

# **ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ**

## **Секція № 1**



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233167>

УДК 581.1

## ЗМІНИ ВМІСТУ ФЕРМЕНТУ РУБІСКО В ЛИСТКАХ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ РІЗНИХ СОРТІВ ЗА ДІЇ ПОСУХИ

**В.О. Власюк<sup>1</sup>, О.Ю. Бондаренко<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Київський Палац дітей та юнацтва*

вул. Івана Мазепи, 13, Київ, 01010, Україна,

<sup>2</sup> *Інститут фізіології рослин і генетики НАН України*

вул. Васильківська 31/17, Київ, 03022, Україна

**e-mail:** flamingo7pink@gmail.com

Нині на стан біосфери Землі діє значимий антропогенний фактор. У зв'язку з цим, зміни клімату, в порівнянні з характерною для звичного середовища існування того чи іншого виду, можуть істотно впливати на фотосинтез, що, в свою чергу, істотно впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Відома певна кількість біологічних маркерів, за якими визначають посухо-, морозо-, термостійкість рослин. Але всі вони проявляються за дії стресового фактора. Фотосинтез – найбільш важливий, водночас і найбільш вразливий біологічний процес. Фермент рибулозобісфосфаткарбоксилаза (РБФК/О) є основним лімітуючим внутрішнім фактором фотосинтезу [1, 2]. При дослідженні адаптації фотосинтетичного апарату рослин до недостатнього водозабезпечення, в якості важливої ключової ланки розглядається вміст ферменту РБФК/О (РуБісКО) в листках за нормальних умов вирощування, а також можливість синтезу цього ферменту за дії стресу. Для дослідження залежності вмісту цього ферменту та стійкості фотосинтетичного апарату листків рослин до посухи було обрано такі продовольчі сорти озимої м'якої пшениці “Єдність” і “Подільська Нива”, досліджуваним об'єктом було обрано фермент РуБісКО.

Метою дослідження було отримати інформацію про кількісний вміст ферменту РуБісКО в прапорцевих листках рослин пшениці різних сортів при посузі, порівняти ці показники відносно показників за нормальних умов.

РуБісКО є основним карбоксилюючим ферментом більшості автотрофів та фотосинтетичних бактерій. Виявлено, що фермент РБФК/О складає приблизно половину всього білку в листках рослин [1]. РуБісКО – високомолекулярна сполука, де молекулярна маса дорівнює 550 кДа. Складається з двох типів субодиниць: вісім великих (L, 50-55 кДа) і вісім малих (S, 12-18 кДа) [1]. РуБісКО також каталізує процес фотодихання, окислюючи молекулу РДФ з утворенням молекули ФГК і молекули фосфогліколевої кислоти. Частка малих субодиниць становить 25-29 % загального вмісту білку вищих рослин, не містить активного центру і не має каталітичної функції [2]. РуБісКО існує в двох станах: вільному і зв'язаному. Біологічна роль мембранозв'язаних форм РуБісКО полягає в регуляції співвідношення інтенсивності процесів фотосинтезу і фотодихання при різних фізіологічних станах рослин.

РуБісКО - це унікальна модель для вивчення впливу патогенних процесів на рослинну клітину. Фотосинтетичний апарат окремих рослин не пошкоджується в умовах підвищених

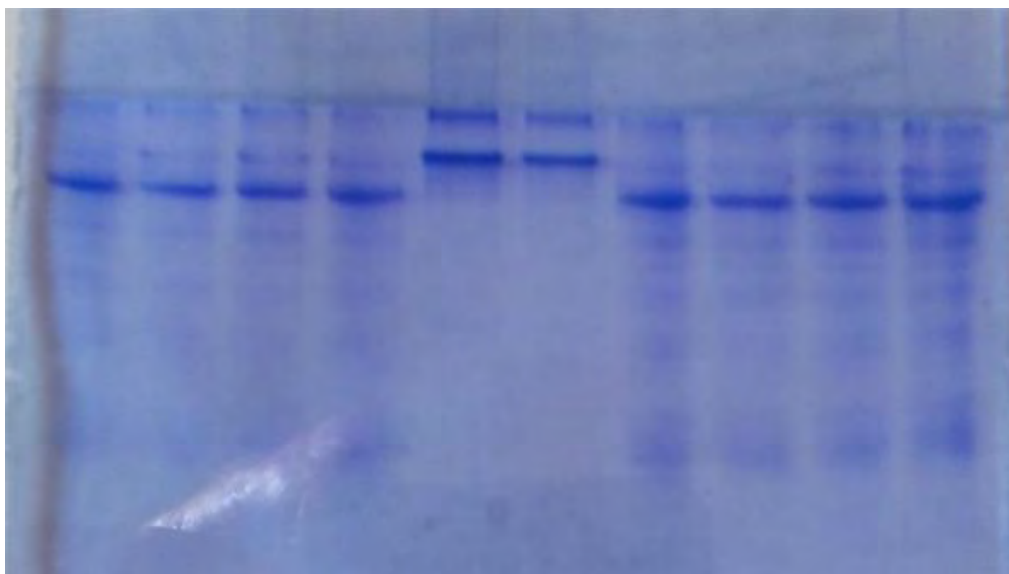
температур та зміни водозабезпечення, здатний відновлювати функціональну активність хлоропластів при відновленні водного режиму та зниженні температури до нормальної. Температурний та водний режими впливають на вміст хлорофілу, білків світло збирального комплексу, цитохрому та кількість РубісКО [3]. Одним із чинників, що впливає на активність фотосинтетичного апарату рослин, є водний дефіцит. Результати впливу посухи на фотосинтетичний апарат, загальний метаболізм і продукційний процес рослин вивчаються давно, проте до сих пір залишається багато питань. Посуха є основним обмежуючим фактором продуктивності багатьох сільськогосподарських культур [4]. Пригнічення росту рослин в умовах нестачі вологи відбувається переважно внаслідок різниці між поглинанням і втратами CO<sub>2</sub>, який залежить від співвідношення процесів фотосинтезу і дихання. Показано, що обмеження процесів дифузії CO<sub>2</sub> до центрів карбоксилування (внаслідок зменшення провідності продихів і клітин мезофілу) є головною причиною пригнічення інтенсивності фотосинтезу в умовах посухи [5].

Існує припущення, що глобальні екологічні зміни спричиняють зсув ланок лімітування продуктивності фотосинтетичного апарату, серед яких на перший план вийдуть транспорт електронів і функціонування ферменту РБФК/О. Експерименти свідчать, що зі збільшенням концентрації CO<sub>2</sub> термотолерантність C<sub>3</sub>-рослини підвищується, C<sub>4</sub>-рослини - не змінюється [6]. Однак зростання концентрації CO<sub>2</sub> при високій температурі супроводжується зменшенням інтенсивності транспорту електронів фотосинтетичного ланцюга як у C<sub>3</sub>-, так і C<sub>4</sub>-рослини.

Рослини пшениці обраних сортів вирощували в однакових контрольованих умовах, в період розвитку підтримували рівень водозабезпечення 70 % від повної вологості суміші. В період цвітіння в посудинах досліджуваних варіантів водозабезпечення знижували до 30 %. Контрольні варіанти продовжували підтримувати вміст вологи в ґрунтосуміші на рівні 70 %. На 7 день посухи відбирали прапорцеві листки, з яких отримували зразки листкової маси для дослідження вмісту ферменту РубісКО всіх варіантів. Зразки розтирали в охолоджених ступках при температурі від 0-2 °С і екстрагували білок у 4 мл охолодженого до тієї ж температури трис-НСІ (рН 7,8) буферного розчину. Очищення білкової суміші від частинок зруйнованих клітин проводили методом центрифугування при 1200g і температурі +4 °С протягом 10 хв. Аналіз вмісту білка проводили методом гель-електрофорезу в ПААГ в буферній системі Леммлі. Електрофорез проводили при 1,5 W на пластину протягом 3 годин. Гель (рис. 1) фарбували 0,3 % розчином барвника Brilliant Blue R, Sigma. Гелі аналізували за допомогою програми "Gelobrob". Вміст РБФК/О визначали за інтенсивністю забарвлення та шириною смуг великої субодиниці та розраховували за калібрувальною залежністю для БСА.

Аналіз отриманих денситограм білкових доріжок гелів показав, що в прапорцевих листках рослин озимої пшениці сортів Єдність в контрольному варіанті вміст РБФК/О складав 27,81±2,76 мг/г листка, в контрольному варіанті сорту Подільська Нива цей показник складав 22,15±0,46 мг/г. За дії 7-денної посухи цей показник зменшувався в обох сортах – 18,20±1,66 мг/г (сорт Єдність), та 20,98±0,16 мг/г (сорт Подільська Нива), але в листках озимої пшениці сорту Подільська Нива при невисокому вмісті контрольного варіанту, дія посухи зменшила вміст ферменту неістотно. При цьому він виявився вище за дослідний варіант сорту Єдність. Цей факт може свідчити про те, що рослини пшениці озимої сорту Подільська Нива більш стійкі по даному показнику.

У ході досліджень та аналізу вмісту ферменту РБФК/О в клітинах прапорцевих листків рослин озимої пшениці сортів Єдність та Подільська Нива за допомогою методів електрофоретичного розділення в ПААГ та обробки отриманих гель-пластинок було отримано такі результати:



**Рисунок. Гель, отриманий методом електрофорезу досліджуваних зразків в ПААГ. 5,6 доріжка-маркер (БСА)**

1. Показано, що вміст ферменту РуБісКО в рослинах озимої пшениці сорту Єдність за дії 7-денної посухи знижується на 35 %.
2. Вперше показано, що при таких самих умовах в рослинах озимої пшениці сорту Подільська Нива показник вмісту ферменту РуБісКО зменшується не істотно – на 5 %.
3. Аналіз змін вмісту ферменту РуБісКО в різних сортах озимої пшениці за дії посухи показав більш високу пластичність, що може свідчити й про стійкість фотосинтетичного апарату листків рослин сорту Подільська Нива.

#### **Література:**

1. Д.А. Киризий, О.О. Стасик, Г.А. Прядкина, Т.М. Шадчина. Фотосинтез: ассимиляция CO<sub>2</sub> и механизмы ее регуляции: Ф 81 [монография: в 3-х т.] том 2 . – К.: Логос, 2014. Т. 2. 480 с. – 14 с.
2. И. В. Косаковская. Стрессовые белки растений. – Киев, 2008 – 153 с. – 77 с.
3. A. Makino, H. Nakano, T. Mae. Effects of Growth Temperature on the Responses of Ribulose-1,5-Biphosphate Carboxylase, Electron Transport Components, and Sucrose Synthesis Enzymes to Leaf Nitrogen in Rice, and Their Relationships to Photosynthesis – 1994.
4. Martin A.J. Parry, P. John Andralojc, Shanbaz Khan, Peter J. Lea and Alfred J. Keys Rubisco Activity: Effects of Drought Stress. – 2002.
5. Flexas J., Bota J., Galmes J. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress – 352 с. – 127 с.
6. Моргун В.В., Киризий Д.А., Шадчина Т.М. “Физиология и биохимия культурных растений. Экофизиологические и генетические аспекты адаптации культурных растений к глобальным изменениям климата”, Київ. – 2010.



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232823>

УДК 550.42:504.75.05

## МІГРАЦІЯ ТА АКУМУЛЯЦІЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТАХ м. КИСВА

**К.В. Вовк, В.О. Стадник**

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України*

*пр. Академіка Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна*

**e-mail:** [vovkkaterina90@gmail.com](mailto:vovkkaterina90@gmail.com)

При вивченні ґрунтів важливе значення має встановлення розподілу хімічних елементів (у тому числі важких металів) по різних його складовим. Подібна інформація сприяє як з'ясуванню природи забруднення, так і розробці способів реабілітації забруднених площ.

Літературні дані свідчать, що більшість важких металів техногенного походження потрапляють в ґрунти у вигляді оксидів [1, 2]. В процесі взаємодії вони трансформуються, переходять у розчинні форми, або зв'язуються компонентами ґрунту (утворюють комплекси з гумусовими кислотами, адсорбовані комплекси на гідроксидах заліза, марганцю, карбонатних і глинистих дисперсних мінералах тощо). Важливу роль при цьому має вміст та характер органічної речовини. На це вказував В.І.Вернадський, підкреслюючи необхідність вивчення органічного світу для визначення ролі рослин по відтворенню кисню, збереженню ґрунтового шару, міграції хімічних елементів тощо [3].

Головними компонентами органічної речовини ґрунтів виступають гумінові та фульвові кислоти, які синтезуються з продуктів розкладу та окиснення органічної маси. При цьому фульвові кислоти (ФК) утворюються у кислому середовищі (хвойні ліси), в якому найактивнішими є гриби, тоді як гумінові кислоти (ГК) характерні для ґрунтів зі слабо лужною реакцією, де переважають тваринні деструктори (дїброви, бучини) [1].

Взаємодія між гуміновими речовинами та ВМ відбувається за реакціями йонного обміну, сорбції на поверхні, коагуляції і пептизації. Основними продуктами взаємодії при цьому виступають прості солі – гумати та фульвати важких металів, а також комплексні і внутрішньо комплексні (хелатні) металовмісні сполуки [4]. Міцність утримання ВМ в цих сполуках неоднакова: гумати та фульвати вивільняють катіони вже в результаті обмінної реакції. Комплекси з участю хелатоутворюючих лігандів в ґрунтових розчинах більш стійкі.

Суттєвий вплив на перерозподіл мікроелементів, в тому числі важких металів, має гранулометричний склад ґрунту. Багаті на глинисті компоненти ґрунти акумулюють ВМ, адсорбуючи їх. В ґрунтах легкого складу, при цьому кислих та бідних на гумус, процеси міграції мікроелементів посилюються.

Метою проведеного дослідження було визначення характеру розподілу хімічних елементів по гранулометричним фракціям ґрунту та вплив на нього органічної речовини.

**Об'єкти і методи дослідження.** Для дослідження були відібрані зразки ґрунтів з різним техногенним навантаженням: завод «Радикал», ВАТ «Завод по переробці відходів «Енергія», Борщагівський хім.-фарм. завод, автодорога (просп. Ак. Палладіна), Дарницька ТЕЦ, Центральний автовокзал, а також у віддаленій від промислових об'єктів та автошляхів частині

Голосіївського лісу. Проби ґрунтів відбиралися з верхньої частини гумусового горизонту (0-10 см) методом конверту згідно ДСТУ 4287:2004.

Для гранулометричного аналізу в роботі застосовувався метод Сабаніна [5].

Витяжку органічної речовини проводили, використовуючи перекис водню з невеликою добавкою  $\text{HNO}_3$  в хімічній лабораторії ІГМР НАНУ. В отриманій витяжці визначалася концентрація елементів. Одночасно визначалася кількість мікроелементів у мінеральному залишку після екстракції органічної речовини.

Визначення вмісту важких металів у підготовлених зразках проводилося методом ICP-MS аналізу. Проби розкладалися у суміші азотної та хлористої кислоти (5:1) в мікрохвильовій печі.

#### **Результати та обговорення.**

Механічний склад досліджуваних ґрунтів представлений в табл. 1. У ґрунтах всіх досліджуваних територій переважає піщана розмірна фракція. Суттєво піщаними є ґрунти заводу «Енергія», «Радикал» та Центрального автовокзалу, де вміст алевритової та глинистої фракцій не перевищує 10 %. Високі значення алевритової та глинистої складової вздовж досліджуваної автодороги (просп. Ак. Палладіна) пов'язаний скоріш за все з домішкою привозних чорноземних ґрунтів.

**Таблиця 1.**

**Механічний склад ґрунтів м. Києва, % [6]**

Об'єкт / Фракція	Піщана (>0,05 мм)	Алевритова (0,05-0,005 мм)	Глиниста (<0,005 мм)
Завод «Енергія»	94,4	4,5	1,1
Центральний автовокзал	88,15	5,7	3,62
Завод «Радикал»	87,2	8,4	2,4
Борщагівський ХФЗ	86,1	11,2	2,7
Дарницька ТЕЦ	75,1	16,8	7
Голосіївський ліс	54,3	32,58	12,22
Автодорога	40,25	40,58	18,16

Особлива роль в адсорбції важких металів відводиться глинистій фракції [1, 7, 8]. Це пояснюється, по-перше, високою адсорбційною властивістю тонкодисперсних частинок, по-друге, мінералогічними особливостями глинистої фракції. Вона містить у своєму складі глинисті мінерали та тонкодисперсну органічну речовину, які виступають природними сорбентами для важких металів. Трьохшарові мінерали, з решіткою, що розширюється (монтморилоніт, гідролюди), утримують йони важких металів в міжшарових проміжках і досить міцно на сколах кристалів мінералу. Елементи з радіусом йонів 0.052-0.093 нм (наприклад, Mn, Zn, Cu, Co, Ni і Cr) можуть займати позиції Al, Fe і Mg в октаедрах глинистих мінералів і фіксуватися в алюмосилікатах. Однак існують дані, що не всі важкі метали можуть поглинатися глинистими мінералами. Наприклад, свинець та кадмій мають великі йони, тому поглинання їх глинами не ефективно [7].

Також здатність тонко дисперсних мінералів поглинати мікроелементи залежить від мінералогічного складу. Наприклад, ємність катіонного обміну для деяких глинистих

мінералів наступна (на 100 г): каолінит - 3-15 мг-екв; іліт і хлорит - 10-40 мг-екв; монтморилоніт – 80-150 мг-екв; вермикуліт - 100-150 мг-екв [7].

Збільшення концентрацій мікроелементів відбувається головним чином у глинистій розмірній фракції ґрунтів (табл. 2), особливо інтенсивне для цинку та міді.

Вивчення мінерального складу глинистої фракції за допомогою рентгенівського фазового аналізу показало, що основними глинистими мінералами досліджуваних ґрунтів є гідролуїди типу іліту, набухаючі смектити (монтморилоніт), каолінит. У всіх пробах до глинистої фракції за розмірністю входить тонкодисперсний кварц та польові шпати. Більшість проб (окрім ґрунтів заводу «Енергія» та Центрального автовокзалу) містять також кальцит.

**Таблиця 2.**

**Вміст важких металів у фракціях ґрунтів Київського мегаполісу**

Об'єкт	Фракції	Mn	Ni	V	Cr	Cu	Pb	Zn
Завод «Енергія»	піщана	300	8	10	10	50	100	
	алевритова	500	10	20	30	100	300	80
	глиниста	500	30	20	20	300	40	4000
Центральний автовокзал	піщана	350	30	10	40	60	30	80
	алевритова	450	40	30	60	150	80	100
	глиниста	400	40	40	40	100	50	600
Завод «Радикал»	піщана	300	10	10	40	50	30	80
	алевритова	400	10	30	50	100	60	80
	глиниста	450	50	50	80	100	40	400
Борщагівський ХФЗ	піщана	450	8	10	30	60	50	-
	алевритова	500	10	10	30	100	60	-
	глиниста	500	10	10	20	100	80	300
Дарницька ТЕЦ	піщана	300	8	20	10	50	40	5000
	алевритова	500	50	30	50	300	60	6000
	глиниста	500	60	50	50	300	100	8000
Голосіївський ліс	піщана	300	6	20	20	40	20	-
	алевритова	400	50	40	40	80	30	100
	глиниста	600	20	10	20	60	80	200
Автошляхи	піщана	300	8	30	10	40	30	
	алевритова	500	50	60	50	80	40	80
	глиниста	500	80	60	80	100	40	200

Алевритова частина ґрунтів також концентрує важкі метали у порівнянні з ґрунтом в цілому, але в меншій мірі, ніж глиниста складова. Виключенням є проби з Центрального автовокзалу та Голосіївського лісу, в яких Ni, Cu, Pb, Cr концентруються саме в цій розмірності. Також, у більшості проб накопичення свинцю відбувається у алевритовій фракції. Знаходження важких металів у даній фракції пояснюється присутністю у цій розмірності більшості акцесорних мінералів і продуктів хімічного та біологічного вивітрювання. Наприклад, в роботі [9] відмічено, що підвищений вміст кобальту та деяких інших мікроелементів в пилуватій фракції зв'язаний з наявністю мінералів полуторних оксидів.



У складі піщаної розмірності частини ґрунтів вміст важких металів залежить від наявності мікрровключень на зернах кварцу та польових шпатів, що складають дану фракцію.

На концентрацію мікроелементів у всіх розмірних фракціях ґрунту суттєвий вплив має також наявність частинок антропогенного походження: уламків будівельного матеріалу, пластмас, часточок металевих конструкцій, пилових викидів об'єктів промисловості та енергетики та ін.

Серед властивостей ґрунту, що в значній мірі впливають на міграцію та акумуляцію мікроелементів, одними з найважливіших вважаються фізико-хімічні властивості ґрунтово-поглинального комплексу (ГПК). Вони визначають характер і направленість сорбційних процесів, розчинність мікроелементів та їх комплексоутворення. Ґрунти м. Києва характеризуються низьким вмістом органічної речовини ( $C_{\text{орг}} = 0,86-3,65\%$ ), що збільшується в межах лісопаркових зон (до  $5,13\%$  у лісопарку «Пуца-Водиця»). Реакція середовища ґрунтів змінюється від кислої (завод «Радикал», Борщагівський хім.-фарм. завод) до нейтральної (Голосіївський парк, автомагістралі). Ємність катіонного обміну для ґрунтів, на яких розташовані техногенні об'єкти, коливається в межах  $10,20-13,26$  мг-екв/100 г ґрунту; лісопаркової зони –  $16,95-31,4$  мг-екв/100 г з переважанням обмінного кальцію (табл. 3). Вивчення сорбційної ємності ґрунтово-поглинального комплексу та буферності ґрунтів показало, що буферні властивості ґрунтів зменшуються вдвічі на техногенно-забруднених територіях порівняно з фоновими значеннями [10].

**Таблиця 3.**

**Фізико-хімічні властивості ґрунтів Київської агломерації**

Досліджувані об'єкти	$C_{\text{орг}}, \%$	$pH_{\text{в}}$	Обмінні катіони, мг-екв/100 г					
			$H^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	$СЄ$
Автомагістралі	2,52	6,9	6,20	8,20	1,90	0,21	0,40	16,91
Автостанції	1,59	6,6	0,89	9,86	0,72	0,59	0,08	12,14
ТЕЦ	1,69	6,5	2,86	9,60	0,55	0,16	0,06	13,23
З-д «Енергія»	0,86	5,6	3,03	6,19	1,46	0,17	0,20	11,05
З-д «Радикал»	3,65	5,1	5,4	9,10	1,10	0,16	0,42	16,18
Борщагівський ХФЗ	1,38	5,2	0,47	7,64	1,01	0,35	0,12	9,59
Завод Буревісник	1,05	-	0,66	7,00	1,09	0,52	0,1	9,37
Пуца-Водицький лісопарк	5,13	6,8	8,51	16,22	0,31	0,3	0,1	25,44
Парк Партизанської слави	3,61	6,1	7,99	10,50	0,31	0,23	0,07	19,1
Голосіївський ліс	2,7	7,6	1,42	19,93	0,86	0,58	0,08	22,87

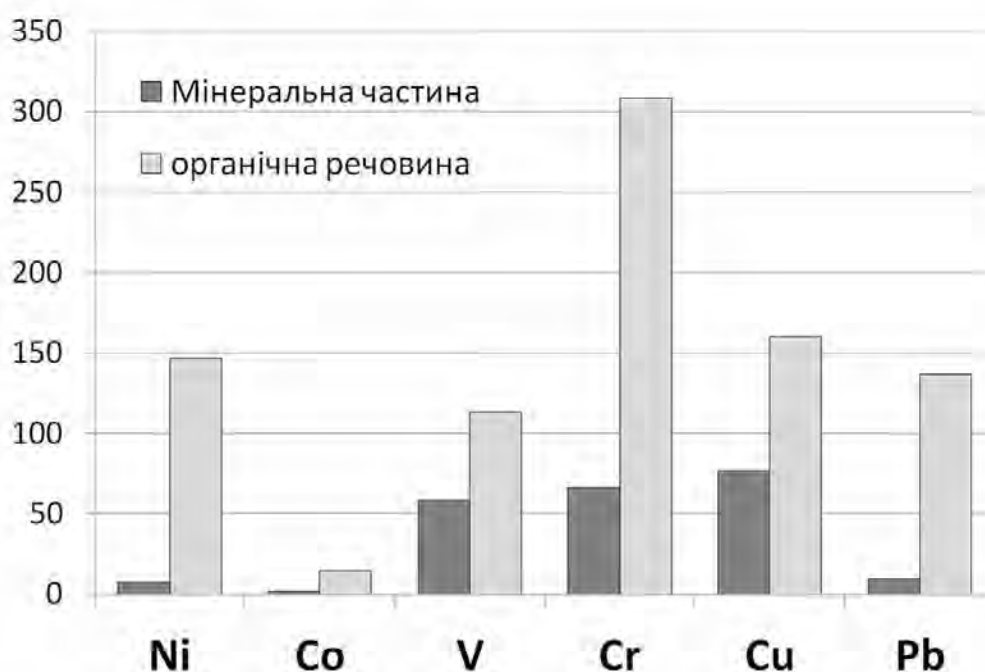
Примітка:  $СЄ$  – сорбційна ємність (сума обмінних катіонів),  $pH_{\text{в}}$  – кислотно-лужна характеристика водної витяжки ґрунту,  $C_{\text{орг}}$  – вміст органічного вуглецю.

Роль органічної речовини у сорбції важких металів показує розподіл хімічних елементів між органічною та мінеральною складовими ґрунту.



Результати досліджень показують переважаючий вміст важких металів у виділеній органічній складовій ґрунту (рис.). Порівняно із залишковою мінеральною частиною ґрунту його органічна складова вміщує у 5-10 разів більше Mn, Ni, Cr, Pb, Zn, P; у 2 рази більше Co, V, Cu. Ці елементи є досить рухомими при гіпергенних умовах. Вивільняючись з «материнських» мінералів, вони включаються у міграційні потоки та, зокрема, сорбуються розчинною та нерозчинною органічною речовиною.

Приблизно однаково розподіляється між виділеними складовими ґрунту олово, барій, літій. На мінеральну частину (фільтрат) припадає більше Ti, Zr, Nb, які в материнській породі входять зазвичай до складу важкорозчинних акцесорних мінералів, що майже не змінюються при процесах вивітрювання та ґрунтоутворення і присутні переважно в алевритовій фракції ґрунтів.



**Рисунок. Вміст важких металів (мг/кг) в органічній та мінеральній частинах ґрунту**

Органічна речовина твердої фази ґрунтів і ґрунтового розчину може містити у своєму складі метали в наступних формах: 1 – у складі рослинного опаду, залишків тварин і детриту у формі міцних комплексних металоорганічних сполук, найчастіше у вигляді хелатів з порфіриновими кільцями, протейногенними амінокислотами, поліфенолами; 2 – у формі гетерополярних солей з гумусовими кислотами; 3 – у формі комплексно-гетерополярних солей з гумусовими кислотами, де важкі метали входять в аніонну частину молекули комплексу; 4 – як адсорбенти гумусових кислот (наприклад, Mn і Fe) [11].

Форми зв'язку розчинних органічних речовин з ВМ можуть бути різноманітні, однак переважно реакції йдуть шляхом утворення солей гумусових кислот з катіонами важких металів та комплексоутворення хелатного типу.

**Висновки.** Суттєвий вплив на перерозподіл мікроелементів, в тому числі важких металів, має гранулометричний склад ґрунту. В умовах сильного антропогенного навантаження від різних промислових об'єктів в урбанізованих ґрунтах показано збільшення концентрацій

мікроелементів, головним чином, у глинистій розмірній фракції ґрунтів, особливо інтенсивне для цинку та міді. Ця особливість пояснюється здебільшого високою адсорбційною властивістю тонкодисперсних частинок та наявністю глинисті мінералів і тонкодисперсної органічної речовини, які, в свою чергу, виступають природними сорбентами для мікроелементів.

В умовах м. Києва експериментально встановлено, що для урбанізованих ґрунтів спостерігається значне зменшення (в 2 рази і більше) кількості обмінних катіонів. Це, в свою чергу, знижує можливість утворення фіксованих форм металів, зменшує буферність і захисні властивості ґрунтів. Ґрунти лісопаркових зон Києва мають вищі захисні властивості порівняно з техногенними об'єктами, що пояснюється їх меншою техногенною деградованістю.

