



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.8:551.583.13

© 2018

## СЕЗОННА ДИНАМІКА ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ В ҐРУНТІ ТА ЗМІНА ЇХ СПІВВІДНОШЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ГІДРОТЕРМІЧНИХ УМОВ РОКУ

Є.Ю. Гладкіх<sup>1</sup>, А.В. Ревтьєв-Уварова<sup>2</sup>, Є.В. Панасенко<sup>3</sup>

кандидати сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства

та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: <sup>1</sup>ye.hladkikh@ukr.net, <sup>2</sup>alina\_rev@meta.ua, <sup>3</sup>panasenko-evgeniy@rambler.ru

Надійшла 3.11.2017

**Мета.** Визначити закономірності сезонної динаміки елементів живлення та особливості їх перерозподілу в ґрунті залежно від гідротермічних умов року. **Методи.** Польові, лабораторно-аналітичні, статистичний аналіз. **Результати.** Визначено значну різницю в сезонній динаміці запасів мінерального азоту та вологи ґрунту в роки, контрастні за умовами вологозабезпечення, зокрема в інтенсивності зменшення запасів мінерального азоту впродовж вегетації, співвідношенні нітратного та амонійного азоту по профілю ґрунту, ефективності використання рослинами азоту та вологи. **Висновки.** Отримані результати доводять істотне зниження активності використання мінерального азоту рослинами за умов стресової посухи та переважання в структурі мінерального азоту амонійних його форм, особливо наприкінці вегетації. Найефективніше використання азоту і вологи ґрунту відбувається за оптимізації кореневого живлення рослин за рахунок внесення мінеральних добрив, зокрема накопичення залишкових фосфатів у ґрунті.

**Ключові слова:** абіотичні стреси, гідротермічні умови, елементи живлення, сезонна динаміка, адаптивний потенціал.

Питання підвищення стійкості до екстремальних факторів набуває дедалі більшого значення. Зростає актуальність пошуку заходів, які б знижували вплив абіотичних стресів (головним чином, посух і високих температур) на реалізацію адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур, зокрема зернових.

Достатня кількість вологи в ґрунті є необхідною умовою для нормального розвитку

рослин і значно впливає на надходження до них елементів живлення. Негативна дія перезволоження або пересушення ґрунту на поглинання та перерозподіл елементів живлення може проявитися в односторонньому підвищенні доступності деяких іонів, зокрема солей заліза та марганцю, накопичення яких у рослинах при цьому досягає токсичного рівня, або навпаки у виявленні істотного дефіциту надходження

фізіологічно важливих елементів живлення.

Дослідженнями вітчизняних і зарубіжних учених доведено, що вміст елементів живлення в ґрунті, їх перерозподіл по профілю та ефективність використання сільськогосподарськими рослинами значною мірою залежить від абіотичних чинників, зокрема гідротермічних умов року. Доведено, що вплив на динаміку нітратного азоту метеорологічних умов (кількості опадів і середньої температури повітря) становить 69–74%, меншою мірою впливають мінеральні добрива (1–6%) залежно від гідрологічних умов року [1].

Навіть на добре удобрених полях тривала посуха може призвести до зниження рухомості і поглинання окремих поживних речовин [2].

Було перевірено гіпотезу про те, що посилення посухи змінює доступність мікроелементів: Fe, Mg, Mo, S і їх концентрацію та акумуляцію в екосистемах [3, 4]. Посуха збільшує загальну концентрацію S в ґрунті та насиченість обмінного комплексу ґрунту Fe, Mg і Mg. Такі зміни концентрації в ґрунті були пов'язані зі зменшенням поглинання рослиною, а не збільшенням активності ферментів ґрунту, які насправді зменшуються в більш посушливих умовах [3, 4].

З огляду на те, що поживні речовини потрібні не лише для кращого росту і розвитку рослин, а й для пом'якшення різного роду абіотичних стресів, таких, як стресова посуха, мінерально-поживний стан рослин відіграє вирішальну роль у підвищенні стійкості рослин до факторів навколишнього середовища [5].

