

В. В. Дячок, С. Т. Мандрик

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра екології та збалансованого природокористування  
dyachokvasil@gmail.com

## РОЛЬ ОКСИДІВ НІТРОГЕНУ ЗА ПРИСУТНОСТІ ДІОКСИДУ СУЛЬФУРУ В ДИНАМІЦІ ПОГЛИНАННЯ ДІОКСИДУ КАРБОНУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ

<https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.114>

Досліджено вплив оксидів нітрогену за присутності оксиду сульфуру на динаміку поглинання діоксиду карбону хлорофілсинтезуючими мікрободоростями *Chlorella*. Представлені експериментальні залежності динаміки поглинання  $\text{CO}_2$  мікрободоростями у випадку присутності лише  $\text{N}_x\text{O}_y$  та за критичної концентрації інгібітора фотосинтезу  $\text{SO}_2$  в присутності  $\text{N}_x\text{O}_y$ . Представлено математичний опис динаміки поглинання  $\text{CO}_2$  хлорофілсинтезуючими мікрободоростями *Chlorella* в залежності від концентрації індивідуальної дії оксидів нітрогену та одночасної дії оксидів нітрогену та діоксиду сульфуру. Базуючись на рішенні математичної моделі та одержаних експериментальних даних розраховано оптимальне значення концентрації  $\text{N}_x\text{O}_y$  та сумарної концентрації  $\text{N}_x\text{O}_y$  в присутності інгібітора  $\text{SO}_2$ . Встановлено оптимальне значення концентрації активатора  $\text{N}_x\text{O}_y$  для інактивації згубної дії інгібітора  $\text{SO}_2$  та відновлення повноцінного процесу поглинання діоксиду карбону (фотосинтезу) хлорофілсинтезуючими мікрободоростями *Chlorella*. Підсумовуючи результати експериментальних досліджень можна припустити, що оксиди нітрогену виступають в ролі активатора процесу фотосинтезу.

**Ключові слова:** вуглекислий газ  $\text{CO}_2$ , мікрободорості *Chlorella*, оксиди нітрогену  $\text{N}_x\text{O}_y$ , оксид сульфуру  $\text{SO}_2$ , інгібітори та активатори, математична модель.

### Вступ

Зміна клімату – це глобальна екологічна проблема. Головною причиною негативної тенденції зміни клімату є надмірне споживання енергії та використання викопного палива. Парникові гази – діоксид карбону  $\text{CO}_2$ , діоксид сульфуру  $\text{SO}_2$  та оксиди нітрогену  $\text{N}_x\text{O}_y$ , що утворюються внаслідок діяльності людини, здатні викликати посилення парникового ефекту.

Зміна клімату є реальністю. Сьогодні клімат на планеті змінюється і стає все більш гарячим і непередбачуваним ніж він був протягом двох тисячоліть. Доказом цього є природні катаклізми та погодні умови сьогодення. [1]

За останні сто років концентрація діоксиду карбону  $\text{CO}_2$  зросла на 40%, що є найвищим рівнем за останні 650 тис. років. Глобальні концентрації оксидів нітрогену  $\text{N}_x\text{O}_y$  збільшилися на 20% в порівнянні з доіндустріальним періодом. Думка, що з глобальним потеплінням в світі стане лише тепліше є помилковою. Насправді на нас очікують зміни клімату, які

тягнуть за собою такі екстремальні природні явища, як посухи, повені, сильні урагани, затоплення прибережних районів і поселень. Через проблему зміни клімату вже до кінця цього століття сотням мільйонів людей загрожує існування. [2]

В процесі спалювання палива утворюється не лише діоксид карбону  $\text{CO}_2$ , а й супутні парникові гази такі як оксиди нітрогену ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ) та діоксид сульфуру ( $\text{SO}_2$ ). Якщо говорити про реальні умови, то звичайно індивідуальної дії компонентів, які впливають на процес поглинання вуглекислого газу немає. Тому важливо досліджувати сумарний вплив оксидів нітрогену ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ) та діоксиду сульфуру ( $\text{SO}_2$ ) на швидкість поглинання діоксиду карбону хлорофілсинтезуючими мікрободоростями *Chlorella*.