### **Література:**

1. Ладонин Д. В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения / Д. В. Ладонин // Почвоведение. - 2002. - №6. - С.682-692.
2. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. - М.: Академический проект; Гаудеамус, 2007. - 237 с.
3. Вернадский В.И. О количественном учете химического атомного состава биосферы / В. И. Вернадский // Избранные сочинения. - М., Изд-во АН СССР.1954, - Т.1 - 696с.
4. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. - 151 с.
5. Фролов В. Т. Литология: учеб. пособие / В. Т. Фролов. - М.: Изд-во МГУ, 1993. - Кн. 2. - 432 с.
6. Самчук А.І., Кураєва І.В., Гродзинська Г.А., Вовк К.В., Войтюк Ю.Ю., Злобіна К.С., Стадник В.О., Огар Т.В., Небесний В.Б., Гончар Г.Ю. Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу / за редакцією А.І. Самчука, І.В. Кураєвої – К.:Наш формат, 2019. – 164 с.
7. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. - Л.: Агропромиздат, 1987. - 142 с.
8. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. London; New York: CRC, Boca Raton, 2001. 413 p.
9. Белюченко И. С. Вопросы защиты почв в системе агроландшафта / И. С. Белюченко // Научный журнал КубГАУ. - 2014. - 95(1). – С. 1-32.
10. Вовк К.В. Геохімія мікроелементів в об'єктах довкілля Київської агломерації. Автореф. дис...канд.геол.наук: 04.00.02. Київ, 2018.
11. Переломов Л.В., Чилачава К.Б., Швыкин А.Ю., Атрощенко Ю.М. Влияние органических веществ гумуса на поглощение тяжелых металлов глинистыми минералами / Л. В.Переломов, К. Б. Чилачава, А. Ю. Швыкин, Ю. М. Атрощенко // Агрехимия. - 2017. - № 2. - С. 99-107.



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233530>

## **PERSPECTIVES AND OPPORTUNITIES OF USING DIFFERENT REMOTE SENSING PRODUCTS IN MONITORING OF ECOLOGICAL INDICATORS IN WETLAND AND RIPARIAN ECOSYSTEMS**

**I. Dronova**

*Department of Environmental Science, Policy & Management,  
University of California Berkeley  
130 Mulford Hall #3114, Berkeley, CA 94720-3114, USA  
e-mail: [idronova@berkeley.edu](mailto:idronova@berkeley.edu)*

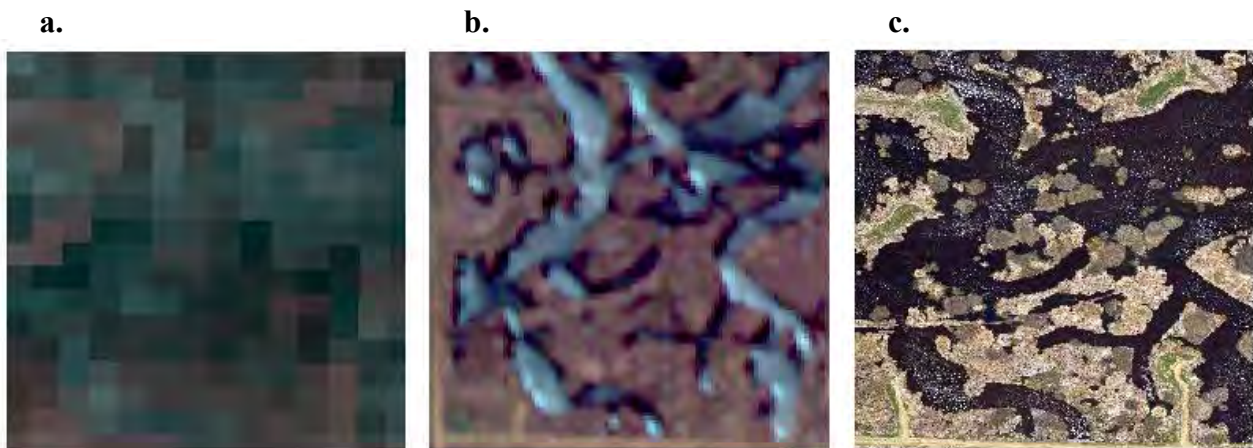
Applications of remote sensing data from satellite, aerial and unoccupied instrument platforms have been rapidly growing in different areas of ecological monitoring. Coverage of large spatial extents and possibility of repeated observations make this technology cost-effective compared to extensive field surveys. Opening access to some of the global satellite archives (such as Landsat [1]) as well as advances in open-access image processing platforms, such as Google Earth Engine [2] have made these opportunities more accessible and computationally efficient for a wide range of users. This potential is of special interest to ecosystems with high biodiversity potential but difficult field access and sensitive, heterogeneous environments, such as wetlands and riparian systems, which have been globally threatened and disappearing at alarming pace [3]. However, wetland monitoring efforts have been somewhat slow to adopt remote sensing-based monitoring and incorporate these novel possibilities on a regular basis [4,5]. The purpose of this paper is to review the key remaining challenges presenting major “bottlenecks” in wetland remote sensing analyses and to discuss how they can be addressed using some of the recent methodological and technological innovations to support monitoring of these complex environments.

Remote sensing applications in wetlands and riparian systems to date have enabled a wide suite of ecological indicators [4,6,7], some of which are based on the “raw” spectral reflectance values as fingerprint of landscape properties and vegetation status, while others are derived by mapping, i.e., computer-based classification of wetland surfaces into landscape cover categories or vegetation types of interest. The latter efforts are of particular interest to this review because they create unique possibilities to not only delineate wetland ecological zones and habitats, but also measure their size, shape, connectivity and various other metrics relevant to ecological modeling, management and planning [5]. However, unique ecological properties of wetland and riparian systems as land-water ecotones pose several challenges to their mapping from remote sensing data, limiting the overall use of this cost-effective technology in wetland planning, management and conservation. The structure of wetland landscape surfaces is often heterogeneous due to vegetation zonation and presence of fine-scale microtopographic and hydrological gradients. Sparseness of vegetation cover and hydrological attenuation due to flooding can make spectral reflectance less representative of the target landscape categories and reduce their mapping accuracies. Finally, wetlands with periodic or seasonal flooding can change dramatically in their landscape properties over the course of a year and exhibit transitional states over vast portions of their extent. This makes it hard to delineate wetland cover types using

‘traditional’, static definitions and may call for alternative classification schemes, such as dynamic categories representing characteristic change regimes rather than static classes [8].

Historically, these challenges have been also aggravated by limited access to high spatial resolution imagery, while more accessible medium- to coarser-resolution products (such as 30m Landsat data) cannot adequately represent wetland cover type boundaries and patch geometry (Fig.1). Not surprisingly, mapping studies in wetlands have reported fairly low accuracy both for the overall outcome and individual cover types, or “classes” (often falling below the conventional standard of 85% [9]). These mapping challenges translate into operational barriers and limited ability to understand and interpret wetland change as well as to inform management and planning action based on the spatial information provided by the classification results.

Another suite of important difficulties arises for validation of mapping outcomes in wetlands and computing mapping accuracy. Traditional approaches to mapping accuracy assessment ideally require sufficiently large and representative “test” samples of targeted cover type classes, and such samples should be different from “training” samples used by “supervised” classification algorithms [9]. However, wetland areas can be extremely difficult to access and survey in the field due to impenetrable site conditions, dense vegetation, and the need to minimize human disturbance of sensitive species and habitats. This may effectively restrict both the spatial scope of field surveys and representativeness of the field observations for quantitative validation of mapping results. Furthermore, smaller size of test sample sets increase the cost of test sample misclassification for the overall accuracy metrics [9].



**Figure 1. The effect of image spatial resolution on representation of a patchy wetland surface: a) Landsat satellite image (30m), b) RapidEye satellite image (5m), c) aerial photo (0.15m).**

Many of these limitations have been somewhat alleviated by advances in higher spatial resolution image products (Fig.1), where smaller dimensions of image pixels provide a closer match to ground entities and their boundaries, such as complex wetland patches. Historically, high-resolution products have been available largely as on-demand aerial photography or commercial satellite imagery with high cost and inconsistent revisiting, making them unfeasible for repeated monitoring. More recently, new opportunities have emerged for higher-resolution satellite-based datasets with high (~3-5 day) revisit frequency, such as open-access Sentinel-2 (part of the Copernicus program by the European Satellite Agency with some products as low as 10m in spatial resolution) and commercial PlanetLabs (based in the USA, products  $\leq 5$ m spatial resolution). Finally, unoccupied aerial vehicles (UAVs, also broadly referred to as drones) have revolutionized the local-scale imaging applications [10], providing

unprecedented levels of spatial detail and customization flexibility for wetland monitoring at the site level [11]. In addition to novel capacity for detailed wetland mapping, high level of visual recognition in UAV data provides an alternative form of ground truth to increase sampling coverage of wetland sites without expanding the field surveys on the ground [11].

However, high spatial resolution brings its own suite of challenges to the mapping workflow, which become especially obvious in the heterogeneous setting of wetland and riparian landscapes. With finer scale of pixels as “minimum mapping units” (particularly at sub-meter resolution of UAV images), their dimensions become much smaller than the landscape entities they are supposed to represent (e.g., water bodies, vegetation patches, and similar). As such, they become much more likely to capture local variability in color, illumination, shadows and spatial detail that may not be of primary interest to mapping and, in fact, might increase the risk of land cover type confusions by mapping algorithms [7] and the infamous “salt and pepper” speckle in image classification outputs. Resolving this problem may be especially difficult when data are limited in spectral information; for example, a number of commercial high-resolution satellite platforms (such as IKONOS, QuickBird, or Pleiades) collect the data largely in broadband visible and near-infrared electromagnetic regions. Similarly, UAV instruments that are more affordable and practical for hazardous wetland setting often use cameras operating in red, green and blue (RGB) regions that have limited sensitivity to nuances among wetland vegetation types and heterogeneous surfaces [11]. As a result, limited spectral richness may present barriers for distinguishing highly nuanced wetland classes such as vegetation community types, particularly with traditional mapping algorithms relying on spectral means and variances of class samples for their discrimination from the images [12].

Overcoming these uncertainties requires updating image classification workflows in a way that take a fuller advantage of the progress in both remote sensing data and image processing tools. Given the wetland-specific mapping challenges discussed above, three areas of intervention are especially important: 1) **informing the choice of input images** to facilitate class discrimination even with spectrally limited products; 2) **modifying minimum mapping units** to increase signal-to-noise ratio and reduce the salt-and-pepper effect; and 3) **revisiting the choice of classification (mapping) algorithms** to enhance class recognition. Most importantly, these measures should be considered together as complementary opportunities that can be integrated in the same workflow.

**The choice of input images** is critical for classification success because if wetland cover types or vegetation categories are too spectrally similar, they can be hard to distinguish even with the most sophisticated mapping algorithms. However, spectral similarity may change during the course of the year based on vegetation phenology and wetland hydrological cycles. Thus, one of the key ways to improve class discrimination from spectrally limited data is by strategically choosing image dates maximizing contrasts among different classes (Fig.2). This task can be greatly facilitated by using open-access satellite time series computing cloud-based processing tools such as Google Earth Engine [2]. Using satellite time series to determine suitable time windows can be also helpful in planning UAV flights to reduce their logistical burden and optimize the number of flights efficiently [11,12].



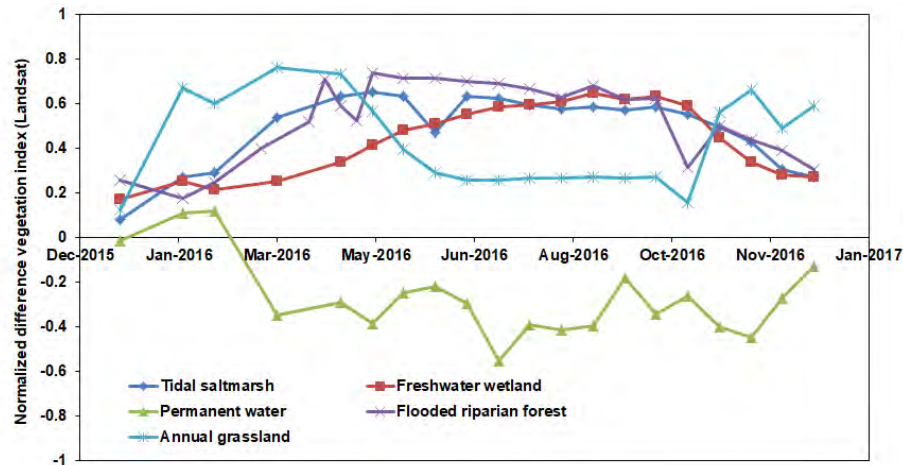


Figure 2. Example of seasonal variation in the indicator of vegetation greenness, Normalized Difference Vegetation Index, computed from Landsat data for pixels representing different landscape types in California, USA’s San Francisco Bay-Delta estuary.

The choice of minimum mapping units is another important consideration in wetland mapping, where traditionally used pixels have been criticized for insufficient representation of class contrasts in heterogeneous wetland setting and excessive local spectral variability reducing the quality of mapping [7,8]. An extremely promising methodology to overcome these challenges is the object-based image analysis (OBIA) which instead of pixels uses small multi-pixel image regions, or “objects”, as minimum mapping units [7,14]. In OBIA workflows, objects are first delineated from the raw imagery using some of the many available image segmentation methodologies, and then classified into target landscape categories using the same types of algorithms as in pixel-based analyses – from stepwise threshold-based workflows to supervised algorithms utilizing training samples of classes for classification decisions. Two major advantages of OBIA in wetland setting are: 1) the possibility to reduce spectral noise by averaging spectral information at the object (image region) level (Fig.3), and 2) the opportunity to include not only spectral values, but also object shape, internal spectral variability (texture) and contextual attributes (e.g., spatial relationships with other objects or classes) as a basis for distinguishing landscape classes.

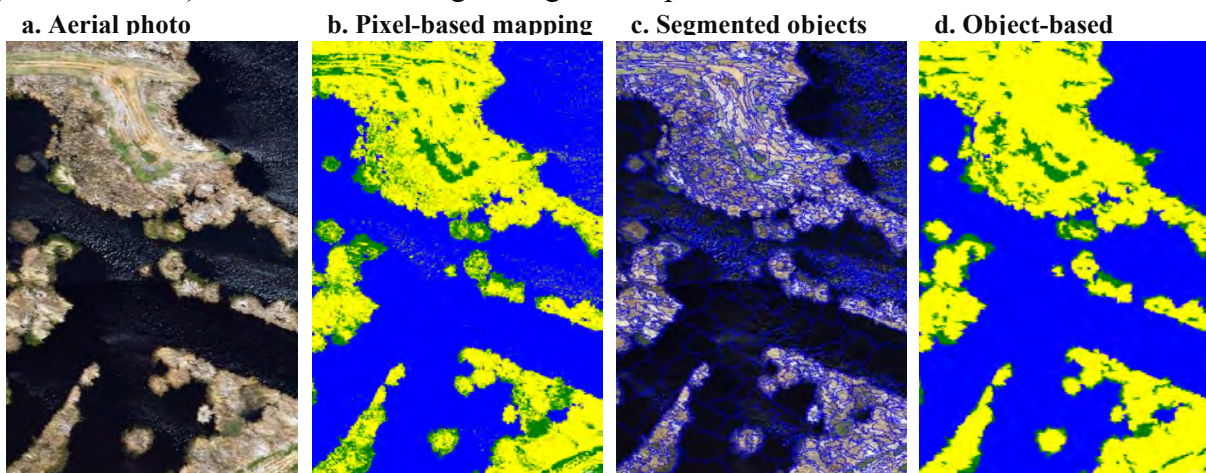


Figure 3. Example of a pixel-based and object-based wetland mapping from high-resolution imagery. Colors in b) and d) represent water (blue), green vegetation (green) and senescent vegetation/bare soil (yellow).

However, although OBIA has been applied in wetlands for almost two decades [7], its use still shows remaining challenges that hinder more widespread applications. Historically, a major barrier has been limited accessibility and high cost of the proprietary OBIA software, which have become easier with the development of image segmentation tools in other popular remote sensing and geospatial software, both commercial packages such as ArcGIS (Esri Inc.) and open-access platforms including QGIS, spatial toolboxes in R Studios and Python-based tools, and more recently Google Earth Engine [15]. Nevertheless, more fundamental practical challenges result from the need to choose and parameterize an appropriate segmentation algorithm, which can be much harder in heterogeneous wetland setting than, e.g., in human-dominated landscapes with distinct object typologies (such as buildings, trees, or land parcels). However, performing segmentation becomes much easier once this step no longer pursues a full capture of landscape entities with object units but rather aims to generate smaller, “primitive” objects that average local noise and provide relevant mapping units for subsequent classification [7,8], where full class boundaries are recovered by merging of classified objects.

This possibility leads to the final key intervention – **choosing the best-performing image classification algorithms** capable of accurate cover type recognition despite high spectral heterogeneity of wetlands and low spectral richness of some data. These issues can be handled by the novel machine-learning classification algorithms which often enhance class recognition capacity, while relaxing some of the limiting assumptions of traditional likelihood-based methods [7,8,16]. Although various algorithm families utilize different principles (e.g., artificial neural networks, decision trees, support vector machines), a common aspect among them is the ability to iteratively “learn” how to distinguish classes based on properties of the provided training examples. Such learning is typically accomplished by the repeated, automated adjustment of the algorithm parameters with the goal to minimize the error between predicted and actual class identities. The use of machine-learning algorithms has been greatly facilitated by their inclusion in geospatial software packages as well open-access computational toolkits (e.g., R, Python, Weka, etc.). Wetland studies comparing such methods to traditional classifiers report substantially higher accuracies, often exceeding 90%, especially when combined with OBIA [7,8].

Notably, however, these successes have not been universal, and no clear consensus has been yet established on which methods deliver most superior results in wetlands. The reasons behind such non-uniform performance are also rarely discussed, sometimes attributing this to the “black box” nature and complexity by design. This gap clearly highlights the need for more research to determine how specifically these methods should be chosen and applied, and what steps can ensure greater confidence in conclusions about their performance in a given wetland mapping task. In particular, two important under-discussed aspects of algorithm use call for more attention: 1) *parameterization* of methods, and 2) *cross-validation*, or some other form of *intermediate performance assessment*. Parameterization refers to selection of method parameters that may affect its ability to distinguish landscape classes from training samples. Such parameters are method-specific and typically require some preliminary sensitivity analysis to optimize their values for a given mapping problem. For example, the Random Forest algorithm needs the initial number of decision trees to develop from training data and subsequently average; support vector machines require decisions about the acceptable margin of error, penalty for misclassification and mathematical shape of the decision boundary, among other factors. Simply guessing such parameters or using software defaults is not sufficient and requires a formal sensitivity analysis of their combined effects. Intermediate assessment of accuracy performance provides an initial sense of algorithm performance and, in addition to guiding parameterization, can also elucidate the quality of training information and potential needs for additional samples. In wetland remote sensing applications, these measures are still less common, and more research is needed on how to guide such steps and make them easier to implement in practical mapping and monitoring.

In summary, advances in instruments, image products and computation tools create novel opportunities to enhance multiple aspects of wetland and riparian ecosystem mapping and facilitate assessments of their landscape indicators. Such enhancements can be applied collectively; for example,



multi-date images can be used as inputs to OBIA workflows where objects generated by the segmentation of such multi-date imagery are classified with machine-learning algorithms, and automated workflows can be applied with less intensive adjustments to other points in time or space. Importantly, this potential as well as progress in high-resolution customizable UAV imaging cannot completely replace the value of field surveys and ground truthing; however, they can help reduce the scope of the required field surveys and make them more strategic. Finally, although these opportunities are especially relevant to limited-access wetland environments, they are not limited to those and could be tested and further developed in future research for a variety of other ecosystems and monitoring objectives.

**References:**

1. Wulder, M.A.; Masek, J.G.; Cohen, W.B.; Loveland, T.R.; Woodcock, C.E. Opening the Archive: How Free Data Has Enabled the Science and Monitoring Promise of Landsat. *Remote Sens. Environ.* 2012, *122*, 2–10, doi:10.1016/j.rse.2012.01.010.
2. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sens. Environ.* 2017, *202*, 18–27, doi:10.1016/j.rse.2017.06.031.
3. Davidson, N.C. How Much Wetland Has the World Lost? Long-Term and Recent Trends in Global Wetland Area. *Mar. Freshw. Res.* 2014, *65*, 934–941, doi:10.1071/MF14173.
4. Taddeo, S.; Dronova, I. Indicators of Vegetation Development in Restored Wetlands. *Ecol. Indic.* 2018, *94*, 454–467, doi:10.1016/j.ecolind.2018.07.010.
5. Taddeo, S.; Dronova, I. Geospatial Tools for the Large-Scale Monitoring of Wetlands in the San Francisco Estuary: Opportunities and Challenges. *San Franc. Estuary Watershed Sci.* 2019, *17*, doi:10.15447/sfew.2019v17iss2art2.
6. Ozesmi, S.L.; Bauer, M.E. Satellite Remote Sensing of Wetlands. *Wetl. Ecol. Manag.* 2002, *10*, 381–402, doi:10.1023/A:1020908432489.
7. Dronova, I. Object-Based Image Analysis in Wetland Research: A Review. *Remote Sens.* 2015, *7*, 6380–6413, doi:10.3390/rs70506380.
8. Dronova, I.; Gong, P.; Wang, L.; Zhong, L. Mapping Dynamic Cover Types in a Large Seasonally Flooded Wetland Using Extended Principal Component Analysis and Object-Based Classification. *Remote Sens. Environ.* 2015, *158*, 193–206.
9. Congalton, R.; Green, K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*; 2nd ed.; RC/Taylor & Francis, Boca Raton, FL, 2009;
10. Anderson, K.; Gaston, K.J. Lightweight Unmanned Aerial Vehicles Will Revolutionize Spatial Ecology. *Front. Ecol. Environ.* 2013, *11*, 138–146, doi:10.1890/120150.
11. Jeziorska, J. UAS for Wetland Mapping and Hydrological Modeling. *Remote Sens.* 2019, *11*, 1997, doi:10.3390/rs11171997.
12. Michez, A.; Piégay, H.; Jonathan, L.; Claessens, H.; Lejeune, P. Mapping of Riparian Invasive Species with Supervised Classification of Unmanned Aerial System (UAS) Imagery. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 2016, *44*, 88–94, doi:10.1016/j.jag.2015.06.014.
13. Bergen, K.M.; Dronova, I. Observing Succession on Aspen-Dominated Landscapes Using a Remote Sensing-Ecosystem Approach. *Landsc. Ecol.* 2007, *22*, 1395–1410, doi:10.1007/s10980-007-9119-1.
14. Blaschke, T. Object Based Image Analysis for Remote Sensing. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2010, *65*, 2–16, doi:10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.
15. Tassi, A.; Vizzari, M. Object-Oriented LULC Classification in Google Earth Engine Combining SNIC, GLCM, and Machine Learning Algorithms. *Remote Sens.* 2020, *12*, 3776, doi:10.3390/rs12223776.
16. Witten, I.H.; Frank, E.; Hall, M.A. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 3rd Edition. In *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 3rd Edition*; 2011; pp. 1–629 ISBN 978-0-08-089036-4.



## ПОЧВЕННЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ КАК БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

**А.П. Жилко**

*Гродненский Государственный Университет им. Янки Купалы*

ул. Ожешко, 22, Гродно, 230023, Республика Беларусь

**e-mail:** zhilkoana@mail.ru

Работа посвящена изучению видового разнообразия почвенных беспозвоночных с целью определения степени урбанизированности территории методом биоиндикации.

Каждый вид живых организмов приспособлен к своим условиям обитания. Определенные требования к условиям среды предъявляют также более крупные таксоны: роды, семейства. Поэтому зная состав сообщества в определённой точке, можно предсказать особенности условий обитания в ней и наоборот по особенностям факторов среды можно предвидеть состав сообщества. Применение биологических способов оценки качества среды подразумевает, выделение организмов, чутко реагирующих на тот или иной тип экологического воздействия. Такие организмы называют биоиндикаторами. Биоиндикаторы (от греч. *bios* – жизнь и лат. *indico* – указываю,) – это организмы или сообщества организмов, количество или жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки.

В биоиндикации почв чаще оценивают структуру населения, биоразнообразие и состояние популяций крупных почвенных беспозвоночных, для которых средой обитания является почва как целое [2]. Сообщества почвенных беспозвоночных реагируют на антропогенные воздействия более отчетливо и раньше, чем это можно обнаружить на основе химических анализов почвы. Это происходит потому, что подавляющая доля поступающих в окружающую среду экотоксикантов удерживается верхними слоями почвы, из которой они вовлекаются в биогенный круговорот. Принято выделять два типа биоиндикаторов: «индикаторы аккумуляции» или индикаторы химического состава среды и «индикаторы активного мониторинга» или организмы для наблюдения за текущим состоянием окружающей среды. Не все группы почвенных беспозвоночных равнозначны как индикаторы. Считается, что виды с широкой экологической амплитудой (эврибионты) мало пригодны для индикационных целей, в то время как стенобионты служат хорошими индикаторами определенных условий среды. Почва представляет очень сложную, многокомпонентную среду. Это трехфазная и полидисперсная система, в которой промежутки между твердыми частицами заполнены воздухом и водой с растворенными в ней солями. Полидисперсность почвы, или ее гранулометрия, выражается в содержании механических элементов разного размера, от отдельных ионов почвенного раствора до каменистых включений. Разное соотношение фаз создает огромное разнообразие условий и поэтому для различных размерных групп организмов почва представляет неодинаковую среду, что является одним из факторов высокого разнообразия ее биоты [3].

Целью нашего исследования было изучение видового разнообразия почвенных беспозвоночных животных для определения степени урбанизированности территории. Исследование проводилось на пришкольной территории ГУО «Средней школы №7» г. Гродно, расположенной по адресу ул. Курчатова 7. На участке территории учреждения образования

имеются: яблоневый сад, сад хвойных растений, вертикальное озеленение, клумбы с однолетними и многолетними растениями, каштановый сад, «дикий луг».

Было выбрано три точки на территории школы: яблоневый сад, расположенный на территории, прилегающей к школе, территория вдоль автомобильной дороги, расположенной вблизи школы, «дикий луг», расположенный около территории школьного стадиона. На этих участках было установлено по три ловушки. В качестве ловушки использовался пластиковый стаканчик 200 мл. Стакан закапывали в почву так, чтобы края стакана были немного ниже, чем поверхности земли. Через сутки из ловушек извлекали пойманных беспозвоночных, и помещали их в морилки. Затем эти организмы рассматривались под биноклем и определялся их видовой состав.

В результате проведенных мероприятий в первой ловушке, расположенной на территории яблоневого сада, были обнаружены: дождевые черви (лат. *Lumbricus terrestris*) (кол-во 2), корневой луковичный клещ (лат. *Rhizoglyphus echinopus*) (кол-во 3), стеблевая нематода (лат. *Ditylenchus destructor*) (кол-во 2), личинки жуужелиц (лат. *Carabinae*) (кол-во 1), мраморный клоп (лат. *Halyomorpha halys*) (кол-во 1), оса обыкновенная (лат. *Vespa vulgaris*) (кол-во 1), семиточечная коровка (лат. *Coccinella septempunctata*) (кол-во 4), обыкновенная златогазка (*Chrysoperla carnea*) (кол-во 1), паук-долгоножка (лат. *Pholcidae*) (кол-во 2). Во второй ловушке, расположенной на «диком лугу», были обнаружены: дождевые черви (лат. *Lumbricus terrestris*) (кол-во 2), стеблевая нематода (лат. *Ditylenchus destructor*) (кол-во 1), личинки жуужелиц (лат. *Carabinae*) (кол-во 1), перепончатокрылые, шмели (лат. *Bombus*) (кол-во 3) семиточечная коровка (лат. *Coccinella septempunctata*) (кол-во 2), обыкновенная златогазка (*Chrysoperla carnea*) (кол-во 1), паук-долгоножка (лат. *Pholcidae*) (кол-во 2). В третьей ловушке, расположенной на территории возле дороги, были обнаружены: дождевые черви (лат. *Lumbricus terrestris*) (кол-во 1), корневой луковичный клещ (лат. *Rhizoglyphus echinopus*) (кол-во 1), стеблевая нематода (лат. *Ditylenchus destructor*) (кол-во 1), обыкновенная златогазка (*Chrysoperla carnea*) (кол-во 1), паук-долгоножка (лат. *Pholcidae*) (кол-во 2).

Для оценки видового разнообразия был использован индекс Менхиника, рассчитываемый по формуле:

$$DMn = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

где  $S$  (число выявленных видов) и  $N$  (общее число особей всех  $S$  видов). Следует отметить, что высокие значения индекса указывают на увеличение биоразнообразия и снижение степени доминирования одного вида, то есть улучшенное состояние биоценоза.