Отже, очевидним є взаємозалежність перерозподілу мінеральних елементів (макрота мікро-) і доступності їх рослинам від гідротермічних умов навколишнього середовища (вологозабезпечення та температурного режиму ґрунту), і навпаки ефективність використання вологи від оптимального вмісту елементів живлення, особливо в критичні фази росту та розвитку рослин. Наразі результати досліджень закономірностей зміни вмісту і перерозподілу елементів живлення в ґрунті за умов дії абіотичних стресів, зокрема стресових посух, у науковій літературі представлені в невеликій кількості, що перешкоджає ефективному застосуванню добрив і використанню вологи ґрунту. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур

і особливо вчасне надходження елементів живлення до рослин та ефективне їх використання, має надзвичайно велике значення.

**Мета досліджень** — визначити закономірності сезонної динаміки елементів живлення та особливості їх перерозподілу в ґрунті залежно від гідротермічних умов року.

**Матеріали та методи досліджень.** Проведено аналіз та узагальнення накопичених матеріалів і результатів багаторічного стаціонарного польового дослідження, закладеного в 1969 р. на чорноземі типовому важко-суглинковому в умовах ДП ДГ «Граківське» (ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»). На різних агрохімічних фонах, створених застосуванням мінеральних добрив у запас (післядія з 1983 р.) та систематично, вивчали залежність умісту макроелементів у ґрунті від річної кількості опадів у сезонній динаміці. Методику створення агрохімічних фонів викладено в роботі [6].

Додатково на наявних агрохімічних фонах було закладено мікропольовий дослід з метою дослідження ефективності ранньовесняного підживлення сільськогосподарських культур азотом у роки, що різняться за гідротермічним режимом, впливом залишкових фосфатів добрив на використання вологи ґрунту, ефективність азотних добрив і визначення особливостей перерозподілу макроелементів по профілю ґрунту в сезонній динаміці. Дослідження сезонної динаміки та міграції по профілю ґрунту елементів живлення, головним чином мінерального азоту та рухомих форм фосфору, проводили в роки, контрастні за умовами вологозабезпечення. У 2016 р. середньорічна кількість опадів становила 600 мм, 2017 р. — 262 мм.

Схема мікропольового дослідження: без добрив (контроль); гній (140 т/га)+P<sub>1800</sub> (у запас, післядія з 1983 р.); гній (140 т/га)+P<sub>1800</sub> (у запас, післядія з 1983 р.)+N<sub>60</sub> (ранньовесняне підживлення); гній (140 т/га)+N<sub>1800</sub>P<sub>1800</sub>K<sub>1800</sub> (у запас, післядія з 1983 р.); гній (140 т/га)+N<sub>1800</sub>P<sub>1800</sub>K<sub>1800</sub> (у запас, післядія з 1983 р.)+N<sub>60</sub> (ранньовесняне підживлення).

Відбір ґрунтових зразків здійснювали на початку травня та наприкінці липня з глибини 0–100 см пошарово (0–20 см, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см) агрохімічним буром.

Лабораторно-аналітичні дослідження проводили за стандартизованими методиками.

Для виконання досліджень у ґрунтових зразках визначали: вологість ґрунту, уміст мінерального азоту (ДСТУ 4729:2007), рухомі форми фосфору за Чиріковим (ДСТУ 4115:2002). Статистично математичну обробку даних проводили з використанням програми STATISTICA 6.

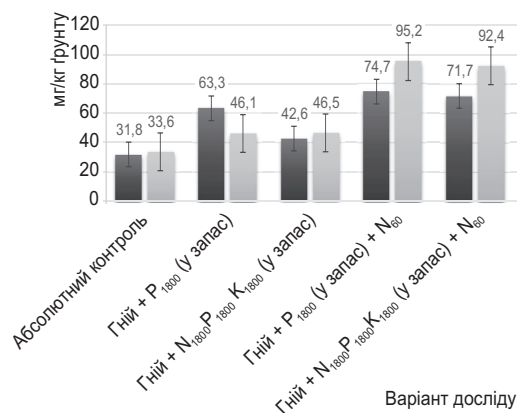
**Результати досліджень.** Шкідливі наслідки абіотичних факторів можуть бути мінімізовані оптимальним і збалансованим постачанням мінеральних поживних речовин до рослин попри їх природну стійкість до стресових посух та аномальних температур. Наявні результати досліджень свідчать про те, що мінерально-поживний стан рослин відіграє вирішальну роль у підвищенні їх стійкості до стресових факторів [7]. Оптимальне живлення та агротехніка значно впливають на циркуляцію води всередині рослин, що є дуже ефективним методом боротьби з посухою. За низьких і незбалансованих концентрацій поживних речовин у ґрунті рослини мають поглинати більше води, щоб мати можливість одержувати таку саму кількість мінеральних речовин для їх метаболізму, яку б отримували з ґрунту з оптимальним забезпеченням елементами живлення. З іншого боку, в умовах недостатнього вологозабезпечення рослини не можуть отримати оптимальні кількості поживних речовин, що негативно впливає на загальний стан рослин, особливо їх урожайність та якість.

