

Результатом апробації розроблених нами завдань в умовах реального навчально-виховного процесу стали якісніші знання учнів про окисно-відновні процеси та успішне оволодіння способами їх здобування.

Дослідження та розробка нових дидактичних завдань, зокрема для курсу органічної хімії, в якому окисно-відновним характеристикам речовин приділяється занадто мало уваги, для реалізації міжпредметних зв'язків, вивчення специфіки узагальнення знань про хімічну реакцію як для класів з поглибленим вивченням хімії, так і для гуманітарних, є, на нашу думку, актуальними темами для подальших досліджень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Буринська Н. М. Викладання хімії у 8-9 класах загальноосвітньої школи : метод. посібник для вчителів. Київ; Ірпінь: Перун, 2000. 144 с.
2. Шиян Н. І. Шкільний курс хімії та методика його викладання: навч. посібник. Полтава: ІОЦ ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2010. 240 с.

*Сойко Сніжана*  
*Науковий керівник – доц. Хоменчук Володимир*

#### ОСОБЛИВОСТІ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ЗАБРУДНЕНИХ ДИЗЕЛЬНИМ ПАЛИВОМ

В останні десятиліття загострилася проблема забруднення ґрунтів та поверхневих ґрунтових вод нафтопродуктами як у світі, так і в Україні [5, 9]. Внаслідок цього погіршуються їх агрофізичні та агрохімічні властивості, змінюється кислотно-лужна рівновага, знижується активність ґрунтових ферментів, змінюється рухливість та доступність рослинам азоту, фосфору, калію та інших елементів [5].

Відомим та екологічно прийнятним є використання рослин для ремедіації забруднених ґрунтів. Рослини покращують властивості ґрунтів, активують діяльність мікроорганізмів, та, як наслідок, інтенсифікують процеси видалення забруднювальних речовин [12].

Міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*) є перспективною енергетичною культурою, що використовується для ремедіації забруднених земель [6, 10]. Ця рослина демонструє швидке зростання і високу врожайність на ґрунтах різного антропогенного походження і входить до числа рекомендованих біопаливних культур у країнах з обмеженими енергетичними ресурсами [11].

Перспективним напрямком підвищення родючості ґрунту також є внесення біочару (біовугілля), що являє собою тверду фракцію різних сполук, які утворюються за термічного розкладання біомаси в умовах обмеженого або повної відсутності надходження кисню. Біовугілля впливає на властивості ґрунту за рахунок значної питомої поверхні, великої

пористості, здатності до катіонного обміну, а також значного вмісту органічного карбону, калію, фосфору, азоту тощо [14].

Тому актуальним є питання утилізації нафтових вуглеводнів, зменшення їх токсичної дії та ремедіації забруднених земель з використанням культури міскантусу і внесення біовугілля.

#### Матеріал і методи досліджень

Для проведення досліджень відбирали ґрунт із території агробіологічної лабораторії Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка згідно ДСТУ ISO 11464:2007 [4]. Для штучного забруднення ґрунту використовували дизельне паливо (ДП) екологічного класу Євро – 4 [3].

Було проведено дві серії експериментів. У першій серії досліджень для вирощування культури міскантусу гігантського використовували ґрунт штучно забруднений дизельним паливом. Концентрації ДП становили 0; 0,25; 1,0; 3,0 та 5,0 г · кг<sup>-1</sup>. Змішування ґрунту з ДП здійснювали в бетономішалці. У другій серії досліджень до ґрунту додавали біочар, вміст якого становив 5 %. Для експериментальних досліджень використовували біочар фірми Amteco (Czech Republic) з мулу (human waste of Brno) [8]. До суміші ґрунт+біочар додавали такі ж концентрації ДП.

Експеримент проводили у вегетаційних посудинах у теплиці. Дно посудин заповнювали дренажним матеріалом – керамзитом, масою 1,0 кг та зверху засипали річковий пісок масою 1,0 кг. Після цього у вегетаційні посудини засипали підготовлену ґрунтову суміш масою 8,0 кг. Вологість субстрату протягом експерименту підтримували на рівні 60 %. Для запобігання пересихання ґрунту, після висаджування рослин, поверхню мульчували піском масою 1,0 кг.

У досліджах використовували міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson and Renvoize) [11]. Кореневища-ризоми трирічного віку рослин сорту Осінній зорець отримали із плантації у Загребі, Хорватія.

