроль)		1,22	0,45	0,85	0,36	0,92	0,44	1,70	0,44	0,82	0,60
$N_{45}P_{45}K_{45}$		1,29	0,45	0,97	0,42	1,01	0,45	1,93	0,45	0,90	0,63
$N_{90}P_{90}K_{90}$		1,32	0,46	1,09	0,43	1,08	0,46	2,12	0,46	0,98	0,65
$N_{135}P_{135}K_{135}$		1,35	0,47	1,14	0,44	1,09	0,47	2,21	0,46	1,02	0,65
Гній 9 т		1,28	0,45	0,97	0,40	1,01	0,45	1,89	0,45	0,90	0,62
Гній 13,5 т		1,32	0,48	1,00	0,41	1,08	0,46	1,99	0,45	0,97	0,63
Гній 18 т		1,34	0,50	1,03	0,41	1,09	0,47	2,13	0,47	0,98	0,63
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$		1,30	0,49	1,06	0,40	1,02	0,46	1,89	0,46	0,99	0,62
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$		1,36	0,49	1,10	0,42	1,10	0,48	2,02	0,48	1,02	0,65
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$		1,40	0,51	1,13	0,43	1,14	0,50	2,12	0,49	1,06	0,66
НІР$_{05}$	2012 р.	0,08	0,05	0,05	0,04	0,09	0,04	0,11	0,04	0,06	0,05
	2013 р.	0,09	0,03	0,07	0,03	0,07	0,04	0,13	0,04	0,06	0,04
	2014 р.	0,08	0,05	0,06	0,04	0,08	0,05	0,13	0,04	0,07	0,06

Між вмістом калію в продукції та у ґрунті, визначеного за методами Дашевського, Чирикова та Маслової встановлено високий та істотний кореляційні зв'язки (табл. 4.2).

Лише між вмістом калію в зерні пшениці озимої після попередника конюшини та вмістом його у ґрунті кореляційний зв'язок був помірним, що потребує додаткового вивчення.

Таблиця 4.2

Коефіцієнт детермінації (R^2) залежності вмісту калію в урожаї сільськогосподарських культур від вмісту його у ґрунті

Культура	Продукція					
	товарна			нетоварна		
	1	2	3	1	2	3
Конюшина	0,80	0,74	0,78	–	–	–
Пшениця озима	0,42	0,39	0,46	0,76	0,72	0,72
Буряк цукровий	0,66	0,78	0,78	0,73	0,80	0,83
Кукурудза	0,53	0,66	0,64	0,53	0,63	0,64
Горох	0,73	0,68	0,70	0,73	0,71	0,73
Пшениця озима	0,78	0,64	0,70	0,75	0,72	0,75
Кукурудза на силос	0,74	0,80	0,78	–	–	–
Пшениця озима	0,61	0,56	0,61	0,60	0,63	0,67
Буряк цукровий	0,69	0,74	0,77	0,54	0,77	0,76
Ячмінь ярий	0,71	0,74	0,73	0,80	0,83	0,84

Примітка. Метод визначення калію у ґрунті: 1 – Дашевського; 2 – Чирикова; 3 – Маслової.

Вегетативні органи рослин характеризуються вищим умістом калію, ніж репродуктивні (Laila K. A., Ali M., 2011). Так, у сіні конюшини, силосній масі кукурудзи калію містилося майже в 3–4 рази більше, ніж у зерні. У той же час силосна маса кукурудзи з контрольних ділянок, де добрив не застосовували, містила 1,70 % K_2O в перерахунку на суху речовину, а у варіантах третього рівня і залежно від систем удобрення зростала до 2,13–2,21 %. Уміст калію в гичці буряку цукрового в цих варіантах досліду також перевищував контроль і в порівнянні з вмістом у коренеплодах був вищим в 2,5 рази, а за третього рівня органо-мінеральної системи удобрення – більше ніж у 3,5 рази (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Вміст калію (K_2O) в нетоварній частині врожаю культур після тривалого (з 1965 р.) застосування різних доз добрив і систем удобрення в польовій сівозміні (2012–2014 рр.), % на суху речовину

Варіант досліду		Культура сівозміни							
		Пшениця озима	Буряк цукровий	Кукурудза	Горох	Пшениця озима	Пшениця озима	Буряк цукровий	Ячмінь ярий
Без добрив (контроль)		1,06	3,46	1,27	1,10	1,03	1,04	3,20	0,94
$N_{45}P_{45}K_{45}$		1,09	3,71	1,36	1,21	1,06	1,07	3,58	1,06
$N_{90}P_{90}K_{90}$		1,14	3,82	1,39	1,28	1,10	1,08	3,80	1,14
$N_{135}P_{135}K_{135}$		1,17	3,91	1,40	1,29	1,16	1,09	3,86	1,18
Гній 9 т		1,11	3,61	1,35	1,21	1,06	1,04	3,32	1,04
Гній 13,5 т		1,13	3,68	1,38	1,25	1,12	1,07	3,42	1,10
Гній 18 т		1,17	3,75	1,39	1,26	1,16	1,07	3,49	1,13
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$		1,12	3,78	1,37	1,22	1,11	1,08	3,68	1,08
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$		1,14	3,92	1,39	1,29	1,15	1,12	3,85	1,16
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$		1,16	4,07	1,40	1,34	1,16	1,14	3,91	1,21
HIP_{05}	2012 р.	0,06	0,19	0,08	0,07	0,06	0,05	0,19	0,06
	2013 р.	0,07	0,21	0,07	0,06	0,05	0,06	0,17	0,06
	2014 р.	0,06	0,19	0,07	0,07	0,06	0,06	0,20	0,07

Внесення різних доз добрив забезпечувало істотне підвищення вмісту калію в нетоварній частині врожаю у порівняно з контролем. Лише в соломі пшениці озимої одинарні дози добрив, а у деяких випадках і подвійні, не забезпечили істотного підвищення вмісту калію.

Уміст калію в соломі пшениці озимої залежно від попередників істотної різниці не мав, проте підвищувався зі зростанням доз добрив, перевищуючи контроль без їх застосування у варіантах з потрійною дозою після конюшини на 0,10–0,11 %, після гороху – на 0,13 % і після кукурудзи на силос на 0,03–0,10 % у перерахунку на суху речовину. Це пов'язано з особливостями поживного

режиму, що складався у зв'язку із застосуванням високих доз мінеральних добрив і гною під попередник.

Систематичне застосування потрійної дози добрив у сівозміні сприяло перевищенню вмісту K_2O в соломі гороху на 0,16–0,24 % на суху речовину (за вмісту на контролі 1,10 %).

Застосування добрив значно впливало на вміст калію в гичці буряку цукрового. Його максимальний вміст відмічався у варіантах третього рівня за всіх систем удобрення, особливо органо-мінеральної. Оптимальний вміст калію в листках буряку цукрового становить 3,90–4,30 % на суху речовину (Вишневська Л. В., 2009). Отже, оптимальні умови живлення рослин буряку цукрового калієм склалися лише за третього рівня мінеральної системи удобрення і за другого та третього органо-мінеральної.

Отже, вміст калію в основній продукції значно залежить від біологічних особливостей культури і мало від доз добрив та систем удобрення. За його вмістом у сухій речовині основної продукції культури сівозміни розміщувалися в такій послідовності: кукурудза на силос > конюшина > горох > буряк цукровий > ячмінь ярий > пшениця озима > кукурудза на зерно, а в нетоварній: буряк цукровий > кукурудза на зерно > горох > пшениця озима > ячмінь ярий.

Отже, за тривалого (50 років) середньорічного застосування калійних добрив в дозі до 135 кг/га K_2O надлишкового накопичення калію у сільськогосподарській продукції не відбувається. Наші дані узгоджуються з даними інших учених (Asher C. J., Ozame P. L., 1963), які вивчали надходження калію в рослини залежно від його концентрації у поживному розчині.

4.2. Господарське та відносне винесення калію сільськогосподарськими культурами

На практиці потребу рослин у поживних речовинах зазвичай визначають з урахуванням їх винесення. При цьому мають на увазі величину господарського винесення

елементів, які вилучаються з ґрунту з фактично зібраним з поля врожаєм. Господарське винесення значно менше за біологічну потребу рослин у поживних речовинах упродовж вегетаційного періоду, оскільки значна їх частина в процесі росту та розвитку переміщується і накопичується в різній кількості в урожаї, післязбиральних рештках та кореневій системі (Господаренко Г. М., 2002).

Дослідженнями підтверджено, що господарське винесення калію збільшується зі зростанням доз добрив. Так, на ділянці без застосування добрив культури польової сівозміни виносили найменше калію (табл. 4.4). Найвищим він був у варіантах із застосуванням потрійних доз добрив, де врожайність культур польової сівозміни була найвищою.

Застосування одинарних доз добрив, залежно від системи удобрення та культур польової сівозміни, сприяло зростанню

Таблиця 4.4

Господарське винесення калію (K_2O) основною та нетоварною продукцією культур сівозміни залежно від удобрення (2012–2014 рр.), кг/га

Варіант досліду	Культура сівозміни									
	Конюшина	Пшениця озима	Буряк цукровий	Кукурудза	Горох	Пшениця озима	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Буряк цукровий	Ячмінь ярий
Без добрив (контроль)	41,6	75,3	265,5	123,6	45,2	72,1	179,4	57,8	233,8	55,7
$N_{45}P_{45}K_{45}$	45,3	93,1	313,6	142,7	53,0	92,7	227,0	75,5	287,4	71,4
$N_{90}P_{90}K_{90}$	44,3	102,2	349,4	157,3	59,9	107,8	268,9	90,2	327,7	82,1
$N_{135}P_{135}K_{135}$	42,0	104,1	372,0	168,7	64,6	112,7	285,6	99,3	348,9	89,3
Гній 9 т	47,3	87,7	306,7	144,4	54,2	94,3	224,7	73,3	280,1	71,2
Гній 13,5 т	46,5	99,1	340,1	152,7	58,6	103,1	246,2	87,0	305,5	78,8
Гній 18 т	43,9	104,3	358,5	158,1	61,7	101,2	262,7	90,9	321,4	83,7
Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	45,8	95,4	325,5	146,7	53,9	96,3	235,2	84,8	295,9	75,1
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	45,6	105,4	362,2	163,2	61,6	110,0	277,0	97,0	333,2	86,6
Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	43,5	108,3	384,8	174,8	68,6	116,5	301,5	103,1	349,5	92,9

винесенню калію на 15–47 % порівняно з неудобреними ділянками. Застосування подвійних доз добрив у тих же системах удобрення збільшило його на 27–68 %, а потрійних – на 28–78 % у порівнянні з контролем. Найвищі показники господарського винесення калію культурами польової сівозміни встановлено за органо-мінеральної системи удобрення.

Закономірності збільшення винесення калію від зростаючих доз внесених добрив не виявлено лише в конюшини. Так, внесення одинарних доз добрив на цих ділянках сприяли підвищенню господарського винесення нею калію на 9–14 % відносно контролю, подвійних – на 6–12 і потрійних – лише на 1–6 %.

Отже, винесення калію культурами польової сівозміни співпадає з урожайністю культур. Коефіцієнт детермінації ($R^2 = 1$) вказує на те, що між винесенням калію з урожаєм та врожайністю сільськогосподарських культур існує функціональний зв'язок. Також встановлено високий кореляційний зв'язок ($R^2 = 0{,}71–0{,}89$) між винесенням калію врожаєм буряку цукрового, кукурудзи на зерно та на силос, ячменю ярого і вмістом його в товарній продукції, для пшениці озимої коефіцієнт детермінації становив залежно від попередника від 0,51 до 0,70, що вказує на істотний зв'язок, а зв'язок винесення калію горохом та його вмістом – дуже високий ($R^2 = 095$). Залежності між винесенням калію конюшиною та вмістом калію в ній не виявлено. Найменше винесення калію з ґрунту було за органічної системи удобрення.

Аналіз господарського винесення калію товарною продукцією врожаю показав, що його частка від загального винесення врожаєм різнилася залежно від культури польової сівозміни і складала від 18 до 44 % (рис. 4.1). Частка винесення калію зерном пшениці озимої від загально винесення цією культурою була 26 % після всіх попередників. Частка винесення калію коренеплодами буряку – 37 %. Найнижчий цей показник був у кукурудзи (18 %), а найвищий – у гороху (44 %).

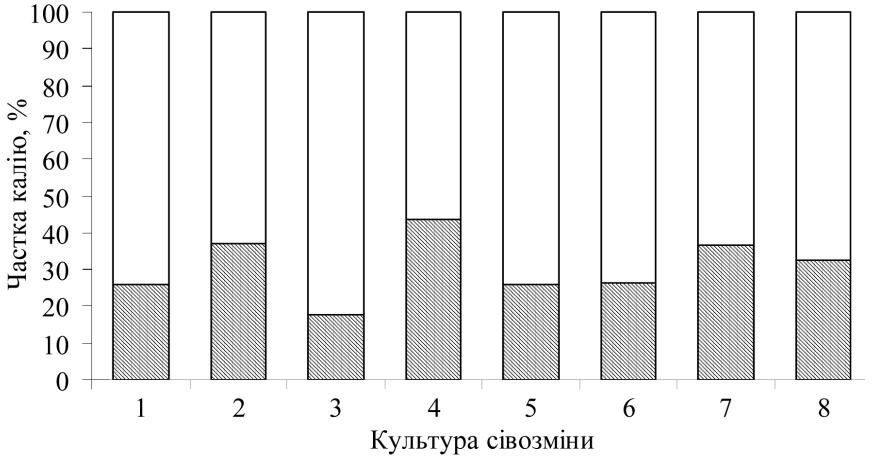

Рис. 4.1. **Частка калію в основній продукції від господарського винесення врожаєм: 1) пшениця озима (після конюшини); 2) буряк цукровий (у ланці з конюшиною); 3) кукурудза; 4) горох; 5) пшениця озима (після гороху); 6) пшениця озима (після кукурудзи на силос); 7) буряк цукровий (у ланці з кукурудзою на силос); 8) ячмінь ярий**

Для практичного використання в агрохімічних розрахунках доз добрив і балансу елементів живлення у ґрунті застосовують величину їх винесення на одиницю основної продукції з урахуванням відповідної кількості нетоварної частини врожаю. Відносно висока статична стабільність цього показника пояснюється законами постійності хімічного складу рослин та їх вибірковою здатністю засвоювати елементи живлення з ґрунту і добрив (Корогов Н. С., Масловская В. М., Анреянова А. М., 1986).

Культури польової сівозміни виносять з ґрунту різну кількість калію (Господаренко Г. М., Черно О. Д., 1999). Найменше його з 1 т основної продукції виносив буряк цукровий (2,1–2,9 кг у ланці сівозміни з конюшиною і 2,1–2,7 кг у ланці з кукурудзою на силос), кукурудза на зерно виносила 3,1–3,8 кг/т, кукурудза на силос – 4,6–6,0 кг/т (табл. 4.5). Середнім винесенням відзначалися конюшина,

пшениця озима, ячмінь ярий, горох. У пшениці озимої винесення калію з 1 т основної продукції мало змінювалося залежно від попередників. Так, після конюшини винесення калію у варіанті без добрив становило – 3,9 кг/т, після гороху та після кукурудзи на силос – 3,8 кг/т.

Таблиця 4.5

Відносне винесення калію (K_2O) врожаєм сільськогосподарських культур з ґрунту залежно від доз добрив і систем удобрення, 2012–2014 рр.

Культура сівозміни і продукція	Винесення калію (K_2O) з 1 т продукції, кг		
	товарної	нетоварної	товарної і відповідної кількості нетоварної
Конюшина (сіно)	11,4 / 10,5–12,1	–	–
Пшениця озима	4,1 / 3,9–4,4	9,7 / 9,1–10,0	15,8 / 13,0–19,4
Буряк цукровий	2,6 / 2,1–2,9	7,3 / 6,7–7,8	7,0 / 5,5–8,3
Кукурудза	3,6 / 3,1–3,8	11,8 / 11,0–12,1	20,1 / 17,3–21,9
Горох	9,1 / 7,9–9,8	10,7 / 9,5–11,6	20,9 / 17,4–24,8
Пшениця озима	4,0 / 3,8–4,3	9,6 / 8,9–10,0	15,5 / 12,7–19,3
Кукурудза (силос)	5,4 / 4,6–6,0	–	–
Пшениця озима	4,0 / 3,8–4,2	9,3 / 9,0–9,8	15,1 / 12,8–19,0
Буряк цукровий	2,4 / 2,1–2,7	6,9 / 6,2–7,5	6,6 / 5,1–7,9
Ячмінь ярий	5,5 / 5,2–5,7	9,5 / 8,1–10,4	16,9 / 13,3–20,3

Примітка. Над рискою – середнє винесення калію, під рискою – діапазон винесення калію.

Відносне винесення калію зростає зі збільшенням дози добрив та є найвищим за третіх рівнів удобрення. Отже, зі збільшенням урожайності культур відносне винесення калію частково зростає, що пояснюється збільшенням вмісту його в сухій речовині.

Поліпшення умов живлення рослин у зв'язку із застосуванням добрив, залежно від біологічних особливостей культур, збільшувало відносне винесення ними калію з ґрунту.

Зазвичай винесення калію зростало пропорційно збільшенню доз добрив усіма культурами сівозміни: найбільше – за органо-мінеральної системи – на 10–33 % (за третіх рівнів удобрення), найменше – за органічної – на 4–26 % порівняно з контролем. За мінеральної системи цей показник більше наближався до органо-мінеральної системи удобрення.

Дані про відносне винесення калію на одиницю продукції дозволяють стверджувати, що вони в основному залежить від біологічних особливостей культур, що культивуються в сівозміні, системи удобрення та доз внесених добрив.

Слід зазначити, що в загальному винесенні калію культурами на основну (товарну) продукцію припадала менша кількість цього елементу, ніж на нетоварну частину врожаю. Тому, тут очевидне значення способу використання нетоварної частини продукції (особливо соломи) для режиму калію в агроценозі: залежно від того, залишаються рослинні рештки на полі чи вивозяться, калійний баланс може помітно змінюватися. Крім того, важливі структура урожаю (відношення товарної до нетоварної частини продукції) і строки збирання урожаю (чим раніше, тим більше відносний вміст калію в нетоварній частині урожаю) (Фатєєв А. І., 2006).

Отже, дані про господарське винесення калію з ґрунту культурами польової сівозміни свідчать про те, що його зростання при застосуванні добрив відбувається насамперед завдяки підвищенню врожайності. Дані про відносне винесення калію на одиницю продукції вказують на те, що вони головним чином залежить від біологічних особливостей культур і сортів, що вирощуються в сівозміні. Вони також залежить від системи удобрення, особливо для культур, які дають відносно велику кількість нетоварної продукції.

4.3. Баланс калію у ґрунті

На конференції в Уганді, всі задіяні сторони прийшли до згоди, що від'ємний баланс елементів живлення повинен слугувати індикатором деградації ґрунтів (Bekunda M., Manzi G., 2003).

Баланс елементів живлення рослин є науковою основою побудови правильних систем удобрення. Проблема балансу калію в землеробстві дуже важлива і до кінця не розроблена. Зазвичай вчені пропонують повну компенсацію добривами винесення калію врожаєм. Але у цьому, в більшості випадків, немає ніякої необхідності. Перш за все розрахунки, виконані на основі середніх коефіцієнтів зазвичай не співпадають із даними винесення в конкретних умовах, особливо калієфільними культурами за рахунок гички (буряк цукровий), стебел (кукурудза) і соломи зернових. Значна частина калію рослинних решток до моменту збирання урожаю залишається на полі, при чому з суттєвими відмінностями залежно від погодних умов (Прищеп Н. И. Просяников Е. В., Коровяковская С. О., 1997).

У тривалих польових і вегетаційних дослідах В. Н. Якименко (2003) вивчив вплив балансу калію в агроценозах на калійний стан зональних ґрунтів і продуктивність вирощуваних культур. Ним визначено вплив рівня калійного живлення рослин на вміст у них калію в різні періоди онтогенезу, розраховане винесення цього елементу врожаєм основних сільськогосподарських культур. На основі цих даних було встановлено, що оптимальна величина балансу калію визначається продуктивністю агроценозу і калійним станом ґрунту. Вивчення балансу поживних речовин у землеробстві дозволяє визначити надлишок або нестачу окремих елементів живлення рослин для формування врожаю. Проведення таких досліджень у динаміці дозволяє розробити пропозиції для планового регулювання балансу на конкретних природно-адміністративних територіях (Кулаковская Т. Н., 1990; Господаренко Г. М., Черно О. Д., 2005).

Підвищення додатного балансу елементів живлення рослин важливо розглядати як поліпшення родючості ґрунту, так і загрозу забруднення ґрунту та водних об'єктів (Господаренко Г. М., 2015).

Величина гранично-допустимого дефіциту (ГДД) калію в рамках однієї сівозміни залежить від її продуктивності, а також рівня вмісту калію у ґрунті та його частки від ємності катіонного обміну (ЄКО) і гранулометричного складу ґрунту. Необхідність внесення калійних добрив у дозах, що перевищують в цілому за сівозміну розрахункове винесення калію, виникає лише на збіднених ґрунтах легкого гранулометричного складу при запланованих високих урожаях. Для переважаючої більшості ґрунтових умов необхідності повної компенсації винесення калію в рамках сівозміни немає. Застосування принципу ГДД, розрахованого для кожної сівозміни окремо, вже підвищує та стабілізує вміст калію у ґрунті (Прокошев В. В., 1985; Дерюгин И. П., Прокошев В. В., 1990; Платинов И. Г., Сафанова А. Ф., Полин В. Д., 2010).

У сучасних умовах балансом основних біогенних елементів підтверджується процес зниження родючості ґрунтів в агроекосистемах України. Починаючи з 1990-х років прискореними темпами формується від'ємний баланс азоту, фосфору та калію, який становить 120–130 кг/га. Цей негативний процес виснаження ґрунтів підсилюється й ерозією ґрунтів (Греков В. О. та ін., 2011).

Одним із завдань під час складання раціональної системи удобрення є досягнення додатного балансу поживних речовин. У цьому аспекті особливу цінність мають дані, отримані в тривалих стаціонарних дослідах з різними рівнями удобрення, в яких враховуються статті балансу й особливості колообігу біофільних елементів. Ці дані є однією з головних складових теорії застосування добрив і необхідні для прогнозування родючості ґрунту (Господаренко Г. М., 2015).

Із насінним матеріалом у польовій сівозміні зернобурякового виду у ґрунт щорічно надходить у середньому 2,0 кг/га, а з атмосферними опадами 6,1–8,8 кг/га калію. Втрати калію за рахунок ерозії можуть сягати 88 кг/га (якщо врахувати, що втрати ґрунту щорічно становлять 4 т/га за вмісту в ньому валового калію 2,2 %). З добривами таку кількість калію повернути у ґрунт практично неможливо та й недоцільно, оскільки сам чорнозем опідзолений і ґрунтоутворювальна порода містить великі запаси калію. Необхідно повертати лише втрачені рухомі сполуки калію та його резерв – необмінний та інертний. У сумі ці форми калію щорічно в загальній кількості втраченого калію становлять 10 кг/га. Втрати калію в результаті інфільтрації на чорноземних ґрунтах можуть становити 4–8 кг/га за рік із шару ґрунту 110–140 см, але вони не враховувалися у зв'язку із відсутністю достатньої кількості презентативних даних (Господаренко Г. М., 2002; Прокопчук І. В., 2008).

Зміна вмісту рухомих форм калію у ґрунтах знаходяться в певній залежності від стану їх балансу (Кулаковская Т. Н., 1990; Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999; Сычев В. Г., 2000). В цілому величина оптимального балансу визначається продуктивністю агроценозу і калійним станом ґрунту (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000; Якименко В. Н., 2003).

На думку Д. Н. Прянишникова (1952), допустима інтенсивність балансу калію повинна складати не менш як 80 %. На чорноземах типових, вилужених та опідзолених з підвищеним і високим вмістом рухомих сполук калію – 80–180 мг/кг (за методом Чирикова) в районах нестійкого зволоження повернення калію повинно бути 40–60 % від винесення врожаями культур сівозміни (Господаренко Г. М., 2015).

Одержані результати показали, що баланс калію та його інтенсивність (ІБ) у всіх ротаціях складався нерівномірно і в значно залежав від рівня надходження його з добривами і винесенням з урожаєм (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Динаміка балансу калію (K_2O) у ґрунті польової сівозміни і його інтенсивність (ІБ) за різного удобрення

Стаття балансу	Варіант досліду									
	Без добрив	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{135}P_{135}K_{135}$	Гній 9 т	Гній 13,5 т	Гній 18 т	Гній 4,5 т $+N_{22}P_{34}K_{18}$	Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{86}$	Гній 13,5 т $+N_{68}P_{101}K_{54}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I ротація										
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	135	135	54	81	81	45	135	135
Вилучення, кг/(га·рік)	84	102	112	111	100	107	109	107	112	116
Баланс, кг/(га·рік)	–84	–57	23	24	–46	–26	–28	–62	23	19
ІБ, %	–	44	121	121	54	76	74	42	121	117
II ротація										
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	135	135	54	81	81	45	135	135
Вилучення, кг/(га·рік)	82	102	119	122	99	112	114	110	124	128
Баланс, кг/(га·рік)	–82	–57	16	13	–45	–31	–33	–65	11	7
ІБ, %	–	44	114	111	55	73	71	41	109	106
III ротація										
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	90	135	54	81	108	45	90	135
Вилучення, кг/(га·рік)	82	109	131	144	106	122	134	114	134	150
Баланс, кг/(га·рік)	–82	–64	–41	–9	–52	–41	–26	–69	–44	–15
ІБ, %	–	41	69	94	51	66	81	40	67	90

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IV ротація										
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	90	135	54	81	108	45	90	135
Вилучення, кг/(га·рік)	90	119	143	159	115	134	147	125	149	169
Баланс, кг/(га·рік)	–90	–74	–53	–24	–61	–53	–39	–80	–59	–34
ІБ, %	–	38	63	85	47	61	74	36	60	80
V ротація										
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	90	135	54	81	108	45	90	135
Вилучення, кг/(га·рік)	88	121	146	162	118	134	145	128	153	169
Баланс, кг/(га·рік)	–88	–76	–56	–27	–64	–53	–37	–83	–63	–34
ІБ, %	–	37	62	84	46	60	74	35	59	80
1965–2014 рр.										
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	90	135	54	81	97	45	108	135
Вилучення, кг/(га·рік)	85	110	130	139	107	122	130	117	135	146
Баланс, кг/(га·рік)	–85	–66	–40	–4	–53	–41	–33	–72	–27	–11
ІБ, %	–	41	69	97	50	66	75	39	80	92

Винесення калію в першій ротації на ділянках без добрив складало 84 кг/га за рік. На удобрюваних ділянках він був вищим і перевищував показник на контролі на 16–32 кг/га за рік. Чим менше надходило калію з добривами, тим більший був його дефіцит. Баланс був бездефіцитним лише за внесення подвійної та потрійної дози добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення (інтенсивність балансу була 117–121 %). Так, за мінеральної системи винесення цього елементу за подвійної та потрійної дози добрив перевищувало його вилучення на 23 та

24 кг/га за рік, за органо-мінеральної – відповідно на 23 та 19 кг/га за рік.

У другій ротації винесення калію культурами сівозміни у варіанті без застосування добрив складало 82 кг/га за рік. Одинарні дози мінеральних добрив компенсували винесення калію на 44 %, тоді як подвійні та потрійні створювали додатний баланс, з інтенсивністю відповідно 114 та 111 %. При застосуванні лише органічних добрив з розрахунку 9 т/га площі сівозміни дефіцит калію склав 45 кг/га за рік, а компенсація винесення знаходилася на рівні 55 %. При внесенні гною в 1,5 рази більше дефіцит калію зменшився на 18 %, а при внесенні 18 т/га гною – на 16 %. За органо-мінеральної системи удобрення подвійна та потрійна дози добрив створювали додатний баланс калію в сівозміні, інтенсивність якого становила відповідно 87 і 86 %.

У зв'язку зі змінами, внесеними у систему удобрення в 1984 році в застосуванні добрив під окремі культури сівозміни, стосовно до вимог інтенсивних технологій, баланс калію у третій ротації дещо різнився від даних за першу та другу ротації. Із 1985 року дефіцит калію став більшим, що перш за все пов'язано зі збільшенням урожайності культур сівозміни. Добрива не забезпечували додатний баланс калію в третій ротації. Інтенсивність балансу при внесенні одинарних доз добрив становила 40–51 %, і лише застосування подвійних і потрійних доз добрив забезпечило його на рівні 66–94 %.

У четвертій ротації винесення калію культурами сівозміни у варіанті без застосування добрив складав 90 кг/га за рік. Застосування добрив також не забезпечило його додатного балансу. У варіантах із внесенням одинарних доз добрив інтенсивність балансу знаходилася у межах 36–47 %, подвійних – 60–63 і потрійних – 74–85 %.

У п'ятій ротації отримані дані мало різнилися з результатами за третю та четверту ротації. Так, вилучення калію у варіанті без застосування добрив склало 88 кг/га

за рік. Дефіцит калію за внесення одинарних доз добрив склав 64–83 кг/га за рік, подвійних 54–63, потрійних – 27–37 кг/га за рік, а найбільшу інтенсивність балансу забезпечило внесення потрійних доз добрив за мінеральної та органо-мінеральної системи удобрення відповідно 84 та 80 %.

Проведені розрахунки балансу калію за п'ять ротацій сівозміни дозволило підсумувати його залежно від систем та рівнів удобрення за 50-річний період. Так, вилучення калію культурами польової сівозміни на ділянках без добрив складало 4250 кг/га. За внесення одинарних доз добрив воно зросло в 1,3 рази, а потрійних – в 1,5 рази. При цьому баланс був від'ємний. Інтенсивність балансу калію залежно від доз внесених добрив знаходилася в межах: за мінеральної системи від 41 до 97 %, органічної – від 50 до 75 % та органо-мінеральної від 39 до 92 %.

На рис. 4.2 показано ємність балансу калію за різних рівнів удобрення в польовій сівозміні. Доведено, що зі збільшення дози внесених добрив зростає ємність балансу, який характеризує величину колообігу калію в агроценозі.

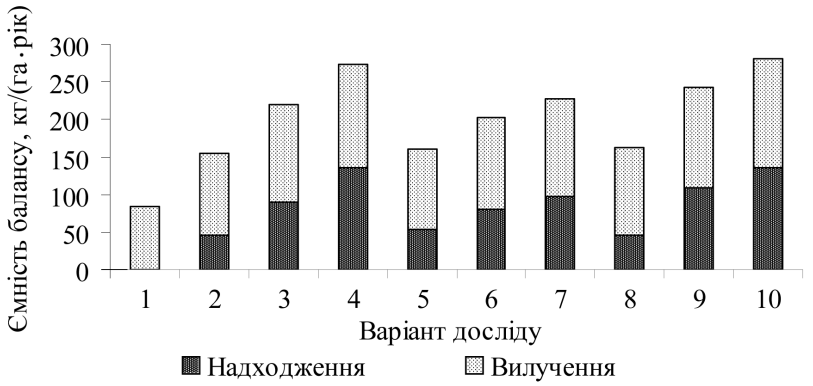

Рис. 4.2. **Ємність балансу калію у ґрунті за тривалого (1964–2014 рр.) застосування добрив у польовій сівозміні: 1) без добрив (контроль); 2) $N_{45}P_{45}K_{45}$; 3) $N_{90}P_{90}K_{90}$; 4) $N_{135}P_{135}K_{135}$; 5) Гній 9 т; 6) Гній 13,5 т; 7) Гній 18 т; 8) Гній 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$; 9) Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$; 10) Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$**

Оскільки вегетативні органи рослин характеризуються вищим умістом калію, ніж репродуктивні, то залишення нетоварної частини врожаю на полі значно зменшує дефіцит калію. Аналіз даних балансу калію за умови залишення нетоварної частини на полі показав, що його інтенсивність суттєво зростає (табл. 4.7). Так, баланс у варіанті досліду без застосування добрив склав лише – 37 кг/га, що більше ніж в два рази менше аналогічного показника за умови вилучення нетоварної частини врожаю з поля. При цьому внесення калійних добрив у дозі 45 кг/га д. р. на рік забезпечувало компенсацію калію на 94 %. При збільшенні дози добрив удвічі складався додатний його баланс з інтенсивністю більшою на 61 % відносно варіанту із внесенням одинарних доз добрив та на 86 % відносно аналогічного показника за умови вилучення нетоварної частини врожаю. За внесення калію з мінеральними добривами у кількості 135 кг/га на рік повернення його у ґрунт перевищило його винесення на 71 кг/га за рік, а інтенсивність балансу при цьому склала 211 %.

Таблиця 4.7

Баланс калію (K_2O) у ґрунті польової сівозміни та його інтенсивність за різного удобрення за умови залишення нетоварної частини врожаю на полі, 1965–2014 рр.

Стаття балансу та його інтенсивність	Варіант досліду			
	Без добрив	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{135}P_{135}K_{135}$
Надходження, кг/(га·рік)	–	45	90	135
Вилучення, кг/(га·рік)	37	48	58	64
Баланс, кг/(га·рік)	–37	–3	32	71
Інтенсивність балансу, %	–	94	155	211

Отже, баланс калію у ґрунті визначається рівнем застосування добрив і винесенням калію культурами сівозміни, особливо з нетоварною частиною врожаю. Застосування калійних добрив у дозі 45–135 кг/га д. р. упродовж 50 років не забезпечило додатного балансу калію у ґрунті.

Порівнюючи дані табл. 4.6 і 4.7, видно, що з нетоварною частиною урожаю на ділянках без добрив за рік у середньому вилучається 48 кг/га K_2O, або 56 % від його господарського винесення. У варіанті досліду $N_{135}P_{135}K_{135}$ ця частка майже не змінюється (54 %). Це свідчить про те, що за умови залишення нетоварної частини урожаю на полі на добрива баланс калію у ґрунті можна значно поліпшити, а дозу внесення калійних добрив у сівозміні зменшити вдвічі. Підтримання показників калійного режиму в оптимальних межах за використання ґрунту в системі інтенсивного землеробства може здійснюватися завдяки поверненню у ґрунт нетоварної частини врожаю (Ткаченко М. А., 2015; Господаренко Г. М., Черно О. Д., 2015).

Наукою та передовим досвідом доведено, що для вирощування високих урожаїв сільськогосподарських культур треба вносити у ґрунт основних елементів живлення значно більше, ніж їх було використано рослинами для формування врожаю (Лессовая Г. М., 2002). За результатами досліджень було проаналізовано втрати врожайності культур польової сівозміни за різного балансу калію у ґрунті. З рис. 4.3 можна зробити висновок, що врожайність всіх культур, що вирощуються в сівозміні зменшу-

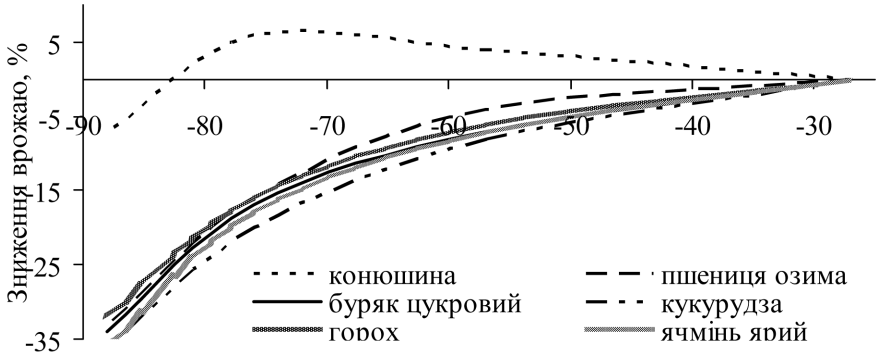

Рис. 4.3. **Недоотриманий урожай сільськогосподарських культур за різного балансу калію в сівозміні**

ється за балансу калію менш як –30 кг/(кг·рік). Лише недоотримання врожаю конюшини було за балансу менш як – 80 кг/(га·рік).

У польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу допустимий дефіцит балансу калію з інтенсивністю 40–80 % забезпечує внесення 45–90 кг K_2O/га площі сівозміни. У разі залишення нетоварної частини врожаю на полі доза калійних добрив не повинна перевищувати 45 кг/га д. р. Допустимість і виправданість слабодефіцитного балансу калію у сівозмінах відмічали і раніше (Прокошев В. В., 1985; Якименко В. Н., 2006).

У динаміці доза калійних добрив повинна визначатися продуктивністю сівозміни і калійним станом ґрунту.

Розділ 5.

СИСТЕМА ЗАСТОСУВАННЯ КАЛІЙНИХ ДОБРИВ

5.1. Особливості застосування калійних добрив

До калію все ще зберігається відношення як до третьорозрядного елементу, запаси якого у ґрунті вважаються невичерпними, особливо на чорноземах. Хоч ще в 1968 р. О. В. Соколов у праці «Географічні закономірності ефективності добрив» за результатами дослідів Миронівської дослідної станції (Київська обл.) на чорноземі типовому навів переконливий приклад появи нестачі калію за багаторічного традиційного землеробства.

Досвід світового землеробства показав, що калій – це елемент високого врожаю. Проте застосуванню калійних добрив в Україні поки що не надається належна увага. Це пояснюється високим природним вмістом калію в більшості ґрунтів і значно ліпшою забезпеченістю його рухомими сполуками. Площі з середнім і низьким умістом рухомих сполук калію становлять 30 %. Переважно це ґрунти піщаного і супіщаного гранулометричного складу. Насамперед калійних добрив потребують дерново-підзолисті ґрунти Полісся та опідзолені ґрунти Лісостепу. Ґрунти Південного Лісостепу і майже всі ґрунти Степу характеризуються підвищеним і високим умістом рухомих сполук калію.

Калійні добрива найефективніші на дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу Полісся, на осушених торф'яниках, сірих лісових ґрунтах і чорноземах вилужених Лісостепу.

У Степу, де природний вміст калію високий, калійні добрива доцільно вносити насамперед на незасолених чорноземах, передусім на зрошуваних полях. Калійні добрива в солонцюваті й засолені ґрунти не вносять.

На піщаних ґрунтах, що потребують вапнування, за внесення калійних добрив посилюється необхідність нейтралізації ґрунтової кислотності, оскільки калій витісняє в розчин іони H^+, Al^{3+} і Mn^{2+}, які зменшують pH. Ще більшого значення калійні добрива набувають після вапнування кислих ґрунтів. Прирости врожаю від внесення калію на ґрунтах після їх вапнування збільшуються як в абсолютних, так і у відносних показниках. Дія вапна на кислих ґрунтах крім поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунту, виявляється також у посиленні азотного та фосфорного живлення рослин і в деякому зниженні забезпеченості рослин калієм унаслідок активування процесів фіксації його ґрунтовими колоїдами. Крім того, з підвищенням урожаїв від вапнування збільшується винесення калію з ґрунту, а перехід його у ґрунті в доступні форми проходить повільніше, ніж у кислих ґрунтах.