В результате проведенных расчетов индекс Менхиника на участке яблоневого сада составил 2,2, а на территории «дикого луга» и на участке возле дороги – 2. Полученные данные позволяют сделать вывод, что наибольшее видовое разнообразие наблюдается на участке яблоневого сада, а значит степень урбанизированности этой территории наименьшая, по сравнению с «диким лугом» и участком возле дороги. Наличие дождевых червей на каждой из этих территории говорит о нейтральной среде этих почв. На территории возле дороги меньшее количество беспозвоночных и бедный видовой состав, следовательно, почва более плотная, на неё оказано антропогенное воздействие, и она сильно утрамбована.

Таким образом был сделан вывод что, почва и природная среда, на участке территории объекта исследования имеет удовлетворительное состояние. По нашим рекомендациям на опытном участке, был установлен домик для насекомых, способствующих опылению растений, произрастающих на прилегающей территории.

#### **Литература:**

1. Жукова А.А. Биоиндикация качества природной среды: пособие/ А.А. Жукова, С.Э. Мастицкий. - Минск: БГУ, 2014.-13 с.
2. Гонгальский К.Б. Почвенные беспозвоночные как биоиндикаторы промышленного воздействия в лесных экосистемах Центра Европейской России: Дис. канд. биол. наук. – М., 2004. – 3 с.
3. Беспозвоночные как биологические индикаторы почвы [Электронный ресурс] Импульс Режим доступа: [http://impuls-chg.ru/netcat\\_files/userfiles/UIS8/daBespozvonochnye\\_kak\\_biologicheskie\\_indikatoru\\_pochvyManuylenko\\_Ilya\\_Sergeevich.pdf](http://impuls-chg.ru/netcat_files/userfiles/UIS8/daBespozvonochnye_kak_biologicheskie_indikatoru_pochvyManuylenko_Ilya_Sergeevich.pdf). - Дата доступа: 23.04.2021.



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233165>

UDC 602:608:57.083.1

## OBTAINING OF THE SALT STRESS-TOLERANT TRANSGENIC TOBACCO PLANTS ABLE TO EXPRESS THE RECOMBINANT THAUMATIN II GENE

**S.A. Zozuk**

*Kyiv Palace of Children and Youth*

I. Mazepa str. 13, Kyiv, 01010, Ukraine

**e-mail:** sofiazozuk@gmail.com

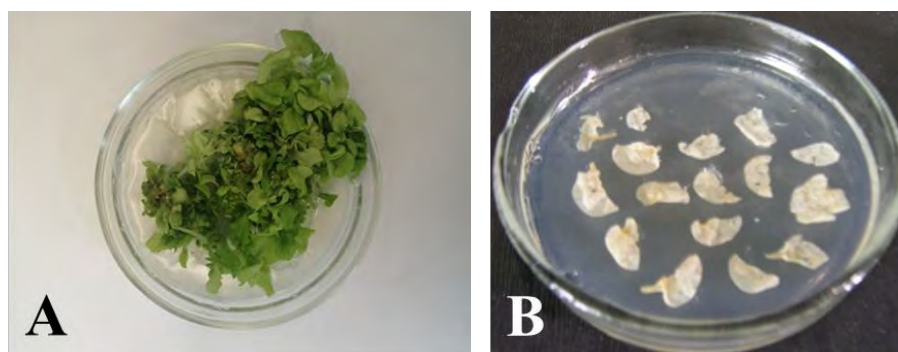
Climate change is one of the most pressing issues of our time. Rising temperatures, soil salinization, and infectious diseases are primary factors that might negatively affect plant growth and productivity. Nowadays, the transgenic approaches are successfully used for creation of the crops with over-expression of the genes coding for specific protective proteins that are induced in response to various types of stress and pathogen attacks. A number of recent studies have found that the transgenic plants that contain recombinant genes of thaumatin-like proteins demonstrate the increased resistance to biotic stress (e. g. fungal infection) [2,5,8]. Thaumatin is a sweet-tasting protein isolated from *Thaumatococcus daniellii* fruits and is known for its strong homology to thaumatin-like defensive proteins that are considered to alter the membrane permeability and the cell signal transduction cascades in plants and fungi as a result of stress or pathogen infection [5,9]. Thaumatin-like proteins are a highly complex protein family associated with host defense and developmental processes in plants, animals, and fungi. They are classified as the PR-5 protein family. The expression of pathogen-related proteins is mediated through pathogen-induced signal-transduction pathways.

The aim of our study was to obtain the model transgenic salt stress tolerant tobacco plants able to express the recombinant gene of the thaumatin II protein. The study was carried out in the Laboratory of Experimental Biology of Kyiv Palace of Children and Youth.

Tobacco plants of Virginia variety were introduced in vitro culture by surface sterilization of seeds. We used nopaline GV3101 strain *Agrobacterium tumefaciens* for genetic transformation of the germinated tobacco plants. The plasmid vector was provided by Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine. The vector construct was carrying the thaumatin II gene driven by the 35S promoter of cauliflower mosaic virus and the selective phosphinothricin acetyltransferase gene, which enabled the resistance of plants to the herbicide phosphinothricin.

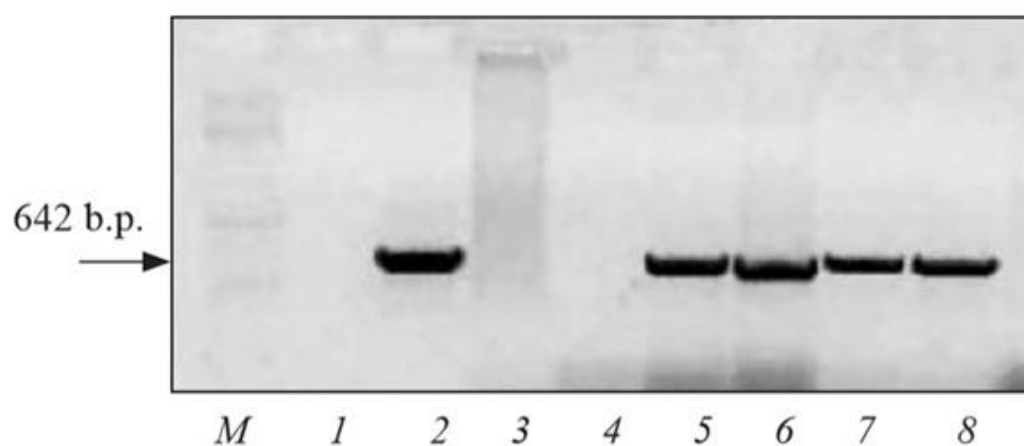
The bacterial suspension culture was precipitated by centrifugation (5000 rpm) and resuspended in liquid MS medium with its further cultivation on rotary shaker. The tobacco leaf explants were incubated in suspension culture for 48 hours. Subsequently, the inoculated explants were transferred to agar MS medium [10] with the addition of 1 mg/l BAP and 0.1 mg/l NAA in order to initiate regeneration of plants, 5 mg/l selective herbicide phosphinothricin and 500 mg/l antibiotic cefotaxime for bacterium elimination.

The transformed plant regeneration was observed in 2–3 weeks. Non-transformed tobacco plants were not able to survive on the media with 5 mg/l selective herbicide phosphinothricin. Here the frequency of the tobacco plant regeneration was about 60% on the selective media.



**Figure 1. Regeneration of transformed plants on the selective medium (A), the death of untransformed explants on the selective medium (B)**

Total plant DNA was isolated by the CTAB method [11]. Molecular genetic analysis of the obtained transformants was performed by PCR in order to prove the presence of the target thaumatin II gene and the selective phosphinothricin acetyltransferase gene. The analysis was carried out using primers for amplification of 642 bp thaumatin gene fragment under such conditions: 3 min at 94 °C, then 30 cycles: 30 sec at 94 °C, 30 sec at 56°C, 45 sec at 72 °C, final synthesis for 5 min at 72 °C. PCR analysis confirmed the presence of the target gene for 80% of the studied plants and the presence of the selective gene for all studied transformants.



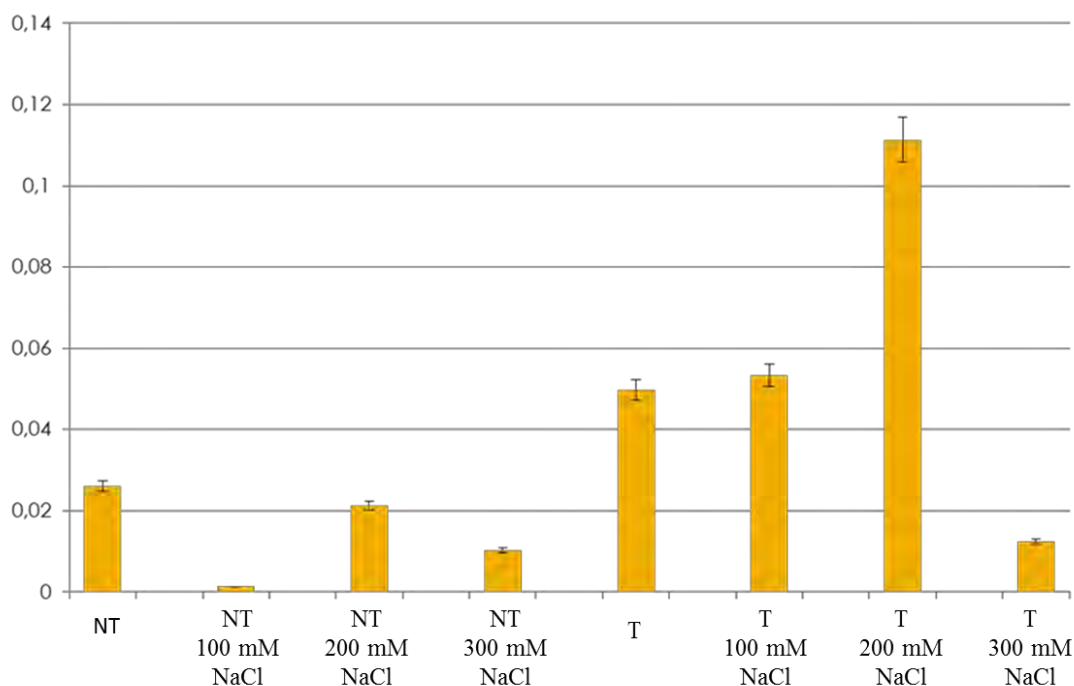
**Figure 2. PCR analysis (thaumatin gene fragment) of the transformed plants.**

M – DNA marker ladder, 1 – negative control (no template DNA), 2 – positive control (plasmid DNA), 3 – negative control (untransformed plant DNA), 4–10 – DNA of the studied plants.



The expression of the thaumatin gene was resulted in sweet taste properties for such transgenic crops as tomato [1], potato [12], cucumber [13] etc. We were also able to feel the changes in taste, of the obtained transgenic tobacco plants.

The analysis of the adaptive potential of the obtained transgenic plants to salt stress was carried out by the cultivation of the transgenic tobacco plants and untransformed (control) ones on MS media containing 100mM NaCl, 200 mM NaCl, 300 mM NaCl for 14 days. In two weeks we measured the relative growth rate (RGR) of the studied plants. RGR was calculated as  $RGR = (\ln M2 - \ln M1) / (t2 - t1)$ , where M1 and M2 – plant biomass, t1 and t2 – harvest times [14,15].



**Figure 3. RGR-test of the studied tobacco plants**

NT – nontransgenic plants; T– transgenic tobacco plants expressing the thaumatin II gene

The RGR-test proved a significant increase of the resistance of transgenic tobacco plants to salt stress comparing to non-transgenic ones. The graph shows the higher adaptive potential of the transgenic tobacco plants to salt stress comparing to non-transgenic ones. As the concentration of 200 mM corresponds to the average salinity of the soils of the steppe zone of Ukraine, the obtained plants seem the promising models for production of salt-stress tolerant crops.

#### REFERENCES:

1. Bartoszewski G, Niedziela A, Szwacka M, Niemirowicz-Szczytt K. Modification of tomato taste in transgenic plants carrying a thaumatin gene from *Thaumatococcus daniellii* Benth. *Plant Breed.* 2003; Vol.122 (4), pp.347–51.

2. Chen W, Punja Z. Transgenic herbicide- and disease-tolerant carrot (*Daucus carota* L.) plants obtained through Agrobacterium-mediated transformation. *Plant Cell Rep.* 2002; Vol.20 (10), pp. 929–35.
3. Datta K. *et al.* Over-expression of the cloned rice thaumatin-like protein (PR-5) gene in transgenic rice plants enhances environmental friendly resistance to Rhizoctonia causing sheath blight disease. *Theor Appl Genet.* 1999; Vol. 98(6–7), pp.1138–45.
4. Mahdavi F, Sariah M, Maziah M. Expression of rice thaumatin-like protein gene in transgenic banana plants enhances resistance to fusarium wilt. *Appl Biochem Biotechnol.* 2012; Vol.166(4), pp.1008–19.
5. Rajam MV. *et al.* Thaumatin gene confers resistance to fungal pathogens as well as tolerance to abiotic stresses in transgenic tobacco plants. *Biol Plant.* 2007; Vol.51(1), pp.135–41.
6. Safavi K, Zareie R, Tabatabaie BES. Expression of TLP-3 gene without signal peptide in tobacco plants using Agrobacterium mediated transformation. *Afr J Biotechnol.* 2011; Vol.10(24), pp. 4816–22
7. Zamani A. *et al.* Heterologous expression of the Secale cereal thaumatin-like protein in transgenic canola plants enhances resistance to stem rot disease. *Iran J Biotechnol.* 2012; Vol.10 (2), pp.87–95.
8. Schestibratov KA, Dolgov SV. Transgenic strawberry plants expressing a thaumatin II gene demonstrate enhanced resistance to Botrytis cinerea. *Sci Hort.* 2005; Vol.106(2), pp.177– 89.
9. Hu X, Reddy AS. Cloning and expression of a PR5-like protein from Arabidopsis: inhibition of fungal growth by bacterially expressed protein. *Plant Mol Biol.* 1997; Vol.34(6), pp.949–59.
10. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant.* 1962; Vol.15(3), pp.473–97.
11. Doyle JJ, Doyle JL. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus.* 1990; 12:13–5
12. Witty M, Harvey WJ. Sensory evaluation of transgenic *Solanum tuberosum* producing r-thaumatin II. *Crop Hort Sci.* 1990; Vol.18(2–3), pp.77–80.
13. Szwacka M. *et al.* Variable properties of transgenic cucumber plants containing the thaumatin II gene from *Thaumatococcus daniellii*. *Acta Physiol Plant.* 2002; Vol.24(2), pp.173– 85.
14. Hoffmann WA, Poorter H. Avoiding bias in calculations of relative growth rate. *Ann Bot.* 2002; Vol.90(1), pp.37–42.
15. Rees M. *et al.* Partitioning the components of relative growth rate: how important is plant size variation? *Am Nat.* 2010; Vol.176(6), pp.152–61.





## ВПЛИВ УМОВ КУЛЬТИВУВАННЯ БАКТЕРІЙ НА СИНТЕЗ КАРОТИНОЇДІВ

Е.Р. Костенко<sup>1</sup>, О.Ю. Бондаренко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Київський Палац дітей та юнацтва

вул. Івана Мазепи, 13, Київ, 01010, Україна

<sup>2</sup>Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

вул. Васильківська, 31/17, Київ, 03122, Україна

e-mail: kostenkoerika21@gmail.com

Каротини - природні органічні пігменти групи каротиноїдів, які є попередниками вітаміну А. Цей вітамін виконує ряд важливих функцій в організмі людини. У продуктах тваринного походження міститься в усіх формах, проте оскільки чистий ретинол нестабільний, значно його частина перебуває у вигляді складних ефірів ретинолу [1]. Вітамін не може синтезуватися в організмі людини самостійно. Його нестача в організмі провокує ряд проблем зі здоров'ям: курячу сліпоту, збільшення ризику виникнення онкологічних патологій передміхурової залози, легенів, захворювання серцевого м'яза, розвиток вікових змін у сітківці ока, захворювання імунної системи. Але треба зазначити, що, незважаючи на схожість між собою, кожна група каротиноїдів справляє свій вплив на певний тип тканин в організмі людини. Не всі види каротиноїдів з однаковою успішністю перетворюються в вітамін А, найкраще це виходить у бета-каротину, а ось альфа-каротин і криптоксантин здатні до таких метаморфоз, але меншою мірою. Тому при виникненні дефіцитного стану, поповнити нестачу цієї речовини можна лише за допомогою фармакологічних препаратів [2]. Каротиноїди – природні антиоксиданти, з цим і пов'язаний їх основний ефект. Найрозповсюдженіші з них – каротини активно синтезуються рослинами, особливо багато їх у листі при переході рослин до цвітіння. Багатими на каротин є корені моркви, шипшина, горобина, смородина, обліпиха. Роль каротину в організмі рослин досліджена не повністю. Судячи за все він бере участь у процесах фотосинтезу, дихання та росту рослин. Каротин здатний легко утворювати перекиси, в яких молекула кисню приєднується в місці подвійного зв'язку, а потім може брати участь в окисненні різноманітних сполук [3]. На сьогодні, найбільш розповсюдженим джерелом каротиноїдів у промисловості є рослини та базидіоміцети. Використання рослин, як джерела каротиноїдів, незважаючи на свою популярність має ряд недоліків: сезонний характер, залежить від екологічного стану ґрунтів та урожаїв рослин, також існує проблема великих посівних площ під вирощування рослин, забезпечувати які дорого. До того ж біодоступність каротиноїдів з соку овочів невелика через високий вміст пігментів, асоційованих з білковими комплексами, що ускладнює їх вивільнення. Раніше вченими також проводилися дослідження щодо синтезу каротиноїдів мікроводоростями. Однак, кількість промислових мікроводоростей, здатних синтезувати важливі для людей β-каротини, астаксантин і лютеїн, доволі обмежена. До того ж, мікроводорості потребують специфічних умов вирощування, підтримувати які в умовах промислового виробництва достатньо дорого. Тому актуальними залишаються дослідження, що спрямовані на пошук нових видів, здатних синтезувати

потрібні речовини, на здешевлення промислових умов культивування та збільшення швидкості отримання продукту без втрати його якості та безпечності [4].

Каротиноїди локалізуються у вигляді складних ефірів і глікозидів у клітинній мембрані мікроорганізмів або у ліпідних гранулах у цитоплазмі. На відміну від еукаріотів, каротиноїди у прокариотах напряму пов'язані із роботою плазматичної мембрани. Утворення пігментів відбувається за умов достатнього доступу кисню і за певного складу живильного середовища. Синтез пігментів бактерій – це доволі чутливий механізм, який швидко реагує на зміну факторів навколишнього середовища, таких як освітленість та температура. Незважаючи на це, мікробіологічний синтез є перспективним методом отримання пігменту, так як мікроорганізми, зокрема бактерії, здатні швидко накопичувати біомасу, а також не потребують великої площі для культивування. Для деяких з них зміна умов зовнішнього середовища може змінювати інтенсивність синтезу. Як наприклад, у *Bacillus licheniformis* A 6/2, *Bacillus mesentericus niger* 236 та *Bacillus mesentericus flavus*. Саме тому з метою здешевлення подальшого промислового виробництва було проведено дослідження, метою якого було експериментально з'ясувати вплив умов культивування, а саме вмісту солі різної концентрації в середовищі та наявності (відсутності) світла на синтез каротиноїдів ґрунтових бактерій [5].

Першим етапом роботи було вирішення проблеми підбору культури бактерій. Після теоретичного визначення груп бактерій, які здатні синтезувати потрібну речовину, були б доступними та не шкідливими для організму людини, нами було обрано бактерії *Bacillus subtilis*. Цей вид бактерій входить до складу біопрепарату фунгіцидної дії «Фітохелп» ТМ «Жива Земля».

У дослідженні наступним кроком було отримання чистої культури бактерій *Bacillus subtilis*. Упаковку з біопрепаратом «Фітохелп» стерилізували в білизні 10 хвилин, після чого за допомогою стерильної мікробіологічної петлі препарат був перенесений у стерильні пробірки на середовище МПА. Після повторного пересіву було отримано колонію чистої бактеріальної культури.

Для культивування контрольного варіанту бактерії *Bacillus subtilis* було використано класичне середовище МПА для бактеріальних культур. Досліджувані варіанти з метою перевірки впливу засоленості на синтез пігментів мікроорганізмів висівали на середовище МПА з додаванням домішок в основне середовище культивування: NaCl в концентраціях 0,6 % та 1 % (для різних варіантів). Виділений штамп *B. subtilis* пересіяно шпателем Дригальського методом "газону" на середовище з різним вмістом солі. Крім того культивування усіх варіантів проводили за різних умов освітленості та температури: у темряві за температури 28 °C та 19-20 °C; на світлі за температури 19-20 °C:

- 1 зразок культивували на класичному середовищі МПА на світлі (рис. 1);
- 2 зразок – на МПА з додаванням 0,6 % NaCl на світлі (рис.1);
- 3 зразок – на МПА з додаванням 1 % NaCl на світлі (рис.1);
- 4 зразок – на класичному середовищі МПА у темряві (рис 2);
- 5 зразок – на МПА з додаванням 0,6 % NaCl у темряві (рис. 2);
- 6 зразок – на МПА з додаванням 1 % NaCl у темряві (рис.2);
- 7 зразок – на МПА у термостаті (у темряві) (рис. 3);
- 8 зразок – на МПА з 0,6 % NaCl у термостаті (у темряві) (рис. 3);
- 9 зразок – на МПА з 1 % NaCl у термостаті (у темряві) (рис.3).

Дослідження проводили в 3 повторностях.

Через 8 діб культивування в різних умовах, проводили відбір бактеріальної культури *Bacillus subtilis* на дослідження вмісту каротиноїдів. Для цього відділяли від середовища чисту

бактеріальну культуру однакової ваги для кожного варіанту. Чистий матеріал поміщали в 96 % етиловий спирт. Екстракцію проводили в темряві за кімнатної температури для запобігання вицвітання пігменту. Після екстракції, суспензію очищували від залишків бактеріальних клітин методом центрифугування 6000 об/хв. Відносну різницю синтезованих пігментів в зразках, вирощених за різних умов, визначали за різним рівнем поглинання екстракту методом спектрометрії [6]. Вимірювання поглинання екстрактів проводили на спектрофотометрі ULAB 102, Китай, на довжинах хвиль 420 нм та 480 нм проти 96 % етилового спирту.



**Рисунок 1. Колонії бактерій Bacillus subtilis. Зразки 1, 2, 3.**



**Рисунок 2. Колонії бактерій Bacillus subtilis. Зразки 4, 5, 6.**



Рисунок 3. Колонії бактерій *Bacillus subtilis*. Зразки 7, 8, 9.

Аналіз результатів вимірювання поглинання показав, що культивування ґрунтових бактерій *Bacillus subtilis* в середовищі МПА з додаванням 1 % NaCl позитивно впливає на збільшення синтезу каротиноїдів за умов вирощування у темряві. Проте, за умов культивування на світлі з високим вмістом солі, в зразках знижується активність синтезу каротиноїдів. Також виявлено, що при додаванні 0,6 % NaCl в середовище культивування та вирощування у темряві за температури 28 °С також відбувається різке зниження кількості пігменту в зразках.

В роботі показано, що досить незначні коливання вмісту солі в складі середовища культивування бактерій виду *Bacillus subtilis* викликають збільшення синтезу каротиноїдів, при чому в темряві цей процес проходить активніше.

#### Література:

1. А. Б. Капитонов, Каротиноиды как антиоксидантные модуляторы клеточного метаболизма, *Усп. совр. биол.*, Т. 116, №2, с. 179-193, 1996.
2. Т. С. Морозкина, А. Г. Мойсеенок, Витамины, Минск : Асар, с. 58-63, 2002.
3. В.И. Дейнека, А.А. Шапошников, Л.А. Дейнека, Каротиноиды: строение, биологические функции и перспективы применения, *Научные ведомости*, № 6, С. 19–25, 2008.
4. В. С. Сааков, Альтернативные пути биосинтеза каротиноидов у Procaruota и Eucaruota, *Докл. АН России*, Т.392, № 6, с. 825—831, 2003.
5. Л. В. Авдеева, К. Є. Борецька, М. А. Хархота, О. О. Нечипуренко. Синтез пігментів бактеріями роду *Bacillus* при культивуванні на різних поживних середовищах, *Мікробіологічний журнал*, Т. 77, № 1, с. 14-19, 2015.
6. B. Delia Rodriguez-Amaya, Mieko Kimura, Harvestplus Handbook for Carotenoid Analysis. Washington: HarvestPlus Technical Monograph., P. 58, 2004.



## БІОІНДИКАЦІЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПАРКОВИХ ЕКОСИСТЕМ МІСТА КИЄВА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

**І.В. Кураєва, Т.О. Кошлякова, К.В. Вовк, К.С. Злобіна, Л.В. Лемеш**

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України*

пр. Академіка Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна

**e-mail:** [tatianakoshliakova@gmail.com](mailto:tatianakoshliakova@gmail.com)

Паркові зони є невід'ємним елементом ландшафту більшості міст світу. Вони являють собою своєрідні екосистеми, які за складом і структурою виконують проміжну функцію між природними лісами і міськими парками. Загально визнаним фактом є те, що паркові або «зелені зони» виконують природоохоронні, рекреаційні, культурно-оздоровчі та санітарно-гігієнічні функції, слугують місцями відпочинку населення [13].

У той же час, глобальна тенденція до підвищення температури атмосферного повітря, зростання концентрацій аеротехногенних викидів від автотранспорту, рекреаційне навантаження (що призводить до збільшення щільності ґрунтів), а також зменшення просторових меж міських деревних насаджень, викликають стресові явища і порушення фізіологічного стану рослин, сприяють їх ураженню шкідниками і хворобами [10]. Крім того, на динаміку розвитку паркових зон впливає інтродукція екзотичних видів чагарників або дерев, розширення міської забудови і транспортної інфраструктури [3].

Сучасні підходи до екологічної оцінки стану навколишнього середовища повинні бути орієнтовані, в першу чергу, на біотичні показники. Трансформоване під впливом інтенсивного техногенного навантаження міське середовище, в свою чергу, впливає на об'єкти біоти. Це дозволяє досить ефективно використовувати доволі широкий спектр її представників з метою біотестування та біоіндикації забруднень [5].

Одним з найважливіших напрямів екологічного моніторингу є біогеохімічні дослідження, зокрема фітоіндикація, що передбачає врахування ознак і властивостей рослин (на популяційному, видовому та фітоценотичному рівнях). Рослини є надійними і якісними біоіндикаторами забруднення навколишнього середовища різними токсикантами, оскільки вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою фізіолого-біохімічних і анатомо-морфологічних перебудов організму.

Головною метою проведеного дослідження було оцінити ступінь забруднення важкими металами ґрунтів та рослинності окремих паркових екосистем м. Києва, встановити коефіцієнти біогеохімічного поглинання, інтенсивності біокумуляції, а також класу небезпеки забруднення досліджуваної території у відповідності з фітотоксикологічною класифікацією металів [1].

При виконанні дослідження у якості біоіндикаційного виду трав'янистої рослинності було обрано *Taraxacum officinale* Wigg. (кульбабу лікарську). Цей вибір обумовлений тим, що, по-перше, представники виду *Taraxacum officinale* Wigg. є багаторічним і дуже розповсюдженим видом. Вони зростають в зріджених мішаних і листяних лісах, як бур'ян на лісокультурних



площах, у розсадниках, парках і лісопарках, поширений на пустирях, поблизу житлових будинків, доріг, по узліссях, нерідко утворюючи значні за площею зарості. По-друге, цей вид відрізняється високою чутливістю до факторів забруднення [8, 11, 12, 14]. Загалом родина *Asteraceae* (айстрові) або *Compósitae* (складноцвітні), до якої належить *Taraxacum officinale* Wigg – це провідна група рослин, яка широко використовується при біомоніторингових дослідженнях, адже має здатність накопичувати широкий спектр важких металів [14]. У якості біоіндикатора забруднення навколишнього середовища кульбаба використовується при регіональних дослідженнях багатьох країн світу, зокрема у Болгарії, Польщі, Угорщині, США, Німеччині та Канаді [11].

У якості біоіндикаційного виду дерев'янистої рослинності було обрано *Tilia cordata* Mill. (липу серделисту). Ця рослина вважається специфічним фенотипічним біоіндикатором в умовах міських екосистем при великому техногенному навантаженні [6, 7]. Крім того, рослини роду *Tilia* традиційно популярні в Україні і широко використовуються в муніципальному озелененні [4].

Об'єктом дослідження є паркові екосистеми м. Києва, а саме екосистеми парку «Феофанія», парку Київського політехнічного інституту (Політехнічного парку), а також Маріїнського парку, що знаходяться на різній висоті над рівнем моря і мають різний кут нахилу схилів. Додатково залучалися дані щодо парку імені Пушкіна та парку «Нивки».

Предметом дослідження є вміст важких металів (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr та Cd) у ґрунтах, трав'янистій та дерев'янистій рослинності в межах досліджуваних паркових екосистем м. Києва.