Під час росту рослин *M. giganteus* визначали хімічні показники ґрунту, використовуючи стандартні методики. Відбір проб ґрунту здійснювали на початку дослідження – сходи рослин (квітень), у середині вегетації міскантусу (червень) та в кінці вегетації культури (вересень). Вміст нітратного та амонійного азоту визначали методом іонселективної потенціометрії відповідно до ДСТУ 4725:2007 [2]. Рухомі форми фосфору та калію – методом Чирікова [1].

Статистична обробка даних проводилася за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel.

#### Результати досліджень та їх обговорення

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст нітратів був практично у два рази вищим у ґрунті, який збагачувався біочаром (рис. 1). Разом з тим у першій серії дослідів (без внесення біочару) було відмічено зменшення кількості нітрат аніонів за час вегетації культури міскантусу з квітня до вересня. Особливо значне використання нітратів відмічалась за період

від червня до вересня, коли їх вміст зменшувався у середньому в 3-5 разів. Найменші концентрації іонів  $\text{NO}_3^-$  були виявлені за підвищеної концентрації ДП (групи С, D і E).

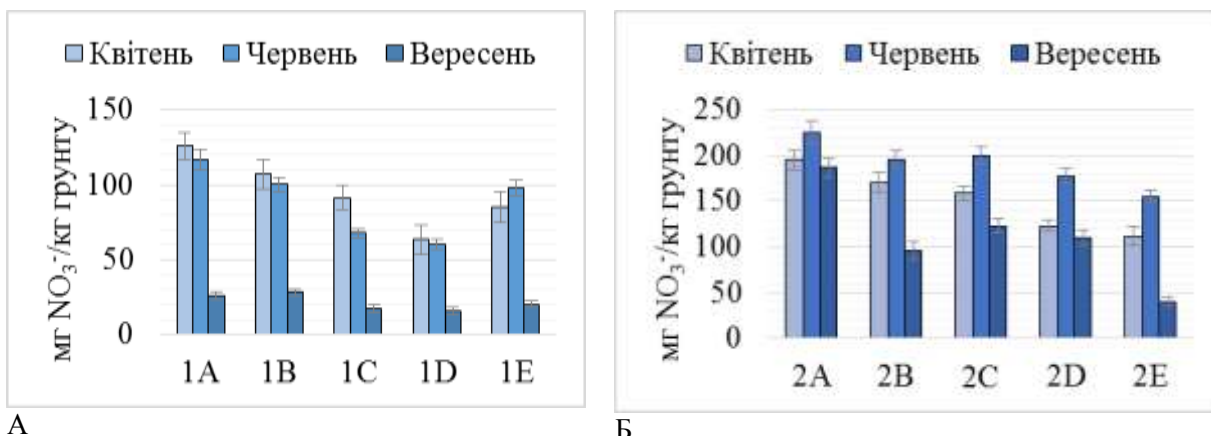


Рис. 1. Динаміка вмісту нітрат іонів у ґрунті під час вегетації міскантусу без додавання біочару (А) та з додаванням біочару (Б) ( $M \pm m$ ,  $n=3$ ); примітка: тут і далі 1А – контроль (без додавання дизельного палива), 1В – 0,25 г/кг, 1С – 1 г/кг, 1D – 3 г/кг, 1Е – 5 г/кг

Інший характер динаміки концентрації нітратів відмічалась у другій серії досліджень із додавання до ґрунту біочару (рис. 2Б). Було відмічено зростання концентрації нітратів від квітня до червня в середньому в 1,2-1,3 раза. Очевидно, збільшення вмісту нітратного азоту пов'язане з сорбційними процесами в системі «біочар – ґрунт», наявністю його у добриві, спрямованістю мікробіологічних процесів перетворення сполук нітрогену тощо. За період червень-вересень проходило зменшення кількості нітратів.

Таким чином, додавання біочару у ґрунт збагачувало його нітратним азотом, який рослини міскантусу гігантського активно асимілювали. Особливо активним поглинання нітрат аніонів було у другій серії експерименту, коли ґрунт+біочар були забруднені ДП.

Кількість амонійного азоту у ґрунті була на порядок нижчою ніж нітратного (рис. 2). Разом з тим, динаміка концентрації іонів амонію носила протилежний характер у порівнянні з нітрат іонами. Так, у першій серії досліджень спостерігалось пропорційне зростання кількості амонійного нітрогену з квітня до вересня (рис. 2А) Слід зазначити, що внесення у ґрунт ДП мало впливало на концентрацію катіонів  $\text{NH}_4^+$ .