Біологічна фіксація  $\text{CO}_2$  за допомогою хлорофілсинтезуючих мікрободоростей *Chlorella* розглядається як потенційна тактика не тільки зменшити викиди діоксиду карбону, але і одержати біомасу мікрободоростей *Chlorella* з високим вмістом ліпідів (джерело регенеративної



$$[E] = \frac{\alpha K_R K_S [E]_0}{\alpha K_R K_S + \alpha K_R [S] + [R][S] + \alpha K_S [R]}; \quad (3)$$

і далі – концентрація комплексів

$$[ES] = \frac{\alpha K_R [E]_0 [S]}{\alpha K_R K_S + \alpha K_R [S] + [R][S] + \alpha K_S [R]}; \quad (4)$$

$$[RES] = \frac{[E]_0 [S][R]}{\alpha K_R K_S + \alpha K_R [S] + [R][S] + \alpha K_S [R]} \quad (1.5)$$

Загальна швидкість перетворення субстрата в продукт по схемі (1) складається із швидкостей двох паралельних стадій[5; 6]:

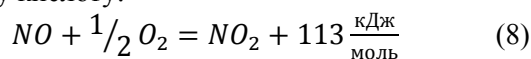
$$\begin{aligned} -\frac{d[S]}{d\tau} &= k_2 [ES] + \beta k_2 [RES] = \\ &= \frac{k_2 \alpha K_R [E]_0 [S] + \beta k_2 [E]_0 [S][R]}{\alpha K_R K_S + \alpha K_R [S] + [R][S] + \alpha K_S [R]}. \end{aligned} \quad (6)$$

Провівши перетворення в знаменнику і розділивши численник і знаменник на  $(\alpha K_R + [R])$ , отримуємо загальний вираз для початкової швидкості ферментативної реакції, яка відбувається в присутності стороннього активатора  $N_xO_y$  або інгібітора  $SO_2$ :

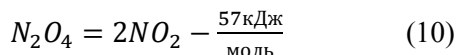
$$r_0 = \frac{k_2 \frac{\alpha K_R + \beta [R]}{\alpha K_R + [R]} [E]_0 [S]_0}{\alpha K_S \frac{K_R + [R]}{\alpha K_R + [R]} + [S]_0} \quad (7)$$

Оксиди нітрогену  $N_xO_y$  є одними із основних забруднювачів атмосфери. Потрібно пам'ятати що нітроген з киснем утворюють такі сполуки:  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_3$ ,  $N_2O_4$ ,  $N_2O_5$ .

Оксид нітрогену  $NO$  при нормальних умовах безбарвний газ, який погано розчиняється у воді. В присутності кисню перетворюються у діоксиднітрогену, який під дією води утворює нітратну кислоту:



Діоксид нітрогену – червоно-бурий газ з характерним запахом. У звичайних умовах складається з двох компонентів: мономера  $NO_2$  і димера  $N_2O_4$ , які знаходяться у рівновазі. З водою, як було описано раніше утворює нітратну кислоту.



Триоксиднітрогену  $N_2O_3$  утворюється при низьких температурах. При атмосферному тиску ця темно-синя рідина розкладається на оксид і діоксид нітрогену, які так само з водою утворюють азотну кислоту:



П'яти оксид нітрогену  $N_2O_5$  – при нормальних умовах тверда кристалічна речовина,

яка при температурі  $33^\circ\text{C}$  переходить у газовий стан. Це дуже сильний окисник, переважна більшість усіх органічних речовин в його присутності спалахують. У воді розчиняється з утворенням азотної кислоти. Таким чином усі оксиди нітрогену в атмосфері трансформуються діоксид нітрогену який з водою утворює нітратну кислоту. Тому в експериментальних дослідженнях використовували аніон нітратної кислоти  $NO_3^-$  [7].