Основні польові роботи було проведено у першій половині червня 2018 року [3]. У досліджуваних парках (парк «Феофанія», Політехнічний парк, Маріїнський парк) було обрано по чотири пробних майданчики (А, В, С і D), розташованих на різній відстані від автомобільних доріг (5 м, 20 м, 100 м і 500 м відповідно) в напрямку до центральної частини паркової зони (де забруднення вважалось мінімальним). Ґрунт відбирався з глибини 0-5 см (кореневмісний шар). З кожного майданчика ґрунтовим буром було відібрано по 30 одиничних (точкових) проб масою 100-200 грам. Точкові проби відбиралися методом конверта. Також з кожного майданчика було відібрано по 30 зразків листя *Taraxacum officinale* Wigg. Зразки рослин відбирали у період їх цвітіння на різній відстані від автомобільних доріг. При відборі зразків *Tilia cordata* Mill. відбирали середню пробу з 30 листків дерев, що зростають у різних частинах досліджуваних парків. Відбір зразків деревенистої рослинності було проведено у липні 2020 року. Вимірювання вмісту важких металів Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr, Cd в зразках ґрунтів і листя досліджуваної рослинності виконано за допомогою методу мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою на аналізаторі Element-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

На першому етапі дослідження було надано фізико-хімічну характеристику ґрунтів трьох паркових екосистем (парк «Феофанія», Політехнічний парк, Маріїнський парк) (табл. 1). Досліджувані ґрунти характеризуються переважно слабо-кислими та нейтральними кислотно-лужними умовами (рН 6,4-7,6), вміст органічної речовини коливається в межах 2,3-6,4 %. Такі умови сприяють зниженню рухомості більшості мікроелементів, хоча вміст гумусу досить низький. Було з'ясовано, що сорбційна ємність (С<sub>с</sub>) є найбільшою в межах Маріїнського парку, що вказує на кращі буферні властивості цих ґрунтів. У катіонному складі переважає обмінний кальцій (12-38 мг-екв/100 г), значною є також гідролітична кислотність (Н<sup>+</sup> 1,4-8,4 мг-екв/100 г). Перехід важких металів у розчин менш ймовірний у ґрунтах, колоїди яких насичені Са<sup>2+</sup>. Такі колоїди краще агрегуються, є відносно механічно- та гідростійкими. Найбільший вміст обмінного кальцію виявлений в ґрунтах Маріїнського парку, що розвинуті

на лесових суглинках. Разом з тим, тут зафіксовано і високий вміст  $Mg^{2+}$ , що характерно для чорноземних ґрунтів. Вочевидь це пов'язано з високою домішкою привозних ґрунтів, що використовувалися при благоустрої території.

**Таблиця 1.**

**Фізико-хімічні умови ґрунтів досліджених паркових екосистем м. Києва**

Назва	C <sub>орг</sub> , %	рН	СЄ	Обмінні катіони, мг-екв/100 г				
				H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
парк «Феофанія»	2,70	7,60	14,87	1,42	11,93	0,86	0,58	0,08
Політехнічний парк	2,28	6,82	25,44	8,51	16,22	0,31	0,3	0,1
Маріїнський парк	6,40	6,40	60,7	8,40	38,20	13,00	0,60	0,50

*Примітка.* C<sub>орг</sub> – вміст органічного вуглецю, рН – кислотно-лужна характеристика водної витяжки ґрунту, СЄ – величина сорбційної ємності

На наступному етапі було визначено валовий вміст Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr у ґрунтах паркових екосистем, розраховано статистичні характеристики розподілу досліджуваних показників, виконано порівняння з фоновими та гранично допустимими концентраціями важких металів для ґрунтів урболандшафтів.

Найвищий рівень забруднення ґрунту важкими металами було виявлено на пробних майданчиках парків, розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Найбільш забрудненими парком виявився Політехнічний, розташований на плато в центральній (піднесеній) частини міста. У ньому виявлені найвищі значення по Pb (коефіцієнт концентрації (Кк) відносно фонових значень становить 3,5-8,5) та Cu (Кк = 3,4-20). При цьому підвищений вміст важких металів в зразках з майданчика D, очевидно, пов'язаний з його розташуванням поблизу навчального корпусу та безпосередній близькості до верхньої паркової дороги. Найменш забрудненим є парк «Феофанія», що розташований поблизу міської межі і на деякій відстані від автомагістралі (найвищі коефіцієнти концентрацій відносно фонових значень зафіксовані для Pb (2-4) та Cu (1,5-3,4)).

Загалом, для ґрунтів усіх досліджених паркових зон характерне забруднення Pb та Cu, що спостерігається також в інших паркових екосистемах Києва [2]. Концентрація цих елементів у Політехнічному та Маріїнському парках у 2-4 рази перевищує гранично допустимі рівні.

Авторами також було визначено вміст Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr у листі *Taraxacum officinale* Wigg. в межах обраних паркових екосистем, розраховано статистичні характеристики розподілу досліджуваних показників, виконано порівняння з фоновими та гранично допустимими концентраціями важких металів для рослин урболандшафтів.

Так само, як і для ґрунтів, найвищі концентрації важких металів у листі *Taraxacum officinale* Wigg. було виявлено на пробних майданчиках парків (А), розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту. Однак слід відмітити, що високі рівні металів, виявлені в зразках ґрунту, не завжди збігалися з їх найвищими рівнями в біомасі листя. На думку авторів, це пов'язано як з особливостями активності міграційних процесів рухомих форм важких металів в системі «ґрунт-рослина», так і з біологічними особливостями накопичення елементів самими рослинами. Водночас тенденція щодо зменшення концентрації важких металів у листі рослин у напрямку до центральної частини парку зберігається. Найвищі вмісти досліджуваних елементів у листі *Taraxacum officinale* Wigg. зафіксовані у



Політехнічному парку (Cu – 77; Pb – 11; Zn – 66 мг/кг поблизу просп. Перемоги), найменші – у Парку «Феофанія» (виключенням є Zn, вміст якого підвищується до 78 мг/кг поблизу автодороги). Маріїнський та Політехнічний парки характеризуються різким збільшенням вмісту Pb та Zn у листі досліджуваного виду поблизу автошляхів з інтенсивним рухом (вул. Грушевського та просп. Перемоги відповідно), що вказує на інтенсивний вплив автотранспорту на вміст цих елементів у рослинах.

З метою встановлення інтенсивності поглинання важких металів рослинами під впливом умов навколишнього середовища (властивостей ґрунту) було використано коефіцієнт біогеохімічного поглинання КБП (коефіцієнт біокумуляції) (рис. 1) [1].

Найвищі коефіцієнти біокумуляції листям *Taraxacum officinale* Wigg. виявлено для Cu (середній КБП = 0,37), Zn (0,73) і Mn (0,66) (рис. 1). Це пов'язано з їх високою біологічною значимістю. Низький рівень біокумуляції виявлено для Pb (0,07-0,17, виключення – Маріїнський парк поблизу вул. Грушевського). Слід зазначити, що серед усіх досліджених металів саме Pb чинить найбільшу токсичну дію на рослини.

В отриманих варіаціях біокумулятивної здатності листя *Taraxacum officinale* Wigg. до важких металів не прослідковується залежності відносно відстані до автошляхів та ступеню забруднення ґрунтів. Ймовірніше за все ці варіації пов'язані зі змінами доступності елементів для рослин внаслідок зміни кислотності ґрунтового розчину, а також із внутрішніми механізмами самих рослин, що підтримують стабільність мікроелементного складу організму в несприятливих умовах. Для Cr спостерігається чітка від'ємна кореляція між КБП у листі *Taraxacum officinale* Wigg. та концентрацією елементу у ґрунті (коефіцієнт кореляції (R) = - 0,83). Таким чином, зі збільшенням забруднення ґрунту Cr, інтенсивність його накопичення рослиною зменшується, спрацьовують її захисні функції.

У відповідності з фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом біогеохімічного поглинання [1] авторами було встановлено класи небезпеки відносно забруднення досліджуваної території важкими металами (табл. 2).

**Таблиця 2.**

**Фітотоксикологічна класифікація металів за коефіцієнтом біогеохімічного поглинання у листі *Taraxacum officinale* Wigg. в межах досліджуваних паркових екосистем м. Києва**

КБП	Класи небезпеки			
	I Інтенсивна	II Середня	III Помірна	IV Низька
	>2,24	2,23-1,52	1,51-0,8	<0,79
Н.в.	Н.в.	Zn*	Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr	

*Примітка.* КБП – коефіцієнт біогеохімічного поглинання, \* – виключно в межах Маріїнського парку, Н.в. – не виявлено

За фітотоксикологічною класифікацією металів за коефіцієнтом біогеохімічного поглинання рослинами в межах досліджуваних паркових екосистем міста метали (Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Cr) відносяться переважно до елементів низького поглинання (IV класу небезпеки). Виключенням є лише Маріїнський парк, в межах якого Zn за величиною КБП належить до елементів помірного поглинання (III класу небезпеки). Для усієї досліджуваної території за середньоарифметичними значеннями КБП металів листям *Taraxacum officinale* Wigg. отримано наступні ряди інтенсивності біокумуляції: Mn>Zn>Cu>Ni>Pb>Cr (парк

«Феофанія»), Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb (Політехнічний парк), Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb (Маріїнський парк). Цікавим є повний збіг рядів інтенсивності біокумуляції важких металів листям досліджуваної трав'янистої рослинності для Політехнічного та Маріїнського парків. Ймовірніше за все, це пов'язано з їх розташуванням у центральній частині міста зі схожими природними умовами та інтенсивністю техногенного навантаження.

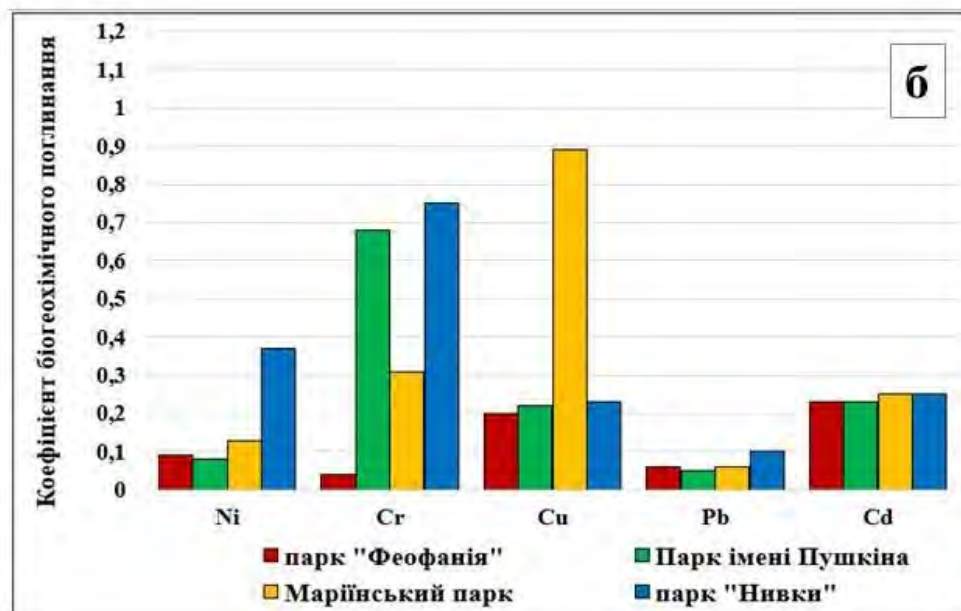
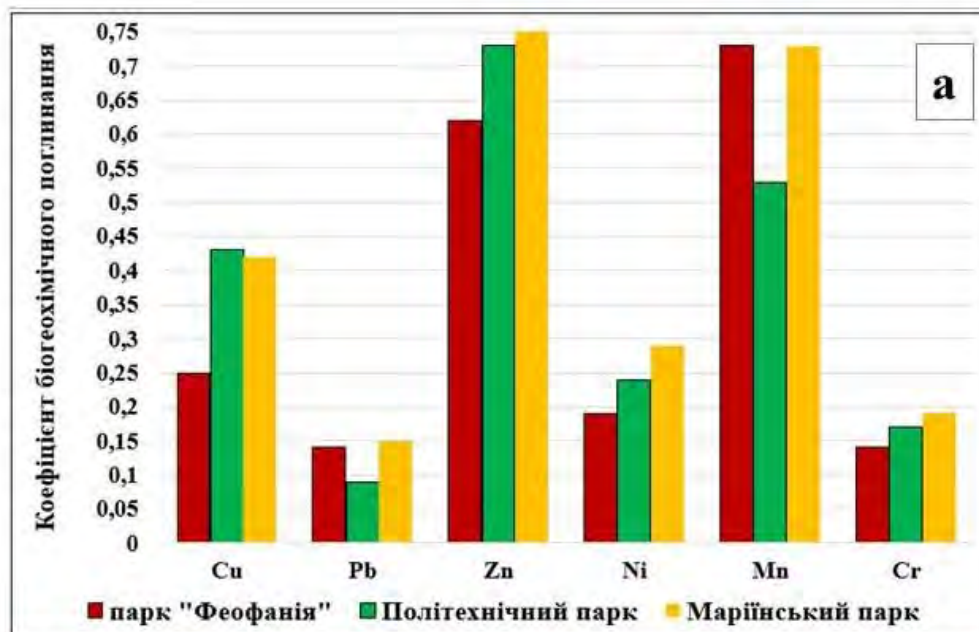


Рисунок. Діаграми усереднених показників коефіцієнтів біогеохімічного поглинання важких металів листям: а – *Taraxacum officinale* Wigg., б – *Tilia cordata* Mill.

При виконанні дослідження додатково було залучено дані щодо вмісту важких металів (Ni, Cr, Cu, Pb, Cd) у ґрунтах та листі представника дерев'янистої рослинності – *Tilia cordata Mill.* (липа серцелиста) в межах парку «Феофанія», парку імені Пушкіна, Маріїнського парку і парку «Нивки». Так само, як і для листя трав'янистої рослинності, для виду *Tilia cordata Mill.* було розраховано коефіцієнти біогеохімічного поглинання (рис. 1). Виявилося, що найвищі рівні металів, визначені у біомасі листків, зазвичай не співпадали з найвищими їх рівнями, визначеними у зразках ґрунтів. Можна припустити, що це пов'язано, в першу чергу, з тим, що рослини здатні акумулювати з ґрунтів лише водорозчинні, мобільні форми важких металів. Слід зазначити, що у даному дослідженні автори не вивчали поверхневе забруднення листкових пластинок за рахунок аеротехногенного перенесення. Найвищий вміст Cr було виявлено у зразках з парку імені Пушкіна – 30 мг/кг сухої маси (КБП = 0,68), Cu – в Маріїнському парку – 48 мг/кг (КБП = 0,89), концентрації Pb варіювали в межах 3-5 мг/кг, Ni – 2,6-7 мг/кг, Cd – 0,03-0,04 мг/кг.

Для досліджених паркових екосистем за середньоарифметичними значеннями КБП металів листям *Tilia cordata Mill.* отримано наступні ряди інтенсивності біокумуляції: Cd>Cu>Ni>Pb>Cr (парк «Феофанія»), Cr>Cd>Cu>Ni>Pb (парк імені Пушкіна), Cu>Cr>Cd>Ni>Pb (Маріїнський парк), Cr>Ni>Cd>Cu>Pb (парк «Нивки»).

На думку авторів, виявлений широкий діапазон інтенсивності біокумуляції важких металів відносно усієї сукупності зразків як трав'янистої, так і дерев'янистої рослинності, підтверджує принцип екологічної конгруентності (відповідності), згідно з якою живі складові досліджених екосистем виробили відповідні пристосування, скоординовані абіотичним середовищем [1].

Ґрунтуючись на вищевикладеному, можна стверджувати, що для паркових екосистем, розташованих у центральній частині міста поблизу автомобільних доріг, головним джерелом надходження важких металів у ґрунт та рослини є безпосередньо автомобільний транспорт, а основним шляхом міграції елементів є повітряні потоки.

Високі рівні забруднення ґрунтів Політехнічного та Маріїнського парків, на думку авторів, пов'язані також з високим вмістом привозних ґрунтів, що були використані при благоустрої цих паркових зон. Для цих ґрунтів характерною є висока сорбційна ємність та вміст обмінного кальцію. Ці показники надають ґрунтам кращих буферних властивостей, важкі метали затримуються і накопичуються у їх колоїдах, що у кінцевому рахунку перешкоджає переходу елементів у розчин.

Отримані результати підтвердили необхідність залучення біогеохімічних даних для екологічної оцінки ступеню забруднення міського середовища та ранньої діагностики негативних змін, коли у рослинах ще не проявилися морфологічні та анатомічні відхилення від норми.

### **Література:**

1. Бондар О.І., Риженко Н.О. Фітотоксикологічна класифікація металів за інтенсивністю їх біокумуляції в умовах зелених паркових зон м. Києва. *Агроекологічний журнал*, № 3. С. 32–39, 2017, doi:10.33730/2077-4893.3.2017.219884

2. Вовк К.В. Геохімія мікроелементів в об'єктах довкілля Київської агломерації: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 20 с., 2018
3. Небесний В.Б., Гродзинська Г.А., Самчук А.І. та ін. Спектрометричний експрес-метод біоіндикації паркових екосистем. *Nauka innov*, № 4. С. 78–86, 2020, doi: 10.15407/scin16.04.078
4. Олексійченко Н.О., Ліханов А.Ф. Варіабельність морфологічних і біохімічних ознак листків рослин роду *Tilia L.* в урбосередовищі. *Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць*, № 14, С. 23–30, 2016.
5. Щур К.Ю., Гродзинська Г.А., Небесний В.Б. та ін. Біоіндикація стану техногенного забруднення м. Києва: методичні підходи, Київ: *Наш формат*, 122 с., 2016.
6. Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution, *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 51, No. 3, pp.215–225, 2004
7. Cicek A., Kopalal A.S. Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant, *Chemosphere*. Vol. 57, No. 8, pp. 1031–1036, 2004
8. Degyrska A. An assessment of urban habitat contaminate on with selected heavy metals within the city of Katowice using the common dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) as a bioindicator, *Environmental and Socio-economic Studies*. Vol. 1, No. 4, 2013. pp. 29–40, doi: 10.1515/environ-2015-0021
9. Dwyer J. F., Nowak D. J., Noble M. N. Sustaining urban forests, *Journal of Arboriculture*, Vol. 29, No. 1, pp. 49–55, 2003
10. Flint H. L. Plants showing tolerance of urban stress, *Journal of Environmental Horticulture*, Vol. 3, No. 2, pp. 85–89, 1985, doi: 10.24266/0738-2898-3.2.85
11. Giacomino Agnese, Malandrino Mery, Colombo Maria Laura et al. Metal content in dandelion (*Taraxacum Officinale*) leaves: influence of vehicular traffic and safety upon consumption as food, *Journal of Chemistry*, Vol. 6, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1155/2016/9842987
12. Kleckerova A., Dočekalova H. Dandelion plants as a biomonitor of urban area contamination by heavy metals, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 8, No. 1, pp.157–164, 2014, <https://doi.org/10.22059/IJER.2014.705>
13. Konijnendijk C. C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J. Urban Forests and Trees, Berlin: *Springer*, 520 p., 2005, doi: 10.1007/3-540-27684-X
14. Świercz Anna, Zajęcka Ewelina. Bioaccumulation of copper, lead and zinc by *Taraxacum Officinale* agg. growing on urban soils of different land-use types, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Vol. 4, No. 1, pp. 1373–1385, 2017, doi: 10.14597/infraeco.2017.4.1.105



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233416>

УДК 550.4

## ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ, ЯК ФАКТОР ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ (ГЕОХІМІЧНИЙ АСПЕКТ)

**Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський**

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України,  
пр. акад. Палладіна, 34 Київ, 03680, Україна  
e-mail: office.igmr@gmail.com*

Актуальність теми. Пожежі – головний екологічний фактор, що впливає на цілий комплекс природних властивостей, що визначають стійкість екосистем і біоценозів. За 100 років середньорічна температура в Україні зросла на два градуси. Через зміни клімату природні зони зсуваються: збільшується площа степу, а лісів і лісостепу зменшуються. Підвищення температури по всій планеті призводить до різких змін погоди і екстремальних явищ. Через це природні системи стають уразливими. Найбільш пожежонебезпечні – хвойні молодняки і середньовікові насадження на Поліссі. Важливо розрізняти тип пожежі – верхова чи низова. При верховій пожежі гине вся рослинність і знешкоджується органіка ґрунту. Верхові пожежі є найбільш потужним фактором змін в рослинному покриві. В той час, низові пожежі призводять до вигорання лісної підстилки, зміні фізико-хімічних умов середовища, що також може спричинити зміни рослинного трав'яного покриву.

Крім вигорання лісу важливим фактором екологічного стану територій є геохімічна складова ґрунтів, що відповідає за відновлення екосистем. В цьому і полягає актуальність досліджень.

Об'єктом дослідження є дерново-підзолисті ґрунти соснового лісу Житомирського Полісся території згарища (квітень 2020р.) і фонові території.

Метою роботи є дослідження впливу низової пожежі на перерозподіл елементів у дерново-підзолистих ґрунтах соснового лісу Полісся.

Наукова новизна і суть дослідження. Переважна кількість робіт щодо лісових пожеж стосується проблем викидів в атмосферу продуктів згоряння, що викликає викиди вуглекислого газу в атмосферу і виникнення «парникового ефекту» у вигляді несприятливих змін клімату. У продуктах горіння присутні токсичності сполуки, такі, як: оксиди вуглецю, сірки, азоту, вуглеводні різних класів, альдегіди, бензол і його гомологи та інше, а також солі і оксиди важких металів, які мають шкідливий вплив на живі організми і екологію в цілому. В останні роки з'явилися роботи, що відображають геохімічний стан ґрунту при лісових пожежах, але їх вкрай мало для розуміння процесів міграції та концентрації елементів [1]. В цьому сенсі геохімічна складова ґрунтів на території Полісся не розглядалась, що і становить новизну дослідження.

Методи досліджень. Вимірювання вмісту хімічних елементів в зразках ґрунту виконано за допомогою методу мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою на аналізаторі Element-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН

України. Аналізувалися наступні елементи – Hg, As, Ba, Mg, Mn, Mo, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, V, Ni.

Кількісне визначення виносу або накопичення у ґрунтах хімічних елементів (%) визначено наступним чином:  $K_c = K_z \cdot 100 / K_f$ , де  $K_z$  – вміст елементів у ґрунтах згарища,  $K_f$  – вміст елементів на фоновій ділянці.

Проведені термодинамічні розрахунки умов рівноваги природної системи "тверда фаза – розчин" у багатокомпонентних системах виконували за програмою PHREEQC (міграції елементів, що враховує всі вірогідні форми, і всі конкуруючі реакції, що відбуваються в системі) з використанням методів термодинамічного аналізу і математичного моделювання. Для вирішення його автором розраховані форми міграції компонентів — неорганічні форми (у відсотках від суми молярних концентрацій всіх форм). Утворення різних форм в значній мірі залежить від фізико-хімічних параметрів системи "ґрунт – розчин" і, перш за все, від рН ґрунту. Змодельоване значення рН ґрунтових розчинів, що змінюється від 4 до 8 та прорахований можливий вміст різних форм міграції (у відсотках від суми молярних концентрацій всіх можливих форм) компонентів при температурі 25 °С.

Природні умови території досліджень. Рельєф місцевості являє собою рівнину, клімат континентальний: взимку середня температура –7°С, влітку +19°С. Ґрунти – дерново-підзолисті, кількість гумусу – 1–3%, характеризуються кислою і сильно кислою реакцією (рН 4,0–5,5). Ємність поглинання цих ґрунтів 15–20 мг·екв/100 г ґрунту. У складі поглинених катіонів – Ca, Mg, H, Al. В результаті цього ґрунти характеризуються слабкою насиченістю основами – 50–70 %. Будова ґрунтового профілю наступна:  $A_0$  – лісова підстилка (3–5 см),  $A_1$  – гумусово-елювіальний горизонт, 1–2,5% гумусу (5–7 см),  $A_2$  – підзолистий, горизонт білястого кольору (2 до 4 см), B – ілювіальний горизонт бурого кольору (5–10 см), поступово переходить в кору вивітрювання материнської породи – житомирські граніти і їх мігматити. На площі характерно близьке залягання кристалічних порід, що перекриваються водно-льодовиковими піщаними відкладами та неогеновими четвертинними утвореннями – глинами строкато-барвистими.

Результати та обговорення. Нами розглянуто перерозподіл хімічних елементів у дерново-підзолистих ґрунтах соснового лісу на території Житомирського Полісся. Пожежа відбулася у квітні 2020 року, проби відібрано через місяць – у травні 2020р. Нами було опробовано дві ділянки досліджень – фонові та згарище на території Житомирського Полісся. Фонові ділянки обиралися за ідентичністю за ділянкою згарища і розташовані за 3 км на південний захід від неї.

Ґрунтові зразки містять в собі як рослинні, так і мінеральні компоненти. Мінеральна частина при низовій пожежі (400–600 °С) не може зазнати будь-яких кардинальних змін, але рослинні компоненти перетворюються в золу і сажу, а це спричиняє підвищення значень рН ґрунтів.

Першим етапом робіт була оцінка геохімічної поведінки хімічних елементів внаслідок горіння лісової підстилки. Оскільки мова йде про різку зміну температури від 10–20 до 400–900 °С було розглянуто фактор – температура їх кипіння, а значить, і випаровування [2]. Температура кипіння елементів має суттєві відмінності (рис. 1).

Хімічні елементи, що знаходяться в ґрунтах є необхідними поживними речовинами для рослин. Мікроорганізми розкладають органічну речовину ґрунтів і з часом повільно виділяють багато важливих поживних речовин [3]. Під час пожежі ґрунти зазнають різні незворотні перетворення при згорянні. Порогові температури визначаються як температури, при яких відбувається випаровування хімічних елементів. Ці порогові значення можна розділити на три основні категорії: чутливі – від 200 до 375°С, помірно чутливі – 375–1100°С і відносно

нечутливі – вище 1100°C (виходячи з того, що температура горіння деревного палива 1100°C). Виходячи з цієї градації чутливим є Hg (356°C), As, Cd, Zn – помірно чутливі та інші елементи – нечутливі. Необхідно відзначити, що такі метали, як цинк і мідь, які розглядаються в комплексі при вивченні геохімії ґрунтів, поведуться по різному. Так, температура кипіння цинку 907°C, а міді – 2563°C. Висока порогова температура кипіння міді, а також інших нечутливих елементів передбачає їх накопичення в ґрунті, тоді як чутливі і помірно чутливі легко випаровуються з органічної речовини при пожежі.

Під час пожеж відбувається знищення органічної речовини надґрунтових горизонтів і верхньої частини гумусового горизонту, а також склад гумусу ґрунтів після пожеж характеризується зменшенням кількості гумінових кислот, що призводить до збільшення рН ґрунтів, що важливо для розуміння ступеню надходження елементів у рослини. На фоновій ділянці рН складало 4,2–5,5, тоді як після пожежі – 5,5–7,2. Це залежало від двох складових – щільності лісу, де було відібрано точкові проби та наявності глинистої складової. Як відомо, при надходженні елементів до рослин відбувається переважно в іонних формах. За допомогою термодинамічних розрахунків умов рівноваги природної системи "тверда фаза – розчин" нами було розраховано значення рН ґрунтів, за якими надходження металів до рослин буде найменшим. Наприклад, при значенні ґрунту рН 5,5 цинк мігрує у формі вільних іонів і є доступним для рослин (до пожежі), а вже при 6 (після пожежі) переважає карбонатна форма, що робить елемент недоступним. Це ж стосується і інших металів. При суттєвій зміні рН ґрунтів відбувається поступова зміна рослинності на місцевості, де була пожежа.