Основою застосування добрив має бути хліборобський закон повернення. У ґрунт мають повертатися елементи живлення, які винесено з урожаєм.

За азотом систему удобрення вважають задовільною, якщо коефіцієнт його повернення приблизно становить 1,0–1,1. Чорноземні ґрунти мають високий вміст калію. Тому коефіцієнт його повернення може бути значно нижчий. Орієнтовні показники коефіцієнтів повернення на ґрунтах з різним вмістом рухомих сполук калію наведено в табл. 5.1.

Орієнтовні екологічно безпечні нормативи інтенсивності балансу калію залежно від його вмісту у ґрунтах наведено в табл. 5.2.

Така кількість елементів живлення, розрахована на компенсацію вилучення їх із ґрунту, сприяє підвищенню вмісту їх рухомих сполук у ґрунті до оптимального рівня (табл. 5.3).

Унаслідок антагонізму калію і кальцію виникає потреба збільшення доз калійних добрив після вапнування і на ґрунтах з реакцією, близькою до нейтральної. Одночасно

Таблиця 5.1

Типові нормативи коефіцієнтів повернення калію від винесення врожаями у сівозмінах на основних ґрунтах

Ґрунти	Забезпеченість рослин калієм за картограмою ґрунту				
	низька	середня	підви-щена	висока	дуже висока
Дерново-підзолисті і сірі лісові ґрунти (райони достатнього зволоження)	1,2–1,5	0,9–1,2	0,7–0,9	0,5–0,7	0,4–0,5
Чорноземи типові, вилужені та опідзолені (райони нестійкого зволоження)	0,8–1,0	0,6–0,8	0,4–0,6	0,4–0,6	0,3–0,4
Чорноземи південні та каштанові ґрунти (райони недостатнього зволоження)	0,4–0,5	0,3–0,4	0,3–0,4	0,2–0,3	0,2–0,3
Чорноземи південні та каштанові ґрунти (при зрошенні)	0,6–0,8	0,6–0,8	0,4–0,6	0,4–0,6	0,3–0,4

Таблиця 5.2

Екологічно безпечні нормативи інтенсивності балансу калію залежно від вмісту його рухомих сполук у ґрунті (за методом Чирикова)

Вміст у ґрунті, мг K_2O/кг	Інтенсивність балансу, %
< 20	150
20–40	130
40–80	110
80–120	90
120–180	70
> 180	50

з поліпшенням калійного режиму ґрунту підвищується також ефективність вапнування.

Чорноземні ґрунти Лісостепу і Степу містять значну кількість доступного для рослин калію. Вони також ба-

Таблиця 5.3

Оптимальні параметри вмісту рухомих сполук фосфору і калію в основних типах ґрунтів України, мг/кг

Тип ґрунту	Культура	P_2O_5	K_2O
Полісся			
Дерново-підзолисті	Пшениця озима	150–170	130–160
	Ячмінь ярий	110–140	100–110
Світло-сірі та сірі лісові	Ячмінь ярий	120–140	110–130
Лісостеп			
Чорноземи опідзолені та темно-сірі лісові	Пшениця озима	110–140	100–130
Чорноземи типові	Соняшник	100–110	120–140
	Пшениця озима	130–150	120–160
	Кукурудза	140–150	130–150
	Буряк цукровий	160–180	160–180
Степ			
Чорноземи звичайні	Пшениця озима	110–130	150–160
	Кукурудза	100–110	140–150
	Соняшник	70–90	140–160
Чорноземи південні	Пшениця озима	110–140	130–170
	Ячмінь ярий	120–130	150–160
Темно-каштанові	Пшениця озима	110–140	140–170

гаті на необмінний калій, який активно переходить у рухомі форми, тому ефективність калійних добрив на цих ґрунтах незначна. Навіть культури, що засвоюють велику кількість калію (просапні й технічні), слабко реагують на внесення калійних добрив. Особливо чітко це простежується на ґрунтах важкого гранулометричного складу. Проте з часом, зокрема за систематичного вирощування калієфільних культур та за внесення високих доз азотних і фосфорних добрив, ефективність калійних добрив зростає. Пояснюється це збідненням неудобрених ґрунтів на калій унаслідок його винесення врожаями культур.

Досвід показує, що на рівні землекористування для оцінювання калійного стану ґрунту конкретного поля достатньо знати відповіді на три основних запитання:

• Яка оптимальна величина доступного для рослин калію у ґрунті?

• Які потенційні запаси калію у ґрунті і настільки вони рухомі?

• Яка кількість доступного рослинам калію у ґрунті і наскільки вона стійка до зовнішнього впливу?

На одному і тому ж ґрунті одні культури можуть бути достатньо забезпечені калієм, інші – відчувати явну його нестачу. Так, К. П. Магницький (1972) звернув увагу на те, що культури, які засвоюють більше силіцію (хлібні злаки), відчувають меншу потребу в калії у зв'язку з підвищеною здатністю їх кореневих систем діяти на калієвмісні алюмосилікати ґрунту. Велика відмінність у засвоєнні окремими сільськогосподарськими культурами калію з різних шарів ґрунтового профілю у зв'язку з особливостями розвитку їх кореневих систем.

Вся ця система «безвідмовно» функціонує, коли потреби рослин відповідають можливостям ґрунту на всіх стадіях їх росту й розвитку. Особливо, коли в якості конкуруючого чинника, наприклад, у посушливий період, виступає зворотний процес – фіксація лабільного калію у важкодоступний стан.

Перші два показники залежать від генетичних особливостей ґрунту, тому в часі змінюються досить повільно. Необхідність у їх уточненні виникає не раніше, ніж через 5–10 років на ґрунтах легкого і 10–20 років – важкого гранулометричного складу. Відповідь на третє запитання слід уточнювати щороку (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000).

Систематичне внесення добрив навіть з урахуванням винесення врожаями істотно не збільшує вмісту рухомих форм калію в чорноземах, що пов'язано з високою насиченістю ҐВК двовалентними основами, які перешкоджають поглинанню калію. Необмінному поглинанню калію у верхніх шарах чорноземів сприяють такі чинники: мінералогічний склад – гідрослюди і високодисперсні мінерали монтморилонітової групи, здатні активно фіксувати одновалентні катіони, висока насиченість ҐВК основами, значна кількість органічних речовин, майже повна відсут-

ність основного конкурента калію – поглиненого амонію, незворотна коагуляція колоїдів у разі періодичного підсихання верхнього шару. В зв'язку з цим калій на відміну від фосфору можна вносити про запас лише на 2–3 роки, але цей спосіб внесення калійних добрив для луків і пасовищ не рекомендується.

Важливою складовою калійних добрив є натрій, позитивне значення якого недооцінено. Під час виробництва калійних добрив він повністю видаляється, як баластний елемент. Проте в рослинах натрій паралельно з калієм виконує важливі фізіологічні функції. Як дія калію менш помітна на ґрунтах, збагачених натрієм, так й ефективність натрію знижується з підвищенням доступності калію з ґрунту.

Високі дози калійних добрив можуть зумовлювати небажані явища. Крім збільшення вмісту калію в кормах до токсичного рівня (> 2,5–3,0 %), у травах знижується вміст Mg, Ca і Na. Застосування калійних добрив, що містять натрій, позитивно впливає як на врожай трав, так і на їх якість (поїдання), особливо злакової складової.

Інтенсивне сумісне застосування азотних і калійних добрив на ґрунтах легкого гранулометричного складу може сприяти втратам магнію і кальцію завдяки вимиванню і зменшенню їх надходження в рослини. Для підтримання відношення катіонів (K + Na) : (Ca + Mg) у кормах близьким до 2,2 та вмісту магнію в сіні > 0,2 % і для запобігання захворювання ВРХ пасовищною титанією і гіпомагнією найбільш надійним способом є вапнування ґрунту магнієвмісними вапнувальними матеріалами.

Для більшості сільськогосподарських культур середні дози калійних добрив становлять 45–60 кг/га K_2O. Під культури, які виносять з урожаєм багато калію (буряк, картопля, тютюн, соняшник, плодові та деякі овочеві), дози добрив збільшують до 90–120 кг/га K_2O. Оптимальний вміст обмінного калію у ґрунті для калієфільних культур порівняно із зерновими, зернобобовими, однорічними і

багаторічними травами вищий. Закономірна дія калійних добрив виявляється тоді, коли вміст рухомих сполук калію становить 60–100 мг/кг, тобто для більшості орних земель ефективність калійних добрив нестійка.

Зазвичай доза калійних добрив в умовах інтенсивного землеробства має відповідати вилученню калію з поля сільськогосподарською продукцією (основна і нетоварна) за величини вмісту обмінного калію у ґрунті, близькій до оптимального. Це видно на прикладі розвинутих країн Європи, де на родючих ґрунтах дози калійних добрив є підтримувальними і майже не змінюються.

Нині все частіше з'являються приклади ефективного застосування калійних добрив на ґрунтах, де раніше вони не застосовувалися, що вказує не лише на обмеження потенційних запасів калію у ґрунті, але і зниження з року в рік швидкості його вивільнення в доступні для рослин форми. У тривалих дослідах з добривами зазвичай не спостерігається істотного зниження кількості доступних форм калію у ґрунті. Отже, основною причиною погіршення забезпеченості рослин калієм є не абсолютне зниження його кількості, а послаблення здатності ґрунту підтримувати його вихідний стан, відновлювати необхідний вміст калію в доступній формі (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000). Вважається (Johnston A. E. et al., 1998), що для отримання високих і стійких урожаїв з ґрунту повинно засвоюватися, кг/га за добу: N – 5,0, P_2O_5 – 0,5 і K_2O – 5,0. Експериментально було встановлено вміст калію у ґрунтовому розчині, який забезпечує таку величину щодобового засвоєння цього елементу. Вона залежить від кількох чинників і найперше – особливостей кореневої системи різних культур. Потужність кореневої системи у різних культур досить різна. І чим менший її об'єм, тим вища реакція рослин на калій.

Незважаючи на те, що оптимальні рівні вмісту рухомих сполук калію у ґрунті встановлено, вони потребують уточнення і диференціації. Не можна недооцінювати зна-

чення показника вмісту рухомих сполук калію для відповідних умов. Його необхідно знати не лише для того, щоб прагнути досягти оптимуму, але навіть більше для того, щоб уникнути надлишкового внесення калію на ділянках з високим їх вмістом і невиправданим втратам калію.

На основі багаторічних досліджень була запропонована модель ґрунту з оптимальним поєднанням поглинутих обмінних катіонів у складі ЄКО, %: Ca^{2+} – 65, Mg^{2+}, K^{+} – 5, H^{+} – 20 (Bayer, 1945).

В багатьох європейських країнах встановлена величина оптимального вмісту калію залежно від ємності катіонного обміну (ЄКО) як показника, що гарантує отримання високих і стійких урожаїв. Для практики розрахунок оптимального вмісту обмінного калію запропоновано проводити за таким рівнянням (E. O. McLean et al., 1982):

Опт $K_{обм}$, мг/кг = 110 + 2,5 ЄКО.

У цьому разі, наприклад, для піщаних ґрунтів з ЄКО 5 смоль/кг величина опт $K_{обм}$ складе 122 мг/кг ґрунту, а для ґрунтів важкого гранулометричного складу з ЄКО 20 смоль/кг – 160 мг/кг ґрунту.

Кукурудза, як й інші багаті на вуглеводи культури, має підвищену потребу в калії. Нормальне живлення цим елементом підвищує стійкість рослин до вилягання, пошкодження кореневими і стебловими гнилями. Калій також потрібний для утворення качанів, накопичення крохмалю і цукру. Кукурудза найінтенсивніше засвоює калій у перший період вегетації, випереджаючи засвоєння азоту і фосфору. До фази цвітіння рослини накопичують майже 80 % калію і лише 35 % сухої речовини. Доза калійних добрив визначається запланованим урожаєм. Зазвичай вона має компенсувати вилучення калію з ґрунту на 80–90 %, а за дози азоту добрив > 120 кг/га – на 90–100 %, що сприятиме кращому формуванню качанів і наливу зерна. Найбільша потреба у внесенні калійних добрив на ґрунтах легкого гранулометричного складу (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Рекомендовані дози калійних добрив під кукурудзу залежно від вмісту рухомих сполук калію у ґрунті (за методом Чирикова), мг K_2O/кг

Гранулометричний склад ґрунт			Доза K_2O, кг/га
легкий	середній	важкий	
< 20	< 20	< 40	Винесення врожаєм + 75
20–40	20–60	40–60	Винесення врожаєм + 25
40–80	60–100	60–120	Винесення врожаєм
80–120	100–150	120–180	50 % від винесення врожаєм
> 120	> 150	> 180	0

За нестачі калію у ґрунті знижується висота рослин, зменшуються розміри листків, їх краї жовкнуть і засихають, погано розвивається коренева система, уповільнюється вегетативний ріст, затримується викидання волотей, знижується стійкість рослин до вилягання (в тому числі і від стеблових гнилей, розвиток яких посилюється).

У практиці землеробства зазвичай важко досягти розрахункового рівня оптимального вмісту калію у ґрунті, тим більше, що в основу прийнятої в Україні концепції розрахунку доз добрив покладено економічно доцільний принцип – «удобрювати рослини, а не ґрунт», але для орієнтації агроном повинен володіти такими даними. Наприклад, на чорноземі опідзоленому буряк цукровий не реагував на внесення калійних добрив за вмісту рухомих сполук калію > 160 мг/кг ґрунту (Господаренко Г. М. та ін., 1998). Тобто це є верхня межа оптимального його вмісту для культур польової сівозміни на цьому підтипі ґрунту.

Вміст рухомих сполук калію у ґрунті залежать від багатьох причин та умов.

1. Баланс калію у ґрунтах України різко дефіцитний, проте сільськогосподарські культури слабко або взагалі не реагують на застосування калійних добрив. Це, мабуть, пояснюється недосконалістю методів діагностики калійного режиму ґрунту.

2. Внесення калійних добрив сприяє поповненню всіх форм калію у ґрунті. Кожна ґрунтова відміна має власну, лише для неї характерну ємність щодо засвоюваних форм калію. У ґрунтах дерново-підзолистого типу більше накопичується обмінних форм калію, в чорноземах – необмінних, які можуть досягати 60 % внесеного калію. В усіх випадках доступні форми калію в міру їх використання поповнюються завдяки необмінним його формам. Тому їх потрібно враховувати як потенційно доступні форми.

3. Калій за рухомістю у ґрунті займає проміжне положення між азотом і фосфором, тому за спроби створення оптимального калійного рівня за одноразового внесення високих доз калійних добрив у ґрунтах важкого гранулометричного складу калій переходить у необмінно-фіксовану, менш доступну для рослин форму, але у ґрунтах легкого гранулометричного складу він у значній кількості мігрує по його профілю.

4. У зв'язку з антагонізмом кальцію і калію під час вапнування кислих ґрунтів вміст рухомих сполук калію має бути вищим. Для цього дозу калійних добрив збільшують на 30–50 %.

5. Культурні рослини по-різному реагують на рівень калійного живлення, тому в сівозміні необхідний диференційований підхід щодо його оптимізації. Калійна недоступність існує на різних типах ґрунтів і більше всього прив'язана до окремих сільськогосподарських культур. Насамперед удобрюють калієфільні культури – буряк, картоплю, соняшник тощо. За оптимальних систем удобрення в сівозміні потреба в калійних туках зазвичай відсутня для зернових колосових і зернобобових культур.

6. Зазвичай сільському господарству постачають хлорумісні калійні добрива. Негативну дію хлору усувають оптимізацією доз, строків і способів внесення добрив.

Ефективність деяких форм калійних добрив виявляється залежно від ґрунтово-кліматичних умов і біологічних особливостей культур. На формування врожаю сіль-

ськогосподарських культур та його якість крім калію впливають також інші елементи, що містяться в калійних добривах – натрій, магній, сірка, хлор тощо.

На легких за гранулометричним складом ґрунтах важливе значення мають калійно-магнезіальні добрива (калімагнезія, калімаг та ін.), які крім калію містять ще й магній. На чорноземних ґрунтах усі форми калійних добрив за ефективністю майже рівноцінні. Майже всі вони підкислюють ґрунт, тому на кислих ґрунтах їх застосування потрібно поєднувати з вапнуванням.

На ґрунтах середнього і важкого гранулометричного складу калійні добрива вносять під час осіннього обробітку ґрунту. Добрива при цьому потрапляють у вологий шар ґрунту, де локалізована основна маса коренів рослин, і краще засвоюються рослинами. Внаслідок адсорбції калій утримується в орному шарі ґрунту, а хлор під дією атмосферних опадів переміщується (вимивається) вниз по профілю ґрунту. На легких за гранулометричним складом ґрунтах в умовах достатнього зволоження калійні добрива краще застосовувати навесні під час передпосівного обробітку ґрунту. Для підживлення калійні добрива менш ефективні, ніж за разового внесення всієї дози до сівби, оскільки коренева система рослин розвивається в пошуках вологи у глибших шарах ґрунту. Лише в умовах зрошення на ґрунтах легкого гранулометричного складу частину дози калію іноді доцільно застосовувати для підживлення просапних культур.

Невеликі дози калійних добрив (10–15 кг/га K_2O) вносять у рядки під час сівби сільськогосподарських культур. Особливо ефективне рядкове внесення калійних добрив одночасно з фосфорними під час сівби озимих культур, що сприяє підвищенню їх зимостійкості. Проте підвищенні дози рядкового внесення калійних добрив знижують схожість насіння.

5.2. Форми калійних добрив і їх взаємодія з ґрунтом

Сировиною для виробництва калійних добрив є природні поклади калійних солей і ропа солоних озер. Зі 120 калієвмісних мінералів і руд для виробництва калійних добрив використовують лише сильвін, сильвініт, карналіт, каїніт, шепіт, лангбейніт, алуніт, полігаліт.

Всього лише у 20 країнах світу відомі поклади калійних солей, при цьому основні запаси знаходяться в чотирьох: Канаді, Німеччині, Російській федерації, Білорусі, де їх зосереджено більше 90 %.

В Івано-Франківській і Львівській областях знаходиться найбільше в світі Прикарпатське родовище калійних солей сульфатно-хлоридного типу. При цьому сульфатні солі становлять 86 %, що дозволяє виробляти безхлорні калійні добрива. Це при тому, що у світовому масштабі частка виробництва сульфатних форм калійних добрив нині не перевищує 10 %.

Із 14 родовищ в Україні основними є Калуш-Голинське і Стебниківське. В Калуш-Голинському родовищі лінзи калійних солей залягають у кілька поверхів серед потужної товщі неогенових глин. Тут є єдиний у світі калійно-соляний кар'єр. У Стебниківському родовищі є чотири соленосних площі, що охоплюють 1000-метрову товщу порід.

У воді океанів і морів міститься близько 0,05 % калію, тому морська вода може бути невичерпним джерелом для промислового виробництва калійних солей. Таким способом отримують зокрема, хлорид калію із високомінералізованої ропи Мертвого моря. Цінним калійним добривом є зола з деяких видів морських водоростей.

Невеликим додатковим джерелом калійних солей є відходи деяких цементних заводів. Крім того, як побічний продукт солі калію випускають підприємства кольорової металургії: магнієві заводи (хлористий калій-електроліт), алюмінієві заводи (поташ – у разі переробки нефеліну, сульфат калію – за переробки алунітів).

Калій хлористий KCl – калійне добриво, яке отримують під час переробки сильвінітових і карналітових руд. У хімічно чистому хлориді калію міститься 63,1 % K_2O. Залежно від способу виробництва сільському господарству постачають калій хлористий із вмістом від 57 до 60 % K_2O. За зовнішніми ознаками калій хлористий – це гранули неправильної форми сірувато-білого (за галургічного способу виробництва) або червоно-бурого кольору (за флотаційного способу). Для забезпечення розсипчастості калій хлористий обробляють різними реагентами, серед яких перевагу віддають амінам.

Калій хлористий із калійних руд виробляють кількома способами.

Перший спосіб – гідроциклонний, за яким крупнокристалічний хлористий калій отримують після розділення хлоридів калію і натрію за щільністю в спеціальних апаратах – гідроциклонах.

Другий спосіб – галургічниий, ґрунтується на різній розчинності та здатності до кристалізації хлоридів калію і натрію за підвищеної температури (90–100 °С). При цьому в розчинах насичених обома солями, вміст хлориду натрію зменшується. За наступного охолодження розчину до 20–25 °С хлорид калію кристалізується, а хлорид натрію залишається в розчині. Після висушування продукт піддають грануляції, що поліпшує фізичні властивості добрива. Проте виробництво калію хлористого за цим способом потребує громіздкої апаратури і великих витрат електроенергії.

Третій спосіб – флотаційний, ґрунтується на різній змочуваності часточок руди і породи. При цьому для відділення KCl від NaCl у сильвініт добавляють поверхневоактивні речовини (аміни), які адсорбуються лише на поверхні кристалів KCl. За інтенсивного продування повітрям його кристали спливають, а кристали NaCl осідають. Реагент на поверхні кристалів KCl різко зменшує гігроскопічність добрива. Цей спосіб добування калію хлористого

найбільш поширений. В Україні флотаційним і галургічним способами виробляють майже весь калій хлористий.

Четвертий спосіб – підземне вилуження руди з наступною переробкою розсолу випаровуванням і кристалізацією.

П'ятий спосіб – комбінований, ґрунтується на флотаційному збагаченні руди з подальшим розчиненням і кристалізацією дрібних фракцій.

Калій хлористий-електроліт (KCl з домішками NaCl і $MgCl_2$) – це побічний продукт виробництва магнію з карналітових руд. Містить до 45,5 % K_2O і певну кількість магнію. На бідних на магній піщаних ґрунтах калій хлористий-електроліт ефективніший, за калій хлористий.

Сульфат калію K_2SO_4 – висококонцентроване безхлорне калійне добриво. За зовнішніми ознаками – це дрібнокристалічний порошок білого кольору з жовтим відтінком, добре розчинний у воді, не злежується. Виробляють сульфат калію комплексною переробкою полімінеральних калійних руд, конверсією хлориду калію або сульфатів натрію, магнію, амонію тощо за допомогою сірчаної кислоти, а також отримують як побічний продукт деяких хімічних виробництв. Добриво, що постачається сільському господарству, містить 48–54 % K_2O. Це фізіологічно кисле добриво. На слабкокислих і кислих ґрунтах може підвищувати кислотність ґрунтового розчину, на нейтральних і лужних ґрунтах аніон сірчаної кислоти цього добрива утворює з кальцієм гіпс.

Сульфат калію можна застосовувати на всіх типах ґрунтів і під усі культури. Порівняно з хлорумісними добривами він забезпечує вірогідні прирости врожаю винограду, гречки, тютюну та інших культур у посушливих районах. Сульфат калію широко застосовують в овочівництві, зокрема в захищеному ґрунті, та в плодівництві.

За внесення K_2SO_4, ґрунт отримує 1 кг калію та близько 1 кг сірки. Наявність сірки в добриві позитивно виливає на продуктивність капустяних, бобових, деяких інших культур.

Калімагнезія (сульфат калію-магнію, потенкалі) $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$. У калімагнезії марки А міститься 28–30 % K_2O, марки Б – 25 %. В обох марках цього добрива міститься 8 % MgO і не більш як 15 % хлору. Випускають у вигляді порошку або спресованих гранул неправильної форми білого кольору, іноді з рожевим або сірим відтінком. Добриво не гігроскопічне, не злежується, добре розсіюється. Виробляють калімагнезію кристалізацією з природних сульфатних солей, переважно з шеніту. Тому його іноді називають шенітом.

Калімагнезію можна застосовувати на всіх типах ґрунтів під усі культури, але найдоцільніше – під чутливі до хлору культури. Завдяки вмісту в добриві магнію воно особливо ефективне на дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу.

Концентрат калійно-магнієвий (калімаг-30, калімаг флотаційний, збагачений каїніт) $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ містить 18–20 % K_2O, 8–9 MgO і до 8 % хлору. ***Калімаг супер*** містить не менш як 40 % K_2O. Випускають у вигляді гранул сірого кольору внаслідок збагачення природного каїніту. За ефективністю близький до калімагнезії.

Змішана калійна сіль ($KCl \cdot nNaCl$) + KCl містить 40 % K_2O, близько 20 Na_2O і 50 % хлору. Добувають механічним змішуванням калію хлористого з меленим каїнітом або сильвінітом. За зовнішніми ознаками – це суміш сірих, білих і червонуватих кристалів дрібного й середнього розмірів. Добриво малогігроскопічне, добре розчиняється у воді. За тривалого зберігання може злежуватися. Змішані каліє- і натрієвмісні добрива застосовують під коренеплоди, а також під помідори, капусту, лучні й злакові трави. Для культур, чутливих до вмісту хлору, воно менш придатне, ніж калій хлористий.

Цементний пил виділяється в електрофільтрах печей цементних заводів. Це безхлорне калійне добриво. Містить 10–15 % K_2O у вигляді карбонатів, гідрокарбонатів, сульфатів і в незначній кількості силікатів, а також гіпс,

оксид кальцію, півтораоксиди й домішки мікроелементів. Застосовують як основне добриво, зокрема на кислих ґрунтах, під хлорофобні культури. Проте цементні заводи не зацікавлені в додаткових роботах по реалізації своїх відходів. Крім того, склад самих відходів досить мінливий, а їх екологічна чистота часто викликає сумнів.

Екоплант (зола соняшникова) містить 49 % K_2O, 7–8 – P_2O_5, 12 – CaO і 10 % MgO.

Зола – цінне місцеве калійно-фосфорно-вапняне добриво. Хімічний склад залежить від виду палива (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Склад попелу різних видів палива (П. О. Дмитренко та ін., 1986), %

Зола	K_2O	P_2O_5	CaO
Соломи пшеничної	13,6	6,4	5,9
житньої	16,2	4,7	8,5
гречаної	35,3	2,5	18,5
Стебел соняшнику	36,3	2,5	18,5
Дров березових	13,8	7,1	36,3
соснових	6,9	2.0	31,8
ялинових	3,2	2,4	25,3
вербових	4,6	2,1	43,5
Гною, кізяка	1,0	5,0	9,0
Торфу низинного	1,0	1,2	20,0
верхового	0,3	0,5	3,0
Кам'яного вугілля	0,1–0,4	0,1–0,40	–
Кам'яного вугілля разом із дровами	1,0	2,0	–

Деревна зола зазвичай містить до 15 % K_2O у вигляді K_2CO_3, 7 – P_2O_5 і близько 40 % CaO. На відміну від промислових добрив не містить хлору, тому є найліпшою формою для чутливих до хлору культур.

Зберігати золу потрібно в сухих захищених приміщеннях, оскільки на відкритому повітрі атмосферними опадами з неї вимиваються легкорозчинні сполуки калію, після чого вона придатна лише як вапняно-фосфорне добриво.

Можна застосовувати на всіх типах ґрунтів під усі культури: картоплю, овочеві, багаторічні трави, але найефективніше – на кислих ґрунтах легкого гранулометричного складу і торфовищах. Дозу внесення золи розраховують за вмістом у ній калію і фосфору.

Золу вносять під час основного обробітку ґрунту або передпосівної культивації. Фосфор золи за ефективністю близький до преципітату і термофосфатів.

Взаємодія калійних добрив із ґрунтом. Усі калійні добрива добре розчинні у воді. Після внесення у ґрунт вони швидко розчиняються ґрунтовою вологою і вступають у реакції обміну з ҐВК:

$$(ҐВК)H^{+} + KCl = (ҐВК)K^{+} + HC1;$$

$$(ҐВК)Ca^{2+} + 2KCl = (ҐВК)2K^{+} + CaCl_2.$$

Унаслідок обмінних реакцій калій вбирається ґрунтовими колоїдами, що знижує його рухливість у ґрунті, але при цьому він залишається доступним для живлення рослин. Іони хлору зостаються у ґрунтовому розчині, тому легко вимиваються з орного шару ґрунту.

Усі калійні добрива – фізіологічно кислі солі, але значно підкислюють ґрунтовий розчин вони лише за тривалого застосування у великих дозах. Збільшення концентрації хлору у ґрунтовому розчині в разі застосування калійних добрив негативно позначається на продуктивності таких культур, як картопля, льон, гречка, тютюн, виноград, цитрусові та інші, але їх вплив іноді перебільшують. Для зменшення негативної дії хлору хлорумісні калійні добрива потрібно вносити восени в оптимальних дозах під час основного обробітку ґрунту. Під дією атмосферних опадів в осінньо-зимово-весняний період іони хлору вимиваються з кореневмісного шару ґрунту, а іони калію залишаються в місці внесення добрива.

Залежно від гранулометричного складу ґрунту і доз калійних добрив необмінне поглинання (фіксація) калію добрив може становити від 15 до 80 %. Через фіксацію

значно знижується доступність калію для рослин, а іноді він стає зовсім недоступним. Ця здатність найхарактерніша для мінералів монтморилонітової групи та групи гідрослюд із тришаровою кристалічною ґраткою, яка розбухає. Механізм фіксації такий: катіони калію проникають у міжпакетний простір, коли він має найбільші розміри (в стані набухання) і в кристалічній ґратці кисневих атомів тетраедричних шарів займають гексагональні порожнини, притягуючи до себе обидва негативно заряджені кисневі шари, внаслідок чого вони виявляються у замкненому просторі. Висушування ґрунту, особливо тоді, коли воно чергується зі зволоженням, може значно посилювати процеси фіксації калію. Тому калійні добрива не можна вносити у верхній шар ґрунту, який часто пересихає.

За тривалого застосуванню калійних добрив у ґрунті підвищується вміст обмінних і необмінних форм калію (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Вміст різних форм калію в шарі 0–20 см чорнозему опідзоленого після тривалого (50 років) застосування добрив у польовій сівозміні (Нікітіна О. В., 2017), % від валового

Насиченість добривами 1 га площі сівозміни	Форма калію					
	легкорозчинна	рухома	обмінна	необмінно-гідролізована	слабкозв'язана	жорсткозв'язана
Без добрив (контроль)	0,08	0,44	0,61	11,7	0,52	11,0
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,12	0,58	0,79	12,8	0,66	12,0
Гній 18 т	0,15	0,57	0,81	12,9	0,66	12,1
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	0,14	0,56	0,77	12,8	0,64	12,0
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	0,19	0,63	0,90	13,6	0,70	12,7

Різні форми калію у ґрунті взаємодіють між собою, тому всі вони доступні для рослин, але в різних кіль-

костях. У досліді, який проводять на кафедрі агрохімії і ґрунтознавства Уманського НУС, за 50 років на чорноземі опідзоленому культури польової сівозміни винесли з урожаєм у 3–4 рази більше калію, ніж його містилося в обмінній формі в орному шарі. Це підтверджує використання рослинами необмінних форм поглиненого калію. Проте навіть у чорноземах, де досить активно функціонує система *необмінний калій → обмінний калій → калій ґрунтового розчину*, вона не може забезпечити культури достатньою кількістю калію. Внаслідок функціонування цієї системи, наприклад на чорноземі опідзоленому, рослини можуть щороку засвоювати близько 50 кг/га K_2O.

Характер взаємодії калійних добрив з ҐВК доводить досить слабку міграцію калію по ґрунтовому профілю за винятком піщаних і супіщаних ґрунтів. Зазвичай на ґрунтах середнього і важкосуглинкового гранулометричного складу калій добрив не переміщується з метрового, тобто кореневмісного шару ґрунту.

5.3. Ефективність калійних добрив

Краща ефективність калійних добрив на бідних на калій дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу та торф'яних ґрунтах. Тут доцільніше застосовувати калійні добрива, що містять магній (калій-магнезія, калімаг та ін.). На чорноземних ґрунтах калійні добрива застосовують переважно під культури, які засвоюють багато калію і натрію (буряк цукровий, соняшник, плодові, коренеплоди овочеві). Найвищі прирости врожаю від застосування калійних добрив одержують на ґрунтах Полісся і Лісостепу. Так, максимальна ефективність калійних добрив (на тлі азотних і калійних) відзначалася на картоплі й кукурудзі – врожайність збільшувалася в 1,5–2,4 рази порівняно з фоном. При застосуванні калійних добрив їх найбільша агрономічна ефективність або окупність була отримана за відносно невисоких доз (30–75 кг K_2O/га залежно від культури): пшениця яра – 4 кг,

ячмінь ярий – 6 кг, кукурудза – 144 кг зеленої маси, капуста – 42 кг, помідор – 100 кг, цибулю – 80 кг, морква – 175 кг, картопля – 141 кг на кг внесеного калію. Застосування калійних добрив (разом з NP) під пшеницю яру на зональних ґрунтах з середньою забезпеченістю цим елементом в теперішніх економічних умовах – це виключно інвестиція у ґрунтову родючість і страховка на випадок несприятливих погодних умов. Так, поріг окупності калію хлористого приростом урожаю зерна нині складає більш як 4,5 кг зерна /кг $К_2О$ за окупності в дослідах ≤ 4,0 кг зерна/кг $К_2О$. Отже, нині економічну віддачу від калійних добрив можна гарантовано отримати тільки при вирощуванні овочевих культур і картоплі, тим більше, враховуючи не тільки величину врожаю, але і його якість (Якименко В. Н., 2003).

Дослідженнями, що проводилися в Правобережному Лісостепу на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому було встановлено, що незначний приріст урожайності насіння рижію ярого від калійних добрив пояснюється відносно малою потребою рослин у цьому елементі живлення. На формування 1 т насіння рослини рижію ярого засвоюють з ґрунту 44–48 кг $К_2О$ (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Вплив калійних добрив на врожайність насіння рижію ярого на чорноземі опідзоленому (Рассадіна І. Ю., 2017), т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки	Приріст урожаю від калійних добрив	
	2013	2014	2015		т/га	%
Без добрив (контроль)	1,36	1,21	1,43	1,33	–	–
$N_{60}P_{60}$	1,80	1,57	1,91	1,76	–	–
$N_{60}P_{60}К_{60}$	1,92	1,63	1,98	1,84	0,07	4
HIP_{05}	0,06	0,07	0,08	–	–	–

Як видно з даних табл. 5.8, калійне добриво в усі роки досліджень не забезпечувало достовірного приросту

врожайності сорго зернового. Це можна пояснити як достатньою забезпеченістю цим елементом живлення рослин на чорноземі опідзоленому, так і високою здатністю їх засвоювати калій з ґрунтових запасів.

Таблиця 5.8

Вплив калійних добрив на врожайність сорго зернового на чорноземі опідзоленому (Климович П. В., 2007), т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки	Приріст урожаю від калійних добрив	
	2004	2005	2006		т/га	%
Без добрив (контроль)	6,96	7,72	7,44	7,37	–	–
$N_{90}P_{90}$	8,82	9,35	9,26	9,14	–	–
$N_{90}P_{90}K_{90}$	9,08	9,60	9,42	9,37	0,23	3
$НІР_{05}$	0,40	0,34	0,45	–	–	–

Жито озиме серед зернових культур менш вибагливе до родючості ґрунту. Зазвичай на ґрунтах із середнім забезпеченням рухомими сполуками елементів живлення їх може не вистачати для пшениці, але бути достатньою для жита. Це пояснюється добре розвиненою кореневою системою. Залежно від умов вирощування та сортів н формування 1 т зерна та відповідної кількості соломи жито виносить з ґрунту 25–39 кг K_2O. Дослідження показали, що за результатами трирічних досліджень на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому калійні добрива, внесені на азотно-калійному тлі забезпечували лише незначну тенденцію до підвищення врожайності зерна жита озимого (табл. 5.9).

На чорноземі опідзоленому гречка досить ефективно реагує на внесення калійних добрив. Усі форми, що вивчалися, у разі внесення під основний обробіток ґрунту дають істотний приріст урожайності зерна гречки – 0,42–0,78 т/га. Не спостерігалось значної відмінності між різними формами калійних добрив під час внесення їх восени (табл. 5.10).

Таблиця 5.9

Вплив калійних добрив на врожайність жита озимого на чорноземі опідзоленому (Пташник М. М., 2016), т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки	Приріст урожаю від калійних добрив	
	2010	2011	2012		т/га	%
Без добрив (контроль)	2,42	3,07	2,39	2,63	–	–
$N_{60}P_{60}$	3,92	4,01	3,74	3,89	–	–
$N_{60}P_{60}К_{60}$	4,04	4,26	3,96	4,09	0,20	5
$НІР_{05}$	0,29	0,32	0,30			

Таблиця 5.10

Урожайність гречки залежно від форм і строків внесення калійних добрив (Олійник О. О., Господаренко Г. М., 1994), т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки
	1989	1990	1991	
Без добрив (контроль)	0,74	1,69	0,84	1,09
NP – фон	1,05	2,12	1,37	1,51
Фон + Ка	1,24	2,41	1,69	1,76
Фон + Кх	1,20	2,36	1,58	1,71
Фон + Кск	1,35	2,51	1,76	1,87
Фон + Кх навесні	1,06	2,14	1,54	1,58
$НІР_{05}$	0,13	0,20	0,16	–

Весняне внесення калію хлористого підвищенню врожайності гречки не сприяло, що можна пояснити негативною дією хлору і розміщенням калію добрив у верхньому нестабільно зволоженому шарі ґрунту. Під час його внесення восени хлор вимивається у нижчі шари ґрунту і засвоюється рослинами в другій половині вегетації, що значно знижує чутливість до нього рослин. Отже, різні форми калійних добрив під час осіннього внесення мають практично однаковий вплив на врожайність гречки. Проведені дослідження свідчать, що застосування хлору-

місних калійних добрив у польовій сівозміні істотно не впливає на продуктивність типових для неї культур. При цьому виникає питання про подальшу роль хлору у ґрунті, внесеного з добривами.