### Результати досліджень та їх обговорення

Для дослідження впливу індивідуальної дії оксидів нітрогену ( $N_xO_y$ ) та сумарної дії за наявності діоксиду сульфуру ( $SO_2$ ) на процес поглинання діоксиду карбону використовували мікроводорості – *Chlorella vulgaris*. Її культивували у шістьох фотобіореакторах об'ємом  $1 \text{ дм}^3$ , протягом 14 діб. Вуглекислий газ та елементи мінерального живлення клітин мікроводорості отримують з навколишнього рідкого середовища і засвоюють їх всією своєю поверхнею. Під час проведення дослідження температуру підтримували в межах  $t=30^\circ\text{C}$ , для створення максимально сприятливих умов культивування. Так, як оксиди  $N_xO_y$ , та  $SO_2$  засвоюються мікроводоростями у вигляді аніонів  $NO_3^-$ ;  $HSO_3^-$  тому вплив їх на приріст мікроводоростей *Chlorella* вивчали за різних значень концентрації оксидів нітрогену при постійній концентрації інгібітора діоксиду сульфуру. Значення критичної концентрації інгібітора  $HSO_3^-$  за якої процес фотосинтезу припиняється встановлено експериментальним шляхом і приведено у наших роботах. [4]

Для експериментального дослідження впливу оксидів нітрогену  $N_xO_y$  на приріст хлорофіл синтезуючих мікроводоростей у перший фотобіореактор було додано аніон з концентрацією  $1,7 \text{ мг/м}^3$ , у другий  $-3,4 \text{ мг/м}^3$ , у третій  $-8,5 \text{ мг/м}^3$ , у четвертий  $-15,6 \text{ мг/м}^3$ , у п'ятий  $-34 \text{ мг/м}^3$ , а у шостий  $-68 \text{ мг/м}^3$ .

Для дослідження впливу оксидів нітрогену за присутності діоксиду сульфуру у перший фотобіореактор ми додали лише аніон  $HSO_3^-$  з концентрацією  $-1000 \text{ мг/м}^3$  для того щоб переконатися в тому, що діоксид сульфуру є інгібітором приросту хлорофіл синтезуючих мікроводоростей *Chlorella*. У другий фотобіореактор ми додали аніон  $HSO_3^-$  з концентрацією  $-1000 \text{ мг/м}^3$  та аніон  $NO_3^-$  з концентрацією  $-8,6 \text{ мг/м}^3$ ; у

третьому  $HSO_3^-$  – 1000 мг/м<sup>3</sup>,  $NO_3^-$  – 17,2 мг/м<sup>3</sup>; у четвертому  $HSO_3^-$  – 1000 мг/м<sup>3</sup>,  $NO_3^-$  – 25,8 мг/м<sup>3</sup>; у п'ятому  $HSO_3^-$  – 1000 мг/м<sup>3</sup>,  $NO_3^-$  – 34,4 мг/м<sup>3</sup>. Тобто у всіпробибуло додано однакову кількість аніонуінгібітора  $HSO_3^-$  та різну кількість аніону  $NO_3^-$ . Та відповідно контрольний розчин, який не містивжодних домішок аніонів у процесі дослідження.

За таких умов, приріст біомаси мікробдоростей *Chlorella* визначали фотоколориметричним методом з використанням синього світлофільтра згідно зі законом Бугера-Ламберта-Бера. [8] Опираючись на те, що оптична густина пропорційна концентрації, одержані експериментальні дані накопичення біомаси мікробдоростей *Chlorella* в залежності від часу в межах досліджуваної сумарної концентрації  $NO_3^-$  і  $HSO_3^-$  та індивідуального впливу  $NO_3^-$  відповідають значенням оптичнихгустин.

Базуючись на результатах експериментальних даних та розрахункових величин, було побудовано графічні залежності зміни концентрації клітин мікробдоростей у часі за відповідних концентрацій оксидів нітрогену ( $N_xO_y$ ) в розчині за умов їх одноразового введення (рис. 1).