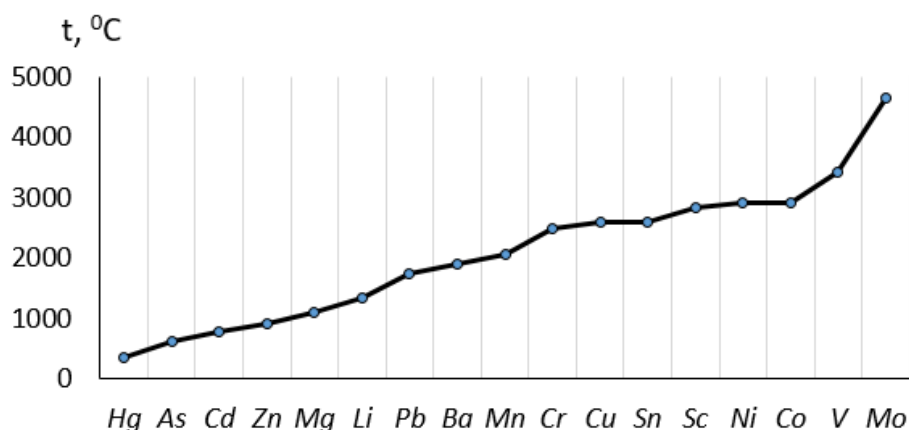


Рисунок 1. Графік температури кипіння хімічних елементів

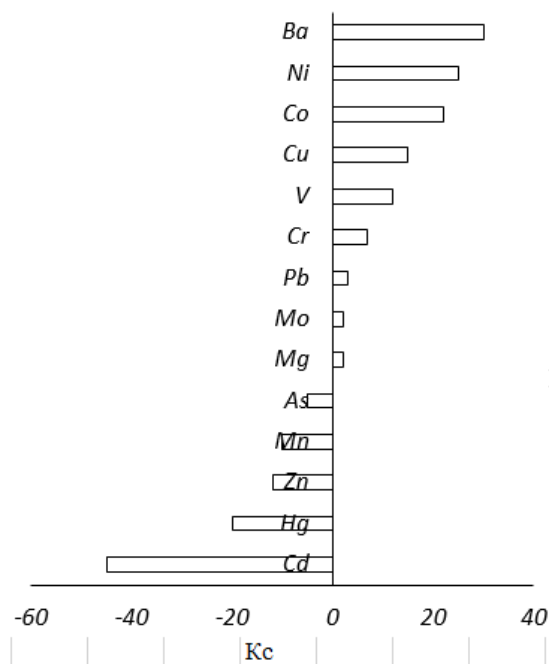
З метою визначення ступеню накопичення чи розсіювання хімічних елементів після пожежі розраховано відсотковий їх вміст, по відношенню до ґрунтів фоновій території та побудовано діаграму (рис 2).

Виокремилися групи елементів, що накопичилися у ґрунті після пожежі, та ті, що розсіялися. Після пожежі у ґрунті встановлено групу металів, вміст яких виявився на 20% більший, ніж на фоновій ділянці – Ba, Ni, Co, Cu, V, Cr, та біля 5% – Pb, Mo, Mg. Після пожежі у ґрунті збідніли – Cd, Hg (більше 20%) та Zn, Mo, As (5–10%).

Висновки. Встановлено, що в результаті низинної пожежі на території Житомирського Полісся підвищується зольність ґрунтів, що призводить до підвищення рН – рН ґрунтів фоновій ділянки – 4,2–5,5, тоді як горілої – 5,5–7,2. Зі зміною фізико-хімічних показників



грунтового покриву пов'язано і різну поведінку окремих елементів. За результатами термодинамічного моделювання встановлено, що при значенні рН 5,5 ґрунту цинк мігрує у формі вільних іонів і є доступним для рослин (до пожежі), а вже при 6 (після пожежі) переважає карбонатна форма, що робить елемент менш доступним. Визначено ступінь накопичення чи розсіювання хімічних елементів після пожежі. Встановлено групу металів, вміст яких виявився на 20% більший, ніж на фоновій ділянці – Ba, Ni, Co, Cu, V, Cr, та біля 5% – Pb, Mo, Mg; ґрунти збідніли – Cd, Hg (більше 20%) та Zn, Mo, As (5–10%).



**Рисунок 2. Діаграма ступеню накопичення чи збіднення (Кс) ґрунтів на хімічні елементи після пожежі**

Зважаючи на те, що у ґрунтах лісових систем накопичуються радіоактивні та інші елементи, лісові пожежі можуть переводити депоновані в компонентах лісової екосистеми потенційно небезпечні хімічні елементи в активну летючу форму, змінювати фізико-хімічні умови ґрунтів та види рослинності, чим представляти геохімічну загрозу.

#### **Література:**

1. Ю.В. Буц, Ю.О. Масто, Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами в природних екосистемах та їх залежність від метеорологічних показників, *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*, Вип. 2(15), с. 52–57, 2010.
2. В.В. Писаренко, Справочник лаборанта-химика. М.: Высшая школа, 192 с., 1970.
3. Б.Л. Щербов, Лесные пожары – важный фактор рассеяния и концентрирования химических элементов в ландшафтах Сибири, *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, №3, с. 37-40, 2014.



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232888>

УДК 631.589.2

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОПОНІКИ В УКРАЇНІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ САЛАТІВ ТА ОВОЧІВ

**Р. В. Литвиненко, В. М. Міхєєнко**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури*

вул. Лазо, 14, м. Краматорськ, 84333, Україна

**e-mail:** r.litvinenko@donnaba.edu.ua, v.m.mikheenko@donnaba.edu.ua

У зв'язку зі змінами клімату на Землі, спустошенням родючих земель України, через недостатню кількість опадів і надмірне використання пестицидів, гербіцидів та інсектицидів, вирощування рослинних культур для споживання значно ускладнилось. Грибкові збудники хвороб, віруси та бактерії мають властивість пристосовуватись до препаратів та залишаються у ґрунті на тривалий час у життєздатному стані. Підвищена інтенсивність використання препаратів призводить до погіршення стану родючого слою ґрунту. Тому на сьогоднішній день набирає актуальності одна з найстаріших технологій вирощування рослин – гідропоніка.

Метою дослідження є вивчення історії та особливостей роботи гідропонних конструкцій, її ефективності порівняно з традиційним способом вирощування культур безпосередньо в ґрунті.

У 1100 році індійські племена Південної Америки і Мексики застосовували плоти «чинампа», для збільшення площ орної землі. Вони використовували переплетені стебла очерету і кукурудзи для побудови плавучих «острівців» на озерах. На каркас накладали багатий поживними речовинами мул з дна річок. Такі озера були дуже багаті розчинними солями, вода прохолодна та добре насичена киснем.

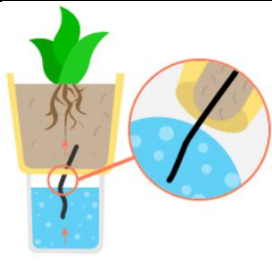

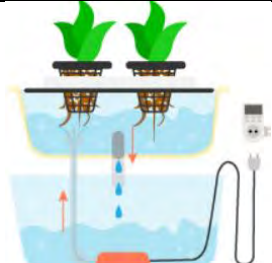
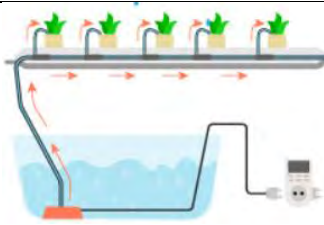
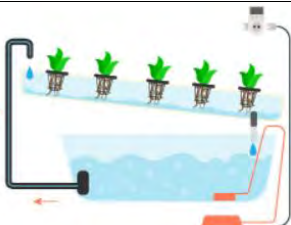
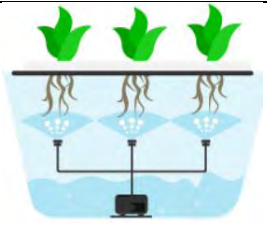
Джон Вудвард - історик та натураліст, член Королівського товариства Англії, у 1699 році провів перший експеримент, який доводить, що рослини отримують живлення з ґрунту за допомогою води. Вудвард продемонстрував, що рослини краще ростуть в річковій воді, ніж у чистій, дистильованій. Він вирощував рослини в воді, в яку додавав різну кількість ґрунту. Таким чином він встановив, що рослини отримують поживні речовини з ґрунту, тобто мінерали, які сприяють росту та розвитку. У 1779 році Ян Інгенхауз відкрив, що для фотосинтеза рослинам необхідне світло. В 1896 році Климентом Тімірязевим вперше в Росії продемонстрований метод вирощування рослин на поживних середовищах. У Нижньому Новгороді на Всеросійській художній та промисловій виставці він демонстрував рослини, які вирощувались в скляному кубі. Всі рослини були поміщені в посудини, заповнені розчинами мінеральних солей. У той час цей метод не набув поширення далі лабораторних досліджень. Засновником сучасної гідропоніки у 1920-1930 роках вважається доктор Вільям Герік. Він першим вивів водну культуру з лабораторії і поставив на промислову основу, заснував термін «гідропоніка». Паралельно дослідям Вільяма Геріка, Денис Хогланд у 1933 році вивів формулу свого розчину, відомого як «розчин Хогланда» [1]. Кількості вказані в грамах в розрахунку на 18 л дистильованої води: хлористий літій 0,5; сульфат міді 1,0; борна кислота 11,0; сульфат алюмінію 1,0; хлористе олово (двовалентне) 0,5; йодистий калій 0,5; сульфат цинку 1,0;

двоокис титану 1,0; хлористий марганець (двовалентний) 7,0; сульфат нікелю 1,0; нітрат кобальту 1,0; бромистий калій 0,5 [2]. Розчин Хогланда добре підходить для вирощування великих рослин, таких як томати або болгарський перець. Розчин також підходить для рослин з меншим рівнем потреби в поживних речовинах, таких як салат латук, і для водних рослин.

Типи гідропонних систем (табл. 1) та субстратів залежать від особливостей вирощуваної культури, наявності достатньої площі для установок, складності використовуваного обладнання та загальних економічних витрат [3].

**Таблиця 1.**

**Типи гідропонних систем**

«Фігильна система»	«Система глибоководних культур»	«Система періодичного затоплення»
		
<p>Плюси: простота використання, мінімальні фінансові витрати, надійність. Мінуси: нестача кисню, уповільнений розвиток рослин через пасивну подачу поживних речовин.</p>	<p>Плюси: простота використання, мінімальні фінансові витрати, пришвидшений розвиток рослин. Мінуси: при поганому очищенні можливі захворювання кореневої системи: цвіль та загнивання кореневої шийки.</p>	<p>Плюси: простота використання, повністю автоматизована система, що не вимагає використання дорогого обладнання, добре насичення поживними речовинами, частина яких затримується в субстраті. Мінуси: вимкнення електроенергії унеможливує роботу установки.</p>
«Система крапельного поливу»	«Nutrient Film Technique» (N.F.T.) техніка живильного шару	«Аеропоніка»
		
<p>Плюси: з використанням таймера у реверсивній системі подача необхідної кількості води та контроль рівня рН відбувається одночасно та автоматично. Корені знаходяться у добре аерованому середовищі. Мінуси: вимагає профілактичної чистки системи, щоб уникнути появи засмічень та плісняви у прикореневій зоні та резервуарах.</p>	<p>Плюси: Не використовується субстрат, це зменшує загальні витрати на нього при вирощуванні культур. Вологе повітря у достатній кількості насичує коріння, що позитивно впливає на ріст надземної частини. Мінуси: пошкодження насосу або вимкнення електроенергії повністю унеможливує роботу системи, коріння швидко висихає.</p>	<p>Плюси: дана система максимально збагачує коріння рослин киснем, водою та поживними речовинами, що є рушійною силою пришвидшеного темпу росту рослин. Мінуси: багато уваги треба приділяти роботі таймера, що регулює подачу води. Для розсіювання поживної речовини використовуються форсунки які схильні до частого засмічення.</p>

В якості субстрату використовується досить велика кількість матеріалів (табл. 2): торф, кокосова стружка, перліт, вермикуліт, мінеральна вата, гідрогель, керамзит, мох, гравій, пісок [4].

**Таблиця 2.**

**Види гідропонних субстратів**

<b>Торф</b>	<b>Кокосова стружка</b>	<b>Перліт</b>	<b>Вермикуліт</b>	<b>Мінеральна вата</b>
				
Найбільш придатний з нормальною зольністю не більше 12%, та ступенем розпаду 10 – 25%	pH близький до нейтрального для розвитку рослин, структурно стійкий, якісні характеристики дренажа, добре утримує повітря та вологість.	Кисла порода вулканічного походження. Добре утримує кисень. Найчастіше використовують у системах фітильного типу, так як має добре вертикальне утримання вологи.	Вторинний мінерал переробки слюди. Має високу вологоємність, велику поглинальну здатність, стійкий до цвілі, що дуже важливо в умовах гідропонних систем.	Продукт переплавки базальту, коксу, вапняку. Має гарну пористість та капілярні властивості. Добре утримує структуру та не пресується.
<b>Гідрогель</b>	<b>Керамзит</b>	<b>Мох</b>	<b>Гравій</b>	<b>Пісок</b>
				
Полімер. При додаванні води розбухають утримуючи велику кількість води. Додаються у ґрунт, або суміші для вирощування рослин.	Будматеріал. Матеріал глина, що пройшла термічну обробку. Висока механічна міцність. Щоб не допускати накопичення метаболітів, що затримують розвиток рослин, треба промивати водою.	Вапнований сфагновий мох. Вологоємний, добре аерується, при рідкому змочуванні поживними речовинами, насичується ними та утримує як запас.	Найбільш поширений субстрат. Має низьку вологоємність, підвищений вміст вапняку. Для гідропонних систем використовують фракції 2 – 5 мм. Потребує частого зволоження.	У гідропоніці використовують пісок крупної фракції. Використовується в домашніх, експериментальних установках. Для масового виробництва не придатний.

Головні функції субстратів – це утримання вирощуваних рослин у вертикальному положенні. Так як безпосередньо субстрат не живить рослину, він утримує поживні речовини



які потрапляють в нього з системи, тим самим діючи в якості «запасу» якщо відбувається екстрене вимикання електроенергії, вологість необхідна кореням зберігається ще деякий час.

Для гідропонних установок використовують відстояну, очищену або дистильовану воду. Кожне джерело води має свої особливості, а якість води визначається за кількома показниками, які можуть згубно впливати на здоров'я рослин. Природна вода може містити надмірну кількість кальцію, що призводить до блокування азоту, калію та інших поживних елементів, в цьому випадку виникає необхідність фільтрації води [5]. Концентрацію розчину підбирають відповідно до рекомендацій виробника. Обсяг розчину в гідропонній посудині необхідно підтримувати на одному рівні. Це можна зробити, якщо регулярно доливати туди звичайну очищену воду. Згідно з інструкцією виробника розчин повністю замінюють кожні три місяці. Для комахоїдних рослин і епіфітів готують розчин з меншою концентрацією в 2 – 4 рази. Швидкозростаючим рослинам необхідно підвищити концентрацію живильного розчину в 1,5 рази. Для однорічних овочевих культур краще робити концентрацію, яка перевищує середню в 1,25 рази. У холодну пору року концентрацію розчину зменшують в 2 – 3 рази. Кислотність гідропонних поживних розчинів в залежності від потреб лежить у діапазоні рН = 5,5 – 7. Виміри проводяться електронним рН-метром з похибкою  $\pm 0,01$ . Основними речовинами для знезараження виступають: хлор діоксид, озон, натрій гіпохлорит, хлорнуватиста кислота, УФ-випромінювання.

Найчастіше на гідропоніці вирощують рослини для споживання в їжу: салати, базилік, м'ята, чебрець, петрушку, цибулю, розмарин, орегано, дещо рідше вирощують помідори та огірки, капусту, редис. Також можливо вирощувати кімнатні рослини: хлорофітум, фікус, плющ звичайний, сциндапус та інші. Складнощі можуть виникнути з вирощуванням суккулентних рослин. Якщо при пересаджуванні рослини в гідропонну систему заливати одразу поживним розчином, це призведе до пошкодження рослини, тому спочатку використовується чиста вода. Через тиждень воду змінюють на поживний розчин. Не кожен сорт вирощуваних овочів та зелені придатний до гідропонного методу, тому були виявлені та нині активно вирощуються такі сорти української селекції компанії Рійк Цваан: капуста – Анкома F1, Єтма F1, Адема F1, Естрема F1; салати – Сантарінас, Платінас, Клаудіус, Екзект; томати – Васанта F1, Аттія F1, Беріл F1, Айвенго F1 та ін [6].

На сьогоднішній день гідропонна технологія отримала всесвітнє визнання і широко поширилася в багатьох країнах світу. Лідерами в цій сфері є такі країни, як Нідерланди, Франція, Великобританія, Ізраїль, Канада, Австралія. У цих країнах протягом декількох десятиліть експериментальним шляхом проводились пошуки і розробки досконаліших, адаптованих до місцевих умов і відповідають певним вимогам споживчого ринку способів безпідставного вирощування культур. В результаті виникли кілька напрямків, що відрізняються технологічними особливостями: типом використовуваного субстрату, або ж повною його відсутністю, рівнем, масштабами виробництва (промислове або невелике фермерське господарство).

У Великобританії, був розроблений перший з методів гідропоніки – техніка живильного шару «Nutrient Film Technique», далі – (N.F.T.). Центр передових гідропонних технологій знаходиться на північному сході Великобританії, в Стокбридж-Хаусі. Він фінансується не тільки урядом, але і вкладами фермерів, які займаються рослинництвом із застосуванням гідропоніки на комерційній основі. Принцип N.F.T. полягає в повній відсутності субстрату, коли рослини розміщуються безпосередньо в пластикових трубах, по яких і подається живильний розчин. Завданням центру є визначення причин виникнення практичних проблем та їх вирішення, а також розробка нових гідропонних технологій, дослідження дії поживних речовин на нові культури. Для подальшого розвитку гідропоніки, в країні розроблені першокласні сучасні теплиці, оснащені комп'ютерними технологіями, які контролюють харчування і параметри навколишнього середовища. Англійські фермери, які застосовують технології вирощування культур без субстрату, складають гідну конкуренцію представникам інших країн на Європейському ринку.

Канада також знайшла свою нішу на ринку гідропонних культур. Вона є важливим постачальником овочів, вирощених гідропонним способом, для сполучених Штатів Америки. Велика частина томатів, огірків, солодкого перцю, які продаються взимку в американських супермаркетах, вирощуються з застосуванням гідропоніки в Канаді. Величезні водні ресурси країни і невисока собівартість електроенергії дозволяють використовувати для гідропонного вирощування рослинних продуктів харчування величезні, ультрасучасні, високотехнологічні тепличні комплекси і отримувати високі доходи від реалізації цієї продукції. Австралія, де гідропоніка успішно застосовується вже не одне десятиліття, міцно увійшла в кількість найбільших експортерів в країни Тихоокеанського регіону як постачальник рослинної продукції, вирощеної за допомогою новітніх технологій. Найбільший попит серед австралійських фермерів має полуниця вирощена гідропонним методом. Вони одними з перших оцінили і застосували технологію гідропоніки, як найбільш відповідну їх кліматичним особливостям. Сьогодні Австралія – одна з провідних країн в області виробництва гідропонного обладнання [7]. В Україні на даний час відомі дві працюючі компанії: вертикальні ферми «Щастя здоров'я» та «Грін гарден груп». Ці ферми вирощують салати, м'яту, базилік, шпинат, щавель. Продукція цих компаній доступна у мережах супермаркетів. Всесвітньо відома селекційно-насінна компанія «Рійк Цваан» розпочала свою діяльність в Україні у 1998 році, а в 1999 - відкрила дочірнє представництво ТОВ «Рійк Цваан Україна». Головний офіс розташований в Нідерландах.

Як будь-яка штучна система, гідропоніка вимагає підвищеної уваги, так як повністю залежить від людини. На відміну від традиційного вирощування рослин, гідропонний метод повністю автоматизований та залежить від електроенергії тому, особливо на великих підприємствах, треба мати підтримуючі акумулятори, що забезпечують безперервну роботу системи. Також треба проводити постійний моніторинг щодо справності роботи пристроїв для поживних сумішей, підвищення або зменшення концентрації через поломку може призвести до різкого зменшення врожаю. Проте, незважаючи на недоліки, гідропоніка має значні переваги.

За результатами розрахунків аналітиків Pro-Consulting, рентабельність тепличного господарства по вирощуванню салату та зелені в нинішніх умовах становить 23,2%. Передбачається, що в тепличному комплексі площею 2 га за методом гідропоніки вдасться збирати по 4 врожаю овочів і 12 врожайів зелені за рік. «Спочатку будуть потрібні досить суттєві фінансові вкладення для того, щоб організувати господарство на вищому рівні. Так, на будівництво теплиць піде 76,7% коштів. Необхідні елементи інфраструктури, такі як котельня, баки запасу води, пригрунтовий, верхній і лотковий обігрів, конденсаторна установка CO<sub>2</sub> та інше займають 15,3% від усіх витрат. Передбачено й інші статті витрат: організаційні – 4,2%, маркетингові – 0,1%», – свідчать розрахунки. В результаті – такий тепличний комплекс матиме рентабельність продажів на рівні 23,2%, тобто кожен долар доходу буде містити в собі більше 23 центів чистого прибутку [8].

Ключові переваги цієї інноваційної технології полягають у підвищеному вмісті мінеральних сполук у продукції та збільшенні терміну її зберігання. Економічні переваги – у тому, що при менших площах використовуваної землі та споживанні прісної води, при застосуванні гідропонних технологій, врожай можна отримувати протягом 7 – 8 місяців, тобто більш тривалий період, тоді як в умовах традиційної аграрної діяльності найвища інтенсивність збору врожаю 5 – 6 місяців. За умов посушливого клімату степової зони України традиційна аграрна діяльність значно поступається гідропоніці, так як врожай піддається прискореному в'яненню у найбільш спекотні місяці: кінець червня – липень. Також, у розжареній землі через надмірне випаровування та зростанню бур'яну порушується процес прямого надходження поживних речовин по капілярам ґрунту до коренів, тоді як у гідропонній системі мінеральні солі доступні тільки для вирощуваних культур, які поглинають поживні речовини відповідно до своїх потреб. При тій же кількості виробленої продукції порівняно з традиційним методом зменшення споживання води становить 70 – 80%.



Основною причиною активного використання гідропонного методу вирощування овочів сучасними аграріями є значна економічна вигода. Вона досягається за рахунок високої врожайності і скорочення кількості ресурсів, необхідних для реалізації методу. За допомогою гідропоніки в нашій країні вирощуються переважно зелень і овочеві культури. На ці рослини існує цілорічний попит, тому, з точки зору збуту, вони є найбільш вигідними. Крім того, при культивуванні в гідропонних системах вони дають більш високу врожайність, на відміну від інших сільськогосподарських культур. Ще одна перевага гідропоніки – зниження витрат на виробничі потреби за рахунок: раціональної витрати енергії для локального обігріву субстрату; відсутності необхідності додаткової обробки ґрунтів (оранка, аерація); скорочення кількості необхідного субстрату в 15 – 30 разів; раціонального використання води (завдяки крапельному поливу та встановленню зворотного контуру); зменшення пропорцій необхідних мінеральних добрив (до 40%); економії на пестицидах; контролювання і своєчасного регулювання показників інертного середовища. Важливими є і соціальні причини підвищення популярності гідропоніки. В першу чергу це цілорічне забезпечення робочими місцями персоналу, що обслуговує теплиці з культурами. Крім того, обробка ґрунтів проводиться без застосування сільськогосподарської техніки. Немає необхідності дотримуватися районування, а також захищати рослин від бур'янів, використовуючи небезпечні пестициди та інші хімічні сполуки. Завдяки впровадженню сучасних технологій, трудомісткість роботи знижується в рази. При цьому висока ефективність застосування гідропоніки і можливість створити сприятливі умови для вирощування практично в кожній теплиці, дозволяє розвивати бізнес у будь-яких регіонах.

#### **Література:**

1. Історія гідропоніки. URL: <https://ua.waykun.com/articles/istorija-gidroponiki-gidroponika-etc.php> (дата звернення: 18.04.2021).
2. Рецепти живильних речовин. URL: <https://gidroponika.com/content/view/35/237/> (дата звернення 18.04.2021).
3. Sharma N. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview / N. Sharma, S. Acharya, K. Kaushal, N. Singh, O. P. Chaurasia // Journal of Soil and Water Conservation. – 2019. - 17(4). - P. 364-371. DOI: 10.5958 / 2455-7145.2018.00056.5. (дата звернення: 26.04.2021)
4. Селянский А. Овощеводство/ А. Селянский, Е. Лобашев. // Теплица от «А» до «Я». -2013. - №6. С. 65-68. (дата звернення: 26.04.2021)
5. Mefi, Tigrik. Hydroponic journal (гідропонний журнал на руському мові). – 2011. 32 с. URL: [https://www.studmed.ru/hydroponics-journal-gidroponnyu-zhurnal-na-russkom-yazyke-2011-1\\_746c6dc4e3e.html](https://www.studmed.ru/hydroponics-journal-gidroponnyu-zhurnal-na-russkom-yazyke-2011-1_746c6dc4e3e.html) (дата звернення: 18.04.2021).
6. Компанія «Рійк Цваан». Сорти української селекції. URL: <https://www.rijkwaaan.ua/> (дата звернення: 18.04.2021).
7. Досвід зарубіжних країн. URL: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/gidroponika-opyt-raznykh-stran/> (дата звернення: 18.04.2021).
8. Економічні витрати на гідропонні теплиці. URL: <https://proconsulting.ua/ua/pressroom/zelen-v-rezhime-non-stop-u-nas-est-proekt-sozdaniya-pribylnogo-teplichnogo-hozyajstva> (дата звернення: 18.04.2021).



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233428>

УДК 504.3.054

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ В РАЙОНЕ ГАЗОПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА МЕТОДОМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

**В.И. Прохоренкова, Е.А. Самусик, Т.П. Марчик**

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы*

ул. Ожешко, 22, Гродно, 230023, Республика Беларусь

**e-mail:** prokhorenkova.1996@mail.ru

В настоящее время методы биоиндикации хорошо разработаны и широко применяются в практике исследований состояния атмосферы, диагностики качества водной и почвенной среды. Большинство исследователей склоняются к растениям, как к очень чувствительным и надежным индикаторам загрязненности атмосферы [1–3]. Чувствительные фитоиндикаторы указывают на наличие в воздухе или почве загрязнителя морфологическими реакциями – изменениями цвета листьев (появление хлороза, желтого, коричневого или бронзового), различных форм некроза, преждевременного увядания и опадания листьев, изменением симметричности листьев или признаков. Метод флуктуирующей асимметрии достаточно прост с точки зрения сбора, хранения и обработки материала. Он не требует специального сложного оборудования, но при этом позволяет получить интегральную оценку состояния организма при всем комплексе возможных воздействий.

Целью работы была оценка состояния древесных насаждений в районе воздействия газопылевых выбросов ОАО "Красносельскстройматериалы" (г. Волковыск, Беларусь). Район исследования расположен в Гродненско-Волковыско-Лидском агропочвенном районе Центральной почвенной провинции (Беларусь).

Объект исследования – листья древесного растения (*Betula pendula* Roth.), отобранные в градиенте расстояния от предприятия (от 1 до 15 км) с учетом «розы ветров» (СЗ, ЮЗ, СВ, ЮВ). Количество пробных площадок составило 28, для каждой из них было исследовано по 25 растительных образцов.

Методика определения стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth) по величине флуктуирующей асимметрии листовых пластинок основана на системе промеров листа. Для этого на каждой листовой пластинке выполнялось по 5 измерений с левой и правой половины листа. Измерения проводились в лабораторных условиях с помощью измерительного циркуля, линейки и транспортира. Для значения показателя асимметрии разработана пятибалльная шкала отклонения от нормы [4], в которой 1 балл – условная норма, а 5 баллов – критическое состояние. Полученные результаты подвергнуты обработке с помощью статистического пакета «Statistica for Windows» 6.0, Excel 2007.

Для расчета коэффициента флуктуирующей асимметрии (КФА) на предварительном этапе обработки данных по параметрам асимметрии листовых пластинок необходимо было убедиться во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака и отсутствии или

наличии направленной асимметрии и антисимметрии. Направленная асимметрия и антисимметрия детерминируется генотипически.

Для установления наличия или отсутствия направленной асимметрии была проверена гипотеза о равенстве показателя симметрии на левой и правой стороне листовых пластинок с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

Было установлено наличие направленных различий между левой и правой сторонами листовых пластинок по некоторым признакам как в градиенте расстояния от источника загрязнения, так и по направлениям. Полученные результаты принимали во внимание при определении КФА и такие признаки не учитывались. Таким образом, расчет КФА осуществлялся с внесением поправок, обусловленных наличием направленной асимметрии.

Антисимметрия не запрещает проявления флуктуирующей асимметрии. Соответственно для наличия или отсутствия антисимметрии определяли эксцесс КФА и проверяли его на значимость. Для территорий, значения эксцесса которых положительны, антисимметрия отсутствует. В случае отрицательного эксцесса проверялась гипотеза о его значимости, которая подтвердила равенство эксцесса нулю, что свидетельствует об отсутствии антисимметрии.

В соответствии с условной шкалой отклонения от нормы определен уровень загрязнения газопылевыми выбросами предприятия по производству строительных материалов в исследованных пробных площадках. В северо-западном направлении в градиенте расстояния от источника загрязнения (в радиусе 2,5 км) КФА составляет 1 балл по пятибалльной шкале значений показателя асимметрии и определяется как условно-нормальное качество среды

На расстоянии 6 км от цементного предприятия наблюдается увеличение величины асимметрии и соответствует 2 баллам по пятибалльной шкале значений показателя асимметрии. Можно предположить, что это связано с особенностями рассеивания загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источника загрязнения.