Калійні добрива, що вносились у досліді підвищували врожайність льону олійного, про що свідчать достовірні її прирости в усі роки досліджень (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Вплив калійних добрив на врожайність льону олійного на чорноземі опідзоленому (Прокопенко Е. В., 2009), т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки	Приріст урожаю від калійних добрив	
	2005	2006	2007		т/га	%
Без добрив (контроль)	1,37	1,32	0,46	1,05	–	–
$N_{60}P_{60}$	1,76	1,70	0,59	1,35	–	–
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,90	1,82	0,64	1,45	0,10	7
$НІР_{05}$	0,10	0,08	0,04			

Застосування калійних добрив під нут забезпечувало незначний, але стабільний приріст урожайності, який у середньому за три роки досліджень становив 5 % (табл. 5.12)

Таблиця 5.12

Вплив калійних добрив на врожайність нуту на чорноземі опідзоленому (Прокопчук С. В., 2015), т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки	Приріст урожаю від калійних добрив	
	2011	2012	2013		т/га	%
Без добрив (контроль)	2,52	2,29	2,48	2,43	–	–
$N_{60}P_{60}$	3,41	2,99	3,29	3,23	–	–
$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,51	3,13	3,52	3,40	0,17	5
$НІР_{05}$	0,03	0,04	0,04			

Перехід до масового застосування складних і високонцентрованих добрив, широке поширення різних форм, нові можливості механізації дають можливість переглянути традиційні рекомендації по технології внесення добрив. Велике значення також має правильний вибір форм доб-

рив з врахуванням їх властивостей і складу, біологічних особливостей буряку цукрового, ґрунтово-кліматичних і агротехнологічних умов застосування.

У формуванні врожаю буряку цукрового, як відомо, крім основних елементів живлення – азоту, фосфору і калію, велике значення має кальцій, магній, сірка , натрій, мікроелементи (Максимович А. Е, 1968). Враховуючи їх нестачу у ґрунті у зв'язку з вилученням високими урожаями, подальше підвищення продуктивності культур може бути забезпечене надходженням їх у рослини з внесеними добривами.

Узагальненні дані наукових установ (Карцев Ю. Г., 1972; Янишевский Ф. В., 1978; Грызлов В. П. и др., 1986) свідчать, що за основного внесення під сільськогосподарські культури у всіх ґрунтово-кліматичних зонах складні та складно-змішані добрива рівноцінні еквівалентній суміші односторонніх туків, а в деяких випадках їх переважають. Вважається (Авдонин Н. С., 1972), що не дивлячись на практично однакову ефективність, знак рівності між ними ставити не можна. Є випадки, коли переваги залишаються на стороні складних або на стороні односкладових добрив. Це залежить від складу добрив, способів їх внесення та інших причин. Так, за внесення складних добрив під буряк цукровий в одних дослідах вони були менш ефективними, ніж еквівалентна суміш односкладових добрив (Рождественский И. Г., 1964; Руцкая С. И., 1966; Мартынович Н. Н., 1979; Мусич В. И., Лежвинская Л. С., 1984), в той час як у інших – не поступалися їм (Хоменко А. Д., 1968; Гавва И. А., Сидоров А. А., 1974; Кондратюк М. Н., 1983; Кураков В. И. и др., 1986). При цьому слід підкреслити, що в більшості цих дослідів у склад суміші односкладових добрив входив калій хлористий.

Для буряку цукрового, як й інших галофітів, крім калію необхідний і натрій. Багато вчених (Рождественский И. Г., 1964; Авдонин Н. С.,1972; Matzel W., 1983) пояснюють меншу ефективність складних добрив, внесених під буряк цукровий, з менш ефективним калієм хлориду калію,

який входить у їх склад, і відсутністю хлориду натрію. Низкою вчених (Егоров М. А., 1936; Владимиров А. В., Прянишников Д. Н., 1965; Дрейкот А. П., 1978; Давыденко У. М., 1981) встановлено позитивне значення натрію в підвищенні продуктивності буряку цукрового. Дослідження фізіологічного значення натрію, внесеного додатково до калію, показали високу ефективність цього елементу в процесах росту та накопичення цукру в коренеплодах (Маринчик А. Ф., Пахомова А. М., 1965; Якубовский К. Б., 1967; Перербургский А. В., 1981; Adams S. N., 1961).

Зазначається (Прокошев В. В., Подколзина Г. В., 1984), що нині невиправдано скорочується виробництво калійної солі змішаної. Це добриво відрізняється дією на формування врожаю не лише наявністю в ньому калію, але і супутніми йому складовими, містять натрій і цілу низку інших елементів живлення, необхідних для росту та розвитку буряку цукрового. Переваги калійної солі змішаної на чорноземах загальновідоме (Руцкая С. И., 1966; Прокошев В. В., Государева З. И., 1985; Рекомендации..., 1986).

Позитивну дію натрію на ріст і розвиток буряку цукрового відзначали багато вчених (Егоров М. А., 1936; Власюк П. А., 1950; Adama S. N., 1961; Мусич В. И. и др., 1986). Багато натрію та мікроелементів під цю культуру вносять у країнах Західної Європи. Нітроамофоску рекомендується застосовувати у першу чергу на ґрунтах, що містять відносно багато рухомих форм калію й натрію (Рекомендації..., 1986).

Після опрацювання літературних джерел виникло питання – чи достатньо забезпечений буряк цукровий натрієм за внесення нітроамофоски на чорноземі опідзоленому? Крім того, дози внесення мінеральних добрив під цю культуру значно збільшилися, а більшість дослідів з вивчення ефективності нітроамофоски проводилися за порівняно невисоких доз основних елементів живлення.

Узагальнюючи вище викладене, слід зазначити, що приведені в огляді наукові дані в певній мірі умовні, тому

що в польових дослідах застосовували різні дози, форми і співвідношення елементів живлення в добриві, які проявляли свою дію в різних умовах агрокультури, ґрунту та клімату. Поряд з цим вони показують, що ще недостатньо вивчені всі питання раціонального застосування виділених під буряк цукровий добрив. При цьому слід уважно враховувати всі названі та інші чинники, від яких залежить кінцевий результат взаємодії добрив з ґрунтовим середовищем і створення у ґрунті оптимального режиму доступних форм поживних речовин.

Буряк цукровий відноситься до калієфільних культур, тому формування його врожаю значно залежить від калійного режиму ґрунту. Встановлено, що внесення добрив сприяло лише деякому збільшенню вмісту рухомих сполук калію у ґрунті (табл. 5.13). Так, на початку вегетації буряку цукрового на тлі внесення 40 т/га гною в шарі ґрунту 0–30 см його вміст збільшувався на 7 мг/кг. Мінеральні добрива в дозі 120 кг K_2O/га підвищували його вміст в орному шарі ґрунту на 10–12, а в підорному (30–50 см) – на 5–6 мг/кг. Таке незначне підвищення вмісту рухомих сполук калію пояснюється особливостями чорноземів, калійний стан яких менше піддається змінам завдяки високій поглинальній здатності й трансформації калійних добрив у ґрунті. У динаміці рухомих сполук калію у ґрунті спостерігалося зменшення його вмісту до збирання врожаю. Для буряку цукрового, як й інших галофітів, важливим є наявність у ґрунті рухомих сполук натрію. Як видно з даних табл. 5.13, чорнозем опідзолений містить рухомих сполук натрію 25 мг/кг ґрунту, тобто у 3–4 рази менше, ніж рухомих сполук калію, за умови визначення в одній наважці. Внесення 40 т/га гною підвищувало його вміст на 4 мг/кг ґрунту, а змішаної калійної солі на його тлі – на 6 мг/кг в орному і 7 мг/кг у шарі 30–50 см. Це ж спостерігали й інші вчені (Руцкая С. И., 1966; Давыденко У. М., 1981), що пояснюється переходом іонів натрію з твердої фази у ґрунтовий розчин. Іони натрію,

порівняно з іншими катіонами, не піддаються фіксації, слабше утримуються ҐВК і сильніше інших вилужуються з ґрунту (Томпсон Л. М., Троу Ф. Р., 1982).

Таблиця 5.13

Динаміка рухомих сполук калію і натрію у ґрунті під буряком цукровим за різного удобрення (1984–1986 рр.), мг/кг

Варіант досліду	Фаза росту та розвитку рослин							
	Перша пара листків		Змикання листків у міжряддях		Розмикання листків у міжряддях		Збирання врожаю	
	Шар ґрунту, см							
	0–30	30–50	0–30	30–50	0–30	30–50	0–30	30–50
	K_2O							
Без добрив (контроль)	98	87	92	87	87	82	89	78
Гній – фон	105	90	100	88	99	89	101	94
Фон + NaaPcг	104	90	100	86	93	81	85	74
Фон + NaaPcгKк	125	96	123	92	104	94	106	92
Фон + NaaPcгKх	126	95	123	91	102	92	107	84
Фон + НАФК	124	96	124	93	105	91	108	83
	Na_2O							
Без добрив (контроль)	25	25	24	26	22	23	20	21
Гній – фон	29	29	28	28	26	25	25	24
Фон + NaaPcг	29	28	26	25	23	20	18	17
Фон + NaaPcгKк	35	36	32	35	28	30	27	27
Фон + NaaPcгKх	28	29	28	27	23	23	20	19
Фон + НАФК	29	30	28	30	25	24	21	19

Динаміка рухомих сполук натрію впродовж вегетації буряку цукрового подібна до динаміки калію. Найбільше зниження вмісту натрію відмічено на ділянках з внесенням лише азотних і фосфорних добрив, що пов'язано з інтенсивнішим засвоєнням натрію за нестачі калійного живлення.

Чорнозем опідзолений має високу природну та потенційну родючість, про що свідчать показники урожайності коренеплодів буряку цукрового, одержаних на контролі

без добрив і в інших варіантах досліду (табл. 5.14). Внесення 40 т/га гною підвищувало врожайність коренеплодів у середньому за три роки з 29,3 до 33,7 т/га. На тлі внесення гною з основних елементів живлення, з урахуванням їх парних комбінацій, найбільшу ефективність давало внесення азотних добрив у поєднанні з фосфорними. Це пояснюється тим, що гній є відмінним джерелом калію, а також рухомих сполук фосфору, доступність рослинам яких значно вище азоту, що містяться в цьому добриві переважно у вигляді повільнодійних органічних сполук. Співставлення приростів урожайності буряків, одержаних від повного мінерального добрива ($N_{120}P_{120}K_{120}$) з приростами від парних комбінацій основних елементів живлення, дозволяє вичленити роль окремих елементів у формуванні врожаю. Вилучення з повного мінерального добрива одного з елементів живлення в тій чи іншій мірі знижує урожай буряків. Особливо проявляється в цьому відношенні нестача азоту, дещо менше фосфору і менше всього – калію.

Таблиця 5.14

Урожайність коренеплодів буряку цукрового залежно від удобрення, т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки
	1984	1985	1986	
Без добрив (контроль)	34,2	31,2	22,6	29,3
Гній – фон	39,7	37,1	24,4	33,7
Фон + NaaPсг	52,2	48,9	31,7	44,3
Фон + NaaPсгКк	53,3	50,9	32,8	45,7
Фон + NaaPсгКх	53,0	50,1	32,7	45,3
Фон + НАФК	52,8	50,5	33,4	45,6
$НІР_{05}$	2,7	2,3	1,7	

Калійні добрива у дозі 120 кг/га д. р. на азотно-фосфорному тлі практично не впливали на підвищення врожаю коренеплодів буряку цукрового. Це також відмі-

чали й інші вчені (Носко Б. С. та ін., 1977; Карцев Ю. Г., 1986), узагальнюючи результати дослідів географічної мережі на чорноземних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. Це можна, перш за все, пояснити низьким рівнем продуктивності культури у дослідах, а також внесенням значної кількості калію з гноєм.

Нітроамофоска за дією на врожай коренеплодів буряку цукрового була на рівні еквівалентної суміші односкладових добрив.

Вміст цукру – не єдиний, але основний показник якості фабричних буряків. Поєднання високої цукристості з великою масою коренеплодів – одна з актуальних проблем сучасного буряківництва.

Дослідженнями встановлено, що зміна в направленості фотосинтезу в перерозподілі асимілянтів, викликана поліпшенням умов мінерального живлення за внесення добрив, змінює цукристість коренеплодів буряку цукрового (табл. 5.15). Але показник цей був досить консервативний в умовах кожного року проведення дослідження та змінювався під впливом удобрення в межах 0,9–1,0 абс. %.

Таблиця 5.15

Вміст цукру в коренеплодах буряку цукрового залежно від удобрення, %

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки
	1984	1985	1986	
Без добрив (контроль)	19,0	19,1	17,3	18,5
Гній – фон	18,8	19,0	17,3	18,4
Фон + NaaPсг	18,0	18,2	16,4	17,5
Фон + NaaPсгКк	18,3	18,5	16,8	17,9
Фон + NaaPсгКх	18,0	18,3	16,5	17,6
Фон + НАФК	18,0	18,5	16,6	17,7
$НІР_{05}$	0,2	0,2	0,2	

Судячи за парними комбінаціями видів мінеральних добрив, калійні добрива на тлі гною майже не мали впли-

ву на цукристість коренеплодів. Форми калійних добрив мали різний вплив на цукристість коренеплодів буряку цукрового. У середньому за роки проведення дослідження калійна сіль змішана підвищувала її на 0,4 абс. %. Цьому сприяє кращий відтік цукрів з листкового апарату в коренеплоди під впливом елементів живлення, що входять до складу сирих калійних солей (Руцкая С. И., 1966; Якубовский К. Б., 1967; Кук Д. У., 1970). За внесення калію хлористого спостерігалася лише тенденція його підвищення (на 0,1 абс. %).

Згідно огляду літератури (Сидоров А. А., 1975; Мартынович Н. Н., 1979; Мусич В. И., Лежвинский Л. С., 1984) нітроамофоска за цукристістю коренеплодів поступалася на 0,2–0,4 абс. % суміші односторонніх добрив. Проведені дослідження показали, що нітроамофоска на поступалась за цим показником змішаним добривам, де складовою був калій хлористий і лише в один рік дослідження переваги (на 0,3 абс. %) були за тукосумішшю, до складу якої входила калійна сіль змішана.

Отже, одержаний експериментальний матеріал і дані літератури свідчать, що правильний підбір форм мінеральних добрив дозволяє ефективно управляти фотосинтетичною діяльністю рослин буряку цукрового і, таким чином, отримувати високі врожаї коренеплодів за незначного зниження їх цукристості.

Одним із важливих резервів збільшення виробництва цукру, поряд з підвищенням урожайності буряку цукрового, є поліпшення технологічних якостей коренеплодів. Актуальність цієї проблеми підтверджується практикою бурякосіяння.

Поліпшення технологічних якостей коренеплодів можна досягти селекційною роботою, впровадженням ефективних технологічних заходів, у тому числі правильної системи удобрення (Орловский Н. И., 1961). У регіоні проведення досліджень якість буряків сильно залежить від удобрення та погодних умов (Карасюк И. М., 1985).

У проведених дослідженнях складові системи удобрення мали певний вплив на технологічні якості коренеплодів. Внесення 40 т/га гною, не дивлячись на підвищення врожайності коренеплодів, практично не знижувало їх технологічних якостей (табл. 5.16). Така дія гною обумовлена створенням у ґрунті оптимальних фосфорного і калійного режимів, кращим забезпеченням мікроелементами та іншими чинниками, зв'язаними з його застосуванням (Алексеева Е. Н., 1965; Цуркан М. А., 1985; Наконечная З. И., 1986). Внесення мінеральних добрив негативно впливало на технологічний вихід цукру.

Таблиця 5.16

Технологічні якості коренеплодів буряку цукрового залежно від удобрення, 1984–1986 рр.

Варіант досліду	Показник				
	Чистота нормально очищеного соку, %	Втрати цукру в мелясі, %	МБ-чинник	Можливий вихід цукру, %	Коефіцієнт заводу
Без добрив (контроль)	90,65	2,87	39,06	14,69	79,4
Гній – фон	90,04	3,06	42,48	14,41	78,3
Фон + NaaPсг	88,65	3,15	46,74	13,48	77,0
Фон + NaaPсгКк	88,44	3,37	49,56	13,60	76,0
Фон + NaaPсгКх	88,04	3,41	51,32	13,29	75,5
Фон + НАФК	88,28	3,36	50,00	13,44	75,9

Значний вплив на якість коренеплодів буряку цукрового мають форми калійних добрив. Більш ефективною у цьому відношенні була калійна сіль змішана. Нітроамофоска мала однаковий вплив на технологічні якості сировини з еквівалентним набором односкладових добрив з калієм хлористим.

Досить повно фізіологічний стан рослин і надійно показує технологічну стиглість коренеплодів показує МБ-чинник (Бондаренко В. С., 1986). Розрахунок МБ-чинник показав значні відмінності між варіантами удобрення.

Встановлено, що внесення повного мінерального добрива підвищувало вихід меляси на одиницю очищеного цукру порівняно з контрольним варіантом на 11–31 %. Найбільший вплив на цей показник мали азотні добрива.

Аналізуючи причини, що знижують якість бурякової сировини, більшість учених (Dutton J., Bowler G., 1984; Trzebinski J., 1984; Устименко-Бакумовская А. В., 1986) вважають, що це проходить у результаті зменшення концентрації сахарози і збільшення вмісту азоту, фосфору і калію.

Встановлено, що вихід цукру на заводі, порівняно з цукристістю коренеплодів, змінювалася істотніше за роками дослідження та варіантами досліду. Так, у варіанті досліду з внесенням суміші односкладових добрив з калієм хлористим і нітроамофоски цей показник знижувався відповідно на 0,3 і 02 од. порівняно з виробничим контролем (фон + NaaPсгКк).

Узагальнюючим показником технологічності коренеплодів є коефіцієнт заводу, який у досліді знижувався за внесення $N_{120}P_{120}К_{120}$ на тлі 40 т/га гною на 2–4 од. залежно від видів і форм мінеральних добрив.

Основним об'єктивним критерієм і кінцевою оцінкою, що враховує врожайність і якість коренеплодів буряку цукрового, є вихід цукру на заводі. Цей показник відображає та інтегрує дію на рослини всіх елементів технології вирощування культури, у тому числі й добрив.

Як свідчать дані табл. 5.17, можливий заводський вихід цукру з одиниці площі посіву буряку цукрового залежить від погодних умов, про що свідчать його зміни у роки проведення дослідження на неудобрених ділянка від 3,05 до 5,28 т/га.

Найбільша дія внесених добрив була за достатньої кількості опадів. Так, внесення $Naa_{120}Pсг_{120}Кк_{120}$ на тлі 40 т/га гною за достатнього зволоження в 1984 р. підвищувало збір цукру на 2,41 т/га, а в посушливих умовах 1986 р. – лише на 0,94 т/га.

Таблиця 5.17

Можливий збір цукру залежно від удобрення буряку цукрового, т/га

Варіант досліду	Рік дослідження			Середня за три роки
	1984	1985	1986	
Без добрив (контроль)	5,28	4,72	3,05	4,35
Гній – фон	6,00	5,49	3,25	4,91
Фон + NaaPcr	7,41	6,90	3,85	6,05
Фон + NaaPcrKк	7,69	7,20	4,01	3,85
Фон + NaaPcrKх	7,47	6,92	3,91	6,10
Фон + НАФК	7,45	7,11	4,05	6,20

Калійні добрива також мали істотний вплив на продуктивність буряку цукрового. Для визначення ефективності нітроамофоски, до складу якої входить хлорид калію, її порівнювали з еквівалентною сумішшю односкладових добрив з калійною сіллю змішаною та калієм хлористим. Встановлено, що калій хлористий порівняно з калійною сіллю змішаною є менш ефективною формою добрива.

Зниження ефективності нітроамофоски порівняно з сумішшю односкладових добрив було і в інших дослідах (Рождественский И. Г., 1964; Руцкая С. И., 1966; Дука Г. Г. и др, 1975; Мартынович Н. Н., 1979; Зубенко Ф. В. и др., 1983; Мусич В. И., Лежвинский Л. С., 1984). Певне значення у зниженні ефективності нітроамофоски мало відсутність у її складі хлориду натрію, який особливо ефективно діє на буряк цукровий на чорноземі опідзоленому (Рождественский И. Г., 1964; Рекомендации ..., 1986). Тому багато вчених (Власюк П. А., 1950; Якубовский К. Б., 1967; Кук Д. У., 1970) пояснюють кращу ефективність дії сирих калійних солей порівняно з концентрованими, наявністю в їх складі натрію. Рівноцінна дія нітроамофоски з тукосумішшю у деяких дослідах (Зубченко Т. С., 1981; Кондратюк М. Н., 1983) пояснюється застосуванням у суміші калію хлористого або наявністю у ґрунті достатньої кількості рухомих сполук натрію.

Отже, за проведеними дослідженнями та узагальненими даними у багатьох статтях і монографіях (Алексеева Е. Н., 1965; Явтушенко В. Е., Попова Р. Н., 1974; Дрейкот А. П., 1977; Сахарная ..., 1979; Носко Б. С., Дружченко А. В., 1979; Рекомендации ..., 1986; Толстоусов В. П., 1987) можна зробити висновок, що за правильного застосування добрив під буряк цукровий підвищується урожайність коренеплодів і зводиться до мінімуму негативний вплив на їх технологічні якості, що забезпечує більш високий заводський вихід цукру з площі посіву.

Ефективність калійних добрив чітко проявляється за наступних обставин: низький початковий вміст калію у ґрунті (ґрунту легкого гранулометричного складу, особливо нечорноземної зон); достатнє забезпечення культур азотом і фосфором (відносні запаси цих елементів у ґрунтах, зазвичай, нижче, ніж калію); тривале інтенсивне використання ґрунту за дефіцитного балансу калію.

Основні шляхи підвищення ефективності калійних добрив наступні:

Правильне їх застосування з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і забезпеченості ґрунту рухомими формами калію. При цьому оптимальний вміст рухомих сполук калію за методом Чирикова змінюється залежно від ґрунту і культури від 100 до 180 мг/кг ґрунту, за методом Кирсанова – 150–220, за методом Мачигіна – 300–400, за методом Маслової – 200–300 мг/кг ґрунту.

Підвищення рівня культури землеробства, окультуреності ґрунтів, збалансоване живлення сільськогосподарських культур усіма елементами живлення.

Після вапнування кислих ґрунтів доцільно збільшувати дозу калійних добрив. Це зумовлюється тим, що на провапнованих ґрунтах доступність калію для рослин різко знижується внаслідок антагонізму його і кальцію, а тому вміст доступних форм цього елемента живлення у ґрунті треба збільшувати.

Внесення калійних добрив у сівозміні, насамперед під культури з високою позитивною чутливістю до калію й окупністю цих добрив урожаєм (картопля, буряк цукровий, овочеві культури, кормові коренеплоди, трави та ін.).

Для формування 1 т коренеплодів і відповідної кількості гички буряк цукровий засвоює 1,0–1,4 кг Na_2O. Тому для цієї культури, як і всіх галофітів, важливе значення має вміст у ґрунті рухомих сполук натрію. Встановлено (Господаренко Г. М., 1987), що в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому їх вміст становить 25 мг/кг, тобто в 3–4 рази менше, ніж рухомих сполук калію, визначених у одній наважці за методом Чирикова.

Обов'язкове врахування біологічних вимог сільськогосподарських культур при виборі форми калійного добрива. Культури, що негативно реагують на хлор, потребують внесення безхлорних калійних добрив. Під зернові культури, буряк цукровий, кормові коренеплоди і злакові трави найліпшими є хлористий калій і калійні добрива, що містять натрій. Культури з родини капустяних (ріпак, капуста, редька, тощо), бобових (горох, соя, нут та ін.) добре реагують на калійні добрива, які містять сірку (калій-магнезія, калімаг, сульфат калію).

Найліпше вносити калійні добрива восени під зяблевий обробіток ґрунту. Цим досягається рівномірне розподілення калію у верхньому шарі ґрунту і вимивання хлору в нижні шари в осінньо-зимовий і весняний періоди. Поряд з цим практикують також внесення калійних добрив у рядки і для підживлення деяких сільськогосподарських культур.

5.4. Ефективність калійних добрив за тривалого застосування в польовій сівозміні

У нинішніх умовах, коли проблема збереження родючості ґрунту поглиблюється, гостро виникає питання розроблення таких систем удобрення для різних ґрунтово-кліматичних умов, які забезпечують високу продуктивність культур з одночасним поліпшенням якості ґрунту.

Загальноприйняте положення, що чим вищі дози внесення добрив, тим вищі врожаї вже не актуальне в умовах енергетичної кризи. Актуальним також є уточнення кількісних характеристик балансу в системі добриво–ґрунт–рослина в різних ґрунтово-кліматичних умовах з урахуванням доз добрив з метою розроблення практичних рекомендацій з оптимізації поживного режиму ґрунту, підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і охорони навколишнього природного середовища.

Застосуванням системи удобрення в польовій сівозміні треба підтримувати на оптимальних рівнях увесь комплекс показників родючості ґрунту, який для чорнозему опідзоленого важкосуглинкового Правобережного Лісостепу України відповідає таким параметрам: pH_{KCl} 5,4–6,0, ступінь насичення основами – 89–90 %, вміст азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда) – 150 мг/кг, рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) – відповідно 200 і 160 мг/кг. Це досягається середньорічним внесенням мінімально-оптимальних доз мінеральних добрив і максимально можливого застосування гною та інших органічних ресурсів (Господаренко Г. М., 2002).

Калійний режим ґрунту та забезпеченість рослин калієм обумовлюються динамічними показниками вмісту його рухомих і фіксованих форм. Завдяки фізико-хімічним процесам ґрунт постійно прагне до підтримання рівноваги між формами калію (Пчелкин В. У., 1966; Прокошев В. В., 2000; Нікітіна О. В., 2017). Дані агрохімічного обстеження свідчать, що площі ґрунтів з низьким і середнім вмістом рухомих сполук калію в України збільшуються. Багатогранні функції калію (екологічні, фізіолого-біохімічні, агрохімічні) та реакція сільськогосподарських культур на цей біологічний елемент, що зростає в часі, потребують перегляду стратегії оцінювання забезпеченості ґрунтів та умов оптимізації живленням ним рослин (Носов В. В., 2002).

Регулювання калійного режиму чорноземних ґрунтів набагато складніше, ніж фосфорного. Внесенні калійні

добрива поповнюють поряд з обмінною, й інші форми калію (Господаренко Г. М., 2002; Нікітіна О. В., 2017). До того ж у ґрунті калій більш рухливий, ніж фосфор, а темпи поповнення запасів водорозчинних завдяки іншим формам зазвичай відстають від темпів засвоєння його рослинами.

Вміст калію в чорноземі опідзоленому складає 2,2 % від загальної маси ґрунту (Нікітіна О. В., 2017), а тому в процесі сільськогосподарського використання цей показник практично не змінюється. У зв'язку з тим, що у ґрунті існує певна рівновага між формами калію, виникають труднощі в регулюванні калійного режиму ґрунтів і в розробленні системи застосування калійних добрив під різні сільськогосподарські культури. Особливо це стосується чорноземів важкого гранулометричного складу, що добре забезпечені калієм (Пчелкин В. У., 1966).

Вважається (Носко Б. С., 1989; Слободян С. М., Гончарук О. В., 1994), про калійні добрива зміщують рівновагу між різними формами калію у ґрунті в бік підвищення рухливості його сполук, проте це зміщення в часі зберігається не так стійко, як це характерно для залишкових фосфатів. Через певний час рівновага відновлюється на рівні, що характерний цьому підтипу ґрунту. Проте на чорноземі типовому в короткоротаційних сівозмінах на неудобрених ділянках упродовж 30 років спостерігалося інтенсивне зменшення вмісту рухомих сполук калію (Цвей Я. П., 2015).

У процесі тривалого сільськогосподарського використання ґрунту без внесення добрив проходить зменшення в ньому обмінного і водорозчинного калію. Так, на чорноземі опідзоленому Верхняцької дослідно-селекційної станції за 50 років сумарне вилучення калію культурами польової сівозміни у варіанті без добрив склало 5,5 т/га, або 6,8 % від загального вмісту, а запаси рухомих сполук калію в орному шарі ґрунту залишилися практично незмінними. Річна доза добрив $N_{50}P_{49}K_{57}$ дозволяла зберегти запаси валового калію в орному шарі на вихідному рівні – 2,2 %, а вміст рухомих сполук калію при цьому збільшився на

15 % (Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н., 1992; 1994). Таку ж закономірність одержано і в тривалому (50 років) досліді на чорноземі опідзоленому на дослідному полі Уманського НУС (Нікітіна О. В., 2017). У чорноземі вилуженому важкосуглинковому за чотири ротації 7-пільної сівозміни за інтенсивності балансу калію 48–83 % вміст рухомих сполук калію у варіантах з мінеральною системою удобрення збільшився в шарі ґрунту 0–25 см на 36 %, а за органо-мінеральної – на 80 % (Ивойлов А. В., Малова А. В., 1993). Вчені пояснюють підтримання вмісту рухомих сполук калію переходом його з важкорозчинних форм. На нашу думку, ще й проходить інтенсивне його біопереміщення з нижніх шарів ґрунту.

В чорноземі опідзоленому засвоювані водорозчинні і обмінні форми калію рослинами поступово відновлюється завдяки необмінним формам (Нікітіна О. В., 2017). За даними (Кулаковская Т. Н., 1970), без внесення калійних добрив вони можуть засвоювати до 75 % калію з необмінних форм від загального його винесення з ґрунту. Встановлено (Ониани О. Г., 1981), що вилучення калію кукурудзою в 1,5–2,0 рази перевищує вміст у ґрунті його обмінних форм. При цьому коефіцієнт кореляції між урожаєм і вмістом необміннофіксованого калію був вищий (r = 0,93), ніж між урожаєм і вмістом обмінного калію (r = 0,71). Проте навіть у чорноземах, з високими запасами калію, процес його переходу в рухомі форми проходить повільно, що не дозволяє за інтенсивного вирощування сільськогосподарських культур повністю забезпечити їх калієм (Фатеев А. И. 2002). Припинення внесення калійних добрив у польовій сівозміні на Миронівській дослідній станції різко знижувало врожайність культур і з часом депресія врожаїв посилювалася (Гетманець А. Я., 1973).

У Правобережному Лісостепу в польовій сівозміні встановлено, що збільшення вмісту калію в чорноземі опідзоленому відбувається за дози калійних добрив, що становить 50 % від його винесення врожаями за умови залишення

нетоварної частини врожаю на полі, а за її вилучення – 80 % (Господаренко Г. М., 2002). При цьому калійні добрива слід вносити під калієфільні культури, а наступні культури сівозміни будуть використовувати їх післядію.

Відмічено (Гапиенко А. А., Сичевський М. Е., 2000), що динаміка вмісту обмінного калію у ґрунті, зайнятому рослинами і на чистих площах була однакова. Зменшення кількості доступного калію впродовж вегетації, на думку вчених, більше залежить від переходу в необмінні форми, ніж від поглинання рослинами. Цей факт, а також відсутність стійкості позитивної дії калійних добрив на врожай культур дозволяє зробити висновок про економічну недоцільність внесення калійних добрив.

Вважається (Определение ..., 1988), що достатнім для одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур у польових сівозмінах є вміст рухомих сполук калію (за методом Чирикова) 120–180 мг/кг ґрунту.

Вузьким місцем у системі застосування калійних добрив є встановлення потреби культур у калії. Перш за все це зумовлено складністю взаємодії між рослиною, добривом, ґрунтом і погодою (Носко Б. С., 2017). Різними науковими установами запропоновано низку методів розрахунку доз добрив. Проте вони не забезпечують належну продуктивність культур сівозміни, оскільки були розроблені для окремих пріоритетних культур, а не для всіх культур сівозміни (Гамаюнова В. В., Филипьев И. Д., 1997; Литвак Ш. И., 1990; Сухомуд О. Г., 2000).

У тривалому (1961–1976 рр.) досліді на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті встановлено, що поліпшення калійного стану ґрунту не пропорційне дозам калійних добрив. Ідентично цій закономірності формується і продуктивність сівозміни (Дегодюк С. Е., Штупун Н. В., Чернишенко І. І., 2002). Тому вчені роблять висновок, що класичні системи удобрення є витратними щодо досягнення бездефіцитного балансу калію. Це потребує розроблення нових підходів до додаткового залучення місцевих

органічних ресурсів. Крім цього встановлено (Слободян С. М., Гончарук О. В., 1994), що за систематичного застосування добрив, одержання високих урожаїв можливе за внесення значно менших доз, що пояснюється післядією добрив, внесених під попередні культури сівозміни.

Для оптимізації мінерального живлення у польових сівозмінах і підвищення родючості сірого лісового ґрунту Правобережного Лісостепу з середніми агрохімічними показниками у господарствах рослинницького напрямку рекомендується максимально залучати нетоварну частину врожаю та вносити невисокі дози мінеральних добрив, що не перевищують $N_{50}P_{30}K_{50}$ (Кириченко А. В., 2015).

На чорноземі типовому Лівобережному Лісостепу в польових сівозмінах на 10–15 років можуть впроваджуватися системи удобрення, які не покривають винесення основних елементів живлення (за винятком фосфору в разі внесення не менш як 50 кг P_2O_5/(га · рік)). Можливість подальшого застосування таких систем удобрення необхідно визначати контролем основних агрохімічних показників ґрунту (Доценко О. В., 2013).

Не дивлячись на від'ємний баланс калію на чорноземах Молдови, більшість сільськогосподарських культур не реагують на внесення калійних добрив (Крупеников И. А., 2008). За оптимальної системи удобрення потреба в калійних добривах повністю відсутня для ячменю озимого і ярого, кукурудзи на зерно і силос, гороху. Потреба у внесенні 40 кг K_2O/га встановлена для пшениці озимої, буряку цукрового, соняшнику, картоплі та овочів.

За нинішніх економічних умов, змінились співвідношень елементів живлення в добривах, що застосовуються. За таких умов важливим чинником ефективного використання ґрунтів і забезпечення їхньої родючості є обґрунтоване застосування добрив (оптимізація доз і поєднання основних елементів живлення залежно від культур, їхнього місця в сівозміні та від якості ґрунту) (Гладкіх Є. Ю., 2012).

Отже, з огляду наукових джерел, можна зробити такі висновки:

1. Рекомендовані в довідковій літературі дози калійних добрив зазвичай не враховують залишкового вмісту у ґрунті рухомих форм калію і були розраховані за умов видалення нетоварної частини урожаю з поля.

2. В умовах енергетичної кризи важливо встановити мінімально оптимальну дозу калійних добрив, за якої не знижувалася б продуктивність культур сівозміни і вміст рухомих сполук калію у ґрунті.

3. Порівняно з азотним і фосфатним, калійний режим чорноземів важкого гранулометричного складу більш стабільний завдяки переходу калію в обмінну форму з важкорозчинних сполук і біологічного переміщення його з нижніх шарів ґрунту. Тому не завжди доцільно забезпечувати додатній або навіть урівноважений його баланс у сівозміні.

4. Виникає потреба постійного уточнення показників відносного винесення елементів живлення одиницею продукції сільськогосподарських культур для окремих регіонів з урахуванням величини врожаю, відношення в ньому між товарною і нетоварною частинами, якості продукції тощо.

5. В учених немає єдиної думки щодо методу розрахунку середньорічної дози добрив для польової сівозміни.

Метою польового досліду є встановлення ефективності дії різних видів, доз і співвідношень мінеральних добрив на врожайність і якість зерна та насіння польових культур, родючість чорнозему опідзоленого.

Розміщення варіантів у досліді послідовне. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур 4-пільної польової сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) і виявляти вплив агрометеорологічних чинників на їх продуктивність та ефективність добрив.

У досліді вирощували пшеницю озиму сорту Місія одеська, ячмінь ярий сорту Командор, сою сорту Аннушка і гібрид кукурудзи НК Термо.

Величина зміни реакції ґрунтового середовища та фізико-хімічних показників ґрунтів, а також зміщення потенціальної кислотності під впливом добрив залежить від багатьох чинників, які в свою чергу впливають на їх ефективність (Прокопчук І. В., 2003).

Інтенсивність застосування добрив позначилось на структурі ґрунтового вбирного комплексу (табл. 5.18). На ділянках з внесенням $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни гідролітична кислотність у шарі ґрунту 0–20 см збільшилася з 2,78 до 3,83 смоль/кг, зменшилась сума поглинутих основ на 3,10 смоль/кг, погіршилась реакція ґрунтового середовища (на 0,3 од. pH_{KCl}). У варіантах з удобренням посилювалось погіршення цих показників за внесення високої дози калійних добрив.

Таблиця 5.18

Зміна фізико-хімічних та агрохімічних показників ґрунту в шарі 0–20 см за тривалого (з 2010 р.) застосування мінеральних добрив у польовій сівозміні (в середньому по чотирьох полях, 2016–2018 рр.)

Варіант досліду	Вміст гумусу, %	pH_{KCl}	Hr	S	ЄКО	V, %	Вміст у ґрунті, мг/кг			
			смоль/кг				$N_{легк}$	P_2O_5	K_2O	$S–SO_4$
Перед закладанням досліду	3,81	5,80	2,78	24,8	27,6	89,9	105	106	132	6,1
Без добрив (контроль)	3,71	5,53	2,86	24,6	27,5	89,6	98	92	124	5,5
$N_{110}P_{60}$ – фон	3,85	5,53	3,33	23,3	26,6	87,5	116	113	114	8,2
Фон + K_{40}	4,04	5,48	3,70	22,8	26,2	87,0	118	113	125	9,1
Фон + K_{80}	4,09	5,43	3,83	21,7	25,9	83,7	119	112	128	7,5

Вважається (Дегодюк Е. Г., 1992; Господаренко Г. М., 2002; Цвей Я. П., Мазур Г. М., 2001; Нікітіна О. В., 2017), що найважливішими чинниками вмісту рухомих сполук калію у ґрунті є його фізико-хімічні особливості, дози калійних добрив, баланс калію і структура сівозміни.

Незначне зниження вмісту рухомих сполук калію за низької дози калійних добрив не може бути обґрунтуванням

відмови від їх застосування на чорноземах. Їх в першу чергу необхідно вносити під калієфільні культури, щоб забезпечити їх збалансоване мінеральне живлення (Носов В. В., 2002; Лукин С. В., Васенев И. И., Цыгуткин А. С., 2010; Нікітіна О. В., 2017). Картину такого «благополуччя» можна пояснити високим вмістом у чорноземі опідзоленому польових шпатів і алюмосилікатів, які розчиняються за pH = 3, який встановлюється під час взаємодії 0,5 н розчину оцтової кислоти з ґрунтом (метод Чирикова) (Чириков Ф. В., 1956). При цьому також проходить гідроліз калійумісних органічних сполук. Це може спотворювати реальний стан потенційно доступного калію у ґрунті (Прокошев В. В., 2000; Носов В. В., 2002; Нікітіна О. В., 2017).