Азот є важливим компонентом багатьох структурних, генетичних і метаболічних сполук рослин [8, 9]. Із загального обсягу поживних речовин, що поглинаються корінням рослин, 80% припадає на азот [8]. Поглинання і використання рослиною азоту в умовах водного стресу має дуже велике значення для нормального росту і розвитку рослин. У роботі [10] зазначається, що можливим механізмом зведення до мінімуму шкідливих впливів посухи є підвищення ефективності використання вологи ґрунту за рахунок поліпшення живлення мінеральним азотом.

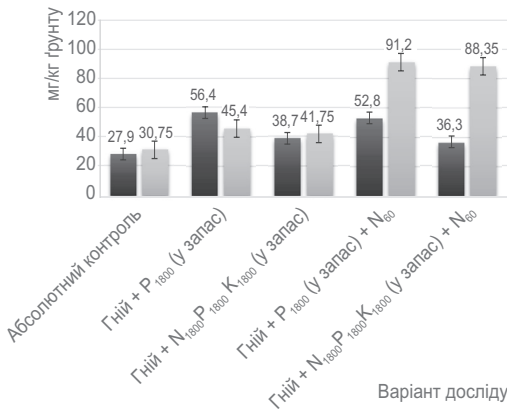
Дослідження сезонної динаміки запасів мінерального азоту в метровому шарі чорнозему типового свідчить про поступове зниження його впродовж вегетації сільськогосподарських культур за рахунок низки факторів: використання азоту рослинами для формування врожаю, участь азоту

в біохімічних перетвореннях мікроорганізмами та вимивання його за межі профілю. Максимальні запаси мінерального азоту (рис. 1, 2) в умовах стаціонарного польового дослідження визначено у варіанті, створеному запасним унесенням високих доз фосфору (загальна кількість внесених фосфорних добрив 1800 кг/га д.р.). Його післядія триває з 1983 р. і сприяє формуванню так званих залишкових запасів фосфору в ґрунті, які підвищують його загальну окультуреність та ефективну родючість, що сприяє додатковому надходженню азоту в ґрунт та інтенсивному утворенню «екстра азоту». Такі закономірності характерні для обох років досліджень, однак, виявлено деякі відмінності за роками, пов'язані з істотним скороченням середньорічної кількості опадів у 2017 р.

Запаси мінерального азоту у варіанті з ранньовесняним підживленням азотом ( $N_{60}$ ) по фонах гній+ $P_{1800}$  і гній+ $N_{1800}P_{1800}$  у 2017 р. істотно перевищували показники 2016 р. У посушливий рік після підживлення запаси азоту в ґрунті були вищими на початку вегетації у 1,3 та 1,7–2,5 раза наприкінці вегетації. Інтенсивність зменшення запасів мінерального азоту від початку травня до кінця липня також різнилася за роками: у посушливий 2017 р. запаси азоту в шарі ґрунту 0–100 см зменшилися на 4,2–4,4%, 2016 р. — на 29–49%, що свідчить про зниження активності використання азоту рослинами за несприятливих гідротермічних умов року.



**Рис. 1. Запаси мінерального азоту в шарі чорнозему типового 0–100 см на початку вегетації сільськогосподарських культур: ■ — 2016 р.; □ — 2017 р. (для рис. 1, 2)**