Внесення біовугілля в ґрунт суттєво збагатило його амонійним азотом (рис. 2Б). Концентрація його зростає у порівнянні з ґрунтом без добрива у 3-4 рази, проте зміна вмісту іонів  $\text{NH}_4^+$  була такою ж – кількість катіонів амонію за період вегетації зростала. Ймовірно, відбуваються процеси амоніфікації, вивільняється нітроген органічних сполук, у тому числі нафтопродуктів, який перетворюється на амонійну форму завдяки інтенсивній діяльності мікробіоти [13].

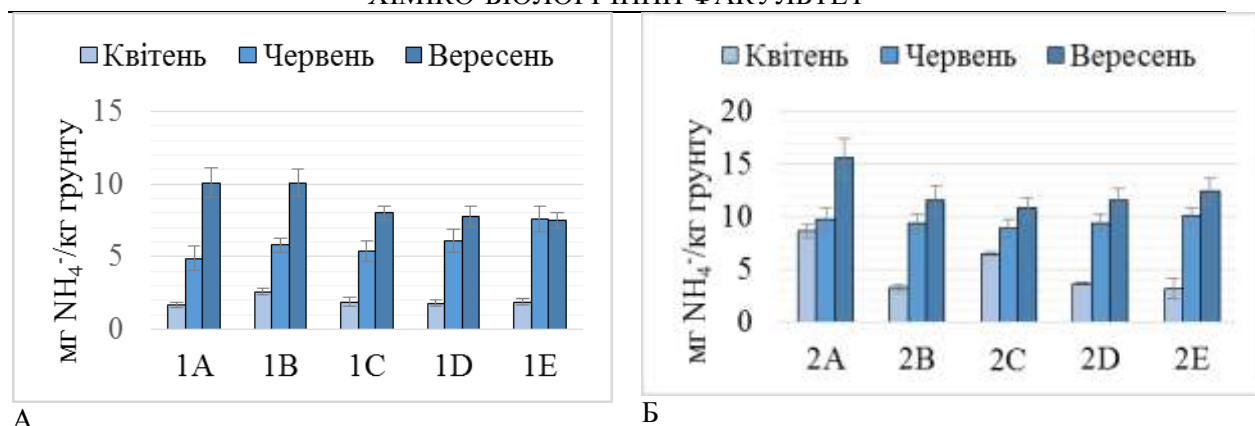


Рис. 2. Динаміка вмісту  $\text{NH}_4^+$  іонів у ґрунті під час вегетації міскантусу без додавання біочару (А) та з додаванням біочару (Б) ( $M \pm m$ ,  $n=3$ )

Отже, вміст  $\text{NH}_4^+$  в обох серіях експерименту постійно зростає до закінчення вегетації. Очевидно амонійний азот засвоюється меншою мірою рослинами *M. giganteus*, у порівнянні з нітратним.

Як показали дослідження вмісту фосфору в першій серії експерименту, його динаміка мала подібний характер із нітратним азотом. Відмічене зменшення його кількості від квітня до вересня. Так, його концентрація у ґрунті зменшувалася у групах 1А, 1В, 1С, 1D та 1Е у 4,6, 5,7, 4,8, 3,8 та 5,0 разів, відповідно (рис. 3А).