Як видно з даних табл. 5.18, вміст рухомих сполук калію у шарі ґрунту 0–20 см у всіх варіантах досліду, за виключенням варіанту $N_{110}P_{60}$, залишається підвищеним, тобто більше 120 мг/кг. Отже, не дивлячись на значні запаси валового калію в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому, на ділянках без застосування калійних добрив проходить істотне зниження вмісту його рухомих сполук. Це свідчить про те, що ґрунт не встигає поповнювати засвоєний на формування врожаю обмінний калій (Нікітіна О. В., 2017).

Одержані дані підтверджують дослідження інших учених (Нікітіна О. В., 2017; Медведев В. В., Пліско І. В., Накісько С. Г., Тітенко Г. В., 2018), які встановили, що на чорноземах типових, вилужених і опідзолених підвищення вмісту рухомих сполук калію спостерігаються за дози калійних добрив, що покриває вилучення його з ґрунту на 75 %. Це, мабуть, можна пояснити також і біопереміщенням калію з нижніх шарів ґрунту і материнської породи.

Продуктивність культур є найбільш мінливим й інтегральним показником життєдіяльності сільськогосподарських культур у якому акумулюється їх генетичний потенціал, родючість ґрунту, погодні умови та елементи технології вирощування (Господаренко Г. М., 2019). За-

звичай рівень продуктивності пшениці озимої напряму залежить від забезпеченості азотним живленням. Так, на чорноземі типовому Харківської області приріст урожаю пшениці озимої на 88 % визначався дією азотних добрив, а дія калійних добрив була не істотною (Козаков А. А., Залізовський В. С., 1976).

Дослідження показали, що за внесення в польовій сівозміні повного мінерального добрива врожайність пшениці озимої у середньому за три роки становила 7,02–7,25 т/га, що на 3,45–3,68 т/га більше, порівняно з ділянками без добрив (табл. 5.19).

Таблиця 5.19

Вплив калійних добрив на врожайність культур і продуктивність польової сівозміни, 2016–2018 рр.

Варіант досліду	Урожайність, т/га				Продуктивність сівозміни, т з. од/га
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя	
Без добрив (контроль)	3,57	4,73	3,37	1,71	3,80
$N_{110}P_{60}$ – фон	6,60	10,60	5,16	2,70	6,90
Фон + K_{40}	7,02	12,26	5,29	2,94	7,55
Фон + K_{80}	7,25	13,07	5,42	3,02	7,85
$НІР_{05}$	0,25–0,34	0,46–0,64	0,22–0,28	0,12–0,16	

Калійні добрива на азотно-фосфорному фоні в дозі 40 кг/га д. р. сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 7; 12; 5 і 3 %. При цьому продуктивність сівозміни підвищилася на 8 %. Подальше підвищення дози калійних добрив з 40 до 80 кг/га д. р. підвищувало її продуктивність лише на 4 %.

Кукурудза, навіть при вирощуванні на чорноземних ґрунтах, ставити підвищенні вимоги до умов мінерального живлення та удобрення (Господаренко Г. М., Стасінєвич О. Ю., 2006). Як показали проведенні дослідження найбільше вона реагує на внесення азотних і фосфорних добрив (див. табл. 5.19). Менший вплив на формування врожаю

кукурудзи мало застосування в сівозміні калійних добрив. Внесення їх – у дозі 80 кг/га д. р. на азотно-фосфорному фоні ($N_{160}P_{60}$) підвищували урожайність зерна в середньому за три роки досліджень – на 2,47 т/га або на 23 %. Зменшення в складі повного мінерального добрива дози калійних з 80 до 40 кг д. р/га знижувало врожайність кукурудзи на 6 %.

Ячмінь ярий найінтенсивніше засвоює поживні речовини упродовж короткого проміжку часу – від фази кущіння до початку колосіння (25–30 діб), тому добре реагує на внесення мінеральних добрив і їх післядію (Господаренко Г. М., Стасінєвич О. Ю., 2006; Господаренко Г. М., 2016). Проте є дані (Мірошниченко М. М., 2010), що ячмінь досить стійка культура до стресових умов середовища, не проявляє депресії, але й слабко збільшує врожайність за високих доз мінеральних добрив. Величина приросту врожайності інтенсивно зростає до рівня $N_{60}P_{90}K_{60}$, а потім темпи приросту різко знижуються і в інтервалі $N_{100}P_{150}K_{100}$ до $N_{160}P_{240}K_{160}$ можуть бути лише 0,1 т/га. Тому окупність 1 кг NPK приростами урожаю зерна дуже різко зменшуються з підвищенням дози мінеральних добрив, а оптимальна знаходиться в межах $N_{20–60}P_{30–90}K_{20–60}$.

У Східному Лісостепу на чорноземі типовому найдоцільнішим було внесення під ячмінь ярий $N_{40}P_{40}K_{40}$, що забезпечує найвищий приріст врожаю зерна (1,1 т/га) порівняно з окремими видами добрив, так і за їх парних поєднань. При цьому азотні добрива обумовили 53 % приросту врожаю від сумарної дії NPK, фосфорні – 35, а калійні – 12 %. Крім того, азотні добрива є не тільки засобом підвищення врожайності, але й необхідною передумовою (фоном) для ефективного застосування фосфорних і калійних добрив (Мірошниченко М. М., 2010).

Як показали проведенні дослідження, врожайність ячменю ярого змінювалась від 3,29 до 6,10 т/га залежно від доз і поєднань добрив у польовій сівозміні (див. табл. 5.19).

Систематичне застосування добрив у сівозміні сприяло підвищенню врожайності зерна на 0,56–2,05 т/га залежно від варіанту досліду. При цьому слід зазначити, що в середньому за три роки проведення досліджень у варіанті досліду Фон + K_{40} відмічено лише тенденцію до зниження врожайності. Тобто ячмінь ярий може ефективно використовувати післядію добрив, внесених під попередник і не потребує високих доз калійних добрив.

Приріст урожайності від калійних добрив, що вносяться в сівозміні в дозі 80 кг/га д. р., на азотно-фосфорному фоні становив 5 %. Тому система застосування добрив під ячмінь ярий у першу чергу повинна бути направлена на оптимізацію азотного і фосфорного живлення рослин.

Соя за оптимальних умов вирощування (реакція ґрунту близька до нейтральної, достатнє фосфорне й калійне живлення, застосування нітрагінізації) засвоює з повітря близько 70 % азоту від загальної потреби. Тому вважають, що зазвичай достатньо внести лише стартову дозу азотних добрив (20–40 кг/га д. р.) щоб отримати високий урожай з добрими показниками якості зерна (Господаренко Г. М., 2016).

Як показали проведенні дослідження, порівняно з абсолютним контролем, застосування добрив підвищувало врожайність сої на 0,39–1,31 т/га або на 23–37 % залежно від варіанту досліду. При цьому найбільші прирости врожаю були отримані за внесення повного мінерального добрива. При цьому слід зазначити, що зниження частки калійної складової в складі повного мінерального удобрення ($N_{60}P_{60}K_{60}$) з 60 до 30 кг д. р/га істотно не впливало на врожайність сої.

Поряд з урожайністю, добрива мають значний вплив і на якість продукції рослинництва. Так, значно змінюється якість зерна пшениці озимої (Бершадская С. И., Нещадим Н. Н., Квашин А. А., 2016; Балюк С. А., Лісовий М. В., 2016), що підтверджено проведеними дослідженнями (табл. 5.20).

Як видно з даних табл. 5.20, маса 1000 зерен істотно не залежить від удобрення калійними добривами. Найбіль-

ше на неї впливає внесення азотних і фосфорних добрив. На тлі удобрення маса 1000 зерен зменшується. Це пояснюється збільшенням кількості зерен на рослині. Аналогічна закономірність відмічена і щодо натури зерна, але при цьому різниця між варіантами була дещо меншою. Між масою 1000 зерен і його натурою встановлена сильна кореляційна залежність (r = 0,83).

Таблиця 5.20

Якість зерна пшениці озимої залежно від доз калійних добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліду	Маса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Вміст, %		Узагальнений показник якості, %
			білка	клейковини	
Без добрив (контроль)	34,3	736	9,2	15,8	72,5
$N_{110}P_{60}$ – фон	39,5	745	13,2	23,8	90,0
Фон + K_{40}	44,2	750	13,7	28,2	97,7
Фон + K_{80}	40,3	748	13,5	28,3	95,0
$НІР_{05}$	2,3–2,6	24–29	0,5–0,7	1,2–1,4	

Важливим показником якості зерна пшениці є вміст у ньому білка. В усіх варіантах досліду було одержано достовірний приріст його вмісту порівняно з контролем. Від внесення калійних добрив у сівозміні відмічена лише тенденція до підвищення вмісту білка. Слід також зазначити, що внесення калійних добрив у сівозміні підсилює позитивний вплив азотних і фосфорних добрив на показники якості зерна.

За узагальненим показником якості, розрахованим за системою величин Ацці, зерно пшениці озимої найліпшої якості формувалося у варіантах досліду з внесенням повного мінерального добрива.

Вимоги до якості зерна кукурудзи залежать від напряму його використання (Шпаар Д. и др., 2009; Крамарёв С. М., 2010). Зазвичай основними її показниками є вміст протеїну, вуглеводів і жирів. Ці показники взаємопов'язані і

визначають цінність зерна (Медведев Г. А., Еранов Д. В., Шадрин С. Д., 2001).

Проведений огляд літературних джерел (Кравченко Р. В., 2010; Крамарёв С. М., 2010) показує, що вміст протеїну в зерні залежно від умов вирощування може змінюватися в досить широких межах, досягаючи максимального значення (13,5–14 %) у роки з посушливими погодними умовами. При цьому встановлено, що агротехнологічними заходами його вміст можна підвищити в 1,5 рази, у той час як різниця між районованими гібридами становить лише 1–2 %. Так, в умовах Лівобережного Полісся вміст протеїну в зерні кукурудзи залежно від системи удобрення в сівозміні підвищувався на 0,4–1,4 % порівняно з контролем без добрив (8,0 %) (Пархоменко М. М., 2018). Вміст білка в зерні в першу чергу можна підвищити завдяки поліпшенню азотного живлення рослин (Крамарёв С. М., 1991), тоді як одностороннє посилення фосфорного і калійного живлення або не впливає, або навіть знижує вміст (Кудзін Ю. К., Стулін О. Ф., 1978; Лаврентович Д. И.,1985).

Одержані в досліді дані в цілому підтвердили попередні дослідження вчених (табл. 5.21). Найвищу натуру зерна кукурудза формувала у варіантах досліду з внесенням повного мінерального добрива.

Таблиця 5.21

Якість зерна кукурудзи залежно від доз калійних добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліду	Натура зерна, г/л	Вміст, %		
		протеїну	крохмалю	жиру
Без добрив (контроль)	701	8,8	71,5	3,8
$N_{110}P_{60}$ – фон	742	9,8	70,6	4,0
Фон + K_{40}	723	10,2	70,7	4,2
Фон + K_{80}	750	10,3	70,6	4,2
$НІР_{05}$	21–32	0,4–0,5	2,4–2,9	0,2

За внесення калійних добрив спостерігалась тенденція до підвищення вмісту протеїну в зерні, тоді як вміст крохмалю порівняно з фосфорно-калійним фоном майже не змінювався. Вміст жиру в зерні кукурудзи істотно підвищується (до 4,2 %) лише за внесення повного мінерального добрива.

Добрива мають значний вплив на якість зерна ячменю ярого. Внесення $К_{30}$ і $К_{60}$ на тлі N_{30} знижувало вміст білка відповідно на 0,56 і 0,12 %, а за доз $К_{60}$ і $К_{120}$ на тлі N_{60} виявляється стійка тенденція до зниження вмісту протеїну (Пасынков А. В., 2002). Заміна фосфору на калій у системі удобрення може стримувати накопичення протеїну в зерні ячменю ярого на тлі суттєвого збільшення врожайності (10,6 % за $N_{45}К_{60}$ і 11,6 % за $N_{45}P_{60}$) (Мірошниченко М. М., 2010).

Як видно з даних табл. 5.22, добрива істотно впливали на формування якості зерна ячменю ярого.

Таблиця 5.22

Якість зерна ячменю ярого залежно від доз калійних добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліду	Натура зерна, г/л	Маса 1000 зерен, г	Вміст, %	
			протеїну	крохмалю
Без добрив (контроль)	532	43,2	10,6	54,1
$N_{110}P_{60}$ – фон	613	46,3	11,0	53,5
Фон + $К_{40}$	610	45,7	11,2	53,5
Фон + $К_{80}$	613	45,3	11,2	53,5
$НІР_{05}$	21–26	2,1–2,7	04–0,6	2,5–2,7

Маса 1000 зерен ячменю ярого значно залежала від рівня азотного і фосфорного живлення. З підвищення дози повного мінерального добрива відмічено тенденцію до зниження маси 1000 зерен. Це пояснюється збільшенням кількості зерен на рослині. Між масою 1000 зерен і його натурою встановлено високу кореляційну залежність (R^2 = 0,85), а між урожайністю і масою 1000 зерен – істотну кореляційну залежність (R^2 = 0,70). У варіантах

досліду з внесенням калійних добрив відмічено тенденцію до підвищення вмісту протеїну, тоді як вміст крохмалю не змінювався.

Якість насіння сої зазвичай визначається вмістом жиру і протеїну. Встановлено (Луис Дуартс Пинту, 1998; Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І., 2014), що вміст жиру в насінні підвищується за внесення фосфорних і калійних добрив і за умови збільшення в складі повного добрива фосфору. Застосування азотних добрив і підвищення дози їх внесення значно знижує вміст жиру в насінні. Поряд з цим вміст протеїну в насінні прямо залежить від доз азотних добрив і майже не змінюється під впливом фосфорних і калійних добрив.

Як видно з даних табл. 5.23, з поліпшенням умов мінерального живлення відмічена тенденція збільшення маси 1000 насінин сої. Достовірне збільшення цього показника порівняно з контролем у середньому за три роки досліджень було відмічено у варіанті досліду $N_{110}P_{60}$ – на 9 г або на 6 %, тоді як калійні добрива на нього майже не впливали.

Таблиця 5.23

Якість насіння сої залежно від доз калійних добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліду	Маса 1000 насінин, г	Вміст, %	
		протеїну	жиру
Без добрив (контроль)	140	32,1	20,4
$N_{110}P_{60}$ – фон	149	35,9	19,6
Фон + K_{40}	145	36,1	19,5
Фон + K_{80}	144	36,2	19,5
$НІР_{05}$	5–8	0,9–1,2	0,4–0,7

Під впливом добрив у насінні сої підвищувався вміст протеїну, а знижувався вміст жиру. Між цими показниками встановлено обернену сильну кореляційну залежність ($r = -0,84$). Найвищий вміст протеїну в зерні був

у варіантах досліду Фон + K_{80}. Калійні добрива сприяли незначній тенденції підвищення вмісту протеїну в насінні та зниженню – жиру.

Отже, проведеними дослідженнями встановлено незначний влив калійних добрив, що систематично вносяться в польовій сівозміні на якість рослинницької продукції.

Високу продуктивність сільськогосподарських культур можна сформувати лише оптимальним рівнем їх забезпечення елементами живлення. Кореневе живлення рослин залежить не лише від їх біологічних особливостей і забезпечення продуктами фотосинтезу. На нього впливає інтенсивність розвитку кореневої системи, структура та вологість ґрунту, реакція ґрунтового середовища, вміст і співвідношення поживних речовин, активність ґрунтової біоти, кореневі виділення тощо (Господаренко Г. М., 2019). Тому вважається, що проведення листкової діагностики мінерального живлення рослин є недостатнім. Її потрібно уточнювати хімічним аналізом рослин. Встановлено (Ягодин Б . А., Буторина Е. П., Феофанов С. Н., 1993), що зміна оптимального вмісту в них елементів живлення на різних типах ґрунтів не перевищує 5 %.

Елементарний склад рослин найбільше залежить від хімічного складу земної кори (Вибрані праці ..., 2011). Рослини добре реагують на підвищення вмісту рухомих сполук елементів живлення у ґрунті, а тому їх вміст у тканинах змінюється під впливом удобрення (Ильин В. Б. 1985; Загорча К. Л., 1990; Діагностика ..., 2012). Отже, виникає необхідність уточнення рівнів вмісту елементів живлення в сільськогосподарських культурах у конкретних умовах вирощування.

Дослідженнями встановлено певні зміни вмісту калію в основній і нетоварній частині врожаю культур сівозміни (табл. 5.24).

Щодо вмісту калію в рослинах, то вчені (Ивойлова А. В., Шильников И. А., Шелкунова А. В., 1990; Господаренко Г. М., 2002; Нікітіна О. В., 2017) не мають єдиної думки щодо

впливу ґрунтово-кліматичних умов, рівня застосування добрив та інших чинників. Так, у вегетаційному досліді з 14-ма культурами і концентрацією калію від 0,1 мкмоль до 1 ммоль поживного розчину лише за вмісту понад 95 мкмоль/л простежувалось незначне підвищення його вмісту в органах рослин (Acher C. J., Ozanne P. L., 1963).

Таблиця 5.24

Вміст калію (K_2O) в урожаї культур залежно від удобрення в польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліду	Культура сівозміни			
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
вміст в основній продукції, % на суху речовину				
Без добрив (контроль)	0,49	0,40	0,54	1,27
$N_{110}P_{60}$ – фон	0,56	0,40	0,60	1,29
Фон + K_{40}	0,54	0,43	0,61	1,42
Фон + K_{80}	0,56	0,43	0,61	1,46
вміст у нетоварній продукції, % на суху речовину				
Без добрив (контроль)	0,82	1,24	0,91	1,19
$N_{110}P_{60}$ – фон	1,00	1,35	0,99	1,19
Фон + K_{40}	0,96	1,36	1,08	1,27
Фон + K_{80}	1,02	1,38	1,12	1,31

Дослідженнями встановлено, що на чорноземі опідзоленому вміст калію в основній і нетоварній частині врожаю змінюються під впливом застосування добрив у сівозміні не суттєво. Навіть застосування в сівозміні калійних добрив у дозі 80 кг д. р./(га · рік) на азотно-фосфорному фоні підвищувало вміст калію в зерні та насінні культур сівозміни не більш ніж на 8 %. У соломі культур це збільшення було суттєвішим – на 10–24 % залежно від культури.

Між вмістом рухомих сполук калію у ґрунті та в урожаї була незначна залежність, проте в насінні сої і соломі ячменю ярого і сої вона чітко простежувалась (R^2 = 0,53–0,68).

З практичного погляду для розрахунку доз добрив важливо знати, яка частка калію, що була використана

для формування господарського врожаю, повертається у ґрунт у разі залишення на полі на добриво нетоварної продукції. Як видно з даних табл. 5.25, з листостебловою масою і соломою у ґрунт може повертатися значна кількість калію від його господарського винесення.

Таблиця 5.25

Відносне винесення калію (K_2O) врожаєм сільськогосподарських культур за різного удобрення в польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Культура	Винесення з 1 т продукції, кг		
	товарної	нетоварної	товарної і відповідної кількості нетоварної
Пшениця озима	4,5 4,2–4,8	7,9 7,0–8,8	18,0 16,2–19,7
Кукурудза	3,5 3,4–3,7	11,3 10,7–11,9	17,0 16,2–18,0
Ячмінь ярий	5,0 4,6–5,2	8,8 7,8–9,6	15,6 14,0–16,8
Соя	12,0 11,2–12,8	10,7 10,2–11,3	24,0 23,4–26,4

Примітка. Над рискою – середнє значення, під рискою – діапазон змін.

Розрахунки показали, що за цим показником культури сівозміни значно відрізнялися. Коефіцієнт повернення калію з нетоварною частиною врожаю культур сівозміни є досить високим – 0,50–0,80. Відомо, що калій в рослинах не утворює складних органічних сполук, а тому після надходження у ґрунт буде легкодоступним наступним культурам сівозміни. Це потрібно врахувати при розробленні системи застосування калійних добрив.

Для розрахунку доз добрив користуються показником господарського винесення елементів живлення запланованим урожаєм, хоч це і не відповідає біологічним вимогам культур для його формування. При цьому вважають, що частину елементів живлення рослини візьмуть з ґрунту, а з метою оптимізації їх живлення та відновлення ґрунтової родючості потрібно повернути лише ті, які витрачені на формування основного і нетоварного врожаю.

Для практичних розрахунків зазвичай використовують показники відносного винесення елементів живлення на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної частини врожаю. Ці показники відносно стабільні, що пояснюється законами постійності хімічного складу рослин і їх вибірковою здатністю поглинати поживні речовини (Максимович А. Е., 1968; Ткаченко М. А., Драч Ю. О., 2016). Показники відносного винесення елементів живлення на одиницю врожаю необхідно постійно уточнювати з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов регіону, сортів і гібридів культури, оскільки вони відрізняються за генотипом, хімічним складом, відношенням товарного врожаю до відповідної кількості нетоварного. Так, за узагальненими даними географічної мережі дослідів (Юркин С. Н., Пименов Е. А., Макаров Н. Б., 1979) вміст калію на неудобрених і удобрених ділянках відрізнявся на 13 %, а на неудобрених ділянках між зонами дерново-підзолистих, каштанових і чорноземних ґрунтів на 80 %.

При цьому витрати поживних речовин на одиницю врожаю за високих доз добрив збільшуються. На думку Б. С. Носка (1989), за оптимальний потрібно брати показник вмісту і відносного їх винесення, що відповідає максимальному високоякісному врожаєві. Ці показники також важливі для розрахунку балансу елементів живлення за умови різного використання нетоварної частини врожаю (на добриво, корм чи підстилку для худоби, тощо).

Отже, поряд з родовими і видовими особливостями культур сівозміни, системи удобрення мають також значний вплив на винесення калію врожаєм і можливе повернення їх у ґрунт з нетоварною продукцією.

У ґрунтах України найбільш сприятливий калійний режим. Підвищеним і високим вмістом рухомих сполук калію забезпечені ґрунти на площі 70 %. Для підтримання калійного режиму необхідно щорічно вносити з добривами 35 кг K_2O на 1 га посівної площі (Медведєв В. В. та ін., 2018). На чорноземах Лісостепу дозу калійних добрив у

сівозмінах за органо-мінеральної системи удобрення можна зменшити на 20 % (Цвей Я. П., Бондар С. О., Семчук С. М., 2018). На чорноземах типових, вилужених і опідзолених з вмістом рухомих сполук калію 80–180 мг/кг (за методом Чирикова) у районах нестійкого зволоження повернення вилученого з урожаєм калію повинно бути на рівні 40–60 % (Господаренко Г. М., 2019).

Як видно з даних табл. 5.26, баланс калію в польовій сівозміні складається з таких самих статей, як і фосфору. Вилучення калію із зерном і насінням у середньому за дві ротації сівозміни було незначним (17,2–37,8 кг/(га·рік) сівозмінної площі) і збільшувалося в два рази за внесення повного мінерального добрива. Баланс калію у варіантах досліду з внесенням калійних добрив у дозі 40–80 кг/га д. р. формувався додатним з інтенсивністю 111–212 %. Як зазначалося вище, значна частина калію у ґрунт повертається з соломою пшениці озимої, ячменю ярого, сої і стебелинням кукурудзи. Цей калій добре доступний наступним культурам сівозміни, тому калійні добрива на чорноземі опідзоленому необхідно вносити під калієфільні культури, а наступні культури будуть використовувати їх післядію.

Допустимість і виправданість слабкодефіцитного балансу калію в сівозмінах відмічали й інші вчені (Прокошев В. В., 1985; Якименко В. Н., 2006; Нікітіна О. В., 2017).

Застосування на добриво нетоварної продукції культур сівозміни без додаткового внесення мінеральних добрив, компенсує втрати калію на формування врожаю на 69 % та не забезпечує оптимальних параметрів калійного режиму ґрунту. У варіанті Фон + $К_{80}$ цей показник відповідно становить 71 %.

Сучасне землеробство характеризується значними витратами техногенної енергії. Особливо великі витрати на виробництво та застосування добрив, які, як відомо, в галузі рослинництва становлять більш як 50 %. Тому встановлення економічно виправданих їх доз є одним з основних важелів виходу сільського господарства Украї-

Таблиця 5.26

Баланс калію (K_2O) у ґрунті польової сівозміни та його інтенсивність за різного удобрення та залишення на полі нетоварної частини урожаю

Показник	Варіант досліду			
	Без добрив (контроль)	$N_{110}P_{60}$ – фон	Фон + K_{40}	Фон + K_{80}
I ротація				
Надходження, кг/(га·рік)	–	–	40	80
Вилучення, кг/(га·рік)	18,6	32,9	37,1	39,2
Баланс, кг/(га·рік)	–18,6	–32,9	2,9	40,8
Інтенсивність балансу, %	–	–	204	108
II ротація				
Надходження, кг/(га·рік)	–	–	40	80
Вилучення, кг/(га·рік)	15,8	30,5	34,6	36.5
Баланс, кг/(га·рік)	–15,8	–30,5	5,4	43,5
Інтенсивність балансу, %	–	–	219	116
2011–2018 рр.				
Надходження, кг/(га·рік)	–	–	40	80
Вилучення, кг/(га·рік)	17,2	31,7	35,9	37,8
Баланс, кг/(га·рік)	–17,2	–31,7	4,1	42,2
Інтенсивність балансу, %	–	–	212	111

Примітка. Над рискою – за умови залишення нетоварної частини врожаю на полі, під рискою – її вилучення.

ни з кризового стану. Складність розрахунку економічної ефективності полягає у диспаритеті та нестабільності цін на добрива і рослинну продукцію, а також неможливості врахувати багаторічну їх післядію. Найбільш достовірну та діалектично взаємозв'язану інформацію з цих питань одержують у тривалих стаціонарних дослідах (Господаренко С. Г., 2004).

Нині виникає нагальна необхідність в економічному обґрунтуванні як технології вирощування сільськогосподарських культур та її окремих складових, так і рівня їх мінерального живлення. Це викликано загальновідомим

фактом, що добрива є найсуттєвішим чинником підвищення врожаю культур. При цьому не викликає сумніву і те, що за економічно обґрунтованої дози добрив проблема полягає у формуванні не якомога більшого врожаю, а такого, який забезпечує найліпші економічні показники (Харченко О. В., Прасол В. І., Ільченко О. В., 2009; Ходаківська О. В., Корчинська С. Г., Матвієнко А. П., 2017; Пархоменко М. М., 2018).

Зазвичай вважається, що найефективнішою системою удобрення є та, що забезпечує максимальний приріст урожаю сільськогосподарських культур. З економічного погляду це не завжди є доцільним у тривалій перспективі, тому що ціни на мінеральні добрива ростуть більшими темпами, ніж на продукцію рослинництва (Державин Л. М., Фрид А. С., 2001). Тому нині надають перевагу оптимізації системи удобрення за комплексним показником, що враховує рівень урожайності сільськогосподарських культур, прибутковість і енергоємність застосування добрив (Жученко А. А., Казанцев Е. Ф., Афанасьев Е. Н., 1983; Подобед О. Ю., 2002; Доценко О. В., 2013; Мартиненко В. М., 2017; Нікітіна О. В., 2017). Проте за такого підходу не враховуються можливі зміни родючості ґрунту за різної інтенсивності балансу гумусу, азоту, фосфору і калію в сівозміні.

Індекс комплексного оцінювання (ІКО) системи удобрення в польовій сівозміні розраховували за формулою

$$\text{ІКО} = \sqrt[n]{\frac{\Phi 1}{O 1} + \frac{\Phi 2}{O 2} + \dots + \frac{Д1}{\Phi 1} + \frac{Д2}{\Phi 2} + \dots},$$

де Ф – фактичне значення показника; О – оптимальне значення показника; Д – допустиме значення показника.

Оптимальні та допустимі значення окремих показників визначали з урахуванням типових нормативів коефіцієнтів повернення елементів живлення від винесення врожаями і екологічно безпечних нормативів інтенсивності балансу фосфору і калію залежно від вмісту їх рухомих сполук у ґрунті (Господаренко Г. М., 2019). При цьому, з урахуу-

вання вмісту у ґрунті азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда), рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова), вважали що екологічно безпечна інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію відповідно становить 120; 130 і 70 %. Отже, за такого підходу було враховано сім показників: окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив; додатково умовно чистий прибуток; чистий енергетичний прибуток; баланс гумусу та інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію.

Розрахунки показали, що найвищим ІКО був у варіанті досліду $N_{110}P_{60}K_{40}$ – 1,29. Дещо йому уступав варіант досліду $N_{110}P_{60}K_{80}$.

Проведені дослідження дозволили сформулювати наступні висновки:

1. Використання чорнозему опідзоленого для вирощування польових культур за різного агрохімічного навантаження не змінює ємності ҐВК, але спричиняє його внутрішню перебудову. Перед закладанням досліду ємність ҐВК у шарі 0–20 см на 10,1 % визначається іонами водню, за середньорічного внесення $N_{110}P_{60}K_{80}$ упродовж восьми років їх частка підвищилась до 14,8 %.

2. Інтенсивність удобрення сільськогосподарських культур позначилось на структурі ґрунтового вбирного комплексу. На ділянках з внесенням $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни гідролітична кислотність у шарі ґрунту 0–20 см збільшилася з 2,78 до 3,83 смоль/кг, зменшилась сума поглинутих основ на 3,10 смоль/кг, погіршилась реакція ґрунтового середовища (на 0,3 од. pH_{KCl}). У варіантах з внесенням калійних добрив посилювалось погіршення цих показників.

3. Від особливостей застосування добрив у польовій сівозміні залежить калійний режим ґрунту. На ділянках без добрив спостерігається зменшення вмісту рухомих сполук калію порівняно з вихідним значенням відповідно на 6 %. За внесення мінеральних добрив інтенсивність зменшення його вмісту у ґрунті знижується. У варіанті

досліду $N_{110}P_{60}K_{80}$ спостерігається поліпшення калійного режиму ґрунту.

4. Тривале (з 2010 р.) застосування мінеральних добрив у дозі $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни у середньому за 2016–2018 рр. сприяло підвищенню врожайності пшениці озимої на 3,68 т/га, кукурудзи – на 8,34, ячменю ярого – на 2,05 і сої на 1,31 т/га за врожайності на контролі без добрив відповідно 3,57 т/га; 4,73; 3,37 і 1,70 т/га. При цьому калійні добрива на азотно-фосфорному фоні в дозі 40 кг/га д. р. сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 7; 12; 5 і 3 %. При цьому продуктивність сівозміни підвищилася на 8 %. Подальше підвищення дози калійних добрив з 40 до 80 кг/га д. р. підвищувало її продуктивність лише на 4 %.

5. Застосування мінеральних добрив у різних комбінаціях дозволяє змінювати показники якості продукції: зерно пшениці озимої з вмістом білка 9,2–13,5 %, клейковини 15,8– 28,8%, і натурою 736–801 г/л; зерно кукурудзи – протеїну 8,8–10,3 %, крохмалю 69,8–71,5 %; ячменю ярого – протеїну 10,6–11,2 %, крохмалю 53,4–54,5 %; насіння сої з вмістом протеїну 32,1–36,2 % і жиру 18,2–20,4 %. Найвищі показники якості основної продукції забезпечують системи удобрення, що передбачають насичення сівозміни мінеральними добривами $N_{110}P_{60}K_{80}$ і $N_{110}P_{60}K_{40}$ на тлі заорювання нетоварної продукції урожаю.

6. За індексом комплексного оцінювання, який враховує сім показників: окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив; додатково умовно чистий прибуток; чистий енергетичний прибуток; баланс гумусу та інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію, найліпшим варіантом досліду є застосування на 1 га площі польової сівозміни $N_{110}P_{60}K_{40}$.

Розділ 6.

ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ КАЛІЙНИХ ДОБРИВ У ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ

Постійне вдосконалення середовища проживання – одне з основних завдань людства. Важлива роль у цьому процесі належить розумному застосуванню засобів хімізації. Нині людство знаходиться на етапі зростання екологічних проблем. Їх діапазон досить широкий – від локального забруднення земельних ділянок до загрози локальних катастроф. Тому людству потрібно навчитися раціонально втручатися у природні цикли біосфери, стараючись мінімально їх порушувати (Господаренко Г. М., 2010).

Застосуванню добрив завжди відводилось центральне місце в комплексі заходів з підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Добрива найбільш суттєво впливають на формування колообігу речовин та енергії у ґрунтах, агроекологічний стан земель, якість сільськогосподарської продукції. Добрива та меліоранти як одні з найбільш ефективних засобів відтворення родючості ґрунтів, справляють значний вплив на агроекологічний стан та агрохімічні показники орних ґрунтів у процесі їх сільськогосподарського використання (Черно О. Д., Господаренко Г. М., Олійник О. О., 1997; Акулов П. Г., 1994).

У міру накопичення даних про вплив хімічних елементів на рослини, людину і тварини, все гостріше стає питання про потребу більш вдумливого підбору елементів живлення і доз їх внесення з бажаною спрямованістю їх впливу на біологічну і харчову цінність продуктів рослинництва. Рослини знаходяться на початку харчового ланцюга, тому контроль за елементарним складом продукції рослинництва, можливість його регулювання, вивчення

залежності стану рослин, людини і тварин від біохімічних умов території – одне з найважливіших завдань екологічної агрохімії (Господаренко Г. М., 2010).

Наукою та передовим досвідом доведено, що для вирощування високих урожаїв сільськогосподарських культур треба вносити у ґрунт основних елементів живлення значно більше, ніж їх було використано рослинами для формування врожаю. Калій добрив іноді закріплюється ґрунтом так, що рослина його вже не може засвоїти (Маслова А. А., 1938; Блэк К. А., 1973).

Отже, якщо втрати поживних речовин унаслідок винесення з урожаєм не відшкодовуються після внесення добрив та з інших джерел, то відбувається поступове виснаження ґрунту і зниження врожаю. Тому в комплексі заходів, які спрямовані на підтримання бездефіцитного колообігу елементів живлення в землеробстві, важлива роль належить застосуванню добрив під сільськогосподарські культури (Власюк П. А., 1965; Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999). Для підтримання бездефіцитного колообігу елементів живлення в господарстві велике значення має правильне поєднання внесення органічних і мінеральних добрив (Гилис М. Б., 1975).

Нині розвиток сільського господарства неможливий без застосування мінеральних добрив, які дозволять підвищити родючість ґрунтів, збільшити врожайність, підвищити якість сільськогосподарської продукції (Власюк П. А., 1965). Саме завдяки застосуванню мінеральних добрив забезпечується приріст врожаю на 50 % (Минеев В. Г., 2006). Але недотримання науково обґрунтованих заходів під час застосування добрив, недосконалість способів їх внесення може призвести до негативного впливу мінеральних добрив на окремі складові біосфери, на стан навколишнього природного середовища та на людину (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999).

Забруднення навколишнього природного середовища під час застосування мінеральних добрив відбувається в основ-

ному через недосконаліть властивостей і хімічного складу добрив та порушення технології виробництва, зберігання та застосування мінеральних добрив (Якименко В. Н., Малюга А. А., 2014).

Негативний вплив добрив на навколишнє природне середовище пов'язаний, насамперед, з хімічним складом добрив та наявністю в них баластних речовин. Добре відомо, що, наприклад, вміст важких металів у добривах як кінцевому продукті визначається їхньою початковою концентрацією в сировині та технологією виробництва і може змінюватися в значних межах. Істотними недоліками багатьох мінеральних добрив можна назвати такі: наявність залишкової кислоти (вільна кислотність) внаслідок технології їх виробництва; фізіологічна кислотність або лужність, що утворюються внаслідок переважного використання рослинами з добрив катіонів або аніонів; надмірно висока розчинність. Тривале застосування фізіологічно кислих або лужних добрив змінює реакцію ґрунтового розчину, призводить до втрат гумусу, підвищує рухомість та міграцію багатьох елементів. Крім цього, внесення мінеральних добрив створює осередки високої концентрації катіонів, що негативно впливає на фізико-хімічні, фізичні та біологічні властивості ґрунту в зонах локалізації (Фатєєв А. І., Мірошниченко М. М., 1999).

При внесенні мінеральних добрив під кожну культуру необхідно враховувати гранично допустимі концентрації хімічних елементів у ґрунті (Тибурський І. Ю., 2006).

Виробництво мінеральних добрив у найближчому майбутньому повинне бути орієнтоване на їх попереднє очищення. Це може істотно підвищити вартість добрив, однак знизиться захворюваність і збільшаться тривалість життя й працездатність населення. Доцільним є і введення еколого-гігієнічних нормативів якості мінеральних добрив (Минеев В. Г., 2006).

В сільському господарстві поряд з підвищенням урожайності та поліпшенням якості продукції на перший

план повинні висуватися питання збереження та захисту навколишнього природного середовища від техногенного забруднення. Необхідним є впровадження природоохоронних ресурсоощадних технологій, які б забезпечували збереження в чистоті ґрунту, води та повітря (Тибурський І. Ю., 2006).

Повна відмова від застосування мінеральних добрив, що іноді пропонують у якості одного з можливих шляхів розвитку сільського господарства, призведе до катастрофічного скорочення виробництва продовольства. А правильний вибір форм, доз, строків і способів внесення добрив, співвідношення поживних елементів не тільки забезпечить отримання високого врожаю, але й дозволить виключити забруднення ґрунтів і продукції токсичними елементами і сполуками, а також підтримувати природну родючість ґрунтів на необхідному рівні.

6.1. Вплив калійних добрив на вміст хлору у ґрунтовому розчині та врожайність гречки

Більше 90 % калійних добрив, що виробляються у світі складає калій хлористий. Це пов'язано з хімічним складом основних калієвмісних родовищ і дешевим технологічним процесом отримання добрив (Прокошев В. В., 2005). Калій хлористий може бути особливо корисним за дефіциту хлору у ґрунті (Косолап М. П., Кротінов О. П., 2014).

Усі калійні добрива добре розчинні у воді, тому їх калій має однакову цінність. Отже, тут немає проблем, подібних з доступністю для рослин нерозчинних фосфатів або відмінністю між різними формами азотних добрив. Сільськогосподарська цінність калійних добрив залежить, насамперед, від дії супутніх калію іонів, які можуть у них міститися (Кук Д. У., 1975). В агрономічній практиці немає достатньо обґрунтованих рекомендацій щодо застосування різних форм калійних добрив з неоднаковим аніонним складом. Дія калійних добрив залежить також від біологічних особливостей вирощуваних культур.

Хлор – основний компонент у сучасному асортименті різних форм калійних добрив. Крім хлору, супутні елементи – натрій, магній, сірка, так як і калій, можуть впливати на врожай сільськогосподарських культур і його якість. Відомо, що більшість культур можуть рости без засвоєння хлору і лише для нормального розвитку деяких із них необхідна наявність його в живильному середовищі. Засвоєння хлору відповідними культурами відбувається на рівні макроелементів, тоді як для інших – потреба в ньому настільки незначна, що він може бути віднесений до групи мікроелементів. Однак деякі культури чутливі до наявності хлору у ґрунті (Минеев В. Г., 1990; Петербургский А. В., 1961; Кулюкин А. Н., 1991; Ефименко Д. Я., Барабаш Д. И., 1990).