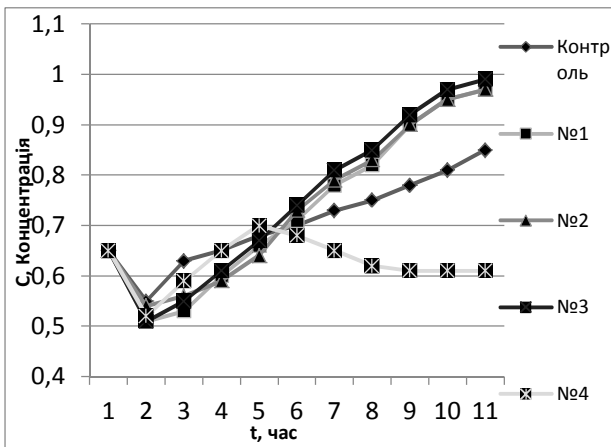


Рис. 1. Залежність зміни концентрації клітин мікробдоростей в часі за відповідних концентрацій  $NO_3^-$

Проаналізувавши дані, зображені на рис. 1, слід зазначити, що приріст концентрації клітин мікробдоростей *Chlorella* залежить від концентрації оксидів нітрогену ( $N_xO_y$ ) порівняно з контролем, який не зазнав впливу аніону  $NO_3^-$ . Тому можна стверджувати, що за таких умов приріст мікробдоростей у рідкомусередовищі, яке добре перемішується, змінюється в часі

залежно від концентрації оксидів нітрогену. Відповідно приріст клітин мікробдоростей зростає із збільшенням концентрації ( $N_xO_y$ ), але до певногозначення. Як зображено на рис. 1 б проба на другу добу поводить себе так само, як інші, тобто теж пристосовується, а з третьої доби починається ріст, який навіть на 5 добу є інтенсивніший, ніж у контрольній пробі, проте з шостої доби спостерігається негативна динаміка, тобто спад і в наступні п'ять діб не спостерігається ні приросту, ні відмирання мікробдоростей. Схожа динаміка, але з меншим значенням концентрації спостерігається і в контрольній ємності, яка не зазнала впливу оксидів нітрогену( $N_xO_y$ ).

Також при обробці експериментальних даних було отримано графічну залежність, що ілюструє зміну концентрації мікробдоростей у часі за різних значень  $NO_3^-$ ; і за присутності інгібітора  $HSO_3^-$  в розчині при одноразовому його введенні (рис. 2).

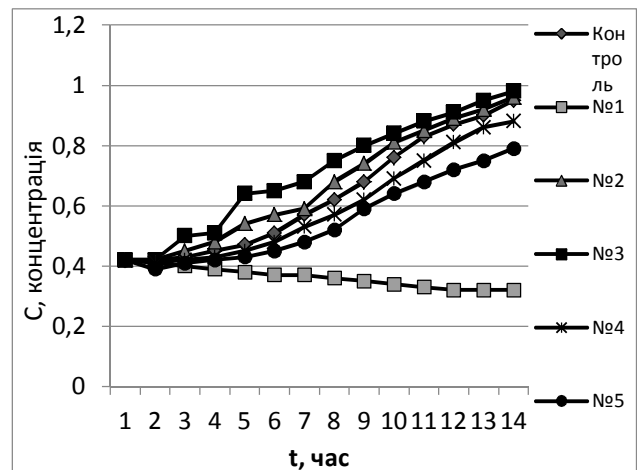
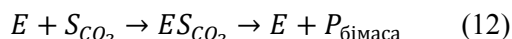


Рис. 2. Залежність зміни концентрації клітин мікробдоростей в часі при відповідних концентраціях аніону  $HSO_3^-$  та аніону  $NO_3^-$