На расстоянии 15 км от предприятия по производству стройматериалов были отобраны контрольные растительные образцы, где показатель асимметрии соответствует 1 баллу. Это связано с тем, что данная пробная площадка расположена вне зоны рассеивания выбросов комбината и не подвергается антропогенному воздействию со стороны источника загрязнения.

В юго-восточном направлении растительные образцы с пробных площадок, отобранных в градиенте расстояния от источника загрязнения (1-2,5 км и 6-8 км) по значению величины асимметрии соответствуют норме. Однако, на расстоянии 3,5 км от источника загрязнения наблюдается повышение значения величины асимметрии, соответствующей 2 баллам. Это можно объяснить тем, что на данной пробной площади, вероятно, происходит осаждение загрязняющих веществ из выбросов цементного предприятия.

В юго-западном направлении в радиусе 1 км от источника загрязнения показатель асимметричности листьев соответствует 4 баллам, наблюдается существенное отклонение от нормы. Образцы листьев, отобранные в градиенте расстояния от источника загрязнения (2,5 и 6 км) также характеризуются КФА, соответствующим 3 баллам. Это говорит о среднем уровне отклонения от нормы. На расстоянии 15 км КФА соответствует 1 баллу и соответствует условно-нормальному качеству среды.

В северо-восточном направлении в радиусе 1 км от источника загрязнения показатель асимметричности соответствует 5 баллам, наблюдается критическое состояние качества среды. В радиусе 1,5 км КФА соответствует 3 баллам – средний уровень отклонения от нормы. Однако, на расстоянии 2,5 км от источника загрязнения наблюдается повышения значения величины асимметрии, соответствующей 5 баллам. Наблюдается критическое состояние

качества среды. Прилегающая зона (в радиусе 2,5 км) к источнику техногенного загрязнения северо-восточного направления характеризуется неблагоприятной для роста и развития растений. В радиусе 3,5 и 6 км показатель асимметричности соответствует 3 балам – среднее отклонение от нормы. В радиусе 8 и 15 км от источника загрязнения показатель асимметричности соответствует 1 баллу и определяется как условно-нормальное качество среды.

С целью выяснения влияния на величину асимметрии листовой пластинки березы повислой был проведен однофакторный дисперсионный анализ (таблица 1).

Только для юго-западного направления установлено достоверное влияние расстояния на исследуемый признак. Влияние расстояния от источника выбросов на КФА по остальным направлениям недостоверны.

**Таблица.**

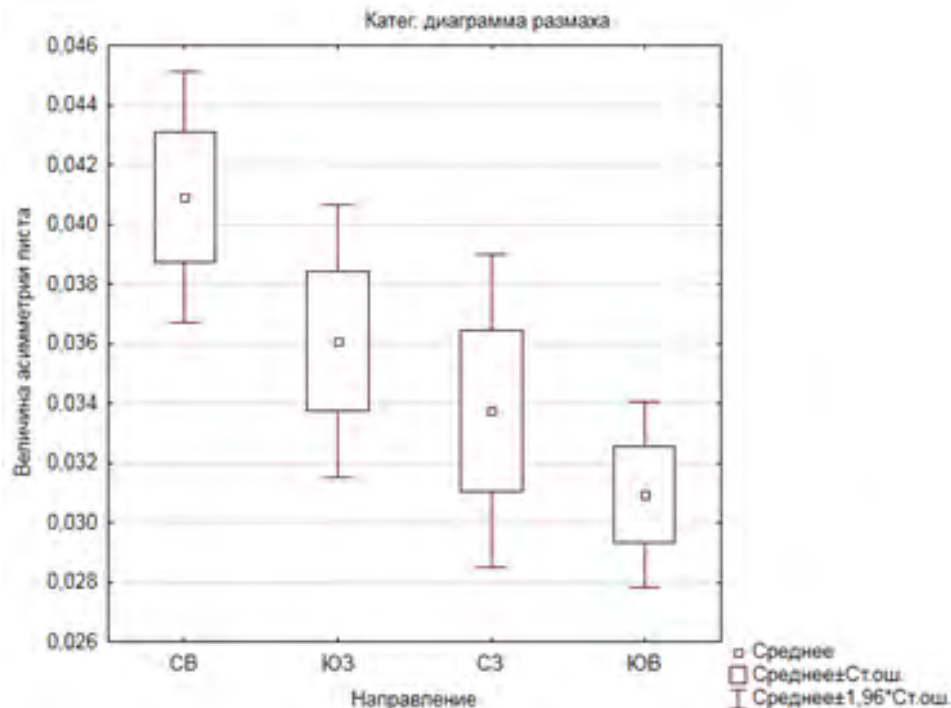
**Результаты однофакторного дисперсионного анализа  
(фактор – расстояние от источника выбросов)**

Исследуемый признак	Статистические параметры	Влияющий фактор			
		северо-восток	юго-запад	северо-запад	юго-восток
Величина асимметрии листа	$\eta^2$ , %	1,95	15,15	3,67	0,78
	F	0,56	5,71	1,22	0,22
	p	0,76	0,001	0,31	0,97

Также был проведен однофакторный дисперсионный анализ с целью выяснения влияния направления ветра на КФА. Результаты показали, что сила влияния составляет лишь 2,58% (при  $p=0,003$ ). Однако обнаружена статистически достоверная разница коэффициента флуктуирующей асимметрии по направлениям. В частности, между северо-и юго-востоком ( $p=0,00022$ ), северо-востоком и северо-западом ( $p=0,0232$ ) (рисунок 1).

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что газопылевые выбросы цементного завода оказывают определенное воздействие на древесные насаждения в зоне осаждения пылевых частиц. Однако, дополнительным источником, влияющим на ассиметричность листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth), являются выхлопных газы автотранспорта с близлежащих транспортных путей. Именно при совместном воздействии стресс-реакция является максимальной, что и проявляется в виде асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth). Наименее благоприятные условия для произрастания березы повислой наблюдается в северо-восточном направлении от цементного завода, что проявляется в виде асимметрии листьев. В частности, в радиусе 2,5 км от источника загрязнения среднее значение коэффициента флуктуирующей асимметрии для березы

повислой, произрастающей в северо-восточном направлении, составило 0,052 (4 балл состояния).



**Рисунок. Диаграмма размаха величин асимметрии листовой пластинки березы повислой по направлениям ветра**

Таким образом, метод флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой является эффективным методом для изучения состояния древесной растительности в условиях антропогенного воздействия. Расчет интегральных показателей флуктуирующей асимметрии березы повислой позволил получить оценку качества среды на заложенных пробных площадках.

#### **Литература:**

1. Артамонов, В.И. Растения и чистота природной среды / В.И. Артамонов. – М.: Наука, 1986. – 172 с.
2. Бессонова, В.П. Состояние пылицы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В.П. Бессонова // Экология. – 1992. – № 4. – С. 45–50.
3. Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений / Г.М. Илькун. – Киев: Наук. думка, 1971. – 146 с.
4. Захаров, В.М. Здоровье среды: Методика оценки/ В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецкий, Н.Г. Кряжева, Е.К. Чубинашвили// Центр экологической политики России, Москва. – 2000. – С.27–35.
5. Федорова, А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учеб. пособие для студентов вузов / А. И. Федорова, А. И. Никольская. – М.: Владос, 2001. – 286 с.



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233150>

УДК 58.085

## ОТРИМАННЯ ТА БІОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ КАЛУСНОЇ, СУСПЕНЗІЙНОЇ ТА КУЛЬТУРИ RI-КОРЕНІВ *TRIGONELLA FOENUM-GRÆCUM* L.

С.С. Ремезовський

*Київський Палац дітей та юнацтва*

Вул. Івана Мазепи, 13, Київ, 01010, Україна

e-mail: [Svyatoslav\\_remezovskyi@ukr.net](mailto:Svyatoslav_remezovskyi@ukr.net)

Сьогодні важливим джерелом екологічно чистої сировини лікарських рослинних препаратів може бути біомаса культивованих клітин. Вона може стати також джерелом харчової сировини контрольованої високої якості, за необхідності збагаченої мікроелементами, вітамінами, іншими біологічно активними речовинами. Використання рослинної культури *in vitro* дозволяє за строго контрольованих умов визначити особливості накопичення цінних речовин, в тому числі і таких, що мають лікарські властивості. Крім того, такі дослідження уможливають відбір ліній рослин, що характеризуються підвищеною продуктивністю цінних лікарських речовин, а також стандартизувати умови вирощування рослин або клітинних культур з метою підвищення рівня виходу цільових речовин.

Зважаючи дані щодо високого рівня вмісту поліфруктанів та інших поживних речовин у насінні гуньби сінної [1], **метою** нашої роботи було ініціювати утворення калусної, суспензійної культури та культури «бородатих» коренів гуньби сінної та виміряти вміст поліфруктанів у рослинах, клітинній, суспензійній та кореневій культурі гуньби сінної та оцінити можливість використання рослинної культури *in vitro* для біотехнологічного виробництва поліфруктанів.

З метою введення рослин гуньби сінної культуру *in vitro* насіння стерилізували протягом однієї хвилини у 70% етиловому спирті, потім у 50% розчині білизни (2% гіпохлориту натрію) протягом 5 хвилин, потім промивали стерильною дистильованою водою (п'ять рази по п'ять хвилин).

Стерильне насіння висаджували у чашки Петрі на живильне середовище MS [2]. Рослини грибною трави культивували при постійному освітленні, температурі 22°C. Для ініціації калусної культури до живильного середовища додавали 2 мг/л 2,4-дихлорфенооцтової кислоти. Надалі експланти (черешкові, кореневі, листкові) культивували в термостаті при температурі 28°C, після стимуляції калусотворення отримані калусні культури культивували при 22°C, постійному освітленні.



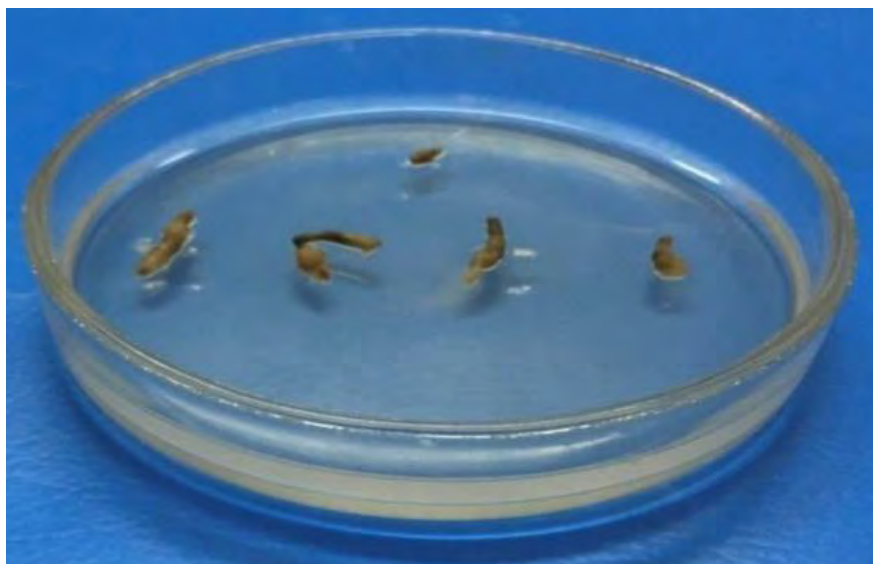


**Рисунок 1. Ініціація калусоутворення на гіпокотильних проростках гуньби**

З метою ініціації суспензійної культури отримані калусні культури переносили до рідкого живильного середовища та культивували на орбітальному шейкері (150 об./хв.) при 28°C.

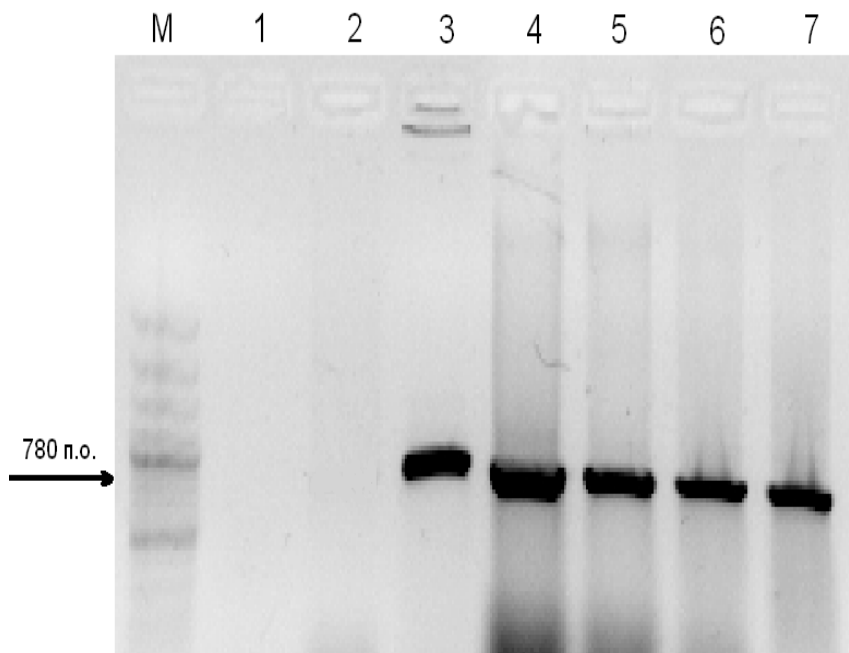
Для отримання культури трансгенних коренів використовували агропіновий штам A4 *Agrobacterium rhizogenes*. Бактеріальну суспензійну культуру отримували у рідкому живильному середовищі LB на шейкері (200 об./хв.) за температури 28°C протягом 24 годин.

Суспензійну бактеріальну культуру осаджували центрифугуванням (5000 об./хв.), ресуспендували у рідкому живильному середовищі MS з додаванням 200 мкМ ацетосирингона. Рослинні експланти інкубували бактеріальною суспензією протягом 48 годин на розсіяному світлі. В подальшому експланти перенесли на агаризоване живильне середовище з додаванням 500 мг/л антибіотику цефотаксима для елімінації бактерій.



**Рисунок 2. Ініціація Ri-коренетворення на гіпокотильних проростках гуньби**

Для підтвердження трансгенної природи отриманої культури «бородатих» коренів проводили ПЛР аналіз. ПЛР для ампліфікації фрагмента (780 п.н.) агробактеріального *rolB* гена для підтвердження трансгенної природи отриманої культури „бородатих” коренів проходила з використанням праймерів 5'-atggatccsaaattgctattcctccacga-3', 5'-ttaggcttcttcttcaggttactgcagc-3' за наступних умов: денатурація 94°C/5 хв.; 34 цикли (денатурація 94°C/30 с, відпал 65°C/30 с, синтез 72°C/45 с); заключний синтез 72°C/5 хв. ПЛР-аналіз дозволив виявити присутність агробактеріального гену *rolB*, що підтверджує трансгенну природу отриманої кореневої культури для всіх аналізованих ліній культури „бородатих” коренів

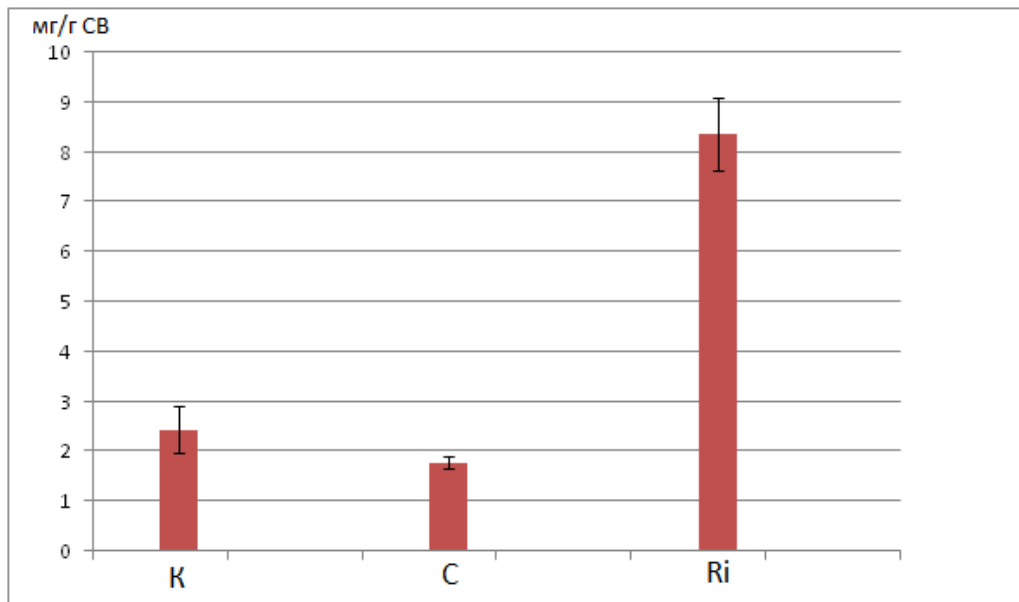


**Рисунок 3. Електрофореграма ПЛР-аналізу на присутність *rolB* гену**  
М – Маркер (1 kbPlusDNA Ladder, Fermentas), 1 – негативний контроль (проба без ДНК), 2 – негативний контроль (ДНК нетрансформованої рослини), 3 – позитивний контроль (плазмідна ДНК (A4)), 4-7 – ДНК аналізованих зразків культури „бородатих” коренів

Для приготування екстрактів ініційованих калусних, суспензійних культур та зразків культури «бородатих» коренів рослини зважували, перетирали у рівному об’ємі гарячої дистильованої води, екстракти кип’ятили протягом 10 хв. на водяній бані, центрифугували. Для аналізу використовували надосадну рідину.

Вміст поліфруктанів визначали за методом Мак-Рері та Слатері [3], який базується на реакції Селіванова, суть якої полягає в здатності кетоцукрів забарвлюватись ризорцимом в кислому середовищі. Далі відбирали 0,5 мл екстракту і додавали 0,5 мл 0,1% розчину резорцину та 0,5 мл концентрованої соляної кислоти. Нагрівали на водяній бані протягом 20 хв. при температурі 80°C. Отримані розчини охолоджували та вимірювали інтенсивність забарвлення на спектрофотометрі при довжині хвилі 490 нм. Концентрацію визначали за калібрувальним графіком, побудованим на основі вимірювання інтенсивності забарвлення стандартних розчинів фруктози з концентраціями 0 мг/мл, 1,25 мг/мл, 2,5 мг/мл, 5 мг/мл.

Було виявлено, що найбільше поліфруктанів міститься у культурі Ri-коренів (до 9 мг/г СВ), менше - у суспензійній культурі та калусній культурі, можливо, через низьку диференціацію клітин у даних культурах та через той факт, що для проведення експерименту використовували суспензійні культури тривалого культивування (підвищений вміст поліфруктанів є характерною рисою ювенільних рослинних тканин).



**Рисунок 4. Вміст поліфруктанів у рослинній клітинній, суспензійній та кореневій культурі пажитника**  
(К – калусна культура, С – суспензійна культура, Ri - культура волохатих коренів)

**Література:**

1. Pribacl C., Ardelean A. *In Vitro* culture of *Trigonella foenum-graecum* plantules and their anatomic characterization. // EMC 2008 14th European Microscopy Congress 1-5 September 2008, Springer Berlin Heidelberg, Aachen, Germany. Vol.3, pp: 181-182
2. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol.Plant.*, 1962, Vol.15(3), pp. 473–97.
3. Єрмаков А.І., Арасімовіч В.В., Ярош Н.П. та ін. *Методи біохімічного дослідження рослин.* Л.: Агропромиздат, 1987, С. 143



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.233111>

УДК 575.827:604.6:582.6/.9

## ОТРИМАННЯ ТРАНСГЕННИХ РОСЛИН ТЮТЮНУ ТА МАНГОЛЬДУ, ЩО ЕКСПРЕСУЮТЬ РЕКОМБІНАНТНИЙ ГЕН ІНТЕРФЕРОНУ ЛЮДИНИ АЛЬФА

К.О. Ситник<sup>1</sup>, Ю.С. Лучаківська<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Київський Палац дітей та юнацтва

вул. Івана Мазепи, 13, м. Київ, 01010, Україна

<sup>2</sup>Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

вул. Академіка Заболотного, 148, м. Київ, 03143, Україна

e-mail: [katiasytnyk@gmail.com](mailto:katiasytnyk@gmail.com)

Інтерферон альфа – лейкоцитарний секреторний білок неспецифічного імунітету людини. Інтерферон альфа 2b використовують в медицині для лікування раку печінки [1], сечового міхура [2], гепатитів С [3], В, COVID-19 [4], хронічного мієлоїдного лейкозу [5], меланоми [6], також цей білок є критично важливим для контролю ВІЛ [7].

Сьогодні в промислових масштабах рекомбінантний інтерферон отримують в культурах бактеріальних (*Escherichia coli*) і тваринних (Hamster Ovary Cells) клітин. Синтез білка в рослинних клітинах вважається безпечнішим, оскільки дозволяє уникнути додаткової очистки препарату (від можливої контамінації бактеріальними токсинами або тваринними вірусами і пріонами), та дешевшим, адже білок не потребуватиме посттрансляційних модифікацій, що є необхідними при використанні бактеріальних експресійних систем, чи вартісних умов культивування у випадку використання культур тваринних клітин. Крім того, накопичення рекомбінантних білків в рослинах уможлиблює їх транспортування без холодильників і значно спрощує їх зберігання. До того, використання трансгенних рослин, що можуть вживатися в їжу у сирому вигляді, дозволяє уникнути необхідності вартісного очищення білкового продукту та необхідності використання спеціального медичного обладнання. Але, в той же час, актуальною залишається можливість паралельної препаративної очистки цільового білка з метою подальшого вивчення його біологічних властивостей. Таким чином, в нашій роботі ми плануємо використання рекомбінантного гену інтерферону альфа людини злитого з his-tag послідовністю, що уможливило б його афінну очистку з рослинних тканин.

Отже, метою представленої роботи є отримання трансгенних рослин тютюну та мангольду, що містять ген рекомбінантного інтерферону альфа 2b злитого з his-tag послідовністю.

Для генетичної трансформації мангольду (*Beta vulgaris* L.) використовували асептичні проростки рослин сортів Ізумруд, Алий, Міраж. Гіпокотильні експланти та сім'ядольне листя мангольду культивували на живильному середовищі MS з додаванням 2 мг/л БАП протягом двох тижнів перед інокулюванням агробактеріальною суспензією. Модельні рослини тютюну *Nicotiana tabacum* L. сорту Вірджинія також вирощували на середовищі MS при кімнатній температурі (20-22°C).

## pNPB0030

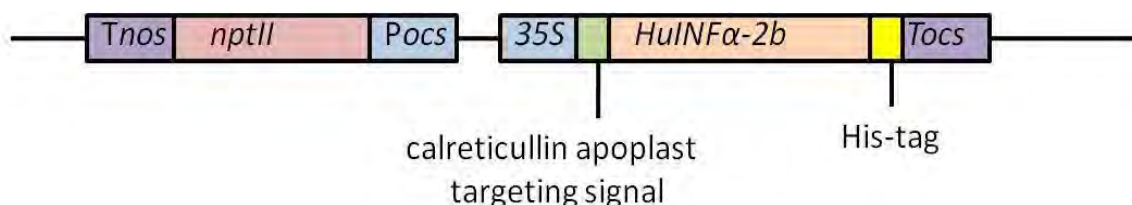


Рисунок 1. Векторна конструкція pNPB0030

LB, RB - праві та ліві межі T-ДНК, HuINF $\alpha$ -2b - ген інтерферону альфа-2b людини; nptII - ген неоміцинофосфотрансферази; calreticullin targeting signal - лідерна послідовність рослинного кальретікулінового сигналу таргетингу цільового білку в апопласт; 35S - 35S промотор вірусу мозаїки цвітної капусти; Pnos, Tnos - промотор та термінатор гену нопалінсинтетази; Tocs - термінатор гену октопінсинтетази.

Векторну конструкцію pNPB0030 (рис.1), що містила цільовий ген інтерферону альфа, злитий з апопластним сигналом таргетингу і his-tag послідовністю, та селективний ген nptII, що обумовлював стійкість рослинних клітин до антибіотику канаміцину, було люб'язно надано Інститутом клітинної біології та генетичної інженерії НАН України. Для отримання суспензійної бактеріальної культури *Agrobacterium tumefaciens* (штам GV 3101), що містила плазмідний вектор pNPB0030, використовували рідке середовище LB, що містило 50 мг/л карбеніциліну та 25 мг/л рифампіцину, та культивували на орбітальному шейкері при постійному перемішуванні (200 об./хв.) за температури 28°C.

Для трансформації рослин тютюну бактеріальну культуру осаджували за допомогою центрифугування та надалі ресуспендували в рідкому живильному середовищі MS. Трансформації піддавали листові експланти модельної рослини шляхом нанесення дрібних ушкоджень за допомогою скальпеля і подальшого перенесення їх у рідке середовище з культурою агробактерій. Через 2 доби трансформовані експланти переносили на середовище MS із додаванням 0,1 мг/л нафтилоцтової кислоти (НОК) і 1 мг/л 6-бензінамінопурину (БАП) для ініціації регенерації рослин, 500 мг/л антибіотику цефотаксиму для елімінації бактерії і 100 мг/л селективного антибіотику канаміцину, в умовах кімнатної температури і постійного освітлення.

Для трансформації рослин мангольду суспензійну бактеріальну культуру осаджували центрифугуванням (5000 об./хв., 4°C). Отриманий осад ресуспендували у рідкому MS середовищі, що додатково містило 200 мкМ ацетосирингону, та надалі культивували на ротаційному шейкері за температури 28°C та 200 об./хв. протягом години. Гіпокотильні та сім'ядольні експланти асептичних проростків мангольди після інкубування протягом 5-10 хв.



у отриманій бактеріальній суспензійній культурі, піддавали вакуум-інфільтрації. Генетична трансформація проходила на стерильному фільтрувальному папері протягом 48 годин на розсіяному світлі. В подальшому експланти переносили на агаризоване живильне середовище MS с додаванням 100 мг/л антибіотику канаміцинсульфату в якості селективного агенту, 500 мг/л антибіотику цефотаксиму для елімінації бактерій та 1 мг/л БАП, 0,3 мг/л НОК, 0,4 мг/л ГК, тіосульфату срібла, 0,5 г/л ПВП, 0,1 г/л проліну для ініціації регенерації рослин мангольду та культивували за температури 24°C, 16-годинному фотоперіоді.

Сумарну рослинну ДНК екстрагували згідно Doyle J.L. та Doyle J.J.[8] Присутність трансгенів підтверджували за допомогою аналізу методом ПЛР. Ампліфікацію фрагменту цільового гену людського інтерферону альфа *HuINFα-2b* (264 п.н.) проводили з використанням праймерів 5'-ctcctgctgaaggaca-3', 5'-ggagtcctcctcatcag-3' проводили одночасно з ампліфікацією фрагменту гену агробактерії (*virD1* – 432 п.н.) з використанням праймерів 5'-atgtcgaaggcagtaagccca-3', 5'-ggagtccttcagatggagca-3'; для ампліфікації фрагмента селективного гена *nptII* (622 п.н.) ПЛР проводили з використанням праймерів 5'-cctgaatgaactccaggacgaggca-3', 5'-gctctagatccagaggtcccgcgctcagaag-3'. Продукти реакції фракціонували в 1% агарозному гелі у присутності бромистого етидію в трис-ацетатній буферній системі.