Хлориди, що є у ґрунті, відрізняються значною розчинністю у воді й вилучаються внаслідок вимивання водою і винесення врожаями. За внесення стрічками хлорумісних добрив і фосфатів спостерігається зменшення поглинання фосфору рослинами і гальмування достигання врожаю (Бергер К. К., Пратт П. Ф., 1965).

З огляду літературних джерел (Бергер К. К.. Пратт П. Ф., 1965) у польових умовах США немає дефіциту хлору. У вегетаційних дослідах з поживними розчинами хлор сприяв підвищенню врожаю гречки і гороху (Zipman C. B., 1958).

Відомо, що більшість культур можуть рости без засвоєння хлору і лише для нормального розвитку деяких із них необхідна наявність його в живильному середовищі. Засвоєння хлору відповідними культурами відбувається на рівні макроелементів, тоді як для інших – потреба в ньому настільки незначна, що він був віднесений до групи мікроелементів. Однак деякі культури чутливі до наявності хлору у ґрунті (Касицкий Ю. И., 1990; Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000; Минеев В. Г., 2006).

Вплив калію хлористого на якість врожаю більшості сільськогосподарських культур пов'язаний з його ефективністю. Там, де добрива не дають прибавок врожаю, можна

навіть спостерігати негативні наслідки. У їх ефективності спостерігається позитивний вплив і на якість продукції (Прокошев В. В., 1985; Черно О. Д., Господаренко Г. М., Олійник О. О., 1997).

Основна користь від застосування хлорних добрив часто проявляються у пригніченні збудників хвороб пшениці та ячменю (Косолап М. П., 2014). Після вимивання хлору в нижні шари нітрифікаційна здатність орного шару чорнозему підвищується порівняно з сульфатом калію (Рождественский И. Г., 1960). Дослідженнями встановлено, що внесення калію хлористого підвищує вміст хлору в рослинах. При цьому він зазвичай накопичується у нетоварних частинах урожаю. Фізіологічна роль хлору не достатньо вивчена. Однак, той факт, що буряк цукровий містить велику кількість хлору в листках, а зернові – в соломі, свідчить про те, що він має певне значення в життєдіяльності рослин (Максимович А. Е., 1968). Найбільш негативно реагують на хлор такі культури: тютюн, картопля, гречка, соя, горох, льон, огірок, цибуля, плодові та деякі інші (Господаренко Г. М., Білоножко В. Я., 1999; Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000).

Встановлено, що на ділянках, удобрених калієм хлористим, вміст хлору в рослинах майже не підвищувався, не дивлячись на значну його кількість у метровому шарі ґрунту. Під просапними вимивання хлору з орного шару проходить значно інтенсивніше, ніж під культурами суцільного посіву (Танин К. Е., 1965).

Солі хлору добре розчинні, тому активно мігрують по ґрунтовому профілю. Закономірності розподілу хлору у ґрунті визначаються в основному процесами водної міграції (Конорбаева Г. А., Якименко В. Н., 2012). Хлорид-аніон не лише слабко поглинається ґрунтом, але й характеризується негативною адсорбцією у відношенні до нього (Ковда В. А., 1985).

Вирівнювання вмісту хлору по ґрунтовому профілю обумовлено двома причинами. З однієї сторони, це відсут-

ність у ґрунті будь-якого специфічного накопичувального бар'єру, а з іншої – активна міграція хлору по профілю як з низхідними, так і висхідними потоками вологи. В складі вологи, що випаровується з поверхні незасолених ґрунтів, міститься близько 1,5 мг/л хлору (Казанцева В. А., 1998).

Хлор достатньо швидко вимивається з ґрунту опадами, навіть за їх важкого гранулометричного складу (Носко Б. С., Прокошев В. В., 1999). Хлор калійних добрив вимивається в нижні шари ґрунту на глибину 40–100 см. Кількість хлору в метровому шарі ґрунту залежить від погодних умов: в посушливі роки хлор накопичується в метровому шарі, а у вологі – вимивається за його межі (Танин К. Е., 1965).

Дослідженнями встановлено, що хлор у ґрунті у водній витяжці визначається в помітній кількості через 1–2 місяці після внесення добрив під буряк цукровий восени. Але вже весною наступного року він зустрічається нерегулярно на глибині більше 60 см і лише за внесення високих доз добрив (Алексеева Е. Н., Кулакова В. П., 1973).

Встановлено, що не дивлячись на значну кількість хлору, який вносився з калієм хлористим восени у дозі 45–135 кг K_2O на 1 га площі сівозміни залежно від варіанту досліду, істотного збільшення його вмісту в 0–160-сантиметровому профілі ґрунту не спостерігалося. Це ще раз підтверджує дані про інтенсивне вимивання хлору осінньо-зимово-весняними опадами, коли проходить накопичення продуктивної вологи. При цьому хлор рівномірно розподіляється по профілю ґрунту і більша його частина зосереджується в нижніх шарах ґрунту (табл. 6.1).

Так, вміст хлору в шарі ґрунту 140–160 см на 0,4–2,0 мг/кг був вищий, ніж у шарі ґрунту 0–20 см. Переміщення хлору по профілю ґрунту і підґрунтя можна пояснити кількома чинниками. В регіоні, періодично, раз у 3–5 років, проходить переміщення ранньовесняного надлишку води у підґрунтя до глибини 3–5 м. Цьому сприяє язикуватість і тріщинуватість гумусового профілю

Таблиця 6.1

Вміст хлору у ґрунті після тривалого (50 років) застосування добрив у сівозміні, мг/кг

Шар ґрунту, см	Варіант досліду						HIP_{05}
	Без добрив (контроль)	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{135}P_{135}K_{135}$	Гній 18 т	Гній 13,5 т + $N_{68}P_{101}K_{54}$	
0–20	4,8	4,8	5,1	5,3	4,6	4,9	0,5
20–40	4,8	5,2	5,5	5,8	4,7	5,2	0,5
40–60	5,2	5,1	5,5	5,9	5,2	5,3	0,6
60–80	5,2	5,1	6,0	6,1	5,6	5,6	0,7
80–100	5,2	4,9	6,2	6,2	6,5	5,6	0,6
100–120	6,1	5,1	6,0	6,6	6,3	5,3	0,7
120–140	6,2	5,3	6,0	6,4	6,3	5,5	0,8
140–160	6,1	5,2	6,1	6,8	6,6	5,6	0,8
HIP_{05}	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	–

чорноземів (Кирюшин В. И., 2011), а також ходи (нори) тварин-землерийок. Дощові черв'яки проникають до 8,5 м, кроти – до 5,3 м, мурашки – до 3,2 м, різні жуки та інші комахи – до 1,6 м (Модестов А. П., 1932).

Метою досліджень було вивчення впливу різних форм калійних добрив на продуктивність гречки, що з усіх культур, які вирощуються у типовій польовій сівозміні, найбільш негативно реагує на наявність у ґрунті хлору (Подколзина М. И., 1975).

З критичного аналізу даних літературних джерел з вивчення ефективності різних форм калійних добрив, необхідно зазначити один істотний момент: у багатьох дослідах дію хлорумісних добрив порівнювали з дією іншого добрива – сульфату калію. Це порушувало принцип єдиної

відмінності, оскільки з сульфатом калію вноситься багато сірки, яка належить до макроелементів. Гречка відзначається значним накопиченням сірки в урожаї і позитивно реагує на внесення добрив, до складу яких вона входить (Воллейдт Л. П., 1959; Олійник О. О., Господаренко Г. М., 1994).

До схеми досліду були введені варіанти з весняним внесенням калію хлористого з добавлянням до нього сірки. За контроль була калієва селітра. Такий підхід дає змогу вичленити дію сірки й отримати об'єктивніші дані про вплив хлорумісних добрив і на інші польові культури, які менш, ніж гречка, чутливі до вмісту у ґрунті хлору.

Досліди закладали за схемою, приведеною в табл. 6.3. Добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту у вигляді аміачної селітри, суперфосфату подвійного, елементарної сірки і різних форм калійних добрив, приведених у схемі досліду, в дозі $N_{50}P_{50}K_{50}$. У 6-му варіанті доза сірки (15 кг/га) еквівалентна тій, яка була внесена у 5-му варіанті з сульфатом калію. Навесні калій хлористий вносили під першу культивацію за місяць до сівби гречки. Гречку сорту Астра вирощували після пшениці озимої. Вміст хлору і нітратного азоту у ґрунті та в рослинах визначали іонометричним методом.

Встановлено, що хлор, внесений з калієм хлористим, під дією осінньо-зимово-весняних опадів розподіляється по профілю ґрунту (табл. 6.2). При цьому більша частина його зосереджується в нижніх шарах ґрунту. За весняного внесення калію хлористого практично весь хлор зберігається в орному шарі ґрунту.

Основна маса кореневої системи гречки на початку вегетації розміщується в орному шарі ґрунту, з якого відбувається її живлення, але вже у фазі цвітіння вона засвоює поживні речовини з глибини ґрунту 60–80 см, а під час достигання – з глибини 130 см і навіть глибше (Соколов О. А., 1980). Тому, враховуючи відносно легке надходження хлору в рослини, можна припускати, що він буде засвоюватися гречкою з усього півтораметрового профілю ґрунту.

Таблиця 6.2

Розподіл хлору по профілю ґрунту залежно від строків внесення калію хлористого (1989–1991 рр.), мг/кг

Шар ґрунту, см	Варіант досліду		
	NP – фон	Фон + Кх восени	Фон + Кх навесні
0–20	4,8	4,8	31,7
20–40	4,8	7,2	5,8
40–60	4,8	7,1	4,9
60–80	4,8	7,1	4,8
80–100	5,2	8,9	5,2
100–120	6,2	10,1	6,1
120–140	7,1	11,3	7,0
140–160	7,2	8,9	7,1

Основне джерело живлення рослин азотом на чорноземах – нітрати. Однак, хлор є антагоністом нітратів, що підтверджується даними проведених досліджень (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Вміст хлору і нітратного азоту в рослинах гречки залежно від форм і строків внесення калійних добрив (1989–1991 рр.), мг/кг сирої речовини

Варіант досліду	Поява першого листка		Фаза цвітіння		Фаза достигання	
					Вміст хлору	
	$N–NO_3^-$	Cl^-	$N–NO_3^-$	Cl^-	в соломі	в зерні
Без добрив (контроль)	189	196	12	234	327	15
NP – фон	376	254	152	265	335	18
Фон + Ка	424	259	159	257	340	20
Фон + Кх	411	273	71	397	583	27
Фон + Кск	456	261	164	248	392	18
Фон + Кх + S_{15}	424	257	119	384	363	24
Фон + Кх + S_{50}	427	254	136	370	354	23
Фон + Кх навесні	361	362	57	824	1620	42

Як видно з даних табл. 6.3, калій хлористий, особливо під час весняного внесення, підвищує вміст хлору в

рослинах гречки упродовж усієї вегетації. Під час осіннього внесення калію хлористого відбувається вимивання хлору із орного шару ґрунту в глибші його шари. Цим і пояснюється неістотна відмінність вмісту нітратного азоту та хлору в рослинах порівняно з варіантами, де застосовували безхлорні калійні добрива. У фазу цвітіння гречки калійні добрива істотніше, ніж на початку вегетації, впливали на вміст нітратного азоту в рослинах. Це можна пояснити тим, що в цей час коренева система гречки проникає в глибші шари ґрунту і засвоює вимитий сюди опадами азот.

Характеризуючи продуктивність гречки залежно від форм калійних добрив, звернемося до вже відомих даних з літературних джерел. Ми не претендуємо на повноту викладення цього питання, оскільки попередні дослідження були проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах з використанням різних форм, доз і строків внесення калійних добрив. Вважають, що гречка калієлюбива культура, але зазвичай застосування під неї калійних добрив буває низькою і навіть негативною. Однією з основних причин цього вважається наявність у складі добрив хлору. Дія хлору на рослини гречки багатогранна. Так, невеликі кількості хлору позитивно впливають на продуктивність гречки, надлишок – гальмує процеси асиміляції, знижує нектаропродуктивність квіток, гальмує розвиток кореневої системи (Кочина–Мирошник О. А., 1958; Никаев А. А., Анохин А. Н., 1988). Аналіз даних географічної мережі дослідів свідчить про незначний вплив калію на врожайність гречки, що пояснюється використанням у дослідах переважно хлорумісних калійних добрив і порівнянням їхньої ефективності з сірковмісними калійними добривами (Ефименко Д. Я., Барабаш Д. И., 1990).

Аніони хлору й сульфату за різних умов застосування калійних добрив по-різному впливають на продуктивність гречки. Так, на слабкоокультурених ґрунтах шкідливий вплив хлору виявляється значно сильніше (Кондратьев И. Г.,

Подколзина Г. В., 1968; Пчелкин В. У., Мочалова А. Д., Забавская К. М., 1971).

Гречка відрізняється значним накопиченням сірки і за її винесенням практично наближається до пшениці (Демолон А., 1961). Вона позитивно реагує на внесення сірковмісних добрив (Воллейдт Л. П., 1959; Ефименко Д. Я., Барабаш Д. И., 1990). В одних випадках застосування сульфату калію мало переваги перед застосуванням калію хлористого (Лосев С. И., Еремин Л. П., 1978), в інших, особливо за завчасного внесення під основний обробіток ґрунту, ефективність їх була практично рівноцінною (Власюк П. А., Рубашов А. Б., 1965; Влияние форм ..., 1979). У деяких дослідах за безпосереднього внесення під час сівби гречки калійних добрив ефективність їх була навіть негативною (Важенин И. Г., Устюжанина Е. М., 1965; Беляев Г. А., 1967; Савицкий К. А., 1970 Булатов Н. Ф., 1972).

Схема поведеного досліду дає змогу вичленити дію сірки, що вноситься з добривами. Для цього застосовували калійну селітру і на тлі калію хлористого вносили сірку з розрахунку 15 кг/га, що еквівалентно дозі, яка вноситься з сульфатом калію (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Продуктивність гречки залежно від форм і строків внесення калійних добрив

Варіант досліду	Урожайність, т/га				Вміст білка (у середньому за 3 роки), %
	1989 р.	1990 р.	1991 р.	Середня за 3 роки	
Без добрив (контроль)	0,74	1,69	0,84	1,09	12,3
NP – фон	1,05	2,12	1,37	1,51	12,4
Фон + Ка	1,24	2,41	1,69	1,76	12,1
Фон + Кх	1,20	2,36	1,58	1,71	11,9
Фон + Кск	1,35	2,51	1,76	1,8,7	12,2
Фон + Кх + S_{15}	1,33	2,48	1,73	1,85	12,2
Фон + Кх + S_{50}	1,36	2,57	1,83	1,92	12,4
Фон + Кх навесні	1,06	2,14	1,54	1,58	11,7
$НІР_{05}$	0,13	0,20	0,16		0,3–0,4

Як видно з даних табл. 6.4, на чорноземі опідзоленому гречка досить ефективно реагує на внесення мінеральних добрив, у тому числі й калійних. Усі форми добрив, що вивчалися, у разі внесення під основний обробіток ґрунту дають істотний приріст урожайності зерна гречки – 0,20–0,35 т/га. У досліді не спостерігалося значної відмінності між різними формами калійних добрив за внесення їх восени.

Весняне внесення калію хлористого підвищенню врожайності гречки не сприяло, що можна пояснити негативною дією хлору й розміщенням калію добрив у верхньому, нестабільно зволожуваному шарі ґрунту. За його внесення восени хлор вимивається у нижчі шари ґрунту і засвоюється рослинами у другій половині вегетації, що значно знижує чутливість до нього рослин (Гончарик Н. М., Власенко Н. Е., 1968). Дослідження також показали, що на чорноземі опідзоленому гречка позитивно реагує на внесення сірки у дозі 50 кг/га. У середньому за три роки досліджень приріст урожайності зерна від цього становив 0,21 т/га, або 12 %. Високий вміст хлору у ґрунті і легке його поглинання рослинами знижує засвоєння інших життєво важливих аніонів (Удовенко Г. В., 1965). Так, порівняно з іонами сульфату підвищення концентрації іонів хлору в живильному середовищі послаблює інтенсивність поглинання рослинами фосфору.

Як свідчать дані, іони сульфату, порівняно з іонами хлору, підвищують вміст білка в зерні гречки, що вказує на краще засвоєння азоту рослинами.

Отже, вміст хлору, після 50-річного застосування добрив, у фізіологічно активному 1,5-метровому шарі ґрунту за різних рівнів і систем удобрення у польовій сівозміні неістотно перевищує рівень неудобрених ділянок. Різні форми калійних добрив за осіннього внесення мають практично однаковий вплив на врожайність зерна гречки. Найвищий вміст білка в зерні гречки був у варіантах досліду, де застосовували сульфат калію та калій хлористий з добавлянням сірки. Весняне внесення калію хлористого

позитивного впливу на продуктивність гречки порівняно з азотно-фосфорним фоном не має.

Проведені дослідження свідчать, що застосування хлорумісних калійних добрив у польовій сівозміні істотно не впливає на продуктивність типових для неї культур.

Хлор добрив не утворює стійких сполук у ґрунті і досить сильно мігрує по його профілю. Згідно огляду літератури доля хлору добрив залишається ще не вивченою, що є важливим питанням не лише з погляду агрохімії, але й екології. Тому питання подальшої долі хлору – його засвоєння рослинами, міграції в підґрунтя, надходження у водні джерела, баланс повинні бути оцінені із застосуванням ландшафтно-агрогеохімічного підходу.

6.2. Вміст калію, кальцію і магнію у ґрунтовому вбирному комплексі

Поряд з основними елементами живлення важливе значення у живленні рослин має магній. Вважається, що нестача магнію в живленні рослин спостерігається за вмісту його обмінних форм менше 2 смоль/кг ґрунту (Господаренко Г. М., 2015).

В оцінюванні забезпечення кореневого живлення рослин магнієм і калієм важливе значення має співвідношення між ними в структурі ємності катіонного обміну ґрунту. За внесення з добривами лише калію його вміст у ґрунті збільшується. При цьому вміст магнію змінюється менш істотно, а баланс між калієм і магнієм порушується. Вважається, що оптимальним є співвідношення Mg : K = 2–5. Якщо це співвідношення менше 2, то спостерігається дефіцит магнію, а якщо більше 5 – калію (La Techniche ..., 1995).

Аналізуючи вміст обмінного калію в ҐВК чорнозему опідзоленого, можна зробити висновок, що він змінювався не суттєво. Так, у шарі 0–20 см він становив від 0,59 до 0,85 смоль/кг залежно від варіанту досліду (табл. 6.5). Найменшим вмістом калію характеризувався варіант без внесення добрив (0,59 смоль/кг). У варіантах мінеральної

системи удобрення він збільшувався до 0,69 смоль/кг за першого рівня удобрення, до 0,77 смоль/кг – за другого і до 0,85 смоль/кг за третього рівня. За органічної та органо-мінеральної систем удобрення вміст обмінного калію був відповідно 0,78 смоль/кг та 0,75 смоль/кг.

Таблиця 6.5

Зміна вмісту обмінних Ca^{2+}, Mg^{2+} та K^{+} у чорноземі опідзоленому після тривалого (1965–2014 рр.) застосування добрив у польовій сівозміні, смоль/кг

Варіант досліду	Шар ґрунту, см	Катіон			Відношення	
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Ca^{2+}/K^{+}	Mg^{2+}/K^{+}
Без добрив (контроль)	0–20	26,3	2,48	0,59	44,6	4,2
	20–40	27,2	2,51	0,49	55,5	5,1
	40–60	26,6	2,55	0,45	59,1	5,7
	60–80	28,1	2,62	0,46	61,1	5,7
	80–100	27,2	2,68	0,49	55,5	5,5
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0–20	25,7	2,24	0,69	37,2	3,2
	20–40	27,2	2,37	0,55	49,5	4,3
	40–60	27,2	2,46	0,46	59,1	5,3
	60–80	27,8	2,51	0,46	60,4	5,5
	80–100	28,3	2,57	0,48	59,0	5,4
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0–20	24,6	2,20	0,77	31,9	2,9
	20–40	26,2	2,30	0,59	44,4	3,9
	40–60	28,2	2,50	0,48	58,8	5,2
	60–80	28,0	2,50	0,45	62,2	5,6
	80–100	27,5	2,60	0,47	58,5	5,5
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0–20	23,7	2,19	0,85	27,9	2,6
	20–40	25,0	2,21	0,66	37,9	3,3
	40–60	26,9	2,38	0,51	52,7	4,7
	60–80	26,8	2,48	0,47	57,0	5,3
	80–100	27,8	2,52	0,47	59,1	5,4
Гній 9 т	0–20	26,4	2,43	0,68	38,8	3,6
	20–40	26,6	2,49	0,55	48,4	4,5
	40–60	26,6	2,52	0,46	57,8	5,5
	60–80	27,9	2,58	0,46	60,7	5,6
	80–100	26,9	2,61	0,46	58,5	5,7

Продовження таблиці 6.5

Варіант досліду	Шар ґрунту, см	Катіон			Відношення	
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}/K^+	Mg^{2+}/K^+
Гній 18 т	0–20	26,3	2,42	0,78	33,7	3,1
	20–40	26,6	2,46	0,60	44,3	4,1
	40–60	26,4	2,50	0,48	55,0	5,2
	60–80	27,0	2,54	0,47	57,4	5,4
	80–100	27,5	2,59	0,47	58,5	5,5
Гній 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	0–20	25,4	2,30	0,75	33,9	3,1
	20–40	25,0	2,40	0,66	37,9	3,6
	40–60	28,2	2,50	0,46	61,3	5,4
	60–80	28,2	2,50	0,46	61,3	5,4
	80–100	28,1	2,60	0,46	61,1	5,7

Дослідженнями встановлено, що навіть за тривалого (50 років) внесення калію з добривами (щорічно 45–135 кг/га K_2O за різних систем удобрення) співвідношення між цими двома важливим елементами живлення у ҐВК для рослин у шарі ґрунту 0–20 см знаходиться в оптимальних межах – від 2,6 до 3,6. На ділянках без застосування добрив співвідношення Mg : K = 4,2. Тому за тривалого застосування калійних добрив на чорноземі опідзоленому виникає потреба у додатковому внесенні магнію.

У шарі ґрунту 20–40 см за внесення добрив також зберігається оптимальне співвідношення цих елементів – від 3,3 до 4,5. Глибше по профілю ґрунту співвідношення магнію до калію наближалося до критичного, тобто було виявлено дефіцит калію.

Катіони K^+, що містяться в калійних добривах, поглинаючись ґрунтом, витісняють із нього еквівалентну кількість катіонів Ca^{2+} (Корогодов Н. С., Масловская В. М, Андреянова А. М., 1986). Вміст обмінного кальцію залежно від варіантів удобрення в шарі 0–20 см становив від 23,7 до 26,4 смоль/кг. Найменшою насиченістю обмінним

кальцієм характеризувався ґрунт варіантів мінеральної системи удобрення, а найвищий його вміст мав ґрунт варіантів удобрення із застосуванням гною.

На основі одержаних даних, можна зробити висновок, що за тривалого застосування добрив на чорноземі опідзоленому відбулись істотні зміни у складі його вбирного комплексу – зменшилась кількість обмінних кальцію та магнію, що призводить до погіршення фізико-хімічних властивостей і як наслідок, до зниження рівня родючості.

Отже, уміст рухомих сполук калію чи магнію у ґрунті не завжди є об'єктивним показником ступеня забезпеченості ними рослин. Забезпеченість калієм і магнієм необхідно оцінювати комплексно, тому що вони мають антагоністичний вплив на засвоєння рослинами один одного. Відомо, що ці елементи живлення конкурують за надходження в кореневу систему рослин. Дефіцит калію проявлятиметься сильніше за високого вмісту магнію у ґрунті та низьких доз внесення калійних добрив.

Вирощування сільськогосподарських культур у польовій сівозміні без застосування добрив впродовж 50-ти років призвів до поступового підвищення відношення Mg : K у ҐВК до 4,2, що свідчить про важливе значення калійної складової у системі застосування добрив. Під перелогом це значення становить 3,5.

6.3. Вміст натрію у ґрунті

Поряд з калієм у тканинах рослин майже завжди міститься натрій (0,1–0,2 %). Це факультативний макроелемент: у багатьох випадках він є баластом, хоча за його наявності рослини ростуть краще. Співвідношення між калієм і натрієм у земній корі наближається до одиниці. За хімічними властивостями натрій подібний до калію, але його іони на відміну від іонів калію, кальцію і магнію не фіксуються і слабко утримуються колоїдами ґрунту (Господаренко Г. М., 2015).

Як видно з даних табл. 6.6, після тривалого застосування добрив лише у варіантах з внесенням високих доз мінеральних добрив і гною проходить незначне підвищення вмісту валового натрію в шарі ґрунту 0–20 см – до 0,75 %, за вмісту на ділянках без внесення добрив – 0,66 %. У шарі ґрунту 20–40 см його вміст підвищувався лише на 0,1 % за мінеральної системи удобрення з внесенням 135 кг K_2O/га сівозмінної площі. Це можна пояснити тим, що в перші чотири ротації сівозміни калійні добрива вносили у вигляді калійної солі змішаної, яка містила 20 % Na_2O.

Таблиця 6.6

Вміст валового натрію (Na_2O) у ґрунті після тривалого (1964–2014 рр.) застосування добрив у польовій сівозміні, %

Варіант досліду	Шар ґрунту, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
Без добрив (контроль)	0,66	0,70	0,74	0,75	0,75
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0,75	0,83	0,75	0,75	0,76
Гній 18 т	0,75	0,75	0,73	0,75	0,75
HIP_{05}	0,07	0,06	0,04	0,05	0,04

Незначне підвищення вмісту натрію у ґрунті можна пояснити кількома причинами. По-перше, значним винесенням його з урожаями буряку цукрового і кукурудзи на силос. По-друге, збільшенням засвоєння рослинами натрію за нестачі калію, а також міграцією його за межі кореневмісного шару ґрунту за сільськогосподарського його використання.

6.4. Вміст радіоактивних ізотопів у ґрунті

Застосування добрив – це досить активний вплив на природне середовище. Наявність різних токсичних домішок у мінеральних добривах, незадовільна якість а також можливі порушення технології їх застосування можуть призвести до серйозних негативних наслідків (Примак І. Д., Манько Ю. П., Рідей Н. М. та ін., 2010).

Найбільшою розповсюдженістю серед природних радіоактивних ізотопів характеризується радіоактивний калій (^{40}К). Загальна активність його в земній корі більша, ніж активність усіх інших ізотопів, разом узятих. Він широко розсіяний у ґрунтах, особливо глинистих, де утримується міцніше внаслідок процесів сорбції. Один грам природного калію за рахунок вмісту в ньому ^{40}К (0,0119 %) характеризується активністю $0{,}8 \cdot 10^{-9}$ кюрі (Эмсли Дж., 1993; Гудков І. М. та ін., 2011).

Застосування калійних добрив із залишковою природною радіоактивністю не призводить до істотного підвищення радіоактивності сільськогосподарських культур, але бувають випадки зростання її у кілька разів порівняно з радіоактивністю рослин, вирощених у природних умовах без застосування добрив. Таке явище зазвичай спостерігається в молодих рослин на ранніх стадіях розвитку після внесення у ґрунт високих доз калійних добрив (Примак І. Д. та ін., 2010).

Для калійних добрив характерна присутність двох природних радіоактивних нуклідів – ^{226}Ra і ^{40}К. При цьому основним радіонуклідом є ^{40}К (Хоботова Е. Б., Уханьова М. І., Гречишкіна О. В., 2009; Гудков І. М. та ін., 2011).

У літературі практично відсутні дані про рівні радіоактивності калійних добрив. Відомо, що на 1 г калію приходиться 29,6 Бк ^{40}К, тому що в природному калії 0,0119 % ^{40}К. Радіоактивний калій (^{40}К) має період напіврозпаду $1{,}2 \cdot 10^{9}$ років і характеризується бета-негативним типом розпаду з енергією 1,32 Мев (88,4 %) та частковим гама-випромінюванням (К-захват) з енергією 1,46 Мев (11,6 %) (Коваленко Г. Д., Рудя К. Г., 2001).

Вміст у ґрунті ^{40}К може змінюватися в широких межах (100–750 Бк/кг). Однак через великий період напіврозпаду, ізотопи калію знаходяться у ґрунті зазвичай в міцно зв'язаній формі та мають невисоку швидкість переходу в рослини (Ильязов Р. Г, Шакиров Ф. Х., Фисинин В. И., 2006). У природі калій знаходиться у вигляді трьох ізотопів ^{39}К (93,1 %), ^{41}К (6,9 %) і радіоактивний ^{40}К (0,012 %).

Із загальної кількості ^{40}К 88 % припадає на «м'яке» і лише 12 % на «жорстке» випромінювання. На загальному фоні природних джерел випромінювання ^{40}К складає 12 % (Прокошев В. В., 2005).

Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням дози внесених калійних добрив у ґрунті зростає питома активність радіоактивного ізотопу калію (табл. 6.7). Так, у варіанті досліду без добрив цей показник становив 105,1 Бк/кг. Внесення 45 кг $К_2О$/га сприяло зростанню питомої активності на 12 %, а 135 кг $К_2О$/га – на 30 %.

Таблиця 6.7

Питома активність радіонуклідів у ґрунті після тривалого (50 років) застосування добрив у польовій сівозміні, Бк/кг

Варіант досліду	Шар ґрунту, см	Радіонуклід				
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr
Без добрив (контроль)	0–20	25,8	20,4	105,1	8,4	3,1
	20–40	20,1	20,6	77,3	7,2	2,0
	40–60	14,9	20,1	52,3	4,2	1,8
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0–20	28,6	30,4	118,0	9,0	3,2
	20–40	22,3	20,6	81,2	7,4	2,0
	40–60	15,2	19,6	56,4	4,6	1,8
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0–20	32,6	44,6	136,2	10,6	3,3
	20–40	27,1	30,6	110,0	7,8	2,4
	40–60	15,1	20,8	61,2	4,5	1,9

Вниз по профілю ґрунту питома активність радіоактивного калію знижувалась і на глибині 40–60 см була у два рази меншою, ніж у шарі 0–20 см.

Оскільки калійні добрива містять і радіоактивний ізотоп радію, то відповідно і його питома активність зі збільшенням дози калійних добрив зростала.

Крім того, зафіксовано підвищення вмісту таких радіонуклідів як ^{232}Th, ^{137}Cs, ^{90}Sr у варіантах досліду із застосуванням добрив відносно контролю. Оскільки системи удобрення передбачають внесення не лише калійних доб-

рив, то можна припустити, що ізотопи надходять у ґрунт й з іншими видами добрив.

Радіоізотопи ^{90}Sr і ^{137}Cs легко включаються в процеси міграції по сільськогосподарських ланцюгах, тому що за своїми хімічними властивостями є аналогами, відповідно, кальцію та калію, яким належить важлива роль в біосфері (Ильязов Р. Г, Шакиров Ф. Х., Фисинин В. И., 2006).

Виявлено, що внесені калійних добрив сприяють значному зниженню вмісту радіоцезію як в основній, так і в нетоварній частині врожаю вівса порівняно з контролем (Дегедюк Е. Г. та ін., 1992). Застосування калійних добрив – ефективний і економічно виправданий захід для зниження надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr у продукцію рослинництва (Богдевич И. М., 2006).

У тривалих польових дослідах встановлено безпечність калійних добрив як носіїв радіоактивності, що створюється ^{40}K. Випромінювання калію, що створює природний радіаційний фон не обмежується діючими дозами, і не є небезпечним для здоров'я людини (Прокошев В. В., Дерюгин И. П., 2000).

Отже, за тривалого внесення калійних добрив зростає вміст ^{40}K та ^{226}Ra у ґрунті, що підвищує його радіоактивність. Проте, відома важлива екологічна функція калію – антагонізм у відношенні до радіоактивних ^{137}Cs і ^{90}Sr. Про значну роль калійних добрив у зниженні інтенсивності та міграції радіонуклідів у системі ґрунт–рослина відмічають багато вчених (Алексахин Р. М., Моисеев И. Т., Тихомиров Ф. А., 1992; Дричко В. Ф., Поникарова Т. М., 1992). Як показано (Алексахин Р. М., Раников А. Н., Санжаров Н. И., 1996), калій інгібує потрапляння ^{137}Cs в культури агроценозів. Найбільший ефект досягається за внесення високих доз калійних добрив (Прищеп Н. И., Просяников Е. В., Коровяковская С. О., 1997).

Системи застосування удобрювальних матеріалів у польовій сівозміні змінюють питому активність радіоізотопів у зерні пшениці озимої (табл. 6.8). Найменшою вона

була за органічної системи удобрення – 68,5–69,1 Бк/кг зерна. За вирощування пшениці озимої після кукурудзи на силос вона була нижчою порівняно з іншими попередниками (конюшиною, горохом).

Таблиця 6.8

Питома активність радіонуклідів у зерні пшениці озимої після тривалого (50 р.) застосування різного удобрення в польовій сівозміні та попередників (2015 р.), Бк/кг сухої маси

Варіант досліду (чинник А)	Радіоактивний нуклід				
	^{40}К	^{232}Th	^{226}Ra	^{137}Cs	^{90}Sr
Попередник – конюшина (чинник В)					
Без добрив (контроль)	68,1	19,6	6,5	1,7	0,8
$N_{45}P_{45}K_{45}$	69,3	19,5	6,4	1,7	0,8
$N_{90}P_{90}K_{90}$	74,5	20,2	6,6	1,9	0,9
$N_{135}P_{135}K_{135}$	87,2	22,8	6,7	2,1	1,0
Гній 9 т	68,5	19,8	6,5	1,7	0,8
Гній 13,5 т	68,9	19,7	6,4	1,8	0,8
Гній 18 т	69,1	19,9	6,5	1,9	0,9
Гній 4,5 т+ $N_{23}P_{34}K_{18}$	68,3	19,7	6,6	1,7	0,8
Гній 9 т + $N_{46}P_{68}K_{36}$	69,9	20,0	6,4	1,9	0,8
Гній 13,5 т + $N_{69}P_{102}K_{54}$	73,2	20,7	6,5	2,0	0,9
Попередник – горох					
Без добрив (контроль)	68,4	19,5	6,6	1,7	0,8
$N_{45}P_{45}K_{45}$	70,1	19,8	6,7	1,8	0,8
$N_{90}P_{90}K_{90}$	76,2	20,4	6,7	1,9	1,0
$N_{135}P_{135}K_{135}$	86,4	21,7	6,8	2,1	1,1
Гній 9 т	68,1	19,5	6,5	1,7	0,7
Гній 13,5 т	70,2	19,9	6,6	1,7	0,8
Гній 18 т	69,8	19,8	6,5	1,8	0,9
Гній 4,5 т+ $N_{23}P_{34}K_{18}$	69,4	19,4	6,6	1,7	0,8
Гній 9 т + $N_{46}P_{68}K_{36}$	70,3	19,9	6,7	1,9	0,9
Гній 13,5 т + $N_{69}P_{102}K_{54}$	74,1	21,1	6,7	2,0	1,0
Попередник – кукурудза на силос					
Без добрив (контроль)	68,3	18,1	6,0	1,7	0,8

Продовження таблиці 6.8

Варіант досліду (чинник А)		Радіоактивний нуклід				
		^{40}К	^{232}Th	^{226}Ra	^{137}Cs	^{90}Sr
$N_{45}P_{45}K_{45}$		69,8	18,2	6,1	1,7	0,8
$N_{90}P_{90}K_{90}$		71,7	19,3	6,1	1,7	0,9
$N_{135}P_{135}K_{135}$		77,6	19,8	6,1	1,8	1,0
Гній 9 т		68,1	18,4	6,0	1,7	0,8
Гній 13,5 т		68,9	18,6	6,2	1,7	0,8
Гній 18 т		68,4	18,5	6,0	1,7	0,9
Гній 4,5 т+ $N_{23}P_{34}K_{18}$		68,2	18,3	6,1	1,7	0,8
Гній 9 т + $N_{46}P_{68}K_{36}$		69,5	18,9	6,2	1,7	0,8
Гній 13,5 т + $N_{69}P_{102}K_{54}$		71,7	19,2	6,0	1,8	0,9
HIP_{05}	А	1,7	0,5	0,2	0,1	0,1
	В	1,4	0,4	0,2	0,1	0,1
ГДК		–	–	–	80	140

Питома активність ^{232}Th у зерні пшениці озимої була нижчою порівняно з ^{40}К – відповідно 18,1 і 22,8 Бк/кг. Підвищення активності цього радіонукліду встановлено за мінеральної та органо-мінеральної системи удобрення. Внесення в сівозміні лише гною майже не змінювало питому активність ^{232}Th Також з'ясовано, що поглинання ^{232}Th було вищим за вирощування пшениці після конюшини та гороху (19,6–22,8 Бк/кг зерна), ніж після кукурудзи на силос (18,1–19,8 Бк/кг), що можна пояснити ефектом розбавлення за вищого врожаю.

На питому активність ^{226}Ra майже не впливали досліджувані складові агротехнології вирощування пшениці озимої. Його активність змінювалась в незначних межах – 6,0–6,8 Бк/кг.

Питома активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у зерні пшениці озимої була найнижчою порівняно з іншими радіонуклідами – відповідно від 1,7 до 2,0 і від 0,8 до 1,1 Бк/кг залежно від агротехнології вирощування. Це свідчить, що тривале застосування удобрювальних матеріалів у польовій сівозміні у зазначених дозах є безпечними. При цьому питома

активність ^{137}Cs в 40–47 разів, а ^{90}Sr в 127–145 разів була нижчою за ГДК.

За даними питомої активності радіоактивних нуклідів у ґрунті та в зерні пшениці озимої розраховано коефіцієнт біологічного поглинання радіонуклідів (табл. 6.9). Найбільше рослини пшениці озимої накопичували ^{232}Th, проте застосування удобрювальних засобів знижувало його за рахунок біологічного розбавлення у більшій масі врожаю.