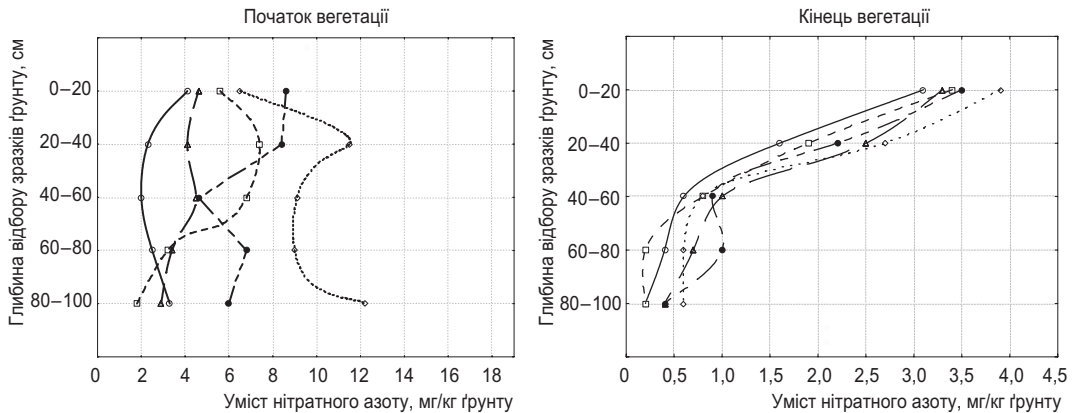
**Рис. 2. Запаси мінерального азоту в шарі чорнозему типового 0–100 см наприкінці вегетації сільськогосподарських культур**

Слід зазначити, що в цих варіантах високі запаси азоту у 2017 р., особливо наприкінці вегетації, підтримувалися переважно за рахунок умісту амонійних його форм. Співвідношення  $N-NO_3:N-NH_4$  у верхніх шарах ґрунту (0–20 та 20–40 см) становило 0,1–0,6, при тому, що в сприятливіший за вологозабезпеченням рік це співвідношення у ґрунті наприкінці вегетації було 1,9–5,0.

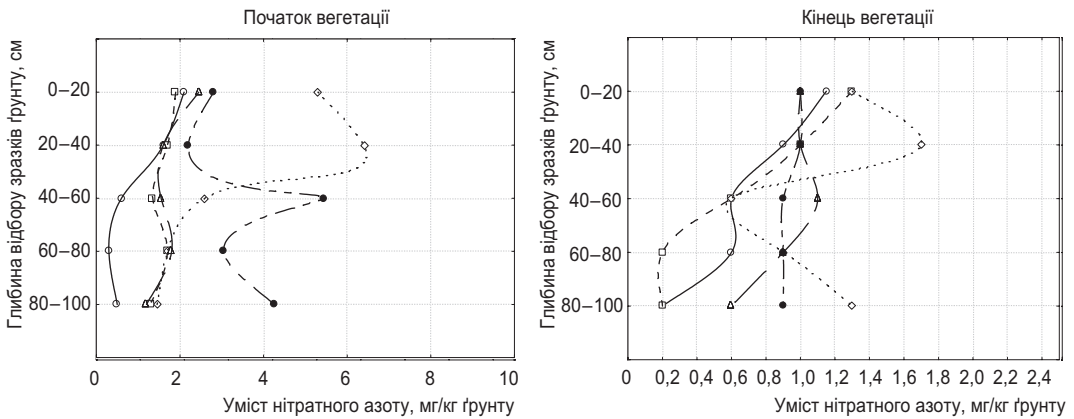
Очевидно, істотне скорочення середньорічної кількості опадів у 2017 р. на 340 мм порівняно з 2016 р. позначилося на біологічних і фізико-хімічних процесах ґрунту і відповідно поглинанні й трансформації азоту

добрих. Оскільки рослини здатні поглинати азот переважно в нітратній формі, то після внесення аміачної селітри в ранньовесняне підживлення насамперед рослинами було використано найдоступнішу форму азоту — нітратну в сприятливий і несприятливий за вологозабезпеченням року. Трансформація амонійного азоту, ймовірно, за рахунок гальмування мікробіологічних процесів у посушливий 2017 р. також гальмувалася. Амоніймісткі сполуки не окиснювалися до нітратів, що пояснює їх збереження в шарі ґрунту 0–100 см практично до кінця вегетації та кардинально відрізняє посушливий рік від оптимального за зволоженням. Подібні закономірності вже було отримано нами в попередніх дослідженнях [11].