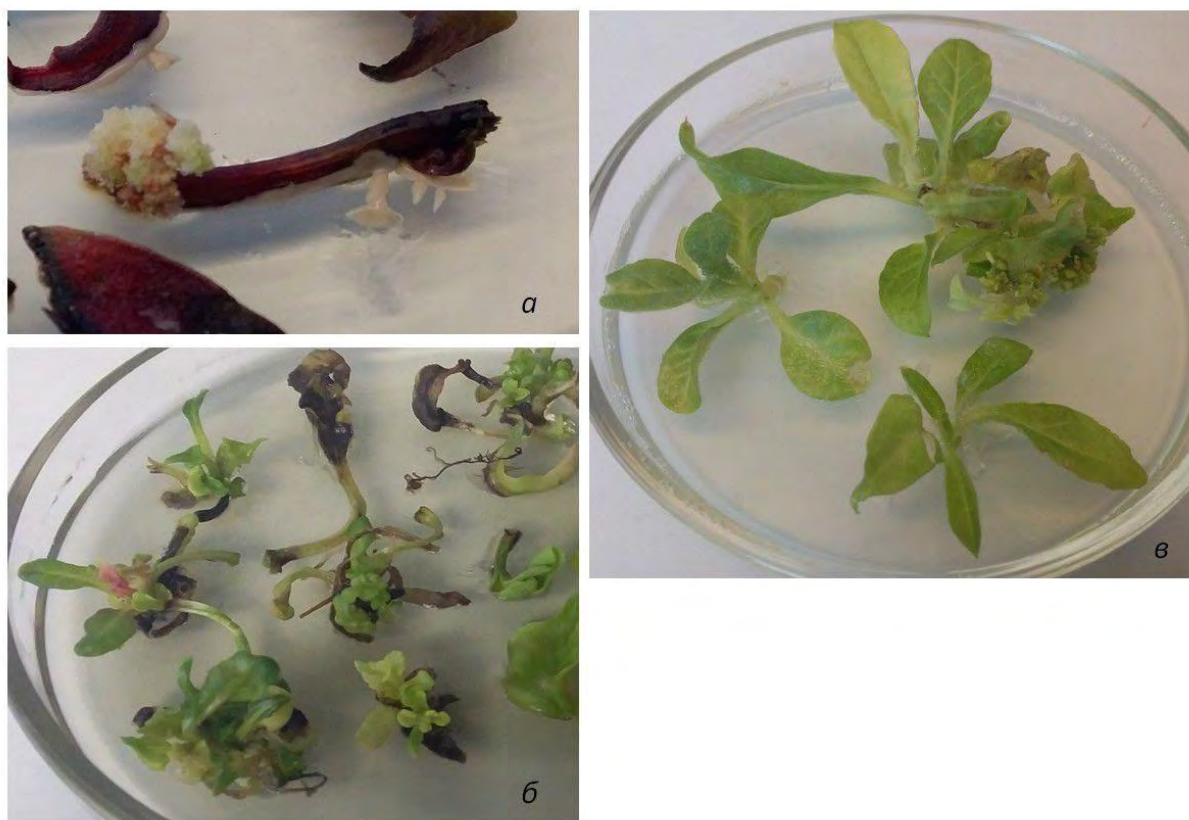


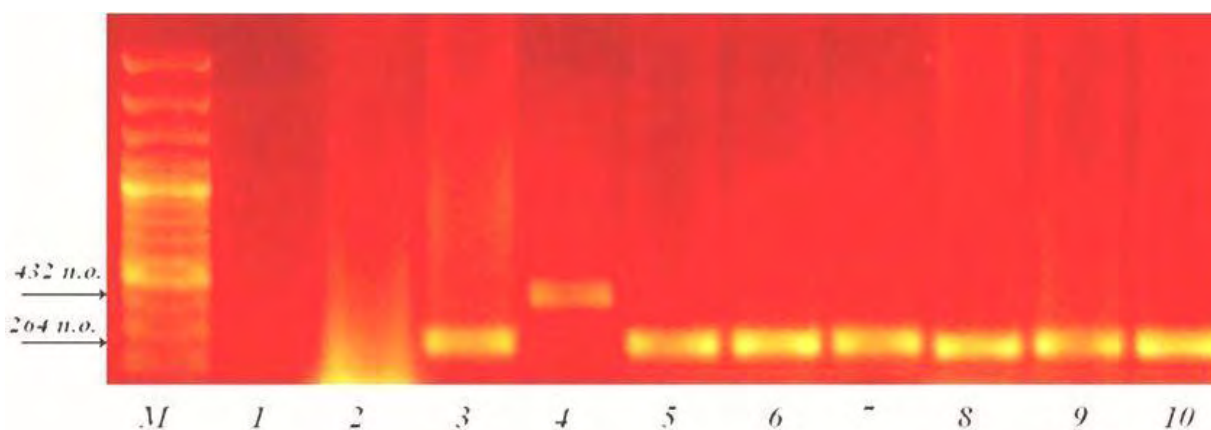
Рисунок 2. Ініціація калусогенезу на гіпокотильних експлантах мангольду (а), регенерація трансформованих рослин мангольду (б) та тютюну (в) на селективних середовищах



Появу первинних калусних клонів рослин мангольду (рис. 2а) на живильному середовищі MS з додаванням регуляторів росту та антибіотиків у вказаних концентраціях, спостерігали через 2 тижні після *A. tumefaciens*-опосередкованої трансформації рослин. Не спостерігали ініціації калусогенезу для контрольних експлантів, які не піддавали генетичній трансформації, при культивуванні на живильному середовищі з додаванням 100 мг/л селективного антибіотику канаміцинсульфату. Перші регенеранти формувалися шляхом соматичного ембріогенезу через 2 – 3 місяці (рис. 2б).

Утворення перших регенерантів тютюну (рис. 2в) спостерігали через тиждень після трансформації. Отримані трансформанти характеризувалися стійкістю до антибіотику канаміцинсульфату.

Згодом було проведено ПЛР-аналіз на присутність в гена (рис. 3), що відповідає за синтез білка інтерферону альфа 2b (*HuINFα-2b*) та власного гену агробактерії (*virD1*). ПЛР-аналіз дозволив підтвердити присутність селективного *nptII* та цільового *HuINFα-2b* генів для 90-100% досліджуваних рослин, крім того, аналіз підтвердив відсутність бактеріального забруднення.



**Рисунок 3. ПЛР-аналіз (дуплекс на присутність *HuINFα-2b* та *virD1* генів) трансформованих рослин тютюну *Nicotiana tabacum* L,**

де M – ДНК маркер (1 Kb Plus DNA Ladder, Fermentas); 1 – негативний контроль (проба без ДНК); 2 – негативний контроль (ДНК нетрансформованої рослини); 3 – позитивний контроль (плазмідна ДНК pCB124); 4 – позитивний контроль (ДНК *A. tumefaciens* GV3101); 5–10 – ДНК аналізованих рослин.

Можливість відтворення активних рекомбінантних інтерферонів в рослинах було показано в низці наукових досліджень. Найвищим рівнем накопичення інтерферону альфа характеризувалися трансгенні рослини топінамбуру виду *Heliathus tuberosus* L. (біологічна активність білка інтерферону альфа 2b становила від 2000 до 54500 МО /г СВ) [9], моркви *Daucus carota* L. (антивірусна активність рослинних екстрактів від 16500 до 50 700 МО/г СВ) [10], *Aloe vera* L., (біологічна активність білка інтерферону альфа 2b становила до 2 108 МО /

мг СРБ) [11], салату *Lactuca sativa* L. (біологічна активність білка інтерферону альфа 2b становила до 1140 МО/мл рослинного екстракту) [12]. Проте, очевидно, що вміст та біологічна активність рекомбінантного інтерферону альфа залежить від виду рослин, що використовуються для експресії гену інтерферону. В подальшому ми плануємо визначення антивірусної та антипроліферативної активності екстрактів отриманих трансгенних рослин тютюну та мангольду.

#### **Література:**

1. Yano H. *et al.* Growth inhibitory effects of pegylated IFN $\alpha$ -2b on human liver cancer cells in vitro and in vivo, *Liver International*, 2006, №26, pp. 964-975.
2. Engler H. *et al.* Interferon alpha-2b gene delivery for bladder cancer demonstrates feasibility of repeated intravesical dosing with an adenovirus vector, *Molecular Therapy*, 2005, №11, pp. 210 – 211.
3. Jansen P.L.M. & De Bruijne J. Controlled-release interferon alpha 2b, a new member of the interferon family for the treatment of chronic hepatitis C, *Expert Opin. Investig. Drugs*, 2012, № 21, pp.111 – 118, doi: 10.1517/13543784.2012.640671.
4. Zhou Q. *et al.* Interferon- $\alpha$ 2b Treatment for COVID-19, *Frontiers in Immunology*, 2020, № 11, Article 1061.
5. Talpaz M. *et al.* Re-emergence of interferon-a in the treatment of chronic myeloid leukemia, *Leukemia*, 2013, №27, pp.803 – 812.
6. Hribernik A. *et al.* Effectiveness of electrochemotherapy after IFN- $\alpha$  adjuvant therapy of melanoma patients, *Radiol Oncol*, 2016, №50, pp. 21 – 27, doi:10.1515/raon-2015-0048.
7. El-Diwany R. *et al.* CMPK2 and BCL-G are associated with type 1 interferon-induced HIV restriction in humans, *Science advances*, 2018, №4, east 0843, doi: 10.1126/sciadv.aat0843.
8. Doyle J.J., Doyle J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue, *Focus*, 1990, №12, pp.13 – 15.
9. Maistrenko O.M. *et al.* Obtaining of the transgenic *Helianthus tuberosus* L. plants, callus and «hairy» root cultures able to express the recombinant human interferon alpha-2b gene, *Цитология и генетика*, 2015, Vol. 49, №5, pp. 38 –44.
10. Luchakivskaya Yu. *et al.* High-level expression of human interferon alpha-2b in transgenic carrot (*Daucus carota* L.) plants, *Plant Cell Reports*, 2010, Vol. 30, №3, pp.407-415, doi: 10.1007/s00299-010-0942-5
12. Li Jing *et al.* Transient expression of an active human interferon-beta in lettuce. *Horticulturae*, 2007, Vol. 112, Issue 3, pp. 258 – 265. doi: 10.1016/j.scienta.2006.12.047.



**АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ТА ВИДІВ ЗАБРУДНЕННЯ Р. ВОРСКЛИ ТА ЇЇ ПРИТОКІВ  
(в межах Полтавської області)**

**Л.М. Тягній, О.В. Степова**

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011, Україна

**e-mail:** tjagnij94@gmail.com

Головним природним ресурсом країни є її водні ресурси. Вода є одним з найважливіших чинників життєзабезпечення, від кількості, якості і економічної цінності якої залежать умови існування теперішніх і майбутніх поколінь. Актуальність теми обумовлена необхідністю розрахунків, оцінки і прогнозу водних ресурсів в умовах антропогенного впливу, включаючи зміни клімату, з метою раціонального й ефективного використання поверхневих вод у народному господарстві України [1, 2]. Соціальна значущість проблеми, необхідність проведення в регіонах України, зокрема Полтавській області моніторингу водних об'єктів та оцінювання рівня їх забруднення природними та антропогенним факторами, обумовили вибір теми, мети і завдань даної роботи.

Метою роботи є комплексна оцінка зміни якості вод річки Ворскла та її притоків, в зв'язку з високим антропогенним навантаженням, що обумовлює потенційну небезпеку погіршення стану водних об'єктів та порушення умов водокористування на окремих ділянках річок Ворскли, Коломак та Тагамлик.

Малі річки Полтавської області мають невеликі витрати води, малу водозабезпеченість, зокрема в меженний період, невелику швидкість течії, малу глибину, що обумовлює несприятливі умови змішування і розбавлення забруднень. Разом з тим можливо витрачання значної частини, а нерідко і всього стоку, на місцеві господарські потреби, а також затримання його на водозборах.

У гідрогеологічному відношенні Полтавська область належить до Дніпровського артезіанського басейну і займає центральну і південно-східну частини Донецько-Дніпровської западини [2].

Основними джерелами водних ресурсів області є річки Сула, Псел, Ворскла, Оріль та їх притоки, а також Кременчуцьке та Дніпродзержинське водосховища на річці Дніпро. У межах області формується стік трьох річок: Сліпорід, Говтва, Тагамлик. [3, 4]. На території Полтавської області налічується 146 річок (водотоків довжиною понад 10 км) загальною довжиною 5100 км. Серед них дві великі (понад 500 км) - Дніпро і Псел; дев'ять середніх (довжиною 101-500 км); 135 малих річок (100 км і менше). Є також приблизно 1600 струмків. Річки Полтавщини живляться в основному сніговими водами (55-60 % від загального об'єму стоку), хоч більша кількість річної суми опадів випадає в тепле півріччя. Значна частина малих річок бере початок в межах Полтавщини. Дніпро і його найбільші притоки (Псел, Ворскла, Сула та інші) починаються на території інших областей, і стік, які вони звідти приносять, є транзитним.

Річка Ворскла протікає у Белгородській області Росії та Сумській і Полтавській області України, ліва притока Дніпра (тепер впадає у Дніпродзержинське водосховище). Довжина - 464 км (на Полтавщині - 226 км). Площа басейну - 14,7 км<sup>2</sup> (в межах Полтавської області - 5,97 тис. км<sup>2</sup>). Середня ширина річища - 30 м, на плесах 50-80 м. Середня глибина - 1,5 м,

максимальна глибина 10-12 м. Похил річки 0,3 м/км. Річище звивисте. Дно піщане. Загальна площа водозабору – 14700 км<sup>2</sup>, в межах області – 8550 км<sup>2</sup>. Середньорічні витрати води біля гирла 36,4 м<sup>3</sup>/с. Бере початок на західних схилах Середньоросійської височини біля смт Яковлево Белгородської області. Тече територією Диканського, Зіньківського, Кобеляцького, Новосанжарського і Полтавського районів. Має притоки, які підживлюють Ворсклу, на Полтавщині це Коломак та Тагамлик. Коломак впадає в Ворсклу у південно-східній частині міста Полтави, глибиною до 6 м, шириною від 20-50 до 100 м. Довжина річки 64 км, площа водозбірного басейну 525 км<sup>2</sup>, завширшки до 1 км, завглибшки до 30 м.

Нераціональне використання водних ресурсів річок та наявність скиду неочищених стоків збільшують антропогенне навантаження на водойми. Характеристика антропогенного навантаження на водні об'єкти залежить від факторів, що змінюють термічний і льодовий режим, а також гідрологічний, гідрохімічний, гідробіологічний режими [4, 5].

Для оцінювання екологічного стану обраних поверхневих об'єктів, а саме річок Ворскли, Коломака та Тагамлика обрано методику оцінки якості води за індексом забруднення води (ІЗВ), що рекомендована для використання підрозділами Держкомгідромету. Даний метод для розрахунку якості води має ряд переваг: простота визначення; врахування різномірних параметрів; порівнянність результатів, тощо. Сутність цієї методики полягає у розрахунку ІЗВ за гідрохімічними показниками, а потім за величинами розрахованих ІЗВ воду, яку досліджують, відносять до відповідного класу якості води [6].

Результати розрахунків ІЗВ для річки Ворскла (в межах Полтавської області) в період з 2000 – 2020 роки характеризують стан річки як помірно забруднену з середнім ІЗВ < 2 і відноситься до III класу забруднення. Але у 2006 та 2008 роках значення ІЗВ мають найвищі значення та переводять водойму в категорію IV – забруднена (2,5 < ІЗВ < 4). найбільший внесок для підвищення значень ІЗВ вносять саме нітрит –іони, фосфат-іони, іони амонію. Основний вплив на якість річкової води здійснюють Супрунівські о/с Полтавського ВУВКГ, Котелевські о/с Полтавського ВУВКГ, смт. Котельва; о/с ЖКК с. Терешки.

Результати розрахунків ІЗВ для річки Коломак (в межах Полтавської області) в період з 2000 – 2020 відносять водойму до класу VI – дуже брудна (6 < ІЗВ < 10) та VII – надзвичайно брудна (ІЗВ > 10). у 2000 та 2008 рр. значення показника забруднення мали найвищі значення і дорівнювали відповідно 9,96 та 11, 94 та відносили водойму до класу VI – дуже брудна (6 < ІЗВ < 10) та VII – надзвичайно брудна (ІЗВ > 10). В інші роки водойма відносилась до класу III – помірно забруднена (1 < ІЗВ < 2,5). Основний вплив на якість річкової води здійснюють Затуринські о/с Полтавського ВУВКГ, с. Затурино, та о/с ВАТ "Тепловозоремонтний завод".

Оцінка якості річки Тагамлик за індексом забруднення води ІЗВ свідчить, що 2011 та 2013 роки характеризуються низьким значенням ІЗВ, який знаходиться в межах 0 – 1 та оцінює водойму як чисту. Протягом досліджуваного періоду (2000 – 2021 рр.) найвище значення показник забруднення води мав у 2005, 2007, 2009 роках та дорівнював відповідно 4,5, 6,76 та 5,26, води річки відноситься до категорій V – брудна (4 < ІЗВ < 6) та VI – дуже брудна (6 < ІЗВ < 10). У 2006 році показник забруднення збільшився та охарактеризувати воду як V – брудна (ІЗВ = 4,125). В інші роки категорія забруднення річки відповідає класу IV – забруднена (2,5 < ІЗВ < 4).

В ході дослідження зміни відносної концентрації забруднень проаналізовано за середньорічними концентраціями наступних забруднень: загальне залізо, іони амонію, нітрит-іони, фосфат-іони, БПК<sub>5</sub>, нафтопродукти. Значний вплив на збільшення комплексного показника забруднення по даній річці мають такі забруднення фосфат-іони, амоній-іони, нітрит-іони та органічні забруднення. Основний вплив на якість річкової води здійснюють о/с Машівського ККП. В зазначених створах суттєво перевищена концентрація відповідних ГДК фосфат-іонів (до 22 ГДК), нітрит –іонів (до 12 ГДК), БПК – (до 13 ГДК).

В цілому можна виділити дві категорії забруднювачів поверхневих водойм у Полтавській області, це промисловість та комунальне господарство, а також стік з сільськогосподарських

угідь. Значні перевищення концентрацій амонію, фосфатів та нітритів спостерігаються в створах нижче скиду з очисних споруд, а також в районах розташування сільгоспугідь [1, 3].

Неочищені каналізаційні стоки - це одне з головних джерел загрози для здоров'я людини, так як люди і тварини бувають заражені патогенами (хвороботворними бактеріями і іншими паразитами). Підвищується ймовірність виникнення кишкових інфекцій і інтоксикацій у населення в зв'язку з тим, що до водойми разом зі стічними водами, окрім великої кількості органічних речовин, потрапляють патогенні мікроорганізми, пестициди, солі важких металів та інші токсиканти. На цьому наголошується необхідність гігієнічної оцінки і контролю санітарного стану малих річок [4, 5].

Скидання неочищених каналізаційних стоків у водойми сприяє також підвищенню вмісту біогенних елементів. Потрапляючи у водойми, біогенні елементи призводять до явища евтрофікації, що сприяє пригніченню окремих видів гідробіонтів, загибелі і інших, а також погіршуються органолептичні властивості води, а в період відмирання водоростей з'являються токсичні продукти їх розкладання.

Деградація малих річок особливо інтенсивно відбувається в останні три десятиліття через оранки земель до урізу води, розмиву гребель та інших факторів. В результаті цього стали зникати струмочки і джерела, які підживлюють малі річки, що в свою чергу призводить до замулення річок, заростання їх болотною рослинністю, заболочуванням та засоленням степових земель, зменшенням стоку а також погіршенням якості води.

Основні супутні загрози річок Полтавщини: закриття русла річки; порушення процесів природного самоочищення; ліквідація річкових долин, «Екологічних коридорів»; створюються умови для можливого підтоплення територій; річка не виконує дренажну функцію; замулення; використання річки в якості стічної канами міських стоків (природного самоочищення річки; порушення екосистемних спільнот; замулювання дна водотоку з акумуляцією забруднюючих речовин в донних відкладеннях).

Таким чином, аналіз сучасного екологічного стану річок Ворскла та її приток в межах Полтавської області свідчить, що негативні процеси на річках тривають. Незадовільний екологічний стан водних об'єктів Полтавщини є наслідком антропогенного забруднення річок скидами стічних вод промислових, комунальних підприємств та сільськогосподарських об'єктів. Необхідність охорони водних ресурсів викликається недостатньою потужністю очисних споруд, неефективністю їх роботи, внаслідок перевантаження та спрацювання обладнання. Нагальною на сьогоднішній день залишається проблема очистки стічних вод особливо підприємствами комунальної сфери у зв'язку зі зношеністю та фізичною застарілістю комплексів очисних споруд.

#### **Література:**

1. Беспалова Л.Е. Водна токсикологія: навчальний посібник / Л.Е.Беспалова, В.В.Оліфіренко, А.В.Рачковський – Херсон: ВЦ «Колос», 2011. – 131 с.
2. Гандзюра В.П. Концепція шкодочинності в екології / В.П.Гандзюра, В.В.Грубінко – Київ-Тернопіль: Вид-во ТНПУ ім. В.Гнатюка, 2008. – 144 с.
3. Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень. Теорія, методи, практика використання. - Львів: Світ, 1995. - 438
4. Абакумов В.А. Экологические модификации в развитии биоценозов / В.А.Абакумов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С.18-41.
5. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф.Алимов – СПб.:Наука, 2000. – 148 с.
6. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко. –1. К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с. 59



## ДОСЛІДЖЕННЯ РІДКІСНИХ ВИДІВ МІКОБІОТИ НА ТЕРИТОРІЇ НПП «ГУЦУЛЬЩИНА» В 2020 РОЦІ

С.І. Фокшей, О.О. Погрібний

Національний природний парк «Гуцульщина»

вул. Дружби, 84, Косів, 78601, Україна

e-mail: [stellaannafr@gmail.com](mailto:stellaannafr@gmail.com)

Охорона природи, збереження біоти, екосистем є одним із головних завдань сучасного суспільства. Виявлення та охорона рідкісних видів в Національному природному парку (НПП) «Гуцульщина» триває впродовж 18 років, з початку створення установи. Серед раритетних видів мікобіоти, що потребують охорони на території парку є 21 макроміцет. В 2020 р. тривав моніторинг рідкісних таксонів мікобіоти на вже відомих локалітетах та виявлення нових.

Об'єктом досліджень слугували види грибів, що включені до Червоної книги України (ЧКУ) та списків Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) на території НПП «Гуцульщина». При встановленні приналежності та природоохоронної категорії для рідкісних видів використовували критерії Червоної книги України та IUCN [5, 7]. Ідентифікацію видів проводили за допомогою сучасних вітчизняних та закордонних визначників [3, 4, 7, 8] і мікроскопа Біолам. Назви макроміцетів та прізвища авторів при таксонах подано за Index Fungorum [9].

Впродовж 18 років на території НПП «Гуцульщина» виявлено та закартовано локалітети 20 видів макроміцетів, що включені до ЧКУ та 2 до списків IUCN. А саме: *Anthurus archeri* (Berk.) E. Fisch. (ЧКУ), *Butyriboletus regius* (Krombh.) D. Arora & J.L. Frank (ЧКУ), *Catathelasma imperiale* (P. Karst.) Singer (ЧКУ, МСОП), *Clavariadelphus pistillaris* (L.) Donk (ЧКУ), *Cortinarius caperatus* (Pers.) Fr. (МСОП), *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray (ЧКУ), *Gomphus clavatus* (Pers.) Gray (ЧКУ), *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. (ЧКУ), *Lactarius lignyotus* Fr. (ЧКУ), *Leucoagaricus nympharum* (Kalchbr.) Bon (ЧКУ), *Leucocortinarius bulbiger* (Alb. & Schwein.) Singer (ЧКУ), *Mutinus caninus* (Huds.) Fr (ЧКУ), *Mutinus ravenelii* (Berk. & M.A. Curtis) E. Fisch. (ЧКУ), *Phaeolepiota aurea* (Matt.) Maire (ЧКУ), *Phylloporus pelletieri* (Lév.) Quél. (ЧКУ), *Polyporus umbellatus* (Pers.) Fr. (ЧКУ), *Pseudoboletus parasiticus* (Bull.) Šutara (ЧКУ), *Russula turci* Bres. (ЧКУ), *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr. (ЧКУ), *Strobilomyces strobilaceus* (Scop.) Berk. (ЧКУ), *Tricholoma focale* (Fr.) Ricken. (ЧКУ).

В 2020 р. здійснено 53 мікологічні експедиції в весняно-літньо-осінній період з метою моніторингу локалітетів рідкісних видів мікобіоти. Під-час досліджень зареєстровано нові локалітети 10 раритетних макроміцетів, що включені до ЧКУ та МСОП, знайдених в попередні роки. Серед них:

*Anthurus archeri* – вид з диз'юнктивним ареалом, макроміцет-ефемер. Ростає в листяних та мішаних лісах, на луках. Плодоносить з травня по грудень. В Україні поширений в Закарпатській та івано-Франківській обл. [7]. В Українських Карпатах гриб виявлений на



території Карпатського біосферного заповідника (КБЗ), Природного заповідника «Горгани», НПП «Зачарований край», НПП «Синевір», НПП «Сколівські Бескиди», Ужанського НПП [2].

В НПП «Гуцульщина» *Anthurus archeri* трапляється на всій території НПП «Гуцульщина» [6]. Вид плодоносить щорічно, великими групами.

В 2020 р. знайдено одне нове місцезростання 27.07. в Шешорському природоохоронному відділенні (ПНДВ), полонина Росохата та було зафіксовано плодоношення на вже відомих місцях: 24.06., 24.08., 16.11. в Старокутському ПНДВ, хр. Голиця, смереково-буковому лісі. Крім того масове плодоношення, понад 100 екземплярів фіксували в травні на приватній ділянці в с. Соколівка, присілок Верхній Мокрий. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1). Вид підтримується в колекції чистих культур НПП «Гуцульщина».

*Butyriboletus regius* – неморальний вид з диз'юнктивним ареалом. Рoste в листяних лісах з *Fagus sylvatica* L. та *Quercus robur* L. Плодоносить з червня до вересня. В Україні поширений в Закарпатській, Полтавській, Донецькій, Черкаській областях. [7].

В НПП «Гуцульщина» *Butyriboletus regius* виявлено в Кутському лісництві (Державне підприємство (ДП) «Кутське лісове господарство»), Старокутському ПНДВ [6]. Вид рідкісний на території парку. В 2020 р. нових локалітетів не реєстрували. 26. 07. *B. regius* плодоносив на вже раніше відмічених місцях: Кутське лісництво (ДП Кутське лісове господарство), кв. 25, вид. 24, смереково-буковий ліс та 22.09. – Старокутське ПНДВ, хр. Голиця, смереко-буковий ліс. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1).

*Clavariadelphus pistillaris* – неморальний вид з диз'юнктивним ареалом. Рoste в листяних лісах з *Fagus sylvatica* L.. Плодоносить з кінця серпня до листопада. В Україні поширений в Правобережному та Лівобережному Поліссі, Карпатах, Правобережному та Харківському Лісостепу, Криму [7]. В Українських Карпатах вид зафіксований в КБЗ [2].

В НПП «Гуцульщина» *Clavariadelphus pistillaris* зареєстровано два локалітети: Старокутське ПНДВ та Яблунівське лісництво (ДП «Кутське лісове господарство») [6]. В 2020 році нових локалітетів не виявлено. 22.09. зафіксовано два плодові тіла на вже відомому місці в Старокутському ПНДВ, буковому лісі. Локалітет закартовано та взято під охорону (рис. 1).

*Hericium coralloides* – реліктовий вид. Рoste в букових лісах. Плодоносить з серпня до кінця жовтня. В Україні трапляється у Волинській, Київській, Чернівецькій, Львівській, Тернопільській, Закарпатській, Черкаській, Дніпропетровській, Донецькій областях та Криму [7]. В Українських Карпатах вид знайдено в КБЗ, НПП «Зачарований край», Карпатському НПП, НПП «Синевір», Ужанському НПП [2].

В НПП «Гуцульщина» *Hericium coralloides* виявлено в Старокутському та Косівському ПНДВ, Космацькому лісництві (ДП «Кутське лісове господарство»), Великодержинському лісництві (Районне підприємство (РП) «Райагроліс») [6]. В 2020 році виявлено три нових місцезростання: 20.10. в Старокутському ПНДВ, хр. Голиця (кв. 3, вид. 2), буковому лісі; 27.10. в Косівському ПНДВ, ППП № 9, ялицево-буковому лісі, 14.11. в Шешорському ПНДВ, хр. Брусний (кв. 28, вид. 5), смереково-буковому лісі. Також фіксували плодоношення 24.09. і 19.11. Косівському ПНДВ, хр. Каменистий – це локалітети зареєстровані в попередні роки. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1).

*Leucocortinarius bulbiger* – вид з диз'юнктивним ареалом. Рoste в хвойних, мішаних та листяних лісах. Плодоносить з вересня до кінця жовтня. Трапляється в Західному, Правобережному та Лівобережному Лісостепу, Гірському Криму [7].

На території НПП «Гуцульщина» в попередні роки зафіксовано один локалітет *Leucocortinarius bulbiger* на території Шешорського ПНДВ [6]. Вид трапляється дуже рідко. В 2020 р. виявлено ще два нових локалітети: 29.07. в Шешорському ПНДВ, (кв. 22, вид. 2),

буковому лісі з домішкою смереки, та 27.10. в Косівському ПНДВ, постійній пробній площі (ППП) № 9, ялицево-буковому лісі. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1).

*Mutinus caninus* – вид з диз'юнктивним ареалом. Ростає в хвойних, листяних та змішаних лісах. Плодоносить з липня до кінця жовтня. В Україні поширений майже в усіх областях [7]. В Українських Карпатах вид трапляється в КБЗ, НПП «Синеvir», Ужанському НПП [2].