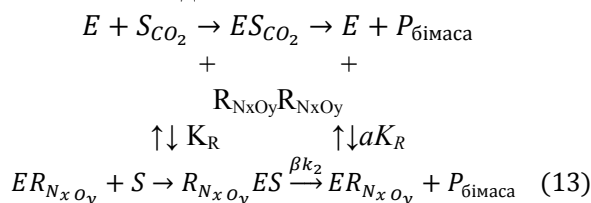
Одержані дані свідчать про те, що аніон  $HSO_3^-$  є інгібітором процесу приросту мікробдоростей, що видно на графіку 2, перша проба порівняно з контролем та іншими пробами переконливоспадає. Аналізуючи дані (рис 2), слід зазначити, що збільшення концентрації клітин мікробдоростей суттєво залежить і від концентрації оксидів нітрогену ( $NO_3^-$ ). З другої по п'яту пробу спостерігаємо, що ( $NO_3^-$ ) інактивує дію інгібітора ( $HSO_3^-$ ) і супроводжує приріст мікробдоростей.

При утворенні фермент-субстратного комплексу з діоксидом сульфуру  $SO_2$ , оксиди нітрогену  $N_xO_y$  спричиняють розпад цього комплексу і відновлю фотосинтезу.

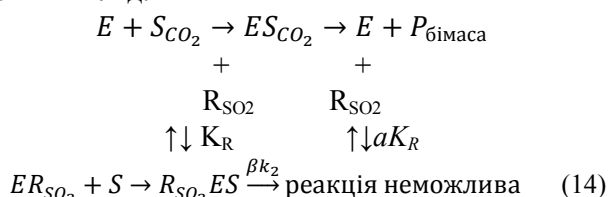
Схема впливу,  $SO_2, N_xO_y$  на ферментативне перетворення субстрату – діоксиду карбону  $CO_2$  в продукт  $P$  – біомасу, включає зворотну взаємодію  $SO_2$  з ферментом або фермент-субстратним комплексом.



Якщо у ролі деякої речовини  $R$  виступають оксиди нітрогену  $N_xO_y$ , то схема впливу буде мати такий вигляд:



Якщо у ролі деякої речовини  $R$  виступає діоксид сульфуру  $SO_2$ , то схема впливу буде мати такий вигляд:



Основний параметр, який характеризує інтенсивність поглинання  $CO_2$  – це коефіцієнт приросту  $\mu$ :

$$dC/dt = \mu \times C \quad (15)$$

де  $dC$  – приріст концентрації мікродоростей,  $C$  – концентрація мікродоростей, .

Проінтегрувавши рівняння (1.15), можна знайти постійну інтегрування, але за умови, якщо в початковий момент часу  $t=0$  наявна вихідна концентрація клітин мікродоростей  $C_0$  одержуємо [9]:

$$C = C_0 \times \exp(\mu t) \quad (16)$$

Оскільки логарифмічна залежність концентрації клітин мікродоростей від часу в період експоненційного приросту є лінійною залежністю – це дає можливість визначити коефіцієнт приросту  $\mu$  як тангенс кута нахилу прямої. Після підстановки експериментальних даних у рівняння (16), отримуємо залежності  $\ln C/C_0 = f(t)$ , які зображені на рис. (3–4).

Одержані залежності зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікродоростей *Chlorella* від часу за відповідних концентрацій оксидів нітрогену  $NO_3^-$  дозволяють визначити

значення коефіцієнту приросту  $\mu$ , як тангенс кута нахилу експериментальних прямих (табл. 1). Оскільки в 1–5 пробах є збільшення приросту біомаси мікродоростей, тому значення коефіцієнта приросту є додатним. У випадку шостої проби має місце зменшення приросту мікродоростей, тому значення коефіцієнта приросту  $\mu$  є від'ємне.