У роки, контрастні за гідротермічними умовами, великого значення набувають дослідження сезонної динаміки нітратного азоту та особливості перерозподілу його по профілю ґрунту. Адже в роки, оптимальні за вологозабезпеченням, або за умов перезволоження є небезпека вимивання нітратів за межі профілю і непродуктивних його втрат. У роки з екстремальними посухами інтенсивність використання нітратного азоту рослинами залежатиме від кількості продуктивної вологи в ґрунті та збалансованості в живленні іншими мікроелементами. У стаціонарному досліді на чорноземі типовому з накладанням на наявні агрохімічні фони ранньовесняного підживлення азотом



**Рис. 3. Динаміка нітратного азоту впродовж вегетаційного періоду 2016 р. та зміна його вмісту по профілю чорнозему типового: —○— абсолютний контроль; —□— гній + P<sub>1800</sub> (у запас); —△— гній + P<sub>1800</sub> (у запас) + N<sub>60</sub>; —◇— гній + N<sub>1800</sub> + P<sub>1800</sub> (у запас); —●— гній + N<sub>1800</sub> + P<sub>1800</sub> (у запас) + N<sub>60</sub> (для рис. 3 і 4)**



**Рис. 4. Динаміка нітратного азоту протягом вегетаційного періоду 2017 р. та зміна його вмісту по профілю чорнозему типового**

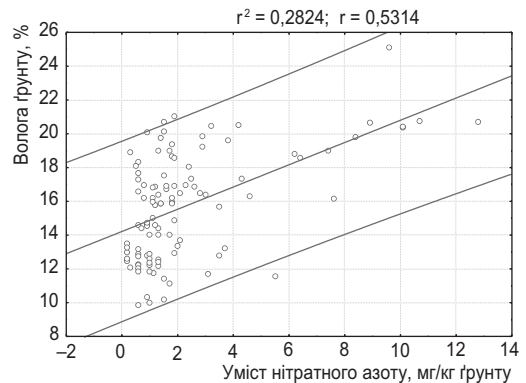
відзначається поступове зниження вмісту нітратного азоту від весни до осені в усіх варіантах дослідів незалежно від року досліджень, що є закономірним (рис. 3, 4).

Спостерігається підвищення вмісту нітратного азоту практично по всій глибині профілю на фоні із запасним унесенням фосфорних добрив (гній+ $P_{1800}$ ) порівняно з контрольним варіантом в умовах обох років досліджень (у 2016 р. — у 1,3–1,4 раза, 2017 р. — 1,1–2,2 раза), що підтверджує синергетичну дію іонів азоту і фосфору, навіть за умови запасного внесення останнього. Однак за несприятливих умов вологозабезпечення, що склалися у 2017 р., зафіксовано істотно нижчі концентрації нітратного азоту в ґрунті порівняно з оптимальним за зволоженням 2016 р. на початку вегетації (у 1,2–2,9 раза) і наприкінці вегетаційного періоду (2,6–3,5 раза).

Зазначимо, що кінець вегетаційного періоду 2017 р. характеризувався істотною різницею в умісті нітратного азоту, особливо це стосується верхніх шарів ґрунту (рис. 3, 4), що знову-таки зумовлюється переважанням у структурі мінерального азоту його амонійних форм. Вони практично не трансформувалися в нітратні через зниження активності мікробіологічних процесів у переосушеному верхньому шарі чорнозему типового.

Дослідженнями встановлено тісний зв'язок між умістом нітратного азоту в профілі чорнозему типового та вологою ґрунту, коефіцієнт кореляції між цими показниками був

0,53 (рис. 5). При цьому максимальні запаси води в шарі чорнозему типового 0–100 см спостерігалися, як і запаси мінерального азоту, на агрохімічному фоні, створеному запасним унесенням гною+ $P_{1800}$ , що свідчить про взаємозалежність цих 2-х показників. Ефективність використання елементів живлення, передусім азоту, залежить від доступної води ґрунту, а ефективність використання води — від наявності необхідних поживних речовин для формування врожаю. Крім того, дослідженнями встановлено, що збереження запасів води і ефективніше її використання рослинами в посушливий 2017 р. було вищим на фоні запасного внесення гною+ $P_{1800}$  порівняно з контролем на початку вегетації і наприкінці (на 5,4