На території НПП «Гуцульщина» *Mutinus caninus* зареєстровано в усіх трьох ПНДВ та Яблунівському лісництві (ДП «Кутське лісове господарство») [6]. Вид трапляється рідко. В 2020 році виявлено ще чотири нових місця зростання: 28.07. в Старокутському ПНДВ (кв. 24, вид. 9), смереково-буковому лісі, 29.07. – Шешорському ПНДВ (кв. 17, вид.17), ялицево-буковому лісі, 05.07. – Кутському лісництві (ДП «Кутське лісове господарство»), (кв. 11, вид. 12; кв. 25, вид. 21), буковому лісі, 30.07. – Кобаківському лісництві РП «Райагроліс», (кв. 18), буковому лісі. Також бачили *M. caninus* у локалітетах виявлених в попередні роки: 26.06., 9.07., 10.08., 22.10. – Старокутському ПНДВ, хр. Голиця, смереково-буковому лісі; 7.07., 11.08. в Косівському ПНДВ, ур. Каменистий, ялицево-буковому лісі. Слід відмітити, що в НПП «Гуцульщина» *M. caninus* трапляється в мішаних лісах з *Fagus sylvatica* L. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1).

*Phylloporus pelletieri* – вид з диз'юнктивним ареалом. Ростає в листяних, мішаних, та соснових лісах. Плодоносить з серпня до кінця вересня. В Україні вид поширений лише в Закарпатській обл. [7]. В Українських Карпатах вид виявлений в КБЗ, Карпатському НПП, Ужанському НПП [2].

На території НПП «Гуцульщина» *Phylloporus pelletieri* зафіксований в Шешорському ПНДВ та Кутському лісництві (ДП «Кутське лісове господарство») [6]. Вид трапляється на території парку дуже рідко. В 2020 р. зафіксовано ще один новий локалітет 10.08. в Старокутському ПНДВ, хр. Голиця, сосново-буковий ліс. Локалітет закартовано та взято під охорону (рис. 1).

*Polyporus umbellatus* – вид з диз'юнктивним ареалом. Ростає в листяних та мішаних лісах. Плодоносить з червня до жовтня. В Україні поширений в Передкарпатті, Сумській, Львівській, Тернопільській, Черкаській, Херсонській та Харківській областях. [7]. В Українських Карпатах вид зареєстрований в КБЗ, Карпатському НПП, НПП «Синеvir», Ужанському НПП [2].

На території НПП «Гуцульщина» *Polyporus umbellatus* трапляється в Косівському та Старокутському ПНДВ, Косівському лісництві (ДП «Кутське лісове господарство»), Кобацькому лісництві (РП «Райагроліс») [6]. В 2020 р. виявлено нові місцезростання в Старокутському ПНДВ, ур. Хоминський (кв. 5, вид. 33), буковому лісі, та 14.07. в Косівському ПНДВ, ППП №9, ялицево-буковому лісі. Крім того реєстрували плодові тіла *P. umbellatus* в червні - липні на вже відомих раніше місцях: в Косівському лісництві (ДП «Кутське лісове господарство», околиці сс. Хімчин, Вербовець), дубовому лісі; 11.08. в Косівському ПНДВ, ур. Каменистий, смереково-ялицево-буковому лісі. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1). Вид підтримується в колекції чистих культур НПП «Гуцульщина», виконується програма «Відтворення рідкісних макроміцетів».

*Strobilomyces strobilaceus* – неморальний вид з диз'юнктивним ареалом. Ростає в листяних, хвойних лісах. Плодоносить з липня до вересня. В Україні поширений на Передкарпатті, Західноукраїнських лісах та Розточчі [7]. В Українських Карпатах вид зареєстрований в КБЗ, НПП «Синеvir», НПП «Сколівські Бескиди», Ужанському НПП [2].

В НПП «Гуцульщина» *Strobilomyces strobilaceus* поширений на всій території [6]. Вид трапляється поодинокі, щорічно. В 2020 р. новий локалітет відмічено 09.07. в Старокутському ПНДВ, хр. Голиця (кв. 3, вид. 2), смереково-буковому лісі. Також плодові тіла бачили на вже

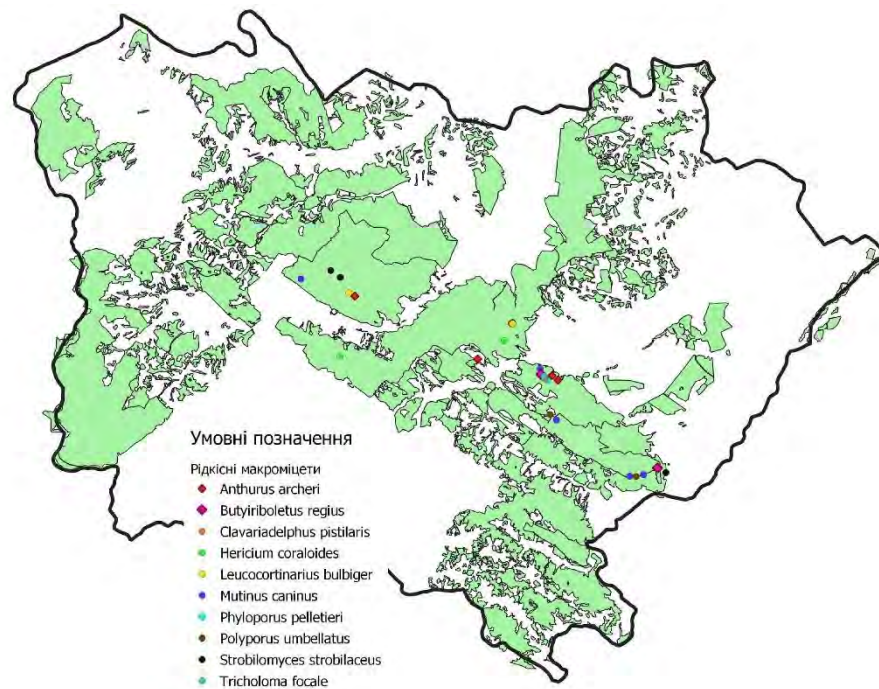
відомих локалітетах: 27.07. в Шешорському ПНДВ, Мертве озеро, буковому лісі; 13.08. на хр. Сокільський (ДП «Кутське лісове господарство»), буковому лісі та 24.09. в Косівському ПНДВ, ур. Каменистий, ялицево-буковому лісі. Локалітети закартовані та взяті під охорону (рис. 1).

*Tricholoma focale* – бореальний вид з диз'юнктивним ареалом. Рoste в соснових лісах. Плодоносить з серпня до кінця жовтня. В Україні вид поширений в Полтавській, Дніпропетровській, Луганській та Херсонській областях [7].

На території НПП «Гуцульщина *Tricholoma focale* вперше виявлена в 2005 році під час мікологічних експедицій к. с-г. н. І.В. Базюк (Національний лісотехнічний університет України) [1]. Проте в наступні роки вид не фіксували. Вид дуже рідкісний в парку.

20.10.2020 р. знайдено 2 плодові тіла в Старокутському ПНДВ, хр. Голиця, сосновий ліс – це новий локалітет цього виду в НПП «Гуцульщина» та на сьогодні єдине відоме місцезротання в Українських Карпатах. Локалітет закартовано та взято під охорону (рис. 1).

Крім рідкісних видів ЧКУ мікобіота НПП «Гуцульщина» включає гриби, що включені до списків МСОП. В 2020 р. фіксували плодові тіла *Cortinarius caperatus* (IUCN) з критерієм загроженості LC (стабільний). Вид включений до МСОП 26 лютого 2018 р. Жодні заходи щодо збереження цього виду не потрібні, оскільки він дуже поширений і для нього немає серйозних загроз. Немає свідчень про будь-яке зниження чисельності [5].



**Рисунок. Локалітети рідкісних видів макроміцетів НПП «Гуцульщина», виявлених в 2020 р.**

*Cortinarius caperatus* – бореальний вид. Рoste в хвойних та листяних лісах. Утворює мікоризу з соснами, ялинами, дубами, буками, березами. Плодоносить з серпня до кінця вересня. В Україні трапляється на Правобережному Поліссі, в Лівобережному Злаковому Степу [3]. В Українських Карпатах вид виявлений в КБЗ, Природному заповіднику «Горгани», НПП «Верховинський», Карпатському НПП [2].

На території НПП «Гуцульщина» це звичайний вид, плодоносить щорічно, в деякі роки (2015, 2018, 2020) масово.

За результатами мікологічних досліджень на території Національного природного парку «Гуцульщина» впродовж 2020 р. було зареєстровано та закартовано 11 видів рідкісних видів макроміцетів, що включені до списків ЧКУ та МСОП. Серед них 4 види: *Leucocortinarius bulbiger*, *Phylloporus pelletieri*, *Clavariadelphus pistillaris*, *Tricholoma focale* трапляються в НПП «Гуцульщина» дуже рідко та поодинокі, 4 види: *Mutinus caninus*, *Strobilomyces strobilaceus*, *Butyriboletus regius*, *Hericium coralloides* плодоносять майже щорічно, але є рідкісними. *Polyporus umbellatus* плодове тіла утворює щорічно, в деякі роки плодоносить масово і є чимало локалітетів цього виду. Такі види, як *Anthurus archeri* та *Cortinarius caperatus* є звичайними для НПП «Гуцульщина» і не потребують охорони.

### **Література:**

1. Базюк І.В. Мікофлора Національного природного парку «Гуцульщина» // Літопис природи Т. III, 2006. – С. 188-198.
2. Дудка І.О., Гелюта В.П., Придюк М.П. та ін. Гриби заповідників і національних природних парків Українських Карпат / за ред. В.П. Гелюти. – НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2019. – 214 с.
3. Зерова М.Я., Сосін П.Є, Роженко Г.Л. 1979. Визначник грибів України в 5-ти томах, Т. 5, книга 2. / Відп. ред. Д.К. Зеров, В.Ф. Пересипкін. Київ: Наукова думка, 1979. – 564 с.
4. Кибби Дж. 2009. Атлас грибів: Определитель видов. СПб.: Амфора, 269 с
5. МСОП. 2017. Категорії та критерії червоного списку МСОП: Версія 3.1. 2-ге вид. Київ, 36 с.
6. Фокшей С.І. Знахідки макроміцетів, занесених до Червоної книги України в НПП «Гуцульщина» // Знахідки рослин і грибів Червоної книги та Бернської конвенції (Резолюція 6). – Т. 1 / наук. ред. А. А. Куземко. – Київ – Чернівці : Друк Арт, 2019. – С. 426-430. – (Серія: «Conservation Biology in Ukraine» ; вип. 11).
7. Червона книга України. Рослинний світ. 2009. / за ред. Я.П. Дідух. Київ: Глобалконсалтинг, с. 780–836.
8. Garnweidner E. 1994. Mushrooms and Toadstools of Britain and Europe. London: Harper Collins Publishers, 255 pp.
9. Index fungorum. [http //www.indexfungorum.org/names.asp](http://www.indexfungorum.org/names.asp).



## ГЛИБОКЕ ВИДАЛЕННЯ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ СТІЧНИХ ВОД

**В. В. Шевченко**

*Запорізький національний університет*  
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна  
**e-mail:** shevchenkovladimir93@gmail.com

Біогенними елементами називаються елементи, які постійно входять до складу організмів та виконують певні біологічні функції. Найважливішими біогенними елементами є кисень, вуглець, водень, азот, фосфор, сірка, кальцій, калій, натрій, хлор.

Всі перераховані елементи відіграють важливу роль в біологічних процесах, що відбуваються у навколишньому середовищі, в том числі й у воді.

В практиці очищення стічних вод виділяють два основних біогенних елемента: азот (N) та фосфор (P).

При високій концентрації біогенних елементів у воді водойм (евтрофікації) відбувається порушення процесів саморегуляції в біоценозах. В них починають домінувати види, найбільш пристосовані до змінених умов, викликаючи «цвітіння» води. Біомаса бактеріо- і фітопланктону під час «цвітіння» піднімається до 200–500 г/м<sup>3</sup>, тоді як в оліготрофних водоймах вона в нормі складає 0,1–0,4 г/м<sup>3</sup>.

В період «цвітіння» у водоймі підвищується значення рН води, падає вміст розчиненого кисню. Ціанобактерії (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Oscillatoria*) продукують нейротоксини, що викликають захворювання центральної нервової системи, і гепатоксини, що призводять до руйнування печінки. Токсини ціанобактерій пригнічують безхребетних, риб та інших гідробіонтів, а також можуть викликають захворювання людей при використанні води з водойми в період «цвітіння» для пиття. Особливо небезпечний *Microcystis*, отрути якого в 10 000 разів токсичніше ціанідів [1].

В періоди масової загибелі ціанобактерій, в результаті досягнення граничної інтенсивності розвитку, в природних водоймах різко підвищується загальний вміст фенольних сполук, які можуть складати більше 53 мг/дм<sup>3</sup>.

Крім того, що азот і фосфор, накопичуючись у водоймі викликають «цвітіння», різноманітні сполуки азоту та фосфору негативно впливають на гідробіонтів і здоров'я людини.

В процесі традиційної біологічної очистки не вдається досягнути потрібної якості стічних вод за вмістом біогенних елементів, таких як азот та фосфор. Тому метою роботи було розглянути методи глибокого видалення біогенних елементів із стічних вод.

У світовій практиці існує кілька традиційних схем поєднання анаеробних і аеробних стадій, запропонованих для глибокого видалення біогенних елементів із стічних вод різного складу.

Найбільш проста схема розроблена в США для одночасного видалення сполук азоту та фосфору (найбільшою мірою фосфору) з стічних вод на високонавантажених очисних спорудах (табл. 1). Вона отримала назву А/О процесу (Анаеробіс/Охіс-процесу). За цією

схемою зворотний мул переміщується з стічними водами, що поступають, і подається в анаеробний реактор, потім стічні води проходять аеробне очищення і надходять у вторинні відстійники. Це найбільш проста і дешева схема видалення сполук азоту та фосфору, але її застосування можливе лише для стічних вод промислового складу з високими навантаженнями на активний мул по вуглецевмісній органіці, помірної нітрифікації і при великих концентраціях фосфорвмісних сполук. Для низьконавантажених споруд створюється додаткова аноксидна стадія з метою більш ефективного видалення нітратного і нітритного азоту.

Найбільш відома, широко застосовувана в Європі схема очистки, що дозволяє ефективно видаляти сполуки азоту і фосфору на низьконавантажених спорудах (табл. 1), отримала назву по імені розробника Bardenpho-процес. У цій схемі очищення стічних вод починається з аноксидної стадії, в якій здійснюється денітрифікація. У цю зону потрапляють стічні води, які використовуються для денітрифікації як джерела вуглецю, і мулова суміш після нітрифікаторів, яка містить нітриту та нітрата. Потім слідує аеробна стадія, де відбувається зниження утримання органічних забруднюючих речовин у стічних водах, що очищаються, і нітрифікація. Суміш мулу з цієї зони, що містить нітрата, подається в наступну аноксидну зону денітрифікації і одночасно в попередню аноксидну зону денітрифікації. Процес закінчується аеробною зоною, в якій відбувається нітрифікація і часткової дефосфатація.

Phoredox-процес являє собою модифікацію Bardenpho-процесу (п'ятистадійного Bardenpho). У цій схемі додано додаткову анаеробну стадію з коротким періодом перебування стічних вод (1-3 год), в якій і забезпечується зростання і функціонування фосфорнакопичуючих бактерій і стимулюється інтенсивне споживання фосфору в подальшій аеробній стадії. Вилучення загального фосфору може досягати 95% [2].

У світовій практиці біологічної очистки різних азотмістких стічних вод, широке застосування знайшли також біологічні реактори (аеротенки) циклічного типу наповнення (англ. SBR – Sequencing Batch Reactor). Очистка стічних вод за SBR-технологією здійснюється циклами і є однією з альтернатив загальноприйнятій очистці в реакторах проточного типу (в аеротенках).

Принцип роботи SBR заснований на циклічній зміні процесів очистки стічних вод, що відбуваються в одному реакторі. Кожний цикл очистки складається з певних фаз, тривалість і послідовність яких задається в залежності від необхідного ефекту біологічної очистки. Типовий SBR-цикл складається з наступних фаз: фаза наповнення; фаза перемішування; фаза аерації.; фаза седиментації; фаза декантування; фаза відстоювання (рис. 1).

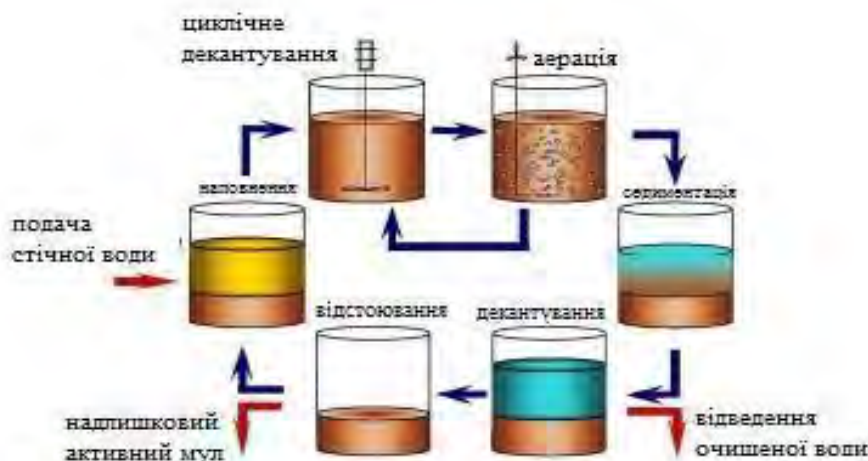
Основною перевагою SBR є в те, що всі процеси біологічної очистки (окиснення органічних і біогенних речовин, а також седиментація) здійснюється в одному реакторі, що дає змогу регулювати тривалість і послідовність фаз очистки в залежності від концентрацій стічних вод, які поступають на очистку при використанні автоматизованих систем управління. В технологічній схемі з двома і більше реакторами під час низьких навантажень можливе відключення одного з реакторів. При цьому активність мулу відключеного реактору зберігається при умові його постійної аерації (ефект регенерації активного мулу). Наступною перевагою є забезпечення в SBR умовах абсолютного перемішування, які із-за недостатньої аераційної дифузії неможливо досягнути в реакторі проточного типу. Процес седиментації активного мула є причиною багатьох проблем на очисних спорудах, призначених для видалення біогенних елементів.

В SBR процесі седиментація здійснюється в ідеальних гідравлічних умовах, так як під час осадження, а також декантування очищеної води відсутній притік стічної води і викликана



цим турбуленція. При підвищенні мулового індексу існує можливість подовження фази седиментації і запобігання виносу активного мулу із системи.

До недоліків відноситься складна система аерації, яка експлуатується в циклічному режимі і вимагає подачі кількості кисню в залежності від концентрації субстрату в реакторі [3].



**Рисунок. Схема процесів очистки протягом одного циклу SBR [2]**

**Таблиця.**

**Порівняння процесів глибокого видалення біогенних елементів**

Процес	Навантаженість води біогенними елементами	Кількість стадій
Анаеробіс/Охіс-	Високонанвантажені	3
Bardenpho	Низьконанвантажені	5
Phoredox	Низьконанвантажені	6
SBR	Різконанвантажені	6

Отже, існує декілька схем вилучення біогенних елементів із стічних вод. Використання цих схем залежить від вмісту цих елементів у воді. Найпростішим і найдешевшим є А/О процес.

**Література**

1. Ручай Н. С. Экологическая биотехнология: учеб. пособие для студентов специальности «Биоэкология» / Н. С. Ручай, Р. М. Маркевич. – Минск: БГТУ, 2006. – 312 с.
2. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод: Монография / ГОУ ВПО Моск. гос. строит. ун-т. – М.: МГСУ, 2010. – 120 с.
3. Новикова О. К. Очистка сточных вод от биогенных элементов : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 55 с.



Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.)

Handbook of the XXII International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (2021 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232974>

UDC 57.085.23

## OBTAINING OF TRANSGENIC BROCCOLI PLANTS WITH ALPHA-2B LEUKOCYTE INTERFERON GENE

A. S. Shkrobiak<sup>1</sup>, Ye. M. Prokhorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Kyiv Palace of Children and Youth*

I. Mazepa St.13, Kyiv, 01010, Ukraine

<sup>2</sup>*Institute of Cell Biology and Genetic Engineering  
of the National Academy of Sciences of Ukraine*

Zabolotnoho St.148, Kyiv, 03143, Ukraine

**e-mail:** toni96594@gmail.com

The rapid development of genetic engineering has created opportunities for the production of recombinant proteins for medical purposes. Recombinant DNA technologies solve the problem of shortage of animal raw materials and make it possible to obtain protein preparations (vaccines, antibodies, enzymes and cytokines) using bacterial (mainly *E. coli*) or mammalian (Chinese hamster ovary (CHO) cell lines. However, plants are considered to be a promising expression system for the production of pharmaceutical proteins. Plants have a number of advantages over the other expression systems, one of which is that the use of plants is more environmentally friendly. The usage of plants makes reducing of energy consumption possible, because growing of plants does not require bioreactors, which are used for cultivation of bacterial or animal cells. Recombinant proteins can be stored in plants for a long time, which enables their transportation without refrigerators and greatly simplifies their delivery and storage. In addition, raw-edible transgenic plants may be used as “edible vaccines” and the expensive purification of the product (protein) appears unnecessary, that results in low prime cost of the medicine. The edible vaccines can also stimulate mucosal immunity that can prevent viral diseases. This way, the necessity to use plastic medical syringes can be avoided and the environmental pollution by plastic can be reduced. The use of plant expression systems allows to avoid the risk of contamination of the product with animal viruses and prions or bacterial toxins. Moreover, the medicine with no animal reagents can be used by people with some allergic reactions, vegetarians or some religious communities which do not use the products of animal origin.

Interferons are known for their antiviral, antiproliferative and immunomodulating activity. Interferons are the group of signal proteins that are synthesized by the human body in response to viral or bacterial infections. These proteins activate the mechanisms of blocking viral transcription, viral RNA degradation, moreover, they inhibit the translation in tumor cells and cause apoptosis. Also, the interferons are known for their immunomodulating activity (as they activate T-lymphocytes, NK cells and macrophages). Interferon alpha-2b is the leukocyte protein widely used in medicine for curing viral infections and several types of cancer. As an antitumor protein it is effective in treatment of chronic myeloid leukemia (CML) [1], melanoma [2], liver cancer, Kaposi sarcoma [3] and other. As an antiviral medicine it is effective against human immunodeficiency virus (HIV) [4], SARS-CoV2 [5], hepatitis B, C, D and influenza virus.

The main idea of this study was to obtain transgenic broccoli plants able to express the human interferon alpha 2-b gene. For our study we chose broccoli - an important plant of *Brassicaceae* family. These plants are able to accumulate such minerals and vitamins as C, K and calcium. Also, the young shoots of broccoli plants contain high levels of glucoraphanin that is converted into potential antioxidant substance called sulforaphane during processes of digestion. Sulforaphane is an effective antioxidant known for its antitumor activity as it may reduce the risk of pancreatic cancer, ovarian cancer [6], breast cancer etc. Sulforaphane can also reduce the number of *Helicobacter pylori* colonies, which correlates with the stomach cancer prevention [7]. Therefore, we consider the combination of interferon and sulforaphane may improve the antitumor effect of the obtained transgenic plants.

In our work, we obtained the transgenic plants *via Agrobacterium*-mediated genetic transformation.[8] The experiment on genetic transformation was conducted at the Institute of Cell Biology and Genetic Engineering. For transformation we used *Agrobacterium tumefaciens* strain GV3101 that carries the genetic vector carrying the sequence coding for interferon driven by 35S promoter of cauliflower mosaic virus (CaMV) and phosphinothricinacetyltransferase (*bar*) genes (fig.1.).



**Figure. Scheme of T-DNA of the plasmid vector with interferon gene:**

LB and RB - left and right boundary sequences of T-DNA; 35S - 35S promoter of CaMV; *infa2b* - human interferon alpha 2b gene; *bar* - selective phosphinothricinacetyltransferase gene.

Broccoli seeds of Valtam, Battavia and Romanesco varieties were surface sterilized by 70% ethanol for 1 min, followed by 15 minutes in 40% bleach solution (2% sodium hypochlorite) and then rinsed several times in sterile distilled water. The seeds were germinated on MS medium and then grown at + 24°C and a 16-hour photoperiod.

We used 1 cm long hypocotyl explants of 10-day aseptic seedlings for transformation. Before co-cultivation with *A. tumefaciens*, the explants were pre-cultivated on MS medium with 2 mg / l of BA for 4-7 days. The bacterial suspension was cultured overnight in liquid LB medium at +28°C on rotary shaker (200 rpm) with carbinicillin 100 mg / l, rifampicin 100 mg / l and gentamicin 25 mg / l. The night bacterial culture was precipitated by centrifugation (4500 rpm) and resuspended in liquid MS medium. The broccoli explants were co-cultivated for two-hours with bacterial suspension culture, after that the explants were incubated on wet sterile blotting paper for 48 h in dark. After co-cultivation the explants were transferred on MS medium containing 500 mg / l ceftriaxone for bacterium elimination, 2 mg / l 6-benzyladenine (BA) and 0.05 mg / l naphthaleneacetic acid (NAA) for plant regeneration and 5 mg / l phosphinothricin as the selective agent. The explants were incubated at + 24 °C and a 16-hour photoperiod and transferred to fresh medium every two weeks. In two weeks after transformation we observed the formation of callus on the inoculated explants. After 7-8 weeks of callus clone cultivation on the selective regenerative medium, the green broccoli shoots 1–2 cm long were formed on the explants. The most active callus formation and regeneration on the medium with selective agent was observed for the explants of Romanesco broccoli variety.

As a result of our study, we have obtained phosphinothricin-resistant broccoli plants of the Romanesco variety. These plants are potentially transgenic and may contain the interferon gene in their genome. When the plants are characterized with sufficient biomass, we are going to prove the presence of interferon gene in this plant genome by PCR analysis. Moreover, we are going to analyze the antiviral and antiproliferative activity of the obtained plant extracts.

**Conclusions:**

1. The broccoli plants of three varieties Valtam, Battavia and Romanesco were introduced into *in vitro* culture by surface sterilization of seeds.
2. The hypocotyl explants of Romanesco variety plants demonstrated the highest regenerative potential.
3. The phosphinotrycin-resistant broccoli plants of Romanesco variety were obtained via genetic transformation and these plants potentially contain the interferon gene in their genome.

**References:**

1. Talpaz M., Hehlmann R., Quintás-Cardama A., Mercer J., Cortes J./Re-emergence of interferon- $\alpha$  in the treatment of chronic myeloid leukemia/Leukemia 2013 Apr; 27(4).
2. Hribernik A., Cemazar M., Sersa G., Bosnjak M., Snoj M./Effectiveness of electrochemotherapy after IFN- $\alpha$  adjuvant therapy of melanoma patients/Radiology and Oncology 2016 Feb; 50(1)
3. Qureshi Y.A., Karp C.L., Dubovy S.R./Intralesional Interferon Alpha-2b Therapy for Adnexal Kaposi Sarcoma/Cornea 2009 Sep; 28(8)
4. El-Diwany R, Soliman M, Sugawara S, Breitwieser F, Skaist A, Coggiano C, Sangal N, Chattergoon M, Bailey JR, Siliciano RF, Blankson JN, Ray SC, Wheelan SJ, Thomas DL, Balagopal A./CMPK2 and BCL-G are associated with type 1 interferon-induced HIV restriction in humans/Surgical Oncology Clinics of North America 2019 Oct; 28(4)
5. Zhou Q., Chen V., Shannon C.P., Wei X.S., Xiang X. et al./Interferon- $\alpha$ 2b Treatment for COVID-19 / Front. Immunol., 15 May 2020
6. Kan S.F., Wang J., Sun G.X./Sulforaphane regulates apoptosis- and proliferation-related signaling pathways and synergizes with cisplatin to suppress human ovarian cancer/International journal of molecular medicine 2018 Nov; 42(5)
7. Fahey J.W., Haristoy X., Dolan P.M., Kensler T.W., Scholtus I., Stephenson K.K., Talalay P., Lozniewski A./Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibiotic-resistant strains of Helicobacter pylori and prevents benzo[a]pyrene-induced stomach tumors/PNAS 2002 May; 99(11)
8. Development of transgenic broccoli with cryIAa gene for resistance against diamondback moth (*Plutella xylostella*) Kumar P, Gambhir G, Gaur A, Sharma KC, Thakur AK, Srivastava DK.3 Biotech. 2018 Jul;8(7)