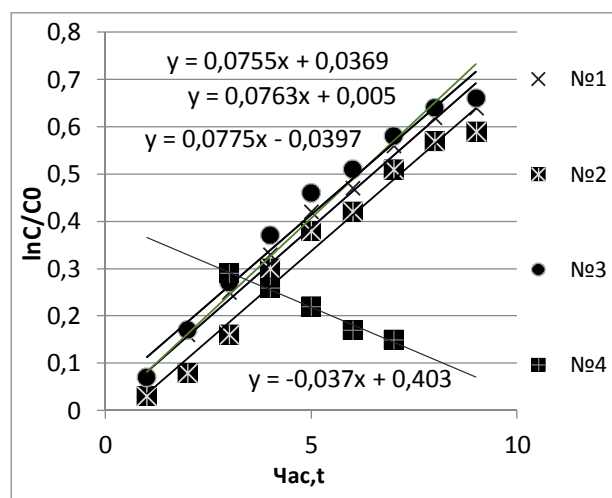


Рис. 3. Залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікродоростей від часу (за відповідних концентрацій  $NO_3^-$ )

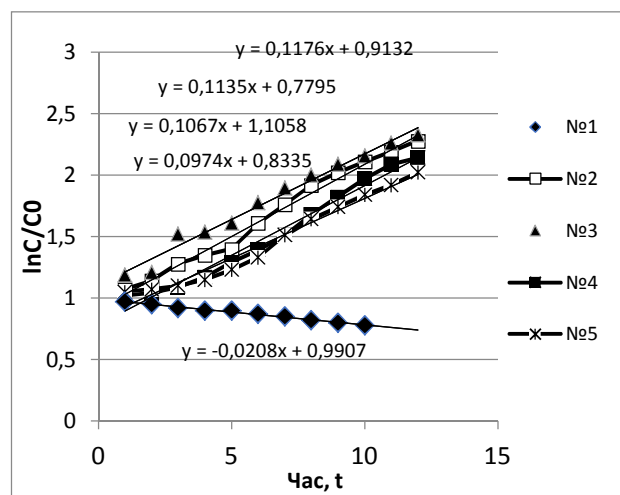


Рис. 4. Залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікродоростей від часу (за відповідних концентрацій  $NO_3^-$  та інгібітора  $HSO_3^-$ )

Аналогічно побудовано залежність зміни логарифму концентрації суспензії клітин мікродоростей *Chlorella* від часу за відповідних концентрацій  $NO_3^-$  в присутності інгібітора  $HSO_3^-$ , за допомогою яких визначили коефіцієнт приросту

$\mu$ , як тангенс кута нахилу експериментальних прямих. Оскільки у контрольній ємкості є позитивна тенденція збільшення приросту біомаси мікроводоростей, відповідно значення коефіцієнта приросту додатне,  $\mu = 0,1234 \text{ c}^{-1}$ . Значення коефіцієнту приросту  $\mu$  за відповідних концентрацій  $HSO_3^-$  та  $NO_3^-$  представлені в таблиці 2. Оскільки в 2–5 пробах є збільшення приросту біомаси мікроводоростей, то відповідно значення коефіцієнта приросту – додатне. Варто зазначити, що у випадку першої проби, коли було додано лише інгібітор діоксид сульфуру  $HSO_3^-$  має місце зменшення приросту біомаси мікроводоростей, тому значення коефіцієнта приросту  $\mu$  – від’ємне.

Таблиця 1

**Значення коефіцієнту приросту  $\mu$  за відповідних концентрацій  $NO_3^-$**

Проба	Коефіцієнт приросту $\mu$ $\text{c}^{-1}$	Концентрація $NO_3^-$ мг/м3
Контроль	0,036	0
Проба № 1	0,077	1,7
Проба № 2	0,077	3,4
Проба № 3	0,076	8,5
Проба № 4	0,075	15,6
Проба № 5	0,075	34
Проба № 6	- 0,037	68

Таблиця 2

**Значення коефіцієнту приросту  $\mu$  за відповідних концентрацій  $NO_3^-$  та за присутності інгібітора  $HSO_3^-$**

Проба	Коефіцієнт приросту $\mu$ $\text{c}^{-1}$	Концентрація $HSO_3^-$ мг/м3	Концентрація $NO_3^-$ мг/м3
Контроль	0,1234	-	-
Проба № 1	-0,0208	1000	-
Проба № 2	0,1176	1000	8,6
Проба № 3	0,1067	1000	17,2
Проба № 4	0,1135	1000	25,8
Проба № 5	0,0974	1000	34,4