**Рис. 5. Кореляційна залежність умісту нітратного азоту та води в шарі чорнозему типового 0–100 см**



**Ефективність ранньовесняного підживлення азотом залежно від забезпечення макроелементами за різних умов вологозабезпечення**

| Варіант досліджу   |                                   | 2016 р.<br>(середньорічна кількість<br>опадів 600 мм) |            | 2017 р.<br>(середньорічна кількість<br>опадів 262 мм) |            |
|--|-----------------------------------|---|------------|---|------------|
| Агрохімічний фон   | Підживлення<br>азотом, кг/га д.р. | урожайність, т/га                                     | приріст, % | урожайність, т/га                                     | приріст, % |
|  |                                   | кукурудзи на силос                                    |            | ячменю ярого  |            |
| Без добрив (контроль)                                      | 0                                 | 9,9   | —          | 2,30  | —          |
| Гній+P <sub>1800</sub>                                     | 0                                 | 11,3  | 14,1       | 2,81  | 22,2       |
|  | 60                                | 13,6  | 37,3       | 3,61  | 56,9       |
| Гній+N <sub>1800</sub> P <sub>1800</sub> K <sub>1800</sub> | 0                                 | 11,1  | 12,1       | 2,52  | 9,5        |
|  | 60                                | 12,3  | 24,2       | 3,30  | 43,5       |
| НІР <sub>0,95</sub>  | —                                 | 0,98  | —          | 0,47  | —          |

і на 2,1% відповідно). За ранньовесняного підживлення азотом на цьому фоні запаси вологи були ще вищими (на 11,6 і 8,4%) порівняно з контрольним варіантом.

Отримані закономірності динаміки мінеральних форм азоту та вологи ґрунту на досліджуваних агрохімічних фонах у різні за вологозабезпеченням роки позначилися на врожайності сільськогосподарських культур та ефективності ранньовесняного підживлення азотом кукурудзи на силос та ячменю ярого. В умовах недостатнього зволоження ефективність підживлення азотом значною мірою залежала від забезпечення

ґрунту фосфором. За достатнього зволоження спостерігається та сама закономірність, але ефективність підживлення істотно знижується (таблиця).

В екстремальних умовах 2017 р., коли на початку вегетації запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см оцінювали як недостатні, наприкінці вегетації — як дуже низькі, на високих агрохімічних фонах ефективність азотного підживлення була вищою порівняно з оптимальним за зволоженням 2016 р., що виражалося в підвищенні приросту врожаю ячменю ярого у 1,5–1,8 раза порівняно з приростами врожаю кукурудзи на силос.

**Висновки**

Дослідженнями закономірностей сезонної динаміки елементів живлення та особливостей їх перерозподілу в ґрунті впродовж вегетаційного періоду років, що різняться за вологозабезпеченістю, встановлено: істотне зниження активності використання мінерального азоту рослинами за умов стресової посухи та переважання в структурі мінерального азоту амонійних його форм, особливо наприкінці вегетації, що ймовірно зумовлено гальмуванням трансформації амонійних

форм азоту в нітрати через гальмування мікробіологічних процесів у посушливий рік; значне підвищення ефективності використання азоту і вологи ґрунту рослинами в посушливий рік відзначено за запасного внесення фосфорних добрив (гній + P<sub>1800</sub> (у запас)) на початку і наприкінці вегетації.

Отже, оптимізація кореневого живлення рослин за рахунок внесення мінеральних добрив, зокрема фосфорних, дає змогу істотно розширити діапазон ґрунтової вологи.

Гладких Е.Ю.<sup>1</sup>, Ревтьє-Уварова А.В.<sup>2</sup>, Панасенко Е.В.<sup>3</sup>

ІНЦ «Інститут почвознавства і агрохімії імені А.Н. Соколовського», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, 61024, Україна; e-mail: <sup>1</sup>ye.hladkikh@ukr.net, <sup>2</sup>alina\_rev@meta.ua, <sup>3</sup>panasenko-evgeniy@rambler.ru

**Сезонная динамика элементов питания в почве и изменение их соотношения в зависимости от гидротермических условий года**

**Цель.** Определить закономерности сезонной динамики элементов питания и особенности их перераспределения в почве в зависимости

от гидротермических условий года. **Методы.** Полевые, лабораторно-аналитические, статистический анализ. **Результаты.** Определена существенная разница в сезонной динамике запасов минерального азота и влаги почвы в годы, контрастные по условиям влагообеспеченности, в частности, в интенсивности уменьшения запасов минерального азота в течение вегетации, соотношении нитратного и аммонийного азота по профилю почвы, эффективности использования растениями азота и влаги. **Выводы.** Полученные результаты доказывают существенное снижение активности использования минерального азота растениями в условиях стрессовой засухи и преобладание в структуре минерального азота аммонийных его форм, особенно в конце вегетации. Эффективное использование азота и влаги почвы происходит при оптимизации корневого питания растений за счет внесения минеральных удобрений, в частности, накопления остаточных фосфатов в почве.