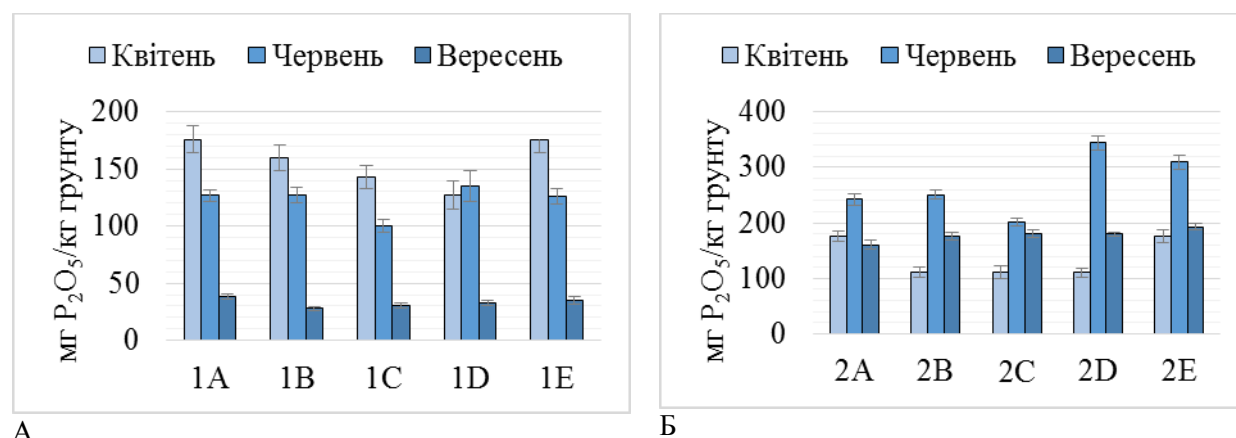


Рис. 3. Динаміка вмісту фосфору у ґрунті під час вегетації міскантусу без додавання біочару (А) та з додаванням біочару (Б) ( $M \pm m$ ,  $n=3$ )

Аналіз результатів другої серії досліджень показав, що в період від квітня до червня було відмічене зростання фосфору. За період червень – вересень рослини міскантусу гігантського активно поглинали доступні форми елементу, проте, за винятком контрольної групи (2А), концентрація фосфору у ґрунті не знизилась до показників початку експерименту, що обумовлене його надходженням з біочару.

Отже, під час вегетації рослини міскантусу гігантського активно поглинали водорозчинний фосфор, особливо, у період з червня до вересня, а внесення біочару було суттєвим джерелом цього елементу.

Як показали результати досліджень вміст калію у забрудненому ДП ґрунті від квітня до червня знижувався у групах 1А, 1В, 1С, 1D та 1Е на 15, 50, 18, 20 та 22 % відповідно (рис. 4А). Ще суттєвішим поглинання калію рослинами *M. giganteus* було за період червень – вересень, коли вміст даного елемента зменшувався у контрольній та дослідних групах на 35, 50, 66, 60 та 32 %.

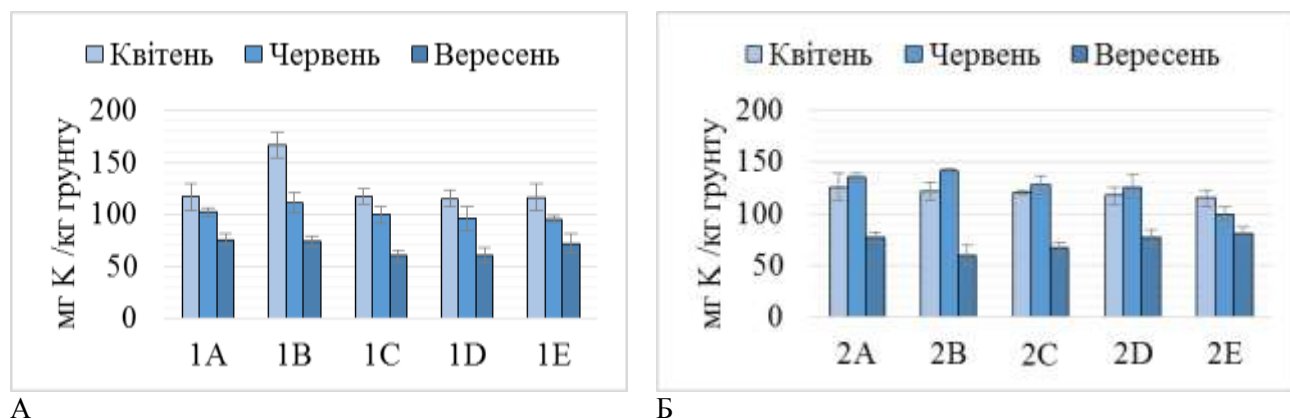


Рис. 4. Динаміка вмісту калію у ґрунті під час вегетації міскантусу без додавання біочару (А) та з додаванням біочару (Б) ( $M \pm m$ ,  $n=3$ )

У другій серії експериментів результати були відмінними, хоча вміст калію у квітні був практично однаковим і становив близько 120 мг/кг ґрунту (рис. 4Б). Під час росту міскантусу від квітня до червня встановлено незначне зростання вмісту калію, за винятком групи 2Е (вміст ДП максимальний). У кінці вегетації виявлено подальше зниження кількості калію, особливо у групах 2В та 2С, де його кількість зменшилась на 136 та 91 % щодо червня. Разом з тим, у 2Е групі поглинання елемента було мінімальним, що може бути пов'язано з пригніченням росту рослин високими концентраціями нафтових вуглеводнів [7].

Отже, до ґрунту з біочаром вносилося додаткова кількість калію, який активно асимілювався рослинами.