Таблиця 6.9

Вплив тривалого (50 років) застосування удобрювальних засобів у польовій сівозміні і попередників на коефіцієнт біологічного поглинання радіоактивних нуклідів зерном пшениці озимої

Варіант досліду (чинник А)	Радіоактивний нуклід				
	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	^{137}Cs	^{90}Sr
Попередник – конюшина (чинник В)					
Без добрив (контроль)	0,65	0,96	0,25	0,20	0,26
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0,59	0,64	0,22	0,19	0,25
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,60	0,55	0,22	0,20	0,28
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0,64	0,51	0,21	0,20	0,30
Гній 9 т	0,63	0,91	0,25	0,19	0,30
Гній 13,5 т	0,63	0,90	0,23	0,19	0,30
Гній 18 т	0,63	0,89	0,22	0,20	0,32
Гній 4,5 т+ $N_{23}P_{34}K_{18}$	0,59	0,74	0,23	0,19	0,26
Гній 9 т + $N_{46}P_{68}K_{36}$	0,58	0,62	0,22	0,20	0,25
Гній 13,5 т + $N_{69}P_{102}K_{54}$	0,54	0,51	0,21	0,20	0,27
Попередник – горох					
Без добрив (контроль)	0,65	0,96	0,26	0,20	0,27
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0,60	0,66	0,24	0,20	0,26
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,61	0,57	0,23	0,19	0,31
$N_{135}P_{135}K_{135}$	0,64	0,49	0,22	0,19	0,32
Гній 9 т	0,63	0,91	0,25	0,19	0,27
Гній 13,5 т	0,65	0,90	0,24	0,18	0,31
Гній 18 т	0,64	0,87	0,22	0,19	0,33
Гній 4,5 т+ $N_{23}P_{34}K_{18}$	0,60	0,72	0,24	0,19	0,27
Гній 9 т + $N_{46}P_{68}K_{36}$	0,59	0,62	0,23	0,20	0,29
Гній 13,5 т + $N_{69}P_{102}K_{54}$	0,55	0,51	0,22	0,20	0,31

Продовження таблиці 6.9

Варіант досліду (чинник А)		Радіоактивний нуклід				
		^{40}К	^{232}Th	^{226}Ra	^{137}Cs	^{90}Sr
Попередник – кукурудза на силос						
Без добрив (контроль)		0,66	0,95	0,25	0,21	0,29
$N_{45}P_{45}K_{45}$		0,63	0,71	0,22	0,19	0,27
$N_{90}P_{90}K_{90}$		0,60	0,61	0,22	0,18	0,28
$N_{135}P_{135}K_{135}$		0,59	0,51	0,21	0,18	0,31
Гній 9 т		0,64	0,92	0,24	0,19	0,31
Гній 13,5 т		0,64	0,89	0,24	0,21	0,31
Гній 18 т		0,64	0,87	0,23	0,20	0,33
Гній 4,5 т+ $N_{23}P_{34}K_{18}$		0,60	0,72	0,22	0,19	0,27
Гній 9 т + $N_{46}P_{68}K_{36}$		0,58	0,65	0,21	0,18	0,26
Гній 13,5 т + $N_{69}P_{102}K_{54}$		0,56	0,56	0,20	0,18	0,29
HIP_{05} за чинниками	А	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02
	В	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01

Так, у варіанті без застосування удобрювальних засобів коефіцієнт біологічного поглинання ^{232}Th зерном пшениці озимої за вирощуванні після конюшини становив 0,96, за мінеральної системи удобрення – 0,51–0,64 або менше на 33–47 %, за органічної системи – 0,89–0,91, або менше на 5–7, а за органо-мінеральної системи удобрення – 0,51–0,74, або менше на 23–47 % порівняно з контролем.

Дещо меншим був коефіцієнт біологічного поглинання ^{40}К – 0,58–0,64 за органо-мінеральної системи удобрення проти 0,65 у варіанті без добрив. Найменше зерно пшениці озимої накопичувало ^{137}Cs, ^{90}Sr і ^{226}Ra.

Поглинання радіоактивних нуклідів зерном пшениці озимої за вирощування після гороху і кукурудзи на силос залежно від удобрення змінювалось подібно з попередником конюшина.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Внесення калійних добрив під пріоритетні культури, підвищення рівня агротехнології, широке застосування заходів, направлених на накопичення і збереження ґрунтової вологи, оптимізація кислотно-основних властивостей ґрунту, оптимізація азотно-фосфорного живлення рослин, точна діагностика родючості ґрунтів, раціональні технології внесення добрив.

Калійні добрива вносять перш за все на полях з низьким і середнім вмістом поживних речовин. При цьому, чим нижча родючість ґрунту відносно забезпеченості калієм, тим більший ефект можна передбачити від застосування калійних добрив.

Досить часто поглинання обмінного калію за рахунок необмінних форм відстає від темпів засвоєння калію рослинами. Зазвичай це основна причина прояву недостатнього калійного живлення культурних рослин за інтенсивних технологій вирощування, яка обумовлює обов'язкове внесення калійних добрив як додаткового джерела забезпечення їх легкодоступними формами калію.

Між даними визначення K_2O у ґрунті, одержаними на основі методів з використанням розчинів кислот або лугів і гранулометричним складом ґрунтів існує пряма залежність, що зазвичай веде до завищення або заниження реальної оцінки калійного стану ґрунтів. Ґрунти важкого гранулометричного складу містять підвищену кількість різник калієвмісних мінералів. Більшості з них калій рослинам не доступний, але може частково екстрагуватися розчинами кислот або лугів.

У сучасних умовах ведення сільського господарства в Україні завдання підвищення калійного рівня ґрунтів економічно недоцільне і не повинно бути самоціллю. Основну увагу слід звернути на розроблення заходів і способів, направлених на поліпшення умов живлення сільськогос-

подарських культур калієм, що сприятиме економічній ефективності застосування калійних добрив.

Чорнозем опідзолений має механізми фіксації надлишково внесеного калію в необмінній, але потенційно доступній для рослин формі, що запобігає його міграції по профілю ґрунту. Верхня межа оптимального вмісту рухомих форм калію у цьому ґрунті для культур польової сівозміни знаходиться на рівні його вмісту під перелогом (160 мг/кг). Тому система застосування калійних добрив у польовій сівозміні повинна бути підтримувальною.

Теоретичною і практичною основою регулювання колообігу речовин у системі ґрунт – добриво – рослина є баланс поживних речовин. Встановлено, що врівноважений баланс азоту, фосфору і калію у сівозміні зерно-бурякового типу залежно від системи удобрення забезпечує середньорічне внесення на 1 га сівозмінної площі $N_{100–115}P_{38–43}K_{100–115}$.

Отже, на основі огляду літературних джерел та проведених досліджень можна зробити висновок, що впродовж кількох останніх десятиліть був взятий хибний курс на виробництво і застосування калійних добрив переважно у формі калію хлористого, оскільки супутні елементи живлення цього добрива істотно впливають на продуктивність сільськогосподарських культур. Тому з підвищенням культури землеробства під час застосування безбаластних калійних добрив інші корисні елементи живлення (сірка, натрій, магній) треба буде застосовувати в необхідних кількостях у вигляді сполук, легкодоступних для рослин, та в оптимальні строки.

У монографії наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення питання збереження калійної складової родючості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового Правобережного Лісостепу України завдяки виявленню особливостей впливу тривалого застосування різних систем і рівнів удобрення, закономірностей перерозподілу калію добрив між різними його формами та у межах профілю ґрунту, балансу за різного удобрення, що виявляється у наступному:

Тривале (50 років) внесення калію у складі органічних і мінеральних добрив у дозі до 135 кг K_2O/га в польовій сівозміні істотно не підвищує його валовий вміст у шарі ґрунту 0–20 см порівняно з варіантами без добрив (2,20 %). У його складі легкорозчинні, обмінні, рухомі, слабкозв'язані, необмінно-гідролізовані та жорсткозв'язані форми відповідно складають: 0,08–0,19; 0,61–0,90; 0,44–0,63; 0,52–0,70; 11,70–13,61 і 11,04–12,70 % залежно від доз добрив і систем удобрення. Найбільші зміни під впливом удобрення спостерігаються в шарі ґрунту 0–20 см. Вміст рухомих сполук калію (за методом Чирикова) у межах профілю ґрунту змінюється до глибини 60 см.

Досить часто поглинання обмінного калію за рахунок необмінних форм відстає від темпів засвоєння калію рослинами. Зазвичай це основна причина прояву недостатнього калійного живлення культурних рослин за інтенсивних технологій вирощування, яка обумовлює обов'язкове внесення калійних добрив як додаткового джерела забезпечення їх легкодоступними формами калію.

Вміст легкорозчинних сполук калію у чорноземі опідзоленому за тривалого застосування добрив у дозі 90–135 кг K_2O/га площі сівозміни підвищується в шарі ґрунту 0–20 см на 9–29 мг/кг відносно контролю без добрив. За внесення з добривами 135 кг K_2O/га відмічено підвищення його вмісту по профілю ґрунту до глибини 60 см.

Систематичне внесення в сівозміні калію з мінеральними і органічними добривами у дозі 135 кг K_2O/га сівозмінної площі значно поліпшує калій-буферні властивості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового порівняно з контролем без добрив – знижується фіксувальна здатність ґрунту на 2,08–3,59 бали, загальний оцінювальний показник буферності підвищується на 0,27–3,18 бали, що забезпечує оптимальне функціонування і саморегуляцію його калійного режиму. Найліпший показник за коефіцієнтом буферної асиметрії (0,02) зафіксовано у варіанті з органомінеральною системою удобрення. Добрива підвищують

активність іонів калію в шарі ґрунту 0–20 см в 1,3–2,4 рази залежно від рівня їх застосування, тоді як калійний потенціал змінюється неістотно.

Застосування добрив упродовж п'яти ротацій 10-пільної сівозміни обумовило підвищення вмісту необмінних форм калію, що свідчить про зростання його потенційних запасів за рахунок високої вбирної здатності ґрунту. За внесення 90–135 кг K_2O/га площі сівозміни збільшується вміст необмінно-гідролізованих сполук калію в шарі 0–20 см на 488–521 мг/кг, 20–40 см – на 379–409 мг/кг, 40–60 см – на 190–259 мг/кг ґрунту відносно контролю. Вміст жорсткозв'язаних сполук калію в шарі ґрунту 0–20 см за внесення 90–135 кг K_2O/га сівозмінної площі збільшився відносно контролю на 6–15 %.

Між даними визначення калію у ґрунті, одержаними на основі методів з використанням розчинів кислот або лугів і гранулометричним складом ґрунтів існує пряма залежність, що зазвичай веде до завищення або заниження реальної оцінки калійного стану ґрунтів. Ґрунти важкого гранулометричного складу містять підвищену кількість різних калієвмісних мінералів. Більшості з них калій рослинам не доступний, але може частково екстрагуватися розчинами кислот або лугів.

Оптимальний вміст рухомих сполук калію у чорноземі опідзоленому, за якого досягається максимальна продуктивність польової сівозміни зерно-бурякового виду – 45–65 мг/кг (за методом Дашевського), 120–180 мг/кг (за методом Чирикова) та 300–400 мг/кг (за методом Мачигіна). За більшого його вмісту система застосування калійних добрив повинна бути підтримувальною, тобто їх дози не повинні перевищувати вилучення калію з урожаями, що попередить негативний еколого-економічний ефект.

Показник вмісту рухомих сполук калію (за методом Чирикова) істотно залежить від ступеня подрібнення ґрунту. Це потрібно враховувати при використанні різних машин і механізмів для підготовки ґрунту до агрохімічного аналізу.

Урожайність сільськогосподарських культур суттєво змінюється від доз добрив і систем удобрення в польовій сівозміні, але й обмежується біологічними особливостями вирощуваної культури. Найвищу продуктивність польової сівозміни після тривалого застосування добрив забезпечують високі дози добрив за органо-мінеральної системи удобрення із середньорічним внесенням на 1 га сівозмінної площі 13,5 т гною та $N_{68}P_{101}K_{54}$, що становить 7,7 т/га товарної продукції у перерахунку на зернові одиниці.

Вміст калію в основній частині продукції та відносне винесення калію з 1 т основної продукції з урахуванням відповідної кількості нетоварної більше залежить від біологічних особливостей культур, ніж від удобрення. В нетоварній частині врожаю міститься більше калію, ніж в основній і його кількість збільшується з підвищенням доз добрив. Відносне винесення калію становить для: пшениці озимої – 12,7–19,4 кг/т (15,5 кг/т); буряку цукрового – 5,1–8,3 кг/т (6,8 кг/т); кукурудзи на зерно – 17,4–24,8 кг/т (20,1 кг/т); кукурудзи на силос – 4,6–6,0 кг/т (5,4 кг/т); ячменю ярого – 13,3–20,3 кг/т (16,9 кг/т); конюшини – 10,5–12,1 кг/т (11,4 кг/т). Господарське винесення калію залежить від рівня врожайності культур сівозміни. Всього за 50 років культури польової сівозміни за внесення 135 кг K_2O/га залежно від системи удобрення винесли із ґрунту 6500–7300 кг/га K_2O, за винесення на контролі 4250 кг/га, в тому числі, з основною продукцією відповідно 2969–3304 та 1850 кг/га.

Середньорічне внесення на 1 га площі польової сівозміни калію у дозі 45–135 кг K_2O з органічними і мінеральними добривами, за умови вилучення з поля нетоварної частини врожаю, не забезпечує додатного його балансу. Інтенсивність балансу калію при цьому становить 39–97 %, що вказує на допустимий його дефіцит для чорнозему опідзоленого з підвищеним вмістом рухомих сполук калію. У разі залишення нетоварної частини врожаю на

полі додатний баланс калію у ґрунті з інтенсивністю 155 % формується за внесення 90 кг K_2O/га сівозмінної площі.

Різні форми калійних добрив (калійна селітра, сульфат калію, калій хлористий) за осіннього внесення мають практично однаковий вплив на продуктивність гречки, тому застосування хлорумісних калійних добрив у польовій сівозміні істотно не може впливати на формування врожаю й інших типових для неї культур. Внесення калійної солі змішаної під буряк цукровий, порівняно з калієм хлористим, сприяє підвищенню цукристості коренеплодів і виходу цукру на заводі.

На основі огляду літературних джерел та проведених досліджень можна зробити висновок, що впродовж кількох останніх десятиліть був взятий хибний курс на виробництво і застосування калійних добрив переважно у формі калію хлористого, оскільки супутні елементи живлення цього добрива істотно впливають на продуктивність сільськогосподарських культур. Тому з підвищенням культури землеробства при застосуванні безбаластних калійних добрив інші корисні елементи живлення (сірка, натрій, магній) треба буде застосовувати в необхідних кількостях у вигляді сполук, легкодоступних для рослин, та в оптимальні строки.

Застосування добрив у польовій сівозміні в дозі 45–135 кг K_2O/га не сприяє підвищенню вмісту хлору в фізіологічно активному 1,5-метровому шарі ґрунту. Співвідношення між магнієм та калієм у ґрунтовому вбирному комплексі в результаті 50-річного внесення калію з добривами знижується до 2,6–3,6, за показника на контролі без добрив – 4,2. При цьому підвищується вміст у ґрунті ^{226}Ra від 28,6 Бк/кг до 32,6 Бк/кг і ^{40}K від 118,0 Бк/кг до 136,2 Бк/кг, за вмісту на контролі без добрив відповідно 25,8 Бк/кг і 105,1 Бк/кг.

У сучасних умовах ведення сільського господарства в Україні завдання підвищення калійного рівня ґрунтів економічно недоцільне і не повинно бути самоціллю. Основну увагу слід звернути на розроблення заходів і способів,

направлених на поліпшення умов живлення сільськогосподарських культур калієм, що сприятиме економічній ефективності застосування калійних добрив.

Агроформуванням Правобережного Лісостепу України для досягнення високої продуктивності польової сівозміни (7,0–8,5 т/га основної продукції у перерахунку на зернові одиниці) на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому оптимальний вміст рухомих сполук калію (за методом Чирикова) повинен становити 120–180 мг/кг, а легкорозчинних сполук калію (за методом Дашевського) – 45–65 мг/кг. За умови залишення нетоварної частини урожаю на полі на добрива коефіцієнт повернення калію від його господарського винесення повинен становити 0,5, а за її вилучення – 0,8, що не погіршуватиме калійного режиму ґрунту. При цьому калійні добрива слід вносити під калієфільні культури, а інші культури сівозміни будуть використовувати їх післядію.

Підвищення ефективності калійних добрив забезпечує їх внесення під пріоритетні культури, поліпшення агротехнології, широке застосування заходів, направлених на накопичення та збереження ґрунтової вологи, оптимізація кислотно-основних властивостей ґрунту, оптимізація азотно-фосфорного живлення рослин, точна діагностика родючості ґрунтів, раціональні технології внесення добрив.

Калійні добрива вносять перш за все на полях з низьким і середнім вмістом поживних речовин. При цьому, чим нижча родючість ґрунту відносно забезпеченості калієм, тим більший ефект можна передбачити від застосування калійних добрив.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авакян Н. О. Калий почвенного раствора и питание растений калим. Агрохимия. 1970. № 9. С. 67–74.
2. Авакян Н. О. Потенциал и количество калия в окультуренных почвах Армении и эффективность калийных удобрений. Агрохимия. 1972. № 3. С. 27–32.
3. Авдонин Н. С. Научные основы применения удобрений. Москва : Колос, 1972. 320 с.
4. Агеев В. В., Подколзин А. И. Агрохимия. Ставрополь, 2006. Т. 2. 276 с.
5. Агеев В. В., Подколзин А. И. Длительные стационары – основа теории и практики агрохимии. Агрохимический вестник. 2005. № 4. С. 5–7.
6. Агроекологічна оцінка калійної функції ясно-сірого лісового поверхневого оглеєного ґрунту / А. Й Габріель, Ю. Л. Цапко, Ю. М Оліфір та ін. Передгірне і гірське землеробство і тваринництво. 2008. Вип. 50. С. 32–39.
7. Агроекологічні аспекти застосування калійних добрив / О. Д. Черно, Г. М. Господаренко, О. О. Олійник, Н. І. Бардіж. Зб. наук. пр. Уманської сільськогосподарської академії. 1997. С. 213–216.
8. Агрохимическая оценка эффективности комплексных удобрений при внесении под полевые культуры в различных почвах УССР / Г. Г. Дука и др. Опыт производства и применения концентрированных и комплексных удобрений под с.-х. культуры. Киев: Изд-во УСХА, 1975. С. 43–45.
9. Агрохимические методы исследования почв / за ред. А. В. Соколова. Москва : Наука, 1975. 656 с.
10. Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового / Г. М. Господаренко, Л. В. Вишневська, А. Т. Мартинюк та ін. / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 308 с.
11. Агрохімічні показники якості чорнозему опідзоленого після тривалого (49 років) застосування добрив у польовій сівозміні / Г. М. Господаренко та ін. Охорона ґрунтів: зб. наук. праць за матеріалами Міжнар. наук.-практ. конф. («Агрохімічна служба України: роль і місце розвитку агропромислового комплексу держави»). Київ : ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2014. Вип. 1. С. 135–139.
12. Адаптация агроэкосферы к условиям техногенеза / Р. Г. Ильязов и др. Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2006. 670 с.
13. Акулов П. Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов : автореф. дис. ... докт. с.-х. наук : 06.01.04. Москва,1994. 75 с.
14. Александрова Л. М., Раппорт Л. А. Прямое измерение калийного потенциала почв. Агрохимия. 1984. № 1. С. 84–88.
15. Алексахин Р. М., Моисеев И. Т., Тихомиров Ф. А. Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклидов в урожае. Агрохимия. 1992. № 8. С. 127–138.
16. Алексеева Е. Н. О влиянии удобрений на сахаристость свеклы. Агрохимия. 1965. № 6. С. 36–42.
17. Алексеева Е. Н., Кулакова. В. П. Поступление хлора в растения при длительном применении удобрений. Агрохимия. 1973. № 7. С. 84–93.
18. Андрієнко В. О., Марчук І. У., Ященко Л. А. Калійний режим дерново-підзолистих та сірих опідзолених ґрунтів і його вплив на продуктивність сільськогосподарських культур в умовах Полісся. Вісник аграрної науки. 2000. № 10. С. 12–14.

19. Аркуша В. Е., Буджерак А. И., Першак И. Т. Влияние замены навоза минеральными удобрениями на урожай культур зерно-свекловичного севооборота. Агрохимия. 1983. № 7. С. 43–48.
20. Афанасьев Р. А. Методика дисперсионного анализа результатов многолетних полевых опытов. Агрохимия. 2013. № 6. С. 5–11.
21. Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений. Агрохимия. 2013. № 6. С. 5–12.
22. Багринцева В. Н. Питание зерновых колосовых культур калием на каштановых почвах. Питание растений. 2011. № 3. С. 6–10.
23. База данных агрохимических и радиологических свойств почв на ПЭВМ / И. М. Богдевич и др. Почвоведение и агрохимия. 2000. Вып. 31. С. 11–19.
24. Беляев Г. А. Калийное питание ячменя и гречихи при длительном применении различных форм калийных удобрений. Агрохимия. 1967. № 3. С. 5–8.
25. Беляев Г. Н. Калийные удобрения из калийных солей Верхнекамского месторождения и их эффективность. Пермь: Кн. изд-во, 2005. 304 с.
26. Беляев Г. Н. Формы калия в песчаной почве при длительном применении удобрений. Почвоведение. 1971. № 1. С. 58–65.
27. Бергер К. К., Пратт П. Ф. Достижения в применении второстепенных элементов и микроудобрений. Производство и применение минеральных удобрений. Москва : Колос, 1965. С. 313–375.
28. Бершадская С. И., Нещадим Н. Н., Квашин А. А. Урожайность и качество зерна различных сортов озимой пшеницы в зависимости от предшественника, удобрений и других приемов выращивания. Научний журнал Кубанского ГАУ. 2016. № 120 (06). С. 1–15.
29. Бершадская С. И., Дерека Ф. И. Калийное питание и продуктивность сельскохозяйственных культур на черноземе обыкновенном Западного Прекавказья. Питание растений. 2012. № 2. С. 9–11.
30. Білоножко В. Я., Господаренко Г. М. Вплив іонів хлору на урожайність гречки. Матеріали Міжнар. конф. «Селекція, насінництво і технологія вирощування польових культур». Чернівці: Буковина, 1996. С. 132.
31. Біологічні та агроекологічні основи підвищення продуктивності сільськогосподарських культур / А. Ф.Гойчук та ін. Зб. наук. пр. Уманського держ. агр. університету. 2003. Спецвипуск. С. 5–14.
32. Блэк К. А. Растения и почва. Москва : Колос, 1973. 503 с.
33. Богдевич И. М. Защитные агрохимические мероприятия в АПК республики Беларусь. Агрохимический вестник. 2006. № 2. С. 13–19.
34. Бозенко С. Г. Взаимодействие дерново-подзолистых почв и черноземов с калийными удобрениями разного химического состава в условиях модельного опыта: автореф. дис. ... канд. биолог. наук: 03.00.27. Москва, 2006. 20 с.
35. Бреус Н. М. Черноземы Лесостепной зоны умеренно- континентальной восточноевропейской фации. Черноземы СССР (Украина). Москва : Колос, 1981. С. 38–80.
36. Булатов Н. Ф. Влияние форм калийных солей на урожай гречихи. Труды Тульской с.-х. опытной станции. Тула, 1972. Т. 4. С. 8–14.
37. Важенин И. Г. Методы определения калия в почве. Агрохимические методы исследования почв. Москва : Наука, 1975. С. 205–214.
38. Важенин И. Г., Устюжанина Е. М. Калийные удобрения под гречиху. Труды Соликамской с.-х. опытной станции. 1965. Т. 3. С. 291–324.

39. Вахмистров Д. Б., Смирнова В. В. Оптимизация соотношения N : P : K в удобрении: сравнение методов. Агрохимия.1990. № 11. С. 128–139.
40. Вибрані праці академіка В. І. Вернадського. Київ, 2011. Т. 1. Кн. 2. 584 с.
41. Визначник екологічного статусу та родючості ґрунтів України / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. І. Кисіль та ін. Київ : Колос, 2005. 304 с.
42. Вильдфлуш И. Р. Локальное внесение удобрений – одно из главнейших средств рационального экологичного использования минеральных удобрений. Агрохимия. 1996. № 6. С. 132–144.
43. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва / Е. Г. Дегедюк, В. Ф. Сайко, М. С. Корнійчук та ін. Київ : Урожай, 1992. 320 с.
44. Вислобокова Л. Н. Эффективность сочетания минеральных удобрений с известкованием на выщелоченном черноземе: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, 1993.
45. Вишневська Л. В. Вплив тривалого застосування добрив у сівозміні на родючість чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу та продуктивність гібридів буряка цукрового: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.04. Харків, 2009. 20 с.
46. Власюк П. А. Агрофизиологические основы питания сахарной свеклы. Киев : Изд-во АН УССР, 1950. 255 с.
47. Власюк П. А. Питание и удобрение растений. Наукова думка, 1965. 251 с.
48. Власюк П. А., Рубашов А. Б. Влияние форм калийных удобрений на физиологические процессы и урожай гречихи на песчаных почвах Полесья УССР. Агрохимия. 1965. № 1. С. 12–16.
49. Влияние длительного внесения калийных удобрений на катионный обмен калий–кальций на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического и минералогического состава / Т. А. Соколова, М. А. Исаенко, В. В. Носов и др. Агрохимия. 1999. № 4. С. 5–13.
50. Влияние длительного применения удобрений на динамику калия в черноземе типичном / С. И. Тютюнов, А. Н. Воронин, В. В. Никитин и др. Земледелие. 2014. № 8. С. 18–20.
51. Влияние калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и калийное состояние почв Нижегородской области / Е. Г. Тюрникова, В. И. Титова, Е. П. Ренжина и др. Агрохимический вестник. 2011. № 2. С. 10–12.
52. Влияние степени насыщения севооборота удобрениями на параметры калийного состояния дерново-подзолистых почв / Л. В. Никитина, М. Ш. Шаймухаметов, Х. А. Бабарина и др. Агрохимия. 1991. № 3. С. 28–34
53. Влияние форм и доз калийных удобрений на урожай и качество гречихи / К. А. Дзикович, В. И. Константинова, В. Н. Грибкова, В. А. Паниткин. Агрохимия. 1979. № 9. С. 37–42.
54. Возбуцкая А. Е. Химия почв. Москва : Высшая школа, 1968. 427 с.
55. Воллейдт Л. П. Труды объед. науч. сессии. Кишинев: Молд. филиал АН СССР, 1959. Т. 1. С. 417–423.
56. Воробьев В. А. Роль калия почвы и удобрений на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности в условиях Северо-Запада Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Великие Луки, 2001.
57. Воробьева А. К. Оценка обеспеченности черноземов калием и методика его определения. Агрохимия. 1975. № 8. С. 132–137.
58. Воронин А. Н. Системы земледелия и динамика содержания обменного калия в черноземе типичном. Земледелие. 2013. № 8. С. 16–19.

59. Вплив тривалого внесення добрив на калійний режим чорнозему типового в різноротаційних сівозмінах / Я. П. Цвей, В. В. Іваніна, О. П. Петрова та ін. Вісник аграрної науки. 2013. № 4. С.1 7–20.
60. Гавва И. А., Сидоров А. А. Изучение и разработка эффективных способов применения новых форм микро- и макроудобрений под сахарную свеклу и другие культуры свекловичного севооборота. Краткий отчет о научно-исследовательской работе за 1973 г. Киев: ВНИС, 1974. С. 106–114.
61. Гамаюнова В. В., Филипьев И. Д. Определение доз удобрений под сельскохозяйственые культуры в условиях орошения. Вісник аграрної науки. 1997. № 5. С. 15–19.
62. Гамкало З. Г. Якість сірих лісових ґрунтів землеробних екосистем та її індикація і біогеценотичний підхід: автореф. дис. ... докт. біол. наук : 03.00.18. Харків, 2006. 36 с.
63. Гапиенко А. А., Сычевский М. Е. Результаты тридцатипятилетнего изучения ефективности калийных удобрений в полевых севооборотах Предгорного Крыма. Научные труды Крымского ГАУ. 2000. Вып. 66. С. 79–83.
64. Гедройц К. К. Доступность растениям кальция, магния и калия, находящихся в почве в состоянии к обмену неспособном. Москва : Сельхозгиз,1955. Т. 3. С. 445–457.
65. Гедройц К. К. Почвенный поглащающий комплекс, растение, удобрение. Москва : Сельхозгиз. 1935. 347 с.
66. Географические закономерности влияния удобрений на урожайность зерновых и технических культур в опытах зональных агрохимических лабораторий. Агрохимия и почвоведение / Б. С. Носко та ін. Киев: Урожай, 1977. Вып. 34. С. 3–11.
67. Гетманец А. Я., А. Я. Власюк А. Я., Лаврентьев Н. М. Влияние систематического внесения удобрений на условия питания и продуктивность сельскохозяйственных культур на каштановых почвах. Агрохимия. 1985. № 10. С. 38–42.
68. Гилис М. Б. Рациональные способы внесения удобрений. Москва : Колос, 1975. 240 с.
69. Гладких Є. Ю. Закономірності післядії добрив на фізико-хімічні і агрохімічні властивості чорнозему типового в умоваж Лівобережного Лісостепу та його продуктивність : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Харків, 2012. 22 с.
70. Гоголев И. Н., Анастасьева О. М. Об изменении минералогичного состава в процессе формирования бурых горнолесных почв Карпат. Почвоведение. 1991. № 9. С. 21–23.
71. Гончарик Н. М., Власенко Н. Е. Влияние форм минеральных удобрений на фотосинтез и качество сахарной свеклы. Физиолого-биохимические исследования растений. Минск: Наука и техника, 1968. С. 187.
72. Гораш О. С. Управління продукційним процесом формування консистенції ендосперму пивоварного ячменю. Вісник аграрної науки. 2003. № 8. С. 21–24.
73. Горбунов Н. И. Минералогия и физическая химия почв. Москва : Наука, 1978. 293 с.
74. Горбунов Н. И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия. Москва : Наука, 1967. 160 с.
75. Господаренко Г. М. Агрохімія мінеральних добрив. Київ : Науковий світ, 2003. 136 с.

76. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.
77. Господаренко Г. М. Нікітіна О. В., Прокопчук І. В. Зміни у структурі калійного фонду чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив. Збірник наукових праць Уманського НУС. 2019. Вип. 94. Ч. 1. С. 43–49.
78. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2002. 344 с.
79. Господаренко Г. М. Основні принципи побудови системи удобрення в польовій сівозміні. Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск). Харків, 2002. Кн. 3. С. 200–203.
80. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : «СІК ГРУП Україна», 2018. 376 с.
81. Господаренко Г. М. Удобрення садових культур. Київ : «СІК ГРУП Україна», 2017. 340 с.
82. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. Київ : «СІК ГРУП Україна», 2016. 276 с.
83. Господаренко Г. М., Любич В. В., Нікітіна О. В. Вміст радіоактивних нуклідів у зерні пшениці озимої за тривалого (з 1965 р.) застосування добрив у польовій сівозміні. Регіональні проблеми охорони довкілля: Матеріали Міжнар. наук. конф. молодих вчених. Одеса : ТЕС, 2018. С. 67–71
84. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Нікітіна О. В. Вміст хлору в чорноземі опідзоленому після тривалого застосування добрив к польовій сівозміні. Матеріали Всеукр. наук. конф. «Інноваційні технології виробництва рослинницької продукції». Умань : Уманський НУС, 2016. С. 90–92.
85. Господаренко Г. Преувеличенное истощение. Зерно. 2017. № 3 (132). С. 146–150.
86. Господаренко Г. Система удобрення кукурудзи. Пропозиція. Спецвипуск. 2020. № 3. С. 10–13.
87. Господаренко Г. Удобрення кукурудзи. The Ukrainian Farmer. 2020. № 10 (130). С. 64–66.
88. Господаренко Г. Як годувати соняшник. The Ukrainian Farmer. 2020. № 3. С. 76–78.
89. Господаренко Г. М. Агроекономічне обґрунтування рівня застосування добрив у польовій сівозміні. Вісник Білоцерківського державного аграрного університету. Біла Церква, 1999. Вип. 8. Ч. 3. С. 77–82.
90. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2015. 376 с.
91. Господаренко Г. М. Ефективність різних форм, строків і способів внесення мінеральних добрив та інгібіторів нітрифікації під буряк цукровий. Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового / Г. М. Господаренко, Л. В. Вишневська, А. Т. Мартинюк та ін. / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. С. 139–188.
92. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
93. Господаренко Г. М. Розробка та обґрунтування інтегрованої системи удобрення в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... докт. с.-г. наук : 06.01. Київ, 2001. 39 с.
94. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 332 с.

95. Господаренко Г. М., Білоножко В. Я. Вплив форм калійних добрив на продуктивність гречки. Матеріали Міжнар. конф. «Селекція, насінництво і технологія вирощування польових культур». Чернівці: Буковина, 1996. С. 125–126.
96. Господаренко Г. М., Білоножко В. Я. Строки внесення калійних добрив і про-дуктивність гречки. Аграрна наука – селу: Міжвід. наук. зб. Подільської державної агротехнічної академії. Чернівці: Буковина, 1997. Вип. 3. Т. 1. С. 198–202.
97. Господаренко Г. М., Климович П. В. Динаміка засвоєння основних елементів живлення сорго зерновим і коефіцієнти їх використання з добрив. Зб. наук. пр. Подільського державного аграрно-технічного університету. 2007. Вип. 15. С. 191–197.
98. Господаренко Г. М., Коларьков Ю. В. Точність результатів аналізу ґрунту. Наукове забезпечення агропромислового комплексу УРСР. Тез. доп. Республ. н.-п. конф. Біла церква, 1990. Ч. ІІ. С. 32–33.
99. Господаренко Г. М., Лисянський О. Л. Рецилькуляція біогенних елементів у ґрунті за різних сидератів та їх удобрення. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2016. Вип. 88. Ч. 1. С. 7–16.
100. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст обмінних сполук калію в чорноземі опідзоленому. Актуальні питання ведення землеробства в умовах змін клімату: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, 24 квітня 2015 р. Херсон: ІЗЗ, 2015. С. 31–34.
101. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В. Вміст рухомих сполук калію у ґрунті за тривалого застосування різних норм калійних добрив у польовій сівозміні. Особистість С. Ф. Третьякова в формуванні засад сучасного екологічного землеробства: матеріали Наук.-практ. конф., присвяченої пам'яті С. Ф. Третьякова, 13–14 травня 2014 р. Полтава, 2014. С. 28–29.
102. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В. Потенційна калійна буферна здатність чорнозему опідзоленого після тривалого застосування добрив. Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. 2015. № 1. С. 28–33.
103. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В. Потенційна калійна буферна здатність чорнозему опідзоленого після тривалого застосування добрив. Вісник Харківського НАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів». 2015. № 1. С. 28–33.
104. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В., Кривда Ю. І. Уміст і запаси рухомих сполук калію у ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Вісник Сумського НАУ. Серія «Агрономія і біологія». 2013. Вип. 11(26). С. 47–50.
105. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В., Прокопчук І. В. Еколого-економічне обґрунтування рівня та системи удобрення в польовій сівозміні. Матеріали IV Міжнар. н.-п. конф. «Актуальні питання сучасної аграрної науки». Умань : ВПЦ «Візаві», 2016. С. 36–38.
106. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В., Прокупчук І. В. Калійна радіоактивність ґрунту за тривалого застосування добрив. Збереження біорізноманіття в контексті сталого розвитку: матеріали Всеукр. наук. конф., 8–9 жовтня 2015 р., Черкаси. Черкаси : ФОП Белінська О. Б., 2015. С. 45–48.
107. Господаренко Г. М., Прокопенко Е. В. Вплив добрив на продуктивність льону олійного на чорноземі опідзоленому. Зб. наук. пр. Подільського державного аграрно-технічного університету. 2007. Вип. 15. С. 204–207.

108. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойко В. П. Вплив доз і співвідношень добриву польовій сівозміні на врожайність і якість зерна ячменю ярого. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 205–218.
109. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. Міжвід. тем. наук. зб. «Агрохімія і ґрунтознавство». 2020. Вип. 89. С. 63–70.
110. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Нікітіна О. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст легкорозчинних сполук калію в чорноземі опідзоленому. Зб. наук. пр. Вінницького НАУ «Сільське господарство та лісівництво». 2015. № 1. С. 5–11.
111. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Нікітіна О. В. Фізико-хімічні властивості чорнозему опідзоленого в тривалому польовому досліді. Зб. наук. пр. Уманського національного університету садівництва. 2015. Вип. 87. Ч. 1: Агрономія. С. 7–13.
112. Господаренко Г. М., Прокупчук І. В., Нікітіна О. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст легкорозчинних сполук калію в чорноземі опідзоленому. Сільське господарство та лісівництво. 2015. № 1. С. 5–12.
113. Господаренко Г. М., Стасінєвич О. Ю. Урожайність і якість зерна сортів ярого ячменю за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Миколаїв, 2006. Спец. вип. 4(37). Т. 1. С. 39–40.
114. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Урожайність пшениці озимої після різних попередників на фоні тривалого застосування добрив у сівозміні. Землеробство : Міжвід. темат. наук. зб. 2015. Вип. 1. С. 28–31.
115. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс азоту, фосфору та калію у польовій сівозміні за 40-річного застосування добрив. Вісник Уманського УДАУ. 2005. № 12. С. 13–21.
116. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс основних елементів живлення у ґрунті за тривалого застосування добрив. Землеробство. 2015. Вип. 2 (89). С. 47–50.
117. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Винос калію культурами польової сівозміни та його баланс за тривалого застосування доблив. Вісник аграрної науки. 1999. С. 21–24.
118. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Винос калію культурами польової сівозміни та його баланс за тривалого застосування добрив. Вісник аграрної науки (спецвипуск). 1999, вересень. С. 21–24.
119. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Сухомуд О. Г. До питання оптимального вмісту рухомих форм фосфору і калію в чорноземі опідзоленому для культур польової сівозміни. Фактори родючості ґрунту та їх ефективність: Зб. наук. пр. Уманської сільськогосподарської академії. Умань, 1998. С. 66–71.
120. Господаренко Г. Н. Эффективность нитроаммофоски под сахарную свеклу на черноземе оподзоленном Правобережной Лесостепи УССР. Деп. рукопись во ВНИИТЭИагропром 26.09.1987. № 439. 6 с.
121. Господаренко Г. Н. Эффективность форм и сроков внесения удобрений под сахарную свеклу на черноземах оподзоленных Лесостепной Правобережной провинции УССР: дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04. Умань, 1987. 214 с.
122. Господаренко Г. Н., Єщенко Н. Б. Урожайность основных зерновых культур Правобережной Лесостепи Украины в зависимости от удобрения. Земледелие и защита растений. 2014. № 3. С. 33–36.