**Ключевые слова:** абиотические стрессы, гидротермические условия, элементы питания, сезонная динамика, адаптивный потенциал.

Gladkikh Ye.<sup>1</sup>, Revtie-Uvarova A.<sup>2</sup>, Panasenko Ye.<sup>3</sup>  
NSC «A.N. Sokolovsky Institute of soil science and agrochemistry», Chaikovska Str., 4, Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>ye.gladkikh@ukr.net, <sup>2</sup>alina\_rev@

meta.ua, <sup>3</sup>panasenko-evgeniy@rambler.ru

### **Seasonal dynamics of nutrients in soil and change of their ratio depending on hydrothermal conditions of the year**

**The purpose.** To determine regularities of seasonal dynamics of nutrients and features of their disproportionation in soil depending on hydrothermal conditions of the year. **Methods.** Field, laboratory-analytical, statistical analysis. **Results.** Essential variance is determined in seasonal dynamics of stores of mineral nitrogen and moisture of soil in years contrasting on conditions moisture security, in particular, in intensity of decrease of stores of mineral nitrogen during vegetation, ratio nitrate and ammonium nitrogen according to the profile of soil, and efficiency of use of nitrogen and moisture by plants. **Conclusions.** The gained results proved essential lowering activity of use of mineral nitrogen by plants in conditions of stressful drought and predominance in the structure of mineral nitrogen of its ammonium forms, especially in the end of vegetation. The effective use of nitrogen and moisture of soil takes place at optimization of root nutrition of plants due to importation of fertilizers, in particular, accumulation of residual phosphate in soil

**Key words:** abiotic stresses, hydrothermal conditions, nutrients, seasonal dynamics, adaptive potential.

## **Бібліографія**

1. Кадычегова А.Н. Динамика подвижных соединений азота в агрочерноземе текстурно-карбонатном под бобовыми культурами/А.Н. Кадычегова, В.В. Чупрова, В.А. Кадычegov//Вестн. КрасГАУ: Почвоведение. — 2009. — № 8. — С. 519–526.
2. Amtmann A. Regulation of macronutrient transport/A. Amtmann, M.R. Blatt//New Phytol. — 2009. — V. 181(1). — P. 35–52. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02666.x.
3. Sardans J. Drought changes the dynamics of trace element accumulation in a Mediterranean Quercus ilex forest/J. Sardans, J. Peñuelas//Environ Pollut. — 2007. — V. 147(3). — P. 567–583.
4. Sardans J. Warming and drought change trace element bioaccumulation patterns in a Mediterranean shrubland/J. Sardans, J. Peñuelas, M. Estiarte//Chemosphere. — 2008. — V. 70 (5). — P. 874–885.
5. Marschner H. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photo assimilates and cycling of mineral nutrients/H. Marschner, E.A. Kirkby, I. Cakmak//J Exp Bot. — 1996. — V. 47. — P. 1255–1263.
6. Носко Б.С. Использование метода моделирования фонов при изучении агрохимических

- свойств почв/Б.С. Носко//Агрохимия. — 1981. — № 1. — С. 122–127.
7. Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants// Academic Press. — London, U.K., 1995. — P. 889.
8. Toxic effects of cadmium on rice as affected by nitrogen fertilizer form/M.J. Hassan, F. Wang, S. Ali, G. Zhang//Plant Soil. — 2005 — V. 277. — P. 359–365.
9. Tisdale S.L. Elements required in plant nutrition, in Soil fertility and fertilizers, ed. by S.L. Tisdale and W.L. Nelson. — New York: Macmillan Publishing Co., NY, U.S.A., 1975. — P. 66–104.
10. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management/E.A. Waraich, R. Amad, M.Y. Ashraf, M. Ahmad//Acta Agri Scandi — Soil & Plant Sci. — 2011. — V. 61(4). — P. 291–304.
11. Мирошниченко Н.Н. Конвергенция методов определения трофического состояния почв/Н.Н. Мирошниченко, А.В. Ревтье-Уварова, Е.Ю. Гладких//Матер. междунар. науч. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения акад. Иона Дикусара, 6–7 сентября, г. Кишинев (республика Молдова), 2017. — С. 343–350.