Математична модель, яка описує динаміку поглинання діоксиду карбону  $CO_2$  має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dC}{dx} = \mu_1 C - \mu_2 C \\ \frac{dC}{dx} = \mu_1 C; \\ x = 0, C = C_0; \end{cases} \quad (17)$$

де,  $x$  – концентрація оксидів нітрогену ( $NO_3^-$ ) за умови присутності діоксиду сульфуру ( $HSO_3^-$ );  $C$  – концентрація мікроводоростей у суспензії.

Рішення цієї моделі має декілька аналітичних виразів, один із них дозволяє розраховувати оптимальну концентрацію оксидів нітрогену в присутності діоксиду сульфуру за умови постійної його концентрації та відомих значень коефіцієнтів приросту –  $\mu$ ;

$$x_{max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} \quad (18)$$

На основі даних математичної обробки результатів експериментальних досліджень приросту популяції ми визначили коефіцієнти приросту  $\mu_1$  та  $\mu_2$ . Отримані значення ми підставили у рівняння (1.18) та розрахували оптимальне значення концентрації оксидів нітрогену  $N_xO_y$  в середовищі культивування.

$$x_{max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} = \frac{\ln(-0,037) - \ln 0,076}{(0,076 - 0,037)} = 18,46 \text{ мг/м3}; \quad (19)$$

Це та концентрація оксидів нітрогену ( $N_xO_y$ ) за якої досягається максимальне значення приросту концентрації біомаси мікроводоростей у середовищі культивування.

Аналогічно розраховуємо оптимальне значення концентрації  $NO_3^-$  за присутності інгібітора  $HSO_3^-$  для процесу поглинання вуглекислого газу.

$$x_{max} = \frac{\ln \mu_2 - \ln \mu_1}{(\mu_1 + \mu_2)} = \frac{\ln(-0,0208) - \ln 0,1088}{(0,1088 - 0,0208)} = 18,795 \frac{\text{мг}}{\text{м3}}; \quad (20)$$

З рішення представленої математичної моделі видно, що максимальний приріст концентрації мікроводоростей досягається за концентрації  $NO_3^- = 18,795 \text{ мг/м}^3$  при постійному значенні концентрації інгібітора  $HSO_3^- = 100 \text{ мг/м3}$ .

Кількість активатора  $N_xO_y$ , яка витрачається на розклад фермент-субстратного комплексу з інгібітором  $SO_2$  та відновлення процесу фотосинтезу клітинами мікроводоростей *Chlorella* становить  $18,795 - 18,46 = 0,335 \text{ мг/м}^3$ .

### Висновки

У роботі показано явище інактивації інгібітора оксиду сульфуру  $\text{SO}_2$  активатором оксидами нітрогену  $\text{N}_x\text{O}_y$  в динаміці поглинання вуглекислого газу хлорофілсинтезуючими мікродоростями *Chlorella*. Представлені результати експериментальних досліджень ефективності поглинання  $\text{CO}_2$  мікродоростями залежно від концентрації активатора  $\text{N}_x\text{O}_y$  та за присутності згубної концентрації інгібітора  $\text{SO}_2$  засвідчують про можливість керування процесом.

Крім цього, встановлено концентрацію оксиду сульфуру, за якої має місце згубний вплив на фотосинтез, тобто за такої концентрації оксиду сульфуру поділ клітин мікродоростей припинявся.

Базуючись на результатах рішення математичної моделі та отриманих експериментальних даних розраховано оптимальне значення концентрації активатора  $\text{N}_x\text{O}_y$  в присутності інгібітора  $\text{SO}_2$  за якої процес поглинання вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  відновлюється. Встановлено кількість активатора  $\text{N}_x\text{O}_y$ , яка витрачається на розклад фермент-субстратного комплексу з інгібітором  $\text{SO}_2$  та відновлення процесу фотосинтезу клітинами мікродоростей *Chlorella*.

### References

- [2018] Zmina klimatu. Zahalnyi pohliad. Retrieved from <https://www.amnesty.org.ua/zmina-klimatu/> [in Ukrainian].
- [2019] Zmina klimatu. Natsionalnyi ekolohichnyi tsentr Ukrainy. Retrieved from [necu.org.ua/climate/](http://necu.org.ua/climate/) [in Ukrainian].
- Hubskiy Yu. I. [2007] "Biolohichna khimiia." K. – V.: Nova knyha, 137 s. [in Ukrainian].
- Diachok V. V., Huhlych S.I., Katysheva V.V., Mandryk S.T. [2017] "Pohlynnannia vuhlekysloho hazu iz sumishi povitria z dioksydom sirky" Naukovi pratsi. T.81. – №1. – S. 59–65. [in Ukrainian].
- Poltorak O. M., Chukhrai O.S. [1972] "Fyzyko-khymycheskye osnovy fermentatyvnoho katalyza" Vysshaia shkola., 311 s. [in Russian]
- Manakov M. N. Pobedymskiy D.H. [1990] "Teoretycheskye osnovy tekhnolohyy mykrobiolohycheskykh proyzvodstv." Ahropromyzdat, 272 s. [in Russian]
- Holdovskaia L.F. [2008] "Khymyia okruzhaiushchei sredy: uchebnyk dlia vuzov po spetsylnosti Okhrana okruzhaiushchei sredy y ratsyonalnoe yspolzovanye pryrodnykh resursov. -3-e yzd." M ; Myr, 295s. [in Russian]
- Braun T. Perevod s anhlyiskoho. Rozenberh E.L., [1983] "Khymyia v tsentre nauk" M. -Myr.520 s. [in Russian]
- Dyachok V., Huhlych S., Yatchyshyn Y., Zaporochets Y., Katysheva V. [2017] "About the problem of biological processes complicated by mass transfer" Chemistry & Chemical Technology. T.11, № 1. – C. 111–116.

V. V. Dyachok, S. T. Mandryk

Lviv Polytechnic National University,  
Department of Ecology and Sustainable Environmental Management

### THE ROLE OF NITROGEN OXIDES IN THE PRESENCE OF SULFUR DIOXIDE IN THE DYNAMICS OF THE CARBON DIOXIDE ABSORPTION OF CHLOROPHYLL – PRODUCING MICROALGAE

The effect of nitrogen oxides in the presence of sulfur oxide on the absorption of carbon dioxide by chlorophyll – producing microalgae *Chlorella* was investigated. Experimental dependences of the dynamics of  $\text{CO}_2$  uptake by microalgae in the presence of  $\text{N}_x\text{O}_y$  alone and at the critical concentration of the  $\text{SO}_2$  photosynthesis inhibitor in the presence of  $\text{N}_x\text{O}_y$  are presented. A mathematical description of the dynamics of  $\text{CO}_2$  uptake by chlorophyll – producing microalgae *Chlorella* is presented, depending on the concentration of the individual action of nitrogen oxides and the simultaneous action of nitrogens oxides and sulfur dioxide. Based on the solution of the mathematical model and the experimental data obtained, the optimal value of the  $\text{N}_x\text{O}_y$  concentration and the total  $\text{N}_x\text{O}_y$  concentration in the presence of the  $\text{SO}_2$  inhibitor were calculated. The optimal concentration of the  $\text{N}_x\text{O}_y$  activator was determined to inactivate the damaging effect of the  $\text{SO}_2$  inhibitor and to restore the complete process of absorption of carbon dioxide (photosynthesis) by chlorophyll – producing microalgae *Chlorella*. Summarizing the results of experimental studies, we can assume that nitrogen oxides act as an activator of the process of photosynthesis.

Key words: carbon dioxide  $\text{CO}_2$ , microalgae *Chlorella*, nitrogen oxides  $\text{N}_x\text{O}_y$ , sulfur oxide  $\text{SO}_2$ , inhibitors and activators, mathematical model.