#### Висновки

Внесення біочару у ґрунт збагачувало його нітратним азотом, який рослини активно асимілювали в процесі вегетації. Особливо активним поглинання нітрат аніонів культурою міскантусу було у другій серії експерименту, коли ґрунт+біочар були забруднені ДП. Вміст  $\text{NH}_4^+$  в обох серіях експерименту зростав протягом вегетації, що, у першу чергу, пов'язано із меншою засвоюваністю рослинами амонійного азоту, ніж нітратного. Внесення біочару було суттєвим джерелом фосфору у ґрунті. Рослини міскантусу гігантського активно поглинали водорозчинні форми цього елемента, особливо, в період з червня до вересня. У ґрунт з біочаром вносилося додаткова кількість калію, який активно використовувався культурою *M. giganteus*. Найменше калію в обох серіях досліджень поглиналося рослинами в Е групі, де вміст дизельного палива у ґрунті був найвищим.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова. [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2002. 12 с.
2. ДСТУ 4725:2007. Якість ґрунту. Визначання активності іонів калію, амонію, нітрату і хлору потенціометричним методом. [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 22 с.
3. ДСТУ 7688:2015. Паливо дизельне Євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 16 с.
4. ДСТУ ISO 11464:2007 Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). [Чинний від 2009-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 12 с.
5. Мірошніченко М. М., Фатєєв А. І., Панасенко Є. В., Якушко В. І. Зміни родючості ґрунту при вуглеводневому забрудненні. Вісник аграрної науки. 2016. №10. С. 52–54.
6. Міскантус в Україні : монографія / Роїк М. В. та ін. Київ : ТОВ «ЦП «Компрінт», 2019. 256 с.
7. Терек О. І. Механізми адаптації рослин до нафтового забруднення. Біологічні студії. 2018. Т. 12, № 3-4. С. 141-164.
8. MA. Announcement of the Ministry of Agriculture Related Requests to the Fertilizers; Ministry of Agriculture: Prague, Czech Republic, 2000. Vol. N474/2000.
9. Mirsal I.A. Sources of soil pollution. In Soil Pollution: Origin, Monitoring & Remediation. Springer Berlin Heidelberg: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008. P. 137–173.
10. Nsanganwimana F., Pourrut B., Mench M., Douay F. Suitability of Miscanthus Species for Managing Inorganic and Organic Contaminated Land and Restoring Ecosystem Services. A Review. J. Environ. Manag. 2014. P. 123–134.
11. Roik M., Sinchenko V., Purkin V., Kvak V., Humentik M. (Eds.) Miscanthus in Ukraine; FOP Yamchinskiy Press: Kyiv, Ukraine, 2019; ISBN 978-617-7804-11-5.
12. Schnoor J. L. Phytoremediation of soil and groundwater; Technology Evaluation Report TE-02-01; Groundwater Remediation Technologies Analysis Centre (GWRAC): Pittsburgh, PA, USA, 2002. 45 p.
13. Técher D., Martinez-Chois C., Laval-Gilly P., Henry S., Bennasroune A., D’Innocenzo M., Falla J. Assessment of Miscanthus × giganteus for Rhizoremediation of Long Term PAH Contaminated Soils. Appl. Soil Ecol. 2012. Vol. 62. P. 42–49.
14. Tomczyk A., Sokolowska Z., Boguta P. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 2020. 19. P. 191-215.

*Возьна Роксолана*

*Котиняк Марія*

*Науковий керівник – доц. Барановський Віталій*

### **КАТАЛІТИЧНЕ І НЕКАТАЛІТИЧНЕ ДЕДІАЗОНІЮВАННЯ ТІАЗОЛ-2-ДІАЗОНІЄВИХ СОЛЕЙ У ПРИСУТНОСТІ НУКЛЕОФІЛІВ**

В останні роки на кафедрі хімії та методики її навчання ТНПУ ім. Володимира Гнатюка було проведено низку досліджень стосовно введення в реакції аніонарилювання різноманітних арилюючих реагентів – арилдіазонієвих солей зі специфічними функціональними групами, солей бісдіазонію на основі ароматичних діамінів, ароматичних триазенів, результатом яких стала розробка методів регіоселективної модифікації ненасичених сполук з утворенням функціоналізованих моно- та бісаніонарильованих похідних [1].

Разом з тим, синтез подібного типу сполук можна проводити використовуючи як арилюючі реагенти солі гетерил(гетарил)діазонію, зокрема на основі 2-амінотіазолу [2]. Такі арилюючі реагенти, завдяки наявності діазогрупи, можуть в умовах реакцій дедіазоніювання