123. Господаренко Г. Н., Никитина О. В., Кривда Ю. И. Баланс калия в черноземе оподзоленном тяжело-суглинистом полевого севооборота при длительном применении удобрений. Почвоведение и агрохимия. 2015. № 1(54). С. 134–140.
124. Господаренко Г., Карнаух О., Alexander A. Мікроелементи і добрива в живленні рослин: навч. посібник / за заг. ред. Г. Господаренка. Камянець-Подільський : ТОВ Друкарня «Рута», 2020. 348 с.
125. Господаренко Г., Никитина О., Прокопчук И. Калий на винос. Зерно. 2017. № 3. С. 126–130.
126. Господаренко С. Г. Економічна ефективність мінеральної системи удобрення в польовій сівозміні. Матеріали конф. молодих учених. Редкол.: П. В. Костогриз (відп. ред.) та ін. Умань, 2004. С. 39–40.
127. Господаренко Г. М. Визначення азоту, фосфору і калію в одній наважці рослинного матеріалу. Зб. наук. пр. Уманської держ. агр. академії. Київ : Знання України, 2002. Вип. 54. С. 65–71.
128. Господаренко Г. М. Живлення та удобрення кукурудзи. Агробізнес Сьогодні. 2015. № 8 (303). С. 30–32.
129. Господаренко Г. М. Мінеральне живлення культур і якість урожаю. Посібник українського хлібороба. 2013. Т. 2. С. 87–91.
130. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив у польовій сівозміні. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2002. 342 с.
131. Господаренко Г. М. Розробка та обґрунтування інтегрованої системи удобрення в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.01.04. Київ, 2001. 40 с.
132. Господаренко Г. М. Розробка та обґрунтування інтегрованої системи удобрення в польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: дис. ... д-ра с.-г. наук. Умань, 2000. 450 с.
133. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В. Вміст рухомих сполук калію у ґрунті за тривалого застосування різних норм калійних добрив у польовій сівозміні. «Особистість С. Ф. Третьякова в формуванні засад сучасного екологічного землеробства»: Матеріали наук.-практ. конф. присвяченої пам'яті С. Ф. Третьякова (Полтава 13–14 травня 2014 року). Полтава, 2014. С. 28–29.
134. Господаренко Г. М., Нікітіна О. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст обмінних сполук калію в чорноземі опідзоленому. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні питання ведення землеробства в умовах зміни клімату». Херсон, 2015. С. 31–34.
135. Господаренко Г. М., Прокопенко Е. В. Продуктивність льону олійного при застосуванні добрив на чорноземі опідзоленому. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2008. Вип. 3 (46). Т. 2. С. 68–73.
136. Господаренко Г. М., Прокопчук С. В., Кривда Ю. І., Нікітіна О. В. Агрохімічні показники якості чорнозему опідзоленого після тривалого (49 років) застосування добрив у польовій сівозміні. Охорона ґрунтів. Вип. 1. Матер. Міжн. н.-практ. конф. «Агрохімічна служба України: роль і місце в розвитку агропромислового комплексу держави» з нагоди 50-річчя агрохімічної служби України. Київ, 2014. С. 135–139.
137. Господаренко Г. М., Стасінєвич О. Ю. Продуктивність польової сівозміни залежно від параметрів показників родючості чорнозему опідзоленого. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство». 2004. № 1. С. 158–163.

138. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс азоту, фосфору та калію у польовій сівозміні за 40-річного застосування добрив. Вісник Уманського ДАУ. 2005. № 1-2. С. 13–21.
139. Господаренко Г. Н., Ткаченко И. Ю. Формирование продуктивности пшеницы спельты в зависимости от удобрения на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом. Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1 (52). С. 226–236.
140. Грант С. Азот на гребне прогресса: азотные удобрения с повышенной эффективностью. Зерно. 2009. № 6. С. 71–78.
141. Гринченко А. М., Чесняк Г. Я., Чесняк О. А. Динамика элементов плодородия в зависимости от длительного сельскохозяйственного использования и внесения удобрений. Почвоведение. 1964. № 5. С. 27–35.
142. Грызлов В. П., Журавлев Ю. П., Капцынель Ю. М. Эффективность сложных удобрений в различных почвенно-климатических зонах. Комплексные удобрения. Москва : Агропромиздат, 1986. С. 50–108.
143. Гулякин И. В., Юдинцева И. В., Горина Л. И. Накопление цезия-137 в урожае в зависимости от видов и особенностей растений. Агрохимия. 1975№ 7. С. 131–129.
144. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова : ДСТУ 4115 : 2002. (Чинний від 2003–01–01). Київ : Державний комітет України з питань технологічного регулювання та споживчої політики, 2002. III, 6 с. (Національний стандарт України).
145. Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна : ДСТУ 4114 : 2002. (Чинний від 2003–01–01). Київ : Державний комітет України з питань технологічного регулювання та споживчої політики, 2002. 11 с. (Національний стандарт України).
146. Ґрунти. Метод визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію у ґрунті за методом Шолленбергера в модифікації ННЦ ІГА : МВВ 31-497057-007-2005 / Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків : Друкарня № 13, 2005. Кн. 2. С. 35–48.
147. Давыденко У. М. Содержание, распределение и вынос калия и натрия сахарной свеклой, урожай и технологические его качества. Питание растений, урожай и качество растениеводческой продукции: Сб. науч. тр. УСХА. Киев, 1981. С. 32–36.
148. Дараган Ю. В., Колесникова Л. П. Известковый и калийный потенциал дерново-подзолистых почв Полесья УССР. Почвоведение. 1980. № 2. С. 64–71.
149. Датта С., Маджумдар К., Сатьянараяна Т. Экономическое преимущество применения калийных удобрений при выращивании основных зерновых культур на Индо-Гангской равнине. Питание растений. 2013. № 1. С. 5–9.
150. Дегодюк С. Е., Штупун Н. В, Чернишенко І. І. Трансформація калію в дерново-підзолистому ґрунті Полісся при удобренні. Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск). Харків, 2002. Кн. 3. С. 203–205.
151. Деградація ґрунтів у світі, досвід її попередження і подолання / В. В. Медведев та ін. Харків : Стильна типографія, 2018. 168 с.
152. Демин В. А., Муса А. Формы калийных соединений в дерново-подзолистой почве при длительном применениии удобрений. Известия ТСХА. 2002. № 4. С. 41–50.
153. Демолон А. Рост и развитие культурных растений. Москва : Сельхозгиз, 1961. 399 с.

154. Державин Л. М., Фрид А. С. О комлексной оценке плодородия пахотных земель. Агрохимия. 2001. № 9. С. 5–12.
155. Державин Л. М. Роль химизации и биологизации земледелия в отечественном производстве сельскохозяйственной продукции и обеспечение производительной безопасности Российской Федерации. Агрохимия. 2010. № 9. С. 3–18.
156. Дерюгин И. П., Прокошев В. В. Пути оптимизации условий эффективного использования фосфорних и калийных удобрений. Агрохимия. 1990. № 4. С. 7–23.
157. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : Навчальний посібник / В. О. Ушкаренко, В. Л. Нікішенко, С. П. Голобородько, С. В. Коковіхін. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.
158. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт–рослина / за ред.: А. І. Фатєєва, В. П. Самохвалової. Харків : КП «Міськдрук», 2012. 146 с.
159. Дмитрук Ю. М., Вархол О. В., Гамак Н. Д. Залежність вмісту форм калію від вологості зразків ґрунту. Вісник аграрної науки. 2008. № 4. С. 33–35.
160. Довідник нормативних показників якості продукції сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах України (довідково-нормативна інформація) / за ред.: С. А. Балюка, М. В. Лісового. Харків : Смугаста типографія, 2016. 46 с.
161. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур / П. О. Дмитренко, М. Л. Колобова, Б. С. Носко та ін. Київ : Урожай, 1987. 208 с.
162. Довідник працівника агрохімслужби / Б. С Носко, А. О Христенко, М. В. Лісовий. та ін. Київ : Урожай, 1991. 264 с.
163. Доступность растениям калия почвы и удобрений на разных типах почв в опытах с 40К / О. П. Медведева, Л. Д. Слуцкая, Р. А. Ширшова и др. Агрохимия. 1983. № 9. С. 29–35.
164. Доценко О. В. Вплив тривалого застосування добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та ефективність ресурсоощадних систем удобрення: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків. 2013. 23 с.
165. Дрейкот А. П. Удобрение сахарной свеклы. Москва : Колос, 1977. 280 с.
166. Дричко В. Ф., Поникарова Т. М. Системы методов изучения почвенного покрова, деградированного под влиянием химического загрязнения. Труды Почв. института им. В. В. Докучаева, 1992. С. 51–54.
167. Душечкин А. И. Вопросы техники внесения удобрений под сахарную свеклу. Химизация социалистического земледелия. 1937. № 7. С. 20–26.
168. Егоров М. А. NaCl и MgSO4, как удобрение под сахарную свеклу. Свекловичное хозяйство. 1936. № 2. С. 48–52.
169. Екологические последствия применения минеральных и органических удобрений / Б. С. Носко и др. Чтобы не убывало плодородия земли. Киев : Урожай, 1989. С. 45–65.
170. Екологічні проблеми землеробства / І. Д. Примак, Ю. П. Манько, Н. М. Рідей та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 456 с.
171. Ермохин Ю. И. Диагностика питания растений. Омск, 1995. 207 с.
172. Ефименко Д. Я., Барабаш Д. И. Гречиха. Москва : Агропромиздат, 1990. 192 с.
173. Єгоршин О. О., Лісовий М. В. Планування і математична обробка багатофакторних дослідів. Харків : КП «Друкарня № 13», 2009. 32 с.
174. Єгоршин О. О., Лісовий М. В., Доценко О. В. Вибір оптимальних варіантів удобрення польового досліду за різними показниками. Агрохімія і ґрунтознавство. 2012. Вип. 77. С. 27–30.

175. Жукова Л. М. Изменение подвижности обменного калия в различных почвах и доступность его для растений при систематическом применении удобрений. Удобрения и плодородие почв. : Тр. ВИУА. 1974. Вып. 2. С. 85–99.
176. Жученко А. А., Казанцев Е. Ф., Афанасьев Е. Н. Энергетический анализ в сельском хозяйстве. Кишинев : Штиинца, 1983. 75 с.
177. Забавская К. М. Влияние длительного применения калийных удобрений на превращение форм калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве и на изменение ее агрохимических свойств: автореф дис. ... канд. с-х. наук : 06.01.04. Москва, 1970. 18 с.
178. Заборский В. Ф., Бойко В. Д. Энергетическая эффективность энергосберегающей технологии производства ярового ячменя в Южной Степи Украины. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. Москва, 1990. С. 70–72.
179. Загорча К. Л. Оптимизация системы удобрения в полевых севооборотах. Кишинев: Штиинца, 1990. 288 с.
180. Заришняк А. С., Іваніна В. В., Колібабчук Т. В. Калійний режим чорнозему опідзоленого за тривалого удобрення зерно-бурякової сівозміни. Вісник аграрної науки. 2013. № 6. С. 10–15.
181. Заришняк А. С., Іваніна В. В., Колібабчук Т. В. Стабілізація біогенного балансу на продуктивність зерно-бурякової сівозміни. Вісник аграрної науки. 2012. № 4. С. 26–30.
182. Зубенко В. Ф., Шаповал М. П., Норица Е. И. Сахарная свекла. Киев: Урожай. 1983. 144 с.
183. Зубковська В. В. Особливості фосфатного стану кислих ґрунтів за різних умов зволоження: автореф дис. ... канд. с-г. наук : 06.01.03. Харків, 2016. 20 с.
184. Зубковська В. В. Оцінка фосфатного стану ґрунту на основі показників фосфат-буферності. Агрохімія і ґрунтознавство. 2015. Вип. 83С. 80–82.
185. Зубченко Т. С. Действие нитроаммофоски и пути повышения ее эффективности при основном внесении под сахарную свеклу. Проблемы повышения эффективности производства сахарной свеклы в Алтайском крае: Сб. науч. тр. Бийской оп.-сел. станции ВНИС. Киев: ВНИС, 1981. С. 101–105.
186. Иванова С. Е., Романенков В. А., Никитина Л. В. Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России. Ключевой элемент. 2014. № 1. С. 6–10.
187. Иванова С. Е., Романенков В. А., Никитина Л. В. Результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России в 2014 году. Питание растений. 2015. № 4. С. 2–4.
188. Ивойлова А. В., Малова А. В. Влияние основных видов удобрений и их сочетаний при длительном применении на урожайность культур, качество продукции и агрохимические показатели чернозема вищелоченного. Агрохимия. 1993. № 3. С. 25–38.
189. Ивойлова А. В., Шильников И. А., Шелкунова А. В. Вынос N, P, K и Ca культурами зернопопашного севооборота. Агрохимия. 1990. № 1. С. 26–32.
190. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А. И. Иванов и др. Агрохимия. 2009. № 4. С. 21–26.
191. Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных полевых опытах / В. В. Носов и др. Агрохимия. 1997. № 5. С. 13–19.

192. Изменение содержания форм фосфора и калия в дерново-подзолистой почве и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений / В. А. Демин, М. Ауду, А. В. Шарапова и др. Агрохимия. 2003. № 3. С. 18–26.
193. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск : Наука, 1985. 129 с.
194. Инструкция и нормативы по определению экономической и энергетической эффективности применения удобрений. Москва : Союзсельхозхимия, 1987. 42 с.
195. Іваніна В. В. Агрохімічні основи біологізації системи удобрення культур в сівозмінах Правобережного Лісостепу України : автореф. дис. ... докт. с.-г. наук : 06.01.04. Харків, 2014. 44 с.
196. Казанцев В. А. Проблемы педоганогенеза. Новосибирск, 1998. 280 с.
197. Калий в земледелии ЦЧО / П. А. Чекмарев, С. В. Лукин, Ю.И. Сискевич и др. Питание растений. 2011 № 3. С. 2–6.
198. Калийное состояние дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы при окультуривании и под залежью / А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, А. И. Маслова и др. Почвоведение. 2006. № 7. С. 876–882.
199. Калийное состояние почв Украины и эффективность калийных удобрений / А. А. Христенко, С. Е. Иванова, Е. Ю. Гладких и др. Питание растений. 2011. № 4. С. 2–5.
200. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах / В. И. Лазарев и др. Агрохимия. 2020. № 2. С. 14–19.
201. Калініченко В. М. Агроекологічне обґрунтування та моделювання впливу кліматичних умов на урожайність та якість зерна сої в умовах Центрального Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Житомир, 2005. 19 с.
202. Канивец И. И., Бергулева Л. Я. Относительная активность калия и калийная буферная способность почв. Агрохимия. 1975. № 4. С. 50–56.
203. Карасюк И. М., Перебитюк А. С. Влияние различных норм и соотношений минеральных удобрений на урожай и качество сахарной свеклы в условиях центральной Лесостепи УССР. Плодородие почвы и продуктивность севооборотов: сб. науч. тр. УСХА. Киев : УСХА, 1985. С. 48–54.
204. Карасюк И. М., Господаренко Г. Н. Формы удобрений и продуктивность сахарной свеклы. Сахарная свекла. 1987. № 7. С. 32.
205. Карасюк И. М., Господаренко Г. Н. Эффективность калийсодержащих удобрений под сахарную свеклу на черноземах оподзоленных. Мелиорация и химизация земледелия Молдовии: тез. докл. респ. конф. Кишинев, 1988. С. 85–86.
206. Карасюк І. М., Білан І. А., Бойко Г. І. Вплив сівозміни і системи удобрення на продуктивність польових культур. Наукові праці Уманського с.-г. інституту. 1974. Вип. 98. С. 43–48.
207. Карасюк І. М., Господаренко Г. М., Черно О. Д. Залежність вмісту рухомого калію у ґрунтах від ступеня подрібнення зразків. Тез. доп. Міжнар. конф. «Сучасні методи досліджень в агрономії». Умань, 1993. С. 65–66.
208. Карасюк І. М., Олійник О. О., Черно О. Д., Господаренко Г. М. Термодинамічні показники калійного фонду чорнозему опідзоленого залежно від рівня застосування добрив у сівозміні. Вісник аграрної науки. 1996. № 10. С. 5–8.
209. Карасюк І. М., Черно О. Д., Господаренко Г. М., Олійник О. О. Агроекологічні аспекти застосування калійних добрив в зерно-буряковій сівозміні

правобережного Лісостепу. Тез. доп. наук. конф. «Підсумки наукової роботи за 1991–1995 роки». Умань, 1996. С. 48–50.
210. Карасюк И. М. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на урожайность и качество с.-х. культур. Плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Киев: УСХА, 1985. С. 3–18.
211. Карпинец Т. В. Моделирование режима калия в системе «почва– растение»: автореф. дис. ... д. с.-х. н. : 06.01.03. Курск, 2000. 37 с.
212. Карпинец Т. В., Липкина Г. С. Устойчивые стационарные состояния калийного режима в почвах. Почвоведение. 1992. № 3. С. 61.
213. Карцев Ю. Г. Влияние метеорологических условий на урожай корней сахарной свеклы и эффективность удобрений. Агрохимия. 1986. № 3. С. 39–45.
214. Карцев Ю. Г. Эффективность форм фосфорных, калийных и сложных удобрений. Эффективность удобрений. Москва : Колос, 1972. Вып. 4. С. 167–223.
215. Касицкий Ю. И. Об источниках информации для установления оптимального содержания подвижного фосфора в почвах. Агрохимия. 1990. № 11. С. 151.
216. Каштанов А. Н., Явтушенко В. Е. Агрохимия почв склонов. Москва : Колос, 1997. 240 с.
217. Кириєнко Г. С. Вплив удобрення на урожайність і якість зерна пивоварного ячменю в умовах Західного Лісостепу. Землеробство. 2007. Вип. 79. С. 99–103.
218. Кириченко А. В. Трансформація сполук фосфору у сірому лісовому ґрунті за різних систем удобрення культур польової сівозміни в Правобережному Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2015. 23 с.
219. Кирюшин В. И Теория адаптивно-ландшафтного земледелия. Москва : Колос, 2011. 443 с.
220. Климович П. В. Ефективність доз і строків застосування добрив під сорго зернове на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис.. ... канд. с.-г. Наук : 06.01.04. Харків, 2015. 22 с.
221. Коваленко Г. Д., Рудя К. Г. Радиоэкология Украины. Київ : Київський університет, 2001. 167 с.
222. Ковда В. А. Биохимия почвенного покрова. Москва : Наука, 1985. 261 с.
223. Козаков А. А., Зализовський В. С. Степень влияния азота, фосфора и калия удобрений на озимую пшеницу в условиях мощных черноземов УССР. Агрохимия. 1976. № 2. С. 63–67.
224. Кондратьев И. Г., Подколзина Г. В. Действие форм калийных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур. Агрохимия. 1968. № 4. С. 46–58.
225. Кондратюк М. Н. Повышение эффективности минеральных удобрений при внесении под сахарную свеклу на выщелоченном черноземе Правобережья Лесостепи УССР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04. Киев, 1983. 22 с.
226. Конончук В. В., Никитина Л. В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светло-каштановой почвы при орошении. Агрохимия. 2002. № 6. С. 53–58.
227. Конорбаева Г. А., Якименко В. Н. Содержание и распределение галогенов в почвенном профиле естественных и антропогенних екосистем Юга Западной Сибири. Вестник Томского государственного университете. 2012. № 4. С. 21–35.
228. Кораблева Л. И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны. Москва : Наука, 1969. 198 с.
229. Корнева Н. Г., Чернова Г. Д. Влияние систем удобрений на плодородие серозема и продуктивность кукурузы при длительном бессменном возделывании. Агрохимия. 1988. № 4. С. 24–31.

230. Корниенко А. В., Бражник А. П., Баршадская С. И. Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность и качество сахарной свеклы на черноземе карбонатом (обыкновенном) Западного Предкавказья. Рамонь, 2011. 235 с.
231. Корогодов Н. С., Масловская В. М., Андреянова А. М. Агроэкономическая оценка результатов использования минеральных удобрений. Химия в сельськом хозяйстве. 1986. № 9. С. 68–71.
232. Коростылёв С. А. Влияние систем удобрений на содержание различных форм калия, пищевой режим чернозема выщелоченного и продуктивность кукурузы на силос: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь, 2008. 23 с.
233. Косолап М. П., Кротінов О. П. Внесення добрив після сівби. Эксклюзивные технологии. 2014. № 4. С. 12–15.
234. Котвицький Б. Б. Нові підходи та можливості в оптимізації живлення рослин. Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства УААН». 2009. Вип. 49. С. 74–81.
235. Кочина-Мирошник О. А. Влияние различных форм калийных удобрений на урожай и качество зерна гречихи в районах Полесья УССР: автореф. дис. ... канд с.-х. наук. Київ, 1958. 21 с.
236. Кравченко Р. В. Агробиологическое обоснование получения стабильных урожаев зерна кукурузы в условиях степной зоны Центрального Предкавказья. Ставрополь, 2010. 208 с.
237. Крамарёв С. М. Влияние ЖКУ, КАС и гербицидов на качество зерна. Кукуруза и сорго. 1991. № 4. С. 17–19.
238. Крамарёв С. М. Удобрение кукурузы на черноземах обыкновенных Степной зоны Украины. Днепропетровск : Новая идеология, 2010. 632 с.
239. Кривов В. М. Екологобезпечне землекористування Лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів. Київ : Урожай, 2006. 304 с.
240. Крикунов В. Г. Ґрунти і їх родючість. Київ : Вища школа, 1993. 287 с.
241. Крупеников И. А. Черноземы. Возникновения, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. Кишинев : Pontos, 2008. 285 с.
242. Кудзин Ю. К. Влияние длительного применения удобрений на некоторые свойства чернозема и продуктивность растений.Москва : Изд-во министерства сельского хозяйства СССР, 1960. С. 322–335.
243. Кудзін Ю. К., Стулін О. Ф. Вплив добрив на врожай та якість зерна кукурудзи в умовах південно-східної частини Степу Української РСР. Степове землеробство. Київ : Урожай, 1978. С. 59–62.
244. Куйбышева И. П. Влияние содержания и состава тонкодисперсных фракций на калийное состояние серых лесных почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва,1985. 25 с.
245. Кук Дж. У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев. Москва : Колос, 1975. 416 с.
246. Кук Д. У. Регулирование плодородия почвы. Москва : Колос, 1970. 520 с.
247. Кукуруза (выращивание, уборка, консервирование и использование) / Д. Шпаар и др. Москва : ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2009. 390 с.
248. Кулаковская Т. Н. Применение удобрений. Минск : Ураджай, 1970. 215 с.
249. Кулаковская Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений.Москва : Агропромиздат, 1990. 219 с.
250. Кулюкин А. Н. Минеральные удобрения и условия рационального их применения. Удобрения в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Москва : Агропромиздат, 1991. С. 33–64.
251. Кураков В. И., Фролова Л. В., Плотникова Т. И. Рациональное питание свеклы. Сахарная свекла. 1986. № 8. С. 30–32.

252. Курсанов А. Л., Воскребенцева Э. И. Метаболизм растения в условиях калийной недостаточности. Агрохимия. 1967. № 1. С. 65–77.
253. Кучер Л. І. Зміна калійного режиму чорноземних ґрунтів залежно від їх обробітку та удобрення. Вісник аграрної науки. 2012. № 1. С. 10–13.
254. Кучер Л. І. Обмінний калій та ступінь його рухомості за ґрунтозахисних технологій (електронний ресурс). Наукові доповіді НУБіП. 2012 № 3 (32). режим доступу до журналу: http://nd.nubip.edu.ua/2012_3/titul.html
255. Лаврентович Д. И. Удобрение и качество растениеводческой продукции. Киев : Вища школа, 1985. 134 с.
256. Лесовая Г. М. Оптимизация содержания нитратов в овощах и картофеле, выращиваемых на черноземе выщелоченном: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04. Краснодар, 2002. 21 с.
257. Лестер Д. Е., Джифон Д. Л., Макус Д. Дж. Влияние калийного питания на качество фруктов и овощей: краткий обзор литературы. Питание растений. 2012. № 9. С. 9–14.
258. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии. Москва : Сельхогиз, 1936. 156 с.
259. Лисовал А. П. Калий в почве. Киев: Украинская сельхоз. академия, 1986. 18 с.
260. Литвак Ш. И. Системный подход к агрохимическим исследованиям. Москва : Агропромиздат, 1990. 220 с.
261. Литвак Ш. И, Бабарина Э. А., Никитина Л. В. Баланс фосфора и калия в длительных опытах на черноземных почвах. Агрохимия. 1991. № 11. С. 8–13.
262. Лісовал А. П. Зміна родючості і формування урожайності культур зернобурякової сівозміни на лучно-чорноземному карбонатному ґрунті Лісостепу України. Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. вип.: Ґрунти – основа добробуту держави, турбота кожного. Харків, 2006. Кн. 3. С. 81 – 83.
263. Лісовий М. В., Нікітюк М. Л. Баланс поживних речовин в землеробстві України. Охорона родючості ґрунтів. Київ, 2006. Вип. 1. С. 55–58.
264. Лобова О. В. Гідрослюдисті мінерали у ґрунтах буроземного типу як найближчий резерв доступного для рослин калію. Біологічні системи. 2013. Т. 5. Вип. 4. С. 571–578.
265. Лобова О. В. Потенційна буферна здатність буроземних ґрунтів стосовно калію (Електронний ресурс): Наукові доповіді Національного університету біоресурсів природокористування України. Київ. 2014. № 2 (44). Режим доступу: http://nd.nubip.edu.ua/2014_2/index.html
266. Лопушняк В. І. Агрохімічні та агроекологічні аспекти систем удобрення в Західному Лісостепу України. Львів: Ліга-прес, 2015. 217 с.
267. Лопушняк В. І. Вплив систем удобрення на калійний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2013. Вип. 2 (62). С. 215–223.
268. Лосев С. И., Еремин Л. П. Продуктивность севооборотов в зависимости от насыщения зерновыми и зернобобовыми культурами. Бюлетень ВНИИ зернобобвых и крупяных культур. 1978. Т. 21. С. 51–56.
269. Луис Дуартс Пинту. Влияние разных технологий применения удобрений на содержание в почве питательных веществ, урожай и качество семян сои. Агрохімія і ґрунтознавство. 1998. № 59. С. 145–150.
270. Лукин С. В., Васенев И. И., Цыгуткин А. С. Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания калия в черноземах западной части ЦЧО. Достижения науки и техники АПК. 2010. № 8. С. 42–45.

271. Лукин С. В. Динамика основных агрохимических показателей плодородия почв Центрально-Черноземных областей России. Агрохимия. 2011. № 6. С. 11–18.
272. Лямцева Е. Г. Калийное состояние легких дерново-подзолистых почв и его трансформация в современных условиях: дис. ... канд. с.-х. наук. Великие Луки, 2007.
273. Лямцева Е. Г., Иванова А. И. Трансформация калия в почве на фоне калийдефицитных систем удобрения. Агрохимический вестник. 2008. № 4. С. 14–16.
274. Магомедалиев З. Г. Калий в почвах Дагестана и эффективность калийных удобрений под зерновые культуры в Прикаспийской низменности: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук. Махачкала, 2006.
275. Максимович А. Е. Химия сахарной свеклы в первый год жизни. Физиология сельскохозяйственных растений. Т. III. Физиология сахарной свеклы. Москва : Из-во МГУ, 1968. С. 328–380
276. Малюк Т. В., Пчолкін Н. Д. Удосконалення методів визначення потреб плодових культур у мінеральному живленні. Агрохімічні та агроекологічні потреби підвищення родючості ґрунтів і використання добрив: міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., присвячена 150-річчю від дня народження академіка Д. М. Прянишникова та Міжнародному дню агрохіміка : матеріали. Львів, 2015. С. 282–290.
277. Мартиненко В. М. Вплив систем удобрення і обробітку чорнозему типового на його родючість та продуктивність короткоротаційної сівозміни: автореф. дис. ... канд.. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2017. 20 с.
278. Мартинович М. М. Резерви підвищення цукристості бурякової сировини. Вісник сільськогосподарської науки. 1979. № 12. С. 19–22.
279. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного центральной Лесостепи Правобережья Украины. Сооб. 7. Влияние систематического применения удобрений на урожай культур зерносвекловичного севооборота. Агрохимия. 1994. № 11. С. 3–15.
280. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного Центральной Лесостепи Правобережья УССР. Сооб. 4. Влияние систематического применения удобрений на калийный режим почвы в зерносвекловичном севообороте. Агрохимия. 1992. № 6. С. 23–28.
281. Маслова А. А. Калий как элемент почвенного плодородия. Калийные удобрения. Москва,1938. С. 82–95.
282. Маслова И. Я., Якушева Т. Г. Оценка изменения почвенных ресурсов подвижного калия под влиянием растений. Агрохимия. 2011. № 11. С. 52–63.
283. Маслова И. Я., В. Н. Якименко История развития и достижения агрохимических исследований в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН (к 45-летию образования института). Агрохимия. 2014. № 2. С. 3–12.
284. Массуд А. Р. Влияние химических свойств на калийный потенциал и калийную буферную способность главных типов почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03. Москва, 1985. 25 с.
285. Медведев Г. А., Еранов Д. В., Шадрин С. Д. Кормовая ценность гибридов кукурузы. Кукуруза и сорго. 2001. № 6. С. 2–3.
286. Медведева О. П. Необеменно-фиксированый калий удобрений как показатель обеспеченности растений калием. Агрохимия. 1983. № 11. С. 25–31.

287. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 205 с.
288. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства / Л. А. Мамонтов и др. Москва : ВАСХНИЛ, 1983. С. 32–35.
289. Методика економічної оцінки технологій вирощування сільськогосподарських культур в дослідних умовах. Київ, 1999. 25 с.
290. Методика определения энергетической эффективности применения минеральных, органических и известковых удобрений / Г. В.Василюк и др. Минск: Белорусский НИИ почвоведения и агрохимии, 1996. 52 с.
291. Методические подходы к определению параметров калийного режима пахотных почв при длительных опытах. Москва: Изд-во РАСХН, 2011. 47 с.
292. Методичні вказівки з охорони ґрунтів / В. О. Греков, Л. В. Жилкін, М. І. Майстренко та ін. Київ, 2011. 108 с.
293. Минеев В. Г. Агрохимия и экологические функции калия. Москва : Изд-во МГУ. 1999. 332 с.
294. Минеев В. Г. История и состояние агрохимии на рубеже XX1 века. Книга вторая: Развитие агрохимии в XX столетии. Москва : Изд-во МГУ, 2006. 660 с.
295. Минеев В. Г. Агрохимия. Москва : Изд-во МГУ, 1990. 486 с.
296. Минеев В. Г. Агрохимия. Москва : Изд-во Моск. ун-та; Наука, 2006. 720 с.
297. Минеев В. Г. Тенденции изменений калийного состояния почв и экологические функции калия почвы и калийных удобрений. Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений : материалы науч.-практ. конф. Москва : ЦИНАО, 2002. С. 8–21.
298. Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф., Черных И. Н. Оценка калийного режима дерново-подзолистых почв с использованием термодинамических показателей. Вестник сельскохозяйственной науки. 1988. № 12. С. 43–51.
299. Могилевкина И. А. Изменение доступности растениям природного фиксированого аммония почвы. Агрохимия. 1970. № 12. С. 38–44.
300. Модестов А. П. Правда о корнях. Москва : Сельхозгиз, 1932. 42 с.
301. Мочалов А. Д., Ерохина Т. Н. Влияние хлоридов и сульфатов калия в зависимости от содержания серы в почве на урожай и качество гречихи (вегетационные опыты). Химия в сельском хозяйстве. 1973. № 11. С. 18–22.
302. Мусич В. И., Лежвинская Л. С. Эффективность сложных удобрений и их смесей с простыми. Сахарная свекла. 1984. № 11. С. 27.
303. Мусич В. И., Шиманская Н. К., Евтушенко Л. С. Натриевые туки под свеклу. Сахарная свекла. 1986. № 6. С. 33–34.
304. Мюррел Т. С. Внешние признаки недостатка калия у кукурузы. Питание растений. 2011. № 4. С. 11–13.
305. Мюррел Т. С. Надо ли применять калийные удобрения ? Питание растений. № 4. 2014. С. 2–4.
306. Наконечная З. И. Агроэкологическое обоснование системы удобрения в зерносвекловичных севооборотах Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1988. 373 с.
307. Накопление радиоцезия в урожае сельскохозяйственных культур в зависимости от применения калийных удобрений / И. В. Гулякин, И. В. Юдинцева, Э. М. Левина и др. Агрохимия. 1977. № 6. С. 111–116.
308. Національна программа охорони ґрунтів України / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, М. М. Мірошниченко. Харків : «Смугаста типографія», 2015. 59 с.

309. Никаев А. А., Анохин А. Н. Высокие урожаи гречихи – каждый год. Минск: Ураджай, 1988. 39 с.
310. Никитин В. В. К методике определения калия по методу Чирикова в почвах Центрально-Черноземной зоны. Агрохимия. 1986. № 2. С. 144–146.
311. Никитина Л. В. Исследование калийного режима разных типов почв в длительных опытах. Агрохимия. 2018. № 1. С. 29–51.
312. Никитина Л. В., Романенков В.А., Иванова С. Е. Оценка обеспеченности калием почв Центрально-Черноземных районов при различном интегральном применении калийных удобрений. Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 3. С. 16–21.
313. Никитишен В. И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. Москва : Изд. «Наука», 1984. 211 с.
314. Никитишен В. И., Дмитракова Л. К., Личко В. И. Роль почвы и удобрения в обеспечении калийного питания культур севооборота. Агрохимия. 2000. № 12. С. 30–35.
315. Нікітіна О. В. Буферна здатність ґрунту як механізм підтримки екологічної рівноваги. Тези доповідей учасників науково-практичної Інтернет-конференції «Інтенсивні технології в садово-парковому господарстві» 28 квітня 2020 року. Умань : УНУС, 2020. С. 19–21
316. Нікітіна О. В. Вміст хлору в чорноземі опідзоленому після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття: зб. наук. праць. Житомир: ЖНАЕУ, 2019. С. 222–224
317. Нікітіна О. В. Зміна калійного стану чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2017. 23 с.
318. Нікітіна О. В. Зміни в калійному фонді ґрунту під впливом удобрення. Матеріали Міжн. наук.-пр. конф. «Актуальні питання сучасної науки». Умань, 2017. С.83–84.
319. Нікітіна О. В. Калійний фонд ґрунту за тривалого удобрення. Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Актуальні питання землеробства». Умань, 2018. С. 9–11.
320. Нікітіна О. В. Уміст і запаси рухомих сполук калію у ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: Матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. (23–24 травня 2019 р., м. Умань). Умань, 2019. С. 60–62.
321. Нікітіна О. В., Кривда Ю. І. Вміст калію в основній і нетоварній частинах урожаю культур польової сівозміни залежно від норм добрив і систем удобрення. Агрохімія і ґрунтознавство. 2015. Вип. 83. С. 104–107.
322. Нікітіна О. В., Кривда Ю. І. Зміна вмісту рухомих сполук калію у ґрунті за тривалого удобрення. Матеріали Всеукр. наук. конф. молодих учених (до 60-річчя утворення Черкаської області): тези. Умань, 2013. Ч. 1: Сільськогосподарські, біологічні та технічні науки. С. 90–91.
323. Нікітіна О. В. Агроекологічна оцінка порушення співвідношення поживних речовин у результаті застосування добрив. Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства», Умань, 2018. С. 92–93.
324. Нікітіна О. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст калію і магнію у чорноземі опідзоленому. Агрохімія і ґрунтознавство: спецвипуск до IX з'їзду УТГА (30 червня – 4 липня 2014 р., м. Миколаїв). Харків, 2014. Кн. 2. С. 273–275.

325. Нікітіна О. В. Міграція калію по профілю ґрунту за тривалого застосування різних норм добрив у польовій сівозмін. Інноваційні технології виробництва рослинницької продукції: матер. Всеукр. наук. конф., 23–24 квітня 2013 р. Умань, 2013. С. 70–72.
326. Нікітіна О. В. Термодинамічні показники чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив. Аграрная наука: развитие и перспективы: матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 5 жовтня 2015 р. Миколаїв, 2015. С. 182 –183.
327. Нікітіна О. В., Балабак А. В. Обґрунтування підвищення радіоактивності ґрунт за тривалого застосування добрив. Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства». Умань, 2018. С. 93–95.
328. Нікітіна О.В. Калійна буферна здатність як механізм підтримки екологічної рівноваги. Збірник тез Всеукраїнської конференції присвяченій 175-річчю Уманського НУС. Умань, 2019. С.36–37.
329. Нікіфоренко Л. І. Оцінка змін калійного режиму ґрунтів за даними їх термодинамічних параметрів. Вісник сільськогосподарської науки. 1979. № 7. С. 7–14.
330. Нормативы затрат минеральных удобрений для повышения плодородия дерново-подзолистой почвы / И. Г. Платонов, А. Ф Сафанова, В. Д. Полин и др. Агрохимический вестник. 2010. № 5. С. 9–11.
331. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків : ФОП «Бровін О. В.», 2017. 476 с.
332. Носко Б. С., Прокошев В. В. Калійні добрива в землеробстві України. Москва : Міжнародний інститут калію, 1999. 55 с.
333. Носко Б. С. Агрогенна еволюція калійного фонду ґрунтів. Агрохімія і ґрунтознавство. 2014. Кн. 1. С. 115–120.
334. Носко Б. С. Изменение калийного фонда черноземов при распашке многолетней залежи. Почвоведение. 1999. № 2. С. 1474–1480.
335. Носко Б. С., Бабынин В. И. Калийный режим чернозема типичного и урожай сахарной свеклы при внесении калийных удобрений. Агрохимия. 1997. № 11. С. 15–25.
336. Носко Б. С., Гладкіх Є. Ю. Післядія мінеральних добрив на калійний фонд чорнозему типового. Агроном. 2012. № 2 (36). С. 30–32.
337. Носко Б. С., Лисовой Н. В., Столяр В. М. Калий в почвах Украины и эффективность калийных удобрений. Москва : Международный институт калия, 1996. 177 с.
338. Носко Б. С., Прокошев В. В. Калійні добрива в землеробстві України. Москва : Міжнародний інститут калію, 1999. 55 с.
339. Носко Б. С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків : КП «Друкарня № 13», 2006. 240 с.
340. Носко Б. С., Дружченко А. В. Эффективность минеральных удобрений при основном внесении под сахарную свеклу в Лесостепи УССР. Агрохимия и почвоведение. Киев: Урожай, 1979. Вып. 38. С. 16–22.
341. Носов В. В. Значение калийных удобрений для сохранения экологического равновесия. Плодородие. 2002. № 2. С. 28–30.
342. Носов В. В. Применение калийных удобрений в развитых странах Европы и Америки. Агрохимия. 2013. № 2. С. 37–41.
343. О содержании калия в различных витяжках из черноземов и дерново-подзолистых почв разного гранулометричного и минерального состава / О. Н. Козлова, Т. А. Соколова, В. В. Носов и др. Агрохимия. 2003. № 10. С. 13–21.

344. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов / Ю. А. Ершов, А. З. Книжник, В. А. Попков, А. С. Берлянд. Москва : Высшая школа, 2005. 560 с.
345. Окороков В. В. Фосфорно-калийный режим серой лесной почвы Владимирского ополья при внесении удобрений. Агрохимия. 2005. № 5. С. 5–11.
346. Олейник А. А., Янишевская Т. А., Господаренко Г. Н. Ионометрическое опре-деление калия в калийных удобрениях. Химизация сельского хозяйства. 1989. № 2. С. 57.
347. Олійник О. О., Господаренко Г. М. Продуктивність гречки на чорноземі опідзоленому залежно від форм калійних добрив. Біолого-екологічні основи вирощування сільськогосподарських культур в умовах Лісостепу України: зб. наук. пр. Уманської с.-г. академії. Київ : Сільгоспосвіта, 1994. С. 147–152.
348. Ольга А. Р. Калий в серых лесных почвах в связи с питанием растении и применением удобрении: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1978.
349. Ониани О. Г. Агрохимия калия. Москва : Наука, 1981. 199 с.
350. Оперативная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур / А. Я. Гетманец, В. Т. Памова, Л. Н. Скрипник. Науч. тр. ЦИНАО. Москва, 1984. С. 56–63.
351. Определение доз минеральных удобрений и регламенты их применения при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур (методичные указания). Москва : ВО «Агропромиздат», 1988. 24 с.
352. Оптимізація складових технології вирощування пшениці ярої / Г. М. Господаренко та ін. За заг. ред. Г. М. Господаренка. Умань : ВПЦ «Візаві», 2018. 248 с.
353. Орлов Д. С. Химия почв. Москва : Изд-во моск. у-та, 1985. 376 с.
354. Орловский Н. И. Основы биологии сахарной свеклы. Киев: Госсельхозиздат УССР, 1961. 323 с.
355. Осипова Д. Н., Иванова С. Е., Соколова Т. А. Способность черноземов к поглощению калия после однократного внесения калийных удобрений в разных дозах. Вестник Международного института питания растений. 2016. № 1, С. 2–4.
356. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, П. В. Костогриз, В. П. Опришко. Вінниця: Едельвейс і К, 2014. 331 с.
357. Павлов К. В. Влияние агрохимических средств на калийное состояние дерново-подзолистой почвы и доступность калия для растений: автореф. дис. ... канд. биолог. наук : 06.01.04. Москва, 2006. 22 с.
358. Павлов К. В. Оптимизация калийного питания ячменя при локальном внесении калийных удобрений. Агрохимия. 2009. № 2. С. 28–34.
359. Павлов К. В., Лопатина Е. А. Динамика подвижного калия в образцах дерново-подзолистой почвы при хранении. Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 2. С.44–47.
360. Павлов К. В., Новиков М. М. Влияние локального внесения калийных удобрений в чернозем на урожайность ячменя. Агрохимия. 2013. № 4. С. 48–55.
361. Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрение и урожай. Москва : Колос, 1977. 416 с.
362. Пархоменко М. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін за різних систем удобрення в умовах Полісся. Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск). 2018. Кн. 2. С. 203–204.

363. Пасынков А. В. Урожайность и пивоварные качества зерна различных сортов ячменя в зависимости от дозы соотношения азотных и калийных удобрений. Агрохимия. 2002. № 7. С. 25–31.
364. Петербургский А. В. Агрохимия. Москва : Высшая школа, 1975. С. 83.
365. Петербургский А. В. Сравнительная оценка новейших сложных и эквивалентных им смесей простых удобрений. Почвоведение. 1961. № 9. С. 12.
366. Петребургский А. В. Агрохимия и физиология питания растений. Москва : Россельхозиздат, 1981. 184 с.
367. Плодородие почв. Мониторинг и управление / В. В. Медведев и др. Киев: Урожай, 1992. 248 с.
368. Плодородие черноземов России / под ред. Н. В. Милащенко. Москва : Агроконсалт, 1998. 688 с.
369. Поведение радионуклидов в системе почва–растение и ведение растениеводства на подвергшихся радиоактивному загрязнению территориях / Р. М. Алексахин и др. Вестник РАСХН. 1996. № 4. С. 18–20
370. Подколзина М. И. Влияние анионов минеральных удобрений на процессы обмена и продуктивность сельскохозяйственных растений: автореф. дис. … канд. биол. наук. Москва, 1975. 22 с.
371. Подобед О. Ю. Вплив тривалого застосування добрив на вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунтах Північного Степу України. Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск). Кн. 3. Харків, 2002. С. 120–121.
372. Полевой В. М., Лукащук Л. Я. Эффективность применения хлористого калия при возделывании сахарной свеклы в условиях Западной Лесостепи Украины. Питание растений. 2011. № 4 С. 5–8.
373. Полупан М. І., Величко В. А. Номенклатура та діагностика еколого-генетичного статусу ґрунтів України для їхнього великомасштабного дослідження. Київ : Аграр. наука, 2014. 496 с.
374. Польовий В. М. Оптимізація системи удобрення у сучасному землеробстві. Рівне: Рівненські обереги, 2007. 320 с.
375. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке: ГОСТ 26425:85. (Действителен с 1986–01–01). Москва : Комитет стандартизации и метрологи СССР, 1985. 15 с. (Государственный стандарт Союза ССР).
376. Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой: ГОСТ 26210:91. (Действителен с 1993–06–30). Москва : Комитет стандартизации и метрологи СССР, 1992. 5 с. (Государственный стандарт Союза ССР).
377. Практикум по агрохимии: учеб. пособ. / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, О. А. Амельянчик и др. Москва : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
378. Применение и эффективность калийных удобрений в Китае / Чен Фан, Хе Пинг, Ли Шутиан и др. Питание растений. 2013. № 1. С. 2–5.
379. Прищеп Н. И., Просянников Е. В., Коровяковская С. О. Совершенствование методологии агрохимических исследований. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1997. С. 152–165.
380. Прокопенко Е. В. Ефективність застосування добрив під льон олійний на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф.. дис.. … канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2009. 24 с.
381. Прокопчук І. В. Ефективність вапнування чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2003. 19 с.
382. Прокопчук І. В. Хімічний склад сучасних атмосферних опадів. Матеріали Всеукр. наук. конф. молодих вчених присвяченої 110-річчю з дня народження М. М. Шкварука. Умань, 2008. С. 50–51.

383. Прокопчук І. В., Нікітіна О. В. Винесення калію врожаєм культур польової сівозміни. Актуальні питання сучасної аграрної науки: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 листопада 2014 р., Умань. Київ : ЗАТ «НІЧЛАВА», 2014. С. 78–79.
384. Прокопчук І. В., Нікітіна О. В. Уміст легкорозчинних і рухомих сполук калію у ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Матеріали Всеукр. наук. конф. молодих учених, приуроченої 140-й річниці від дня народження видатного вченого плодовода П. Г. Шитта, 6 травня 2015 р. Умань, 2015. С. 66–68.
385. Прокопчук С. В. Оптимізація мінерального живлення нуту на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф.. дис.. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2015. 20 с.
386. Прокошев В. В. Актуальные вопросы агрохимии калийных удобрений. Агрохимия. 1985. № 4. С. 32–41.
387. Прокошев В. В. Место и значение калия в агроэкосистеме. Журнал Российского химического общества. 2005. № 3. С. 35–43.
388. Прокошев В. В., Борсукова С. С. Влияние калийных удобрений на содержание различных форм калия в почве. Агрохимия. 1980. № 1. С. 46–51.
389. Прокошев В. В., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения. Москва : Ледум, 2000. 185 с.
390. Прокошев В. В., Носов В. В. Теоретические и практические аспекты исследования некоторых методов определения калия в почве. Почва – удобрение – плодородие. Минск: БелНИИПА, 2000. С.92–98.
391. Прокошев В. В. Агрохимия калийных удобрений: автореф. дис. ... док. биол. наук : 06.01.04. Москва, 1984. 40 с.
392. Прокошев В. В. Актуальные вопросы агрохимии калийных удобрений. Агрохимия. 1985. № 4. С. 32–41.
393. Прокошев В. В. Место и значение калия в агроэкосистеме. Журнал Российского химического общества. 2005. № 3. С. 35–43.
394. Прокошев В. В. О необходимости применения калийных удобрений. Плодородие. 2002. № 1. С. 18–20.
395. Прокошев В. В. Об информативности оценки состояния калия в почве по показателю «обменный калий». Проблемы почвоведения. Москва, 1990. С. 59–66.
396. Прокошев В. В. Освещение проблемы калия в журнале «Агрохимия». Агрохимия. 2004. № 1. С. 18–24.
397. Прокошев В. В., Дерюгин И. П., Ефремов Е. Н. О методах определения доступных форм калия в почве.Плодородие. 2005. № 5. С. 15–18.
398. Прокошев В. В., Подколзина Г. В. Современные формы калийных удобрений и пути их рационального использования. Бюллетень ВИУА. Москва, 1984. № 70. С. 21–25.
399. Прокошев В. В., Государева З. И. Эффективность калийных солей. Химия в сельском хозяйстве. 1985. № 12. С. 13–16.
400. Прянишников Д. Н. Агрохимия. Москва : Изд-во АН СССР, 1952. Т. 3. 633 с.
401. Прянишников Д. Н. Агрохимия. Избранные сочинения. Москва : Изд-во АН СССР, 1951. Т. 1. 494 с.
402. Пташник М. М. Вплив норм і строків внесення добрив на врожайність і якість жита озимого на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу: автореф. дис.. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2016. 22 с.

403. Путівник наукової екскурсії VI з'їзду ґрунтознавців України / П. Г. Копитко, М. В. Недвига, В. Б. Соловей та ін. Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 2002. 40 с.
404. Путятин Ю В. Подвижный калий почвы и накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными культурами. Почвоведение и агрохимия. 2019. № 1(62). С. 203–211.
405. Путятина Л. А. Изменение содержания обменного калия в плодосменном севообороте в зависимости от способов обработки почвы и внесения удобрений юго-западной части ЦЧР. Онлайн-конф. посвещенная Дню российской науки : материалы. Белгород, 2015. С. 65–69.
406. Пчелкин В. У. Почвенный калий и калийные удобрения. Москва : Колос, 1966. 335 с.
407. Пчелкин В. У., Мочалова А. Д., Забавская К. М. Влияние калийных удобрений при длительном применении на урожай, качество картофеля и свойства дерново-подзолистой почвы. Агрохимия. 1971. № 1. С. 45–50.
408. Пчелкин В. У., Смирнова Р. С. Сравнительная эффективность и баланс калия в полевом и кормовом севооборотах на дерново-подзолистых почвах Московской области. Агрохимия. 1970. № 4. С. 43–49.
409. Пчелкин В. У., Смирнова Р. С. Эффективность калийных удобрений в полевом севообороте на тяжелых дерново-подзолистых почвах. Агрохимия. 1973. № 4. С. 55–60.
410. Радіоекологія / І. М. Гудков, В. А. Гайченко, В. О. Кашпаров та ін. Київ, 2011. 368 с.
411. Рассадіна І. Ю. Оптимізація мінерального живлення рижію ярого на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф.. дис.. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2017. 22 с.
412. Расчет баланса калия по штатам Индии и представление данных в картографической форме / С. Датта, К. Маджумдар, Г. Сулевски и др. Питание растений. 2014. № 4. С. 9–12.
413. Результаты полувекового сравнительного изучения влияния навоза и минеральных удобрений на плодородие мощного слабовыщелоченного чернозема и продуктивность культур свекловичного севооборота / А. Я. Гетманець и др. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почв и продуктивность севооборотов. Киев : Колос, 1973. Вып. IV. С. 153–222.
414. Рекомендации: Применение удобрений под фабричную сахарную свеклу по зонам свеклосеяния. Москва : Агропромиздат, 1986. 42 с.
415. Репина О. А. Калий в серых лесных почвах в связи с питанием растений и применением удобрений: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04. Москва, 1978. 17 с.
416. Родючість ґрунту і продуктивність буряку цукрового: монографія /Л. В. Вишневська, Г. М. Господаренко, С. П. Полторецький та ін.; за ред. Г. М. Господаренка і С. П. Полторецького. Умань : Видавець «Сочінський М. М.», 2020. 178 с.
417. Рождественский И. Г. Влияние калийных удобрений на почвенные процессы и урожай сахарной свеклы на черноземах. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почв и продуктивность севооборота. Москва, 1960. Вып. 1. С. 354–365.
418. Рождественский И. Г. Эффективность калийных солей Прикарпатья под сахарную свеклу. Советская агрономия. 1951. № 11. С. 12–16.
419. Рождественский И. Г. Система и новые формы удобрений. Сахарная свекла. 1964. № 11. С. 27–30.

420. Роль добрив у підвищенні ефективності землеробства в посушливих умовах / Б. С. Носко, В. В. Медведєв, О. П. Непочатков та ін. Вісник аграрної науки. 2000. № 5. С. 11–15.
421. Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній наважці рослинного матеріалу : МВВ 31–497058–019–2005. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків : Друкарня № 13, 2005. Кн. 2. С. 189–208.
422. Рощина Г. Д., Пестряков А. М. Изменение агрохимических свойств темно-серой лесной почвы при различных системах применения удобрений в полевом севообороте. Агрохимия. 1983. № 9. С. 90–94.
423. Рубин С. С. Сорокалетние опыты с удобрениями яблони. Агрохимия. 1974. № 12. С. 43–56.
424. Руцкая С. И. Влияние калийных солей на эффективность нитрофоски и нитрофоса при основном внесении под сахарную свеклу: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Киев, 1966. 19 с.
425. Савицкий К. А. Гречиха. Москва : Колос, 1970. 120 с.
426. Сахарная свекла (основы агротехники) / под ред. В. Ф. Зубенко. Киев: Урожай, 1979. 416 с.
427. Середина В. П. Агроэкологические аспекты использования цеолитов как почвоулучшителей сорбционного типа и источника калия для растений. Известия Томского политехнического университета. 2003. Т. 306. № 3. С.56–60.
428. Середина В. П. Резервы калия в почвах Западно-Сибирской равнины. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 1 (21). С. 7–21.
429. Сидоров А. А. Эффективность удобрений и приемы агротехники для получения урожая сахарной свеклы 500 центнеров с гектара. Удобрение сахарной свеклы. Киев: ВНИС, 1975. С. 63–72.
430. Синицький О. М., Батюк О. Я. Економетрія.Львів: Сполом, 2011. 210 с.
431. Сискевич Ю. И., Никонова Г. Н. Мониторинг содержания калия в почвах Липецкой области. Агрохимический вестник. 2006. № 6. С. 2–4.
432. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку XXI століття. С. А. Балюк та ін. / за ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошниченка. Київ : Альфа-стевія, 2016. 400 с.
433. Скороход В. І. Аналіз ефективності ріхних форм калійних добрив на чорноземах в умовах 35-річного стаціонарного досліду. Агрохімія і ґрунтознавство. 2000. Вип. 60. С. 59–63.
434. Слободян С. М., Гончарук О. В. Розрахункові дози добрив під сільськогосподарські культури в умовах Південно-Західного Лісостепу України. Чернівці : Прут, 1994. 240 с.
435. Слуцкая Л. Д., Медведева О. П. Превращение форм калия в пойменных тяжелосуглинистых почвах и их доступность растениям. V Всесоюз. съезд почвоведов : тезисы докл. Минск, 1977. С. 77.
436. Собачкин А. А., Забавская К. М., Чебан В. М. Изучение эффективности калийных удобрений при насыщении севооборота интенсивными культурами (полевой севооборот). Результаты исследований в длительных опытах с удобрениями по зонах страны : Тр. ВИУА. 1978. Вып. 5. С. 100–120.
437. Соколов А. В. Географические закономерности эффективности удобрений. Москва : Знание, 1968. 42 с.
438. Соколов А. В. Почвенно-агрохимические условия применения минеральных удобрений. Агрохимия. 1964. № 1. С. 12–22.

439. Соколов А. В. Состояние и задачи теоретических и методических работ в области агрохимии. Агрохимия. 1967. № 1. С. 3–22.
440. Соколов О. А. Минеральное питание растений в почвенных условиях. Москва : Наука, 1980. 193 с.
441. Соколова Т. А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации. Москва : Изд-во МГУ, 1987. 49 с.
442. Стаціонарні польові досліди України. Реєстр атестатів. Київ : Аграр. наука, 2014. 146 с.
443. Сухомуд О. Г. Вплив тривалого застосування добрив у польовій сівозміні на фосфатний фонд та баланс фосфору чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2000. 20 с.
444. Сычев В. Г. Основные резервы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. Москва : ЦИНАО, 2003. 228 с.
445. Сычев В. Г. Тенденции изменения агрохимических показателей плодородия почв европейской части России. Москва, 2000. 188 с.
446. Танин К. Е. Баланс хлора, серы и калия в многолетнем опыте с формами калийных удобрений. Агрохимия. 1965. № 12. С. 43–50.
447. Термодинамічні показники калійного фонду чорнозему опідзоленого залежно від рівня застосування добрив у сівозміні / І. М. Карасюк, О. О. Олійник, О. Д. Черно, Г. М. Господаренко. Вісник аграрної науки. 1996. № 10. С. 5–8.
448. Тибурський І. Ю. Екологічне сільське господарство: кроки назустріч. Крок перший: екологічне землеробство / за ред. В. Підліснюк. Київ : Видавництво Національного аграрного університету, 2006. 80 с.
449. Ткаченко М. А., Драч Ю. О. Видове генотипове співвідношення елементів живлення як основа оптимізації удобрення сільськогосподарських культур. Зб. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2016. Вип. 1. С. 113–123.
450. Ткаченко М. А. Відтворення родючості лісових ґрунтів за різних систем удобрення та хімічної меліорації у Правобережному Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.03. Київ, 2015. 20 с.
451. Толстоусов В. П. Удобрение и качество урожая. Москва : Агропромиздат, 1987. 192 с.
452. Трофименко П. І. Картографо-аналітична оцінка агроекологічного стану ґрунтового покриву (на прикладі Чернігівщини): автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. : 06.01.03. Харків, 2004. 24 с.
453. Трус О. М., Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Гумус чорнозему опідзоленого та його відтворення. Умань : ВПЦ «Візаві», 2016. 228 с.
454. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків : Нове слово, 2003. 225 с.
455. Трускавецький Р. С. Режим калия в почвах Полесья и Лесостепи Украины в связи с их окультуриванием: автореф. дис. ... к. с.-х. н. Харьков, 1966. 26 с.
456. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Оціночні показники кислотно-основної буферності ґрунтів. Агрохімія і ґрунтознавство. 2003. Вип. 64. С. 12–16.
457. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Соколова Н. Ю. Роль буферних механізмів ґрунту в саморегуляції його родючості. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2007. Вип. 3 (39). Ч. 1. С. 398–406.
458. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Чешко Н. Ф. Буферні механізми ґрунту: актуальність, стан і перспективи досліджень. Вісник аграрної науки. 2006. № 6. С. 27–32.

459. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Чешко Н. Ф. Метод визначення калійбуферності ґрунту. Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 2004. 18 с.
460. Турчин В. В. Обеспеченность чернозема обыкновенного различными формами калия и эффективность калийных удобрений на озимой пшенице и кукурузе на силос: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. П. Персиановский, 2007.
461. Турчина К. П. Ступінь рухомості калію та калійний потенціал дерновоглейових карбонатних ґрунтів. Вісник національного університету водного господарства. Вип. 2(58). 2012. С. 107–113.
462. Убугунов Л. Л., Убугунова В. И. Калийный фонд аллювиальных почв Байкальского региона. Почвоведение. 1999. № 4. С. 530–536.
463. Удовенко Г. В. Физиологическая роль калия и хлора в жизни растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Минск, 1965. 42 с.
464. Управління якістю зерна ячменю: рекомендації / за ред. М. М. Мірошниченка. Харків : Вид-во ХНАУ, 2010. 56 с.
465. Устименко-Бакумовская А. В. Оценка технологических качеств корнеплодов. Сахарная свекла. 1986. № 1. С. 14–16.
466. Фатеев А. И. Локальный способ внесения удобрений. Почвенно-агрохимические аспекты. Харьков, 2002. 160 с.
467. Фатєєв А. І., Мірошниченко М. М. Забруднення ґрунтів важкими металами як фактор їх деградації. Вісник ХДАУ. 1999. № 1. С. 206–209.
468. Фатєєв А. І. Ефективність форм азотно-фосфорно-калійних добрив на чорноземах типових (з історії Граківського дослідного поля). Харків, 2006. С. 223–227.
469. Філон В. І., Білецька Н. Є. Теоретичні підстави для переходу на спрощене експрес-визначення калійної буферності ґрунту. Вісник ХНАУ. 2008. № 4. С. 28–33.
470. Фосфатний режим ґрунтів південно-західного Лісостепу України залежно від мінералогічного складу мулистої фракції / В. Цесля, Я. Оведик, І. М. Карасюк, М. В. Недвига. Шляхи підвищення родючості ґрунту і врожайності зернових культур. Київ : Урожай, 1991. С. 4–15.
471. Харченко О. В., Прасол В. І., Ільченко О. В. Агроекономічне та екологічне обґрунтування рівня живлення сільськогосподарських культур. Суми : Університетська книга, 2009. 126 с.
472. Харченко О. В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур. Суми : Університетська книга, 2003. 295 с.
473. Хлистовський А. Д., Касицкий Ю. И, Бахтин С. Л. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборотов, баланс питательных веществ и плодородие дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Агрохимия. 1989. № 3. С. 27–39.
474. Хоботова Е. Б., Уханьова М. І., Гречишкіна О. В. Радіаційно-екологічні аспекти застосування добрив. Вісник СевДТУ. Вип. 97. 2009. С. 137–176.
475. Ходаківська О. В. Корчинська С. Г., Матвієнко А. П. Еколого-економічні аспекти відтворення родючості ґрунтів. Землеробство. 2017. № 1. С. 16–22.
476. Хоменко А. Д. Агрохимические особенности применения комплексных минеральных удобрений. Вестник с.-х. науки. 1968.№ 11. С. 1–9.
477. Христенко А. А. Калийное состояние почв и эффективность удобрений. Харків : ФЛП Бровин А. В., 2017. 120 с.
478. Христенко А. А., Мирошниченко Н. Н., Гладких Е. Ю. Рекомендации по эффективному использованию калийных удобрений на почвах Украины. Харьков, 2013. 36 с.

479. Христенко А. А. Использование национальных стандартов для диагностики азотного, фосфатного и калийного состояния почв Украины. Агрохимия. 2014. № 7. С. 60–68.
480. Христенко А. А. Рухомість «рухомих» елементів живлення рослин у ґрунті. Вісник аграрної науки. 2009. № 8. С. 16–20.
481. Христенко А. О., Істоміна Ю. О. Ґрунтово-кліматичні умови України та ефективність калійних добрив. Вісник аграрної науки. 2013. № 8. С. 10–13.
482. Христенко А. О. Нормативні та методичні умови підвищення точності діагностики ґрунтів. Вісник аграрної науки. 2011. № 6. С. 12–15.
483. Христенко А. О., Мірошниченко М. М. Удосконалення діагностики поживного стану ґрунтів України. Охорона ґрунтів : зб. наук. праць. Київ, 2014. Вип. 1. С. 198–200.
484. Христенко А. А. Оценка химических методов определения содержания подвижного калия в почвах. Агрохімія і ґрунтознавство. 2007. Вип. 67. С. 90–98.
485. Худолій Л. В. Формування продуктивності пшениці озимої залежно від елементів технологій вирощування у Правобережному Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2015. 21 с.
486. Цвей Я. П. Формування родючості ґрунту в короткоротаційних сівозмінах Лісостепу. Землеробство. 2015. Вип. 1. С. 56–59.
487. Цвей Я. П., Бондар С. О., Семчук С. М. Формування родючості чорнозему в сівозмінах Лісостепу. Матер. Міжнар. н.-практ. конфе. 7–8 червня 2018 р. «Інноваційні технології у рослинництві: проблеми та їх вирішення». Житомир: Рута, 2018. С. 267–271.
488. Цвей Я. П., Мазур Г. М. Особливості впливу системи удобрення цукрових буряків на фонд обмінного калію чорнозему вилугованого. Агроекологічний журнал. 2001. № 2. С. 55–57.
489. Церлинг В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. Москва : Агропромиздат, 1990. 235 с.
490. Цзинь Цз., Луи Кс., Хэ П. Кому принадлежит доминирующая роль в подавлении стеблевых гнилей кукурузы при применении хлористого калия ? Агроном. 2013. № 2. С. 116–119.
491. Чабан В. Г. Економічна ефективність застосування добрив. Економіка АПК. 1998. № 12. С. 33–34.
492. Чекмарев П. А., Лукин С. В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России. Агрохимия. 2013. № 4. С. 11–22.
493. Черно О. Д. Вплив тривалого застосування добрив в зерно-буряковій сівозміні на калійний фонд та баланс калію в чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Київ, 1996. 21 с.
494. Черно О. Д. Вплив тривалого застосування добрив на вміст рухомого калію в чорноземі опідзоленому. Міжвідомчий тематичний науковий зб. «Агрохімія і ґрунтознавство». Харків, 2006. Кн. 3. С. 307–311.
495. Чесняк Г. Я., Бацула О. О., Дерев'янко Р. Г. Параметри гумусного стану ґрунтів. Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу у ґрунті. Київ : Урожай, 1987. С. 125.
496. Чешко Н. Ф. Рухомість речовин у ґрунті: термодинмачний підхід. Київ : Аграрна наука, 2015. 144 с.
497. Чириков Ф. В. Агрохимия калия и фосфора. Москва : Сельхозгиз, 1956. 464 с.

498. Чорный Д. Л., Куновский В. И. Влияние удобрений и извести на агрохимические показатели плодородия почвы и урожай сельскохозяйственных культур в звене севооборота. Эффективность удобрений полевых культур в Лесостепи и Полесья УССР : сб. науч. тр. УСХА. Київ, 1982. С. 40–44.
499. Шаймухаметов М. Ш., Травникова Л. С. Калийное состояние пахотных почв Европейской территории России. Почвоведение. 2000. № 3. С. 329–339.
500. Шафран С. А. Почва, удобрения, урожай. Москва : Изд-во «Литература», 2019. 471 с.
501. Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. № 4. С. 25–29.
502. Шевченко А. І., Шевченко А. А. Агрохімічні властивості чорнозему та врожай і якість зерна озимої пшениці в умовах тривалого застосування добрив. Вісник сільськогосподарської науки. 1978. № 4. С. 5–8.
503. Шеуджен А. Х. Агрохимия чернозема. Майкоп: ОАО «Полиграф-юг», 2015. 232 с.
504. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. Майкоп, 2003. С. 145 –153.
505. Шон Т. В. Влияние органических и минеральных удобрений, применяемых в зерно-свекловичном севообороте на изменение содержания форм калия в луго-черноземной карбонатной почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 Киев, 1982. 26 с.
506. Эмсли Дж. Элементы. Москва : Мир, 1993. 256 с.
507. Юркин С. Н., Пименов Е. А., Макаров Н. Б. Почвенно-зональные различия расхода питательных веществ в связи с применением удобрений. Агрохимия. 1979. № 12. С. 127–130.
508. Явтушенко В. Е., Попова Р. Н. Действие удобрений на урожай сахарной свеклы на основных почвах Украинской ССР. Агрохимия. 1974. № 2. С. 81–90.
509. Ягодин Б. А., Буторина Е. П., Феофанов С. Н. Уточнение некоторых вопросов приминения тканевой диагностики в регулировании азотного питания озимой пшеницы. Агрохимия. 1993. № 4. С. 19–28.
510. Ягодин Б. А. Питание растений. Агрохимия. Москва : Агропроиздат, 2002. С. 39–94.
511. Якименко В. Н. Влияние баланса калия в ароценозе на продуктивность культур и калийное состояние серой лесной почвы. Агрохимия. 2006. № 5. С. 3–11.
512. Якименко В. Н Калий в почвах агроценозов Западной Сибири: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск, 2003.
513. Якименко В. Н. Баланс, формы и запасы калия в агроценозах на серой лесной почве. Агрохимия. 2000. № 11. С. 5–9.
514. Якименко В. Н. Влияние интенсивного использования почвы на фиксацию и десорбцию калия. Агрохимия. 1999. № 6. С. 16–20.
515. Якименко В. Н. Действие и последействие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве. Агрохимия. 2015. № 4. С. 3–12.
516. Якименко В. Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах. Агрохимия. 2007. № 3. С. 5–11.
517. Якименко В. Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов. Плодородие. 2009. № 4 (49). С. 8–10.
518. Якименко В. Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.

519. Якименко В. Н., Малюга А. А. Зависимость агроэкологического состояния почвы от баланса калия в агроценозе. Вестник Томского государственного университета. 2014. № 1 (25). С. 26–41.
520. Якименко В. Н., Носов В. В. Эффективность применения калийных удобрений в Западной Сибири. Питание растений. 2012. № 1. С. 2–5.
521. Якість ґрунту. Визначання активності іонів калію, амонію, нітрату і хлору потенціометричним методом: ДСТУ 4725:2007. (Чинний від 2008–01–01). Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 22 с. (Національний стандарт України).
522. Якість ґрунту. Відбирання проб : ДСТУ 4287:2004. (Чинний від 2005–07–01). Київ : Держспоживстандарт України, 2005. III, 6 с. (Національний стандарт України).
523. Якість ґрунту. Метод визначення калій-буферності ґрунту: ДСТУ 4375: 2005. (Чинний від 2005–02–28). Київ : Держстандарт України, 2006. 9 с. (Національний стандарт України).
524. Якість ґрунту. Методи визначення валового фосфору і валового калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського: ДСТУ 4290:2004 (Чинний від 2005–07–01). Київ : Держстандарт України, 2005. 21 с. (Національний стандарт України.
525. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. (Чинний від 2006–01–01). Київ : Держсандарт України, 2006. 23 с. (Національний стандарт України).
526. Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT) : ДСТУ ISO 11464:2007. (Чинний від 2009–10–01). Київ : Держспоживстандарт України, 2012. IV, 14 с. (Національний стандарт України).
527. Якість сільськогосподарської продукції / А. С. Заришняк, В. Є. Дишлюк, С. А. Балюк та ін. Посібник хлібороба України. 2017. Т. 1. С. 81–90.
528. Якубовский К. Б. Физиолого-биохимическое значение натрия в питании сахарной свеклы в зависимости от его концентрации в питательной среде: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киев, 1967. 24 с.
529. Янишевский Ф. В. Агрохимия жидких комплексных удобрений. Москва : Наука, 1978. 208 с.
530. Ярошко М. Калій у ґрунті та його роль у живленні рослин. Агроном. 2013. № 4. С. 22–24.
531. Acher C. J., Ozanne P. L. Calcium and potassium content of plant in solution cultures maintained at constant potassium concentration. Soil Sci.1963. V. 103. P. 155.
532. Adama S. N. The effect of sodium and potassium on sugar beet on the Lincolnshire limestone soils. J. agr. Sci., 1961. V. 56. № 2. P. 283–286.
533. Barshad I. Cation exchange in micaceous minerals: I. Replaceability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite, and montmorillonite. Soil Sci. 154. V. 78. P. 57–76.
534. Beckett H. T., Nafagy M. H. Potasium-calcium exchange equilibria in soils: The location of non-specific (Gapon) and specific exchange sites. Soil. Sci. 1967. V. 18. № 2. P. 263–281.
535. Bekunda M., Manzi G. Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. Nutr Cycl. Agroecosys. 2003. № 67. P. 187–195.

536. Bernardi A. C. C., Gimenez L. M., Machado P. L. O. A. Variable-Rate Application (VRA) of potassium fertilization for soybean in Brazil. Electronic International Fertilizer Correspondent. Quarterly correspondent from IPI. International potash institute. e-ifc No. 27, June 2011. P. 14–18.
537. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils. New York: Macmillan Publisthing Company, 1999. 750 p.
538. Bruulsema T. C., Di Fonzo C. How Potassium nutrition can supperess soybean aphids. Batter Crop with Plant Food. 2010. V. 94. № 2. P. 11–13.
539. Cakmak I. Potassium for better crop production and quality. Plant Soil. 2010. V. 335. P. 1–2.
540. Cakmak I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stress in plants. J. Plant Nutr Soil Sci. 2005. V. 168 P. 521–530.
541. Chaddock R. E. Exercises in statistical methods. Houghton, 1952. 166 p.
542. De Nobili M. K-uptake from subsoil / M. De Nobili, L. Vittori Antisari, P. Sequi. Proc. 22-nd IPI Coll. Soligorsk, USSR, 1990. P. 133–144.
543. Dudas F., Pelikan M. Vliv agrotechniky na kvalitu sladu. Rostlinna vyroba. 1978. 24 (1). S. 9–18.
544. Dutton J., Bowler G. Manea is still being wasted on nitrogen fertilizer. Brit. Sugar Beet Rev. 1984. V. 52. № 4. P. 56–62.
545. Farmer V. C., Wilson M. J. Experimental conversion of biotite to hydrobiotite. Nature. 1970. V. 226. P. 841–842.
546. Hannay Y. Y., Johnson J. W. Potassium nutrition of soybean. Potassium in agriculture. ASA. Madison, Wis., USA, 1985. P. 754–764.
547. Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L. Soil Fertility and Fertilizers. New Jersey: Perason, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2005. P. 219–243.
548. Huang P. M. Soil potassium reserves in relation to crop response to potash in Proceedings of the worshop, Potash and Phosphate Institute of Canada. Canada, Saskatoon, 1979. P. 227–229.
549. Kopecky M. Vliv hloubky zakladniho zpracovani pudy v interakci s odrudou, predlodinou a zvysovanymi davkami N na vynos a iakost sla dovnickeho jarnigo jecmene. Rostlinna vyroba. 1973. 19 (11). S. 1159–1166.
550. La Techniche di coltivazione Delle Principali colture agroindustriali. A cura di: Agronomica, 1995. 384 p.
551. Laila K. A., Ali M. Study of Some Methods of Waste Management of Rise Through its impact on Soil Physical Properties N, P and K Contents in Maize Yield and Water Use Efficiency under Different Tillage Systems. Australian Journal of Basic Applied. 2011. V. 5. P. 1017–1034.
552. Laster G. E. Impact of potassium nutrition on food quality of fruitis and vegetables: a condensed and consise reviw of the literature. Better Crops with Plant Food. 2010. V 94. № 1. P. 18–21.
553. Lester G. E., Jifon J. L., Makus D. J. Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. Hort Sci. 2006. V. 41. P. 741–744.
554. Lester G. E.,. Jifon J. L, Rog G. Supplemental foliar potassium applications during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid, and betacarotene contents ers. J Amer Soc Hort Sci. 2005. V. 130. P. 649–653.
555. Liebhardt W. C., Mur J. T. Efect of potassium on morphology and lodging of corn. Agron. 1965. J. 57. P. 325–328.
556. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press (2012), pp. 684.

557. Matzel W. Die Bedeutung der Kalidüngeraorten für die Nährstoffversorgung der Pflanse. Bodenk. 1983. Bd. 34. № 12. S. 131–146.
558. Mengel K., Kirby E. Principles of plant Neetrition. Bern, 1978. P. 15–32.
559. Pettigrew W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiol. Plant. 2008. № 133(4). P. 670–681.
560. Pettigrew W. T., Meredith W. R. J., Young L. D. Potassium fertilization effects on cotton lint yield, yield components and reniform nematode populations. Argon J. 2005. № 97. P. 1245–1251.
561. Rich C. I. Mineralogy of soil potassium. The role of potassium in agriculture – Madison: Wis.: American Society of Agronomy, 1968. P. 79–108.
562. Ross G. J., Cline R. A., Gamble D. S. Potassium exchange and fixation in some southern Ontario soils.Canad J. Soil Sci. 1989. V. 69. № 3. P. 649–661.
563. Safoora Asadi. Influence of different potassium fertilizer sources on sunflower production: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane – Australia, 2010. P. 16–18.
564. Schouwenburg J., Schuffelen A. Potassium exchange behavior of an illite. J. Agr. Sci. 1963. V. 11. № 1. P. 13–22.
565. Sowinski J. Umiejetne nawozenie azotem warunkiem uzyskania wysokiej jakosci jeczmienia browarnego. Nowe Rolnictwo. 1978. Nr 20. S. 21–23.
566. Tisdale S. L., Nelson W. L., Beaton J. D. Soil and Fetilizer Potassium. Soil Fetility and Fertilizers. – Macmillan, New Jork., 1985. P. 249–291.
567. Trzebinski J. O jakosco technologicsej burakow cukrovych.Gasetacukrownicka. 1984. № 12. P. 29–32.
568. Ulrich B. Boden und Pflanze.Stutgart. 1961. 300 s.
569. Zarrabi M., Jalali M., Hajilouei Sh. M. Kinetics of non-exchangeable potassium release through malic acid and supplying power of some soils of lamadan province. Iran. J. Agr. Sci. 2007. V. 37. № 6. P. 1–4.
570. Zhou J. M., Huang P. M. Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. Geoderma. 2007. V. 138. Iss. 3/4. P. 221–228.
571. Zipman C. B. Importance of silica, aluminium, and chloride for higher plants. Soil Sci. 1958. № 45. P. 189–198.

Наукове видання

ГОСПОДАРЕНКО Григорій Миколайович,
ЧЕРНО Олена Дмитрівна,
НІКІТІНА О В

АГРОХІМІЯ КАЛІЮ

За загальною редакцією Г. М. Господаренка

Керівник видавничих проектів: Хамчук Г. П.
Друкується в авторській редакції
Комп'ютерна верстка: Трубак І. М.

Підписано до друку 25.01.2021. Формат 60 х 84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура SchoolBookC. Фіз. друк. арк. 16,5. Ум. друк. арк. 15,35.
Тираж 300 прим.

ТОВ «ТРОПЕА»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 7025 від 24.12.2019 р.

01001, м. Київ, вул. Мала Житомирська, 10,
нежиле приміщення 60, літ. А

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК