

ЛИТОВЧЕНКО Є. Р.¹, БЛЮМ Е. Я.^{2✉}, КИПОРЕНКО О. Я.², ЗІНЬКО Л. С.¹

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

Україна, 01033, м. Київ, вул. Павла Скоропадського, 12, ORCID: 0000-0003-2953-4228, 0009-0006-9336-4752

² Київська Мала академія наук,

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

✉ owo9835@gmail.com

РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОКІЛЬКОСТЕЙ НІТРИТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЇХ ЕКО- ТА ГЕНОТОКСИЧНИХ ЕФЕКТІВ

Мета. На основі узагальнення даних щодо токсичного впливу нітритів на живі організми провести дослідження для розробки ефективного, зручного і недорогого методу якісного та кількісного аналізу нітритів у зразках з метою запобігання їх токсичного впливу на цільові організми. **Методи.** Спектрофотометричний метод визначення нітриту за реакцією з метиловим червоним, дослідження сорбції метилового червоного та продукту його взаємодії з нітритом на поверхні сорбенту. **Результати.** Проаналізовано результати досліджень і встановлено, що нітрити можуть спричиняти суттєвий негативний вплив на рослинні та тваринні організми, а також на організм людини, залежно від їх концентрації. Запропоновано підходи щодо розробки простого і швидкого методу спектрофотометричного визначення мікрокількостей нітритів за використання метилового червоного. Створено кольорову шкалу для візуального тестування нітритів, що дозволяє визначати їх концентрацію за зміною кольору сорбенту. **Висновки.** Оскільки нітрити можуть накопичуватися і викликати токсичні ефекти, розробка чутливих методів кількісного і якісного визначення нітритів у різноманітних зразках є важливим напрямком для моніторингу їх наявності в різноманітних зразках, зокрема ґрунті, воді, сільськогосподарських продуктах тощо. На основі отриманих результатів можна рекомендувати метиловий червоний як перспективний реагент для розробки методу визначення мікрокількостей нітриту.

Ключові слова: нітрити, токсичність, метиловий червоний, сорбція, спектрофотометричний аналіз.

Нітрити – природні хімічні неорганічні сполуки, що містять групу (NO_2^-), широко присутні у тваринних та рослинних організмах, продуктах харчування і навколишньому середо-

вищі. У підвищених концентраціях їх виявляють в забрудненому ґрунті або воді, особливо в районах, де активно виробляють і використовують добрива, або де спалюють органічні матеріали чи відходи. Нітрати можуть перетворюватися на нітрити в процесі біологічного чи хімічного відновлення. Це може відбуватися природним шляхом у ґрунті, воді або організмах, де бактерії в процесі метаболізму розкладають нітрати до нітритів. Зокрема, в ґрунті під впливом бактерій, які використовують нітрати як джерело азоту, відбувається їх перетворення до нітритів [1]. Деякі бактерії (наприклад, представники роду *Pseudomonas*), можуть відновлювати нітрати до нітритів або навіть до молекулярного азоту (N_2). Таке відновлення нітратів і утворення нітритів також є частиною азотного циклу і може відбуватися в болотистих місцевостях або в умовах нестачі кисню.

Нітрити використовуються в різних промислових галузях, зокрема у хімічній, металургійній, військовій, медичній, паперовій, харчовій та інших галузях промисловості. Нітрити (зокрема, калій та натрій нітрити) широко відомі в харчовій промисловості, як харчові добавки E249 та E250, відповідно, їх додають до різноманітних м'ясних виробів для запобігання розвитку шкідливих бактерій (зокрема, тих, що можуть викликати харчові захворювання), для збереження червоного кольору продуктів та надання їм специфічного смаку і аромату. Однак, механізм дії нітритів на рослинні і тваринні організми, та особливо на організм людини, є не до кінця з'ясованим. Існують дані як помірно позитивного впливу нітритів через його перетворення в інші сполуки, так і негативного впливу на живі організми [2–4]. Отже, через негативний вплив нітритів на різні організми, важливо розробити швидкі, недорогі та екологічні методи для їх визначення в зразках, зокрема, ґрунті,

© ЛИТОВЧЕНКО Є. Р., БЛЮМ Е. Я., КИПОРЕНКО О. Я., ЗІНЬКО Л. С.

воді, продуктах харчування, тощо. І хоча останнім часом для визначення нітритів запропоновано багато різноманітних методів (спектрофотометричних, електрохімічних, хроматографічних та інших) [5, 6], проте деякі з них мають недоліки: вони трудомісткі, дорогі, вимагають складного обладнання і мають низьку чутливість. Тому метою даної роботи було узагальнити наявні дані щодо негативного впливу нітритів на довкілля та різні організми, а також дослідити можливість використання метилового червоного для подальшої розробки надійного, ефективного, зручного і недорогого методу якісного та кількісного визначення нітритів з метою оцінки їх токсичного впливу на цільові організми.

Матеріали і методи

Для розробки спектроскопічного визначення нітритів було проведено серію досліджень з використанням метилового червоного (МЧ), ч.д.а. Крім 0,1 %-го розчину МЧ, як реагенти також використовували 0,05 М сульфатну кислоту (H_2SO_4); натрій нітрит (NaNO_2), ч.д.а; немодифікований силікагель марки Silica Gel 60 (Merck, Німеччина) з розміром частинок 0,063–0,200 мкм без попередньої термічної та хімічної обробки.

Спектри поглинання розчинів вимірювали спектрофотометром 2800 UV\VIS SPECTROPHOTOMETER UNICO / Спектрофотометр Shimadzu UV-2401 PC. Для фотометрування розчинів використовували кварцові кювети з товщиною поглинаючого шару $l=1,0$ см.

Результати та обговорення

Аналіз останніх експериментальних даних по дослідженню впливу нітритів свідчить про те, що ці речовини є достатньо суперечливими щодо їх ефектів на довкілля та різні організми. Відомо, що нітрити, беруть участь в кругообігу азоту в природі через процес нітрифікації, який є вкрай важливим для екологічної стійкості та інтенсифікації сільського господарства. Однак, накопичення нітратів у великій кількості відбувається, як було встановлено, коли інтенсивно застосовують сечовину або синтетичні добрива на основі амонію, яке посилюється при високому рН ґрунту, або коли обробляють ґрунт біоцидними хімікатами [7, 8]. Нітрити також можуть накопичуватися в ґрунті, коли окислення аміаку відбувається швидше, ніж поглинання

нітратів рослинами, а також коли поглинання нітратів відбувається повільніше, ніж його відновлення. Накопичення нітритів у ґрунті може викликати низку екологічних проблем, зокрема NO_2^- може вступати в реакцію з іншими речовинами, утворюючи такі сполуки, як азотисту кислоту (HONO), нітроген(II) оксид (NO), нітроген(IV) оксид (NO_2) і нітроген(I) оксид (N_2O), які впливають на окислювальну здатність атмосфери, якість повітря та здоров'я людини, а також можуть діяти як сильний парниковий газ чи спричинити утворення кислотних дощів [9].

Встановлено, що нітрити у високих концентраціях токсичні для ґрунтових організмів [3]. Вони також є потенційною проблемою і для водних екосистем. Прісноводна риба поглинає їх через зябра, що призводить до накопичення нітритів у високих концентраціях всередині організму, тоді як морська риба поглинає їх через зябра і кишечник. Поглинання нітритів порушує баланс хлоридів і калію, а також окислює гемоглобін до метгемоглобіну, що знижує здатність крові транспортувати кисень. Це викликає дефіцит кисню в тканинах, що відображається у підвищених рівнях лактату. Нітрити також можуть викликати вазодилатацію, підвищуючи серцевий ритм для відновлення артеріального тиску. Вони також можуть впливати на метаболізм, зокрема на синтез стероїдних гормонів [10].

Також доведено, що нітрити, які зазвичай виявляються у воді та їжі у високих концентраціях, становлять значну загрозу для здоров'я людини [11]. Однак, по сьогоднішній день вони широко використовуються у харчовій промисловості як загальний проявник кольору, антиоксидант і консервант, пригнічуючи ріст патогенних бактерій, таких як, наприклад, *Clostridium botulinum* і *Listeria monocytogenes* [12]. У галузі медицини нітрит використовується як судинорозширювальний засіб для ссавців, щоб врятувати їх життя у періоди гіпоксії. Для астматиків розпилений нітрит рекомендують до застосування для уповільнення симптомів астми [13]. З іншого боку, прийом нітриту натрію індукує метгемоглобінемію, як зазначено вище. Також нещодавно було показано, що нітрити тісно пов'язані з ризиком розвитку раку простати [14]. На додаток до цього, споживання нітритів у великій кількості може активувати гени, що контролюють апоптоз у тканинах печінки та нирок, викликаючи ураження тканин, тобто нітрити характеризуються певною генотоксич-

ністю [15]. Хоча ці результати потребують підтвердження в інших масштабних дослідженнях, вони дають нове розуміння в контексті обговорення щодо заборони широкого використання нітритів, перш за все, як добавок у харчовій промисловості.

Відповідно до EPA (US Environmental Protection Agency, Агентство з охорони навколишнього середовища США) максимально допустима норма (MCL, Maximum Contaminant Level) нітритів у питній воді становить 1 мг/л. EPA встановило референсну дозу (RfD) на рівні 0,1 мг азоту нітриту на кг маси тіла на добу, що відповідає 0,33 мг іону нітриту на кг маси тіла на добу (https://archive.epa.gov/teach/web/pdf/nitrates_summary.pdf). Ці дози вважаються безпечними для здорових немовлят, дітей та дорослих. Отже, для зниження ризику негативного впливу на довкілля та здоров'я людини існує нагальна потреба у створенні ефективних методів виявлення нітритів у різних типах зразків. Аналіз літературних даних показує, що кінетично-спектрофотометричні та флуориметричні методи є найбільш чутливими для визначення нітритів [5, 6]. Однак, багато розробок підтверджують, що це питання ще залишається актуальним. Спектрофотометричні методи є дешевшими, а кольорова реакція легко переноситься на межу розділу фаз, що може бути використано для створення ефективних гібридних сорбційно-спектроскопічних методів аналізу.

Ще одним важливим моментом для визначення нітритів є вибір матриці для закріплення реагентів, оскільки матриці мають різну природу і властивості. Кожна з них має свої переваги та недоліки. Наприклад, кремнеземна матриця має найбільше переваг серед твердих поверхонь і мінімум недоліків. Оскільки вона має високі коефіцієнти концентрування, високі параметри сорбції, відсутність власного поглинання, хімічну стійкість та зручність у використанні, то її часто обирають дослідники. Оскільки нітрит є окисником, тому можна використовувати індикаторну систему, де реакція окиснення змінює колір реагенту або комплексу. Для розробки тест-системи для визначення нітриту, що є окисником, можна використовувати кольорові реакції з барвниками на поверхні кремнеземної матриці, яку попередньо модифікують.

Тому, нами було проведено дослідження за використання МЧ – барвника, який легко окиснюється сильними та середньої сили окис-

никами, що супроводжується знебарвленням, та запропоновано підходи щодо розробки простого і швидкого методу спектрофотометричного визначення мікрокількостей нітритів за використання МЧ. Слід зазначити, що взаємодія МЧ з нітритом в розчині можлива при рН менше 5, оскільки барвник знаходиться при цьому рН в протонній формі. Однак, нітрит є окисником, і в присутності кислоти у розчині може відновлюватись. Нами було досліджено можливість взаємодії між нітритом та МЧ у водному сульфатно-кислому розчині. Зміну забарвлення візуально спостерігали при середній кислотності, тобто при $C(H_2SO_4)$ в діапазоні 0,016–0,020 М візуально (за зміною забарвлення розчинів) та методом спектрофотометрії. Отже, при протіканні реакції в реакційних сумішах спостерігали зміну забарвлення з червоного на жовте. Спектри поглинання розчинів МЧ з кислотою за відсутності та в присутності нітриту наведені на рис. 1А. Внаслідок взаємодії максимум в спектрі зсувається з 516 нм до 425 нм.

Як видно з рис. 1А, в присутності нітриту зменшується інтенсивність смуги при 520 нм, що може бути покладено в основу розробки спектрофотометричної методики визначення нітриту. Аналітичним відгуком може бути зменшення інтенсивності смуги при 520 нм, або збільшення – при 425 нм. Однак, інтенсивність смуги при 520 нм є значно більшою, тому чутливість визначення у цьому випадку буде високою.

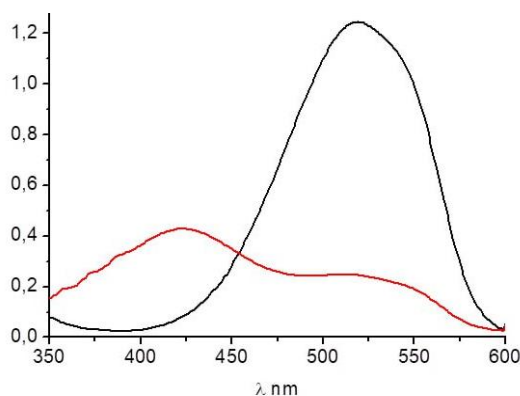
Дослідили можливість розробки умов спектрофотометричного визначення нітриту з МЧ. Для цього приготували серію розчинів з постійною концентрацією МЧ та змінною концентрацією нітриту. Розчини підкислювали сульфатною кислотою до $C(H_2SO_4) = 0,016$ М. Спектри поглинання отриманих розчинів наведені на рис. 1Б. Видно, що в присутності нітриту зменшується інтенсивність світлопоглинання в ділянці 500–550 нм та зростає інтенсивність смуги в ділянці 370–410 нм. Як аналітичний відгук можна використати оптичну густину розчину при 518 нм, що відповідає максимуму в спектрі «червоної» цвіттер-йонної форми МЧ, що витрачається в даній реакції. В графічній формі величина світлопоглинання при 518 нм залежно від вмісту сульфату представлена на рис. 2А. Видно, що вона є лінійною в досліджуваному діапазоні концентрацій. Отримано параметри низхідного калібрувального графіка для спектрофотометричного визначення нітриту

з МЧ ($P=0,95$, $n=5$): $A_{518}=(2,51\pm0,05)-(0,153\pm0,005)\times C(\text{NO}_2^-)$, 10^{-4} моль/л ($R^2=0.995$).

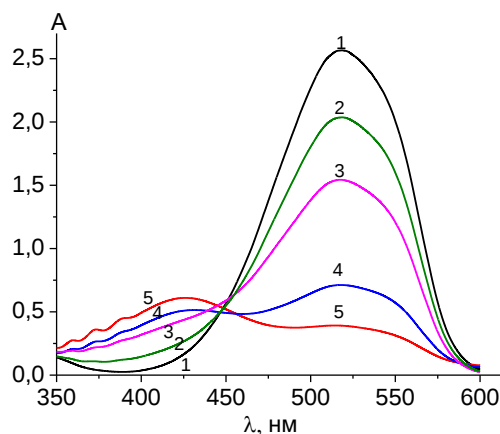
Як аналітичний відгук можна використати також $\Delta A_{518}=A_{518}^0 - A_{518}^i$, де A_{518}^0 – оптична густина розчину, що не містить нітриту, а A_{518}^i – оптична густина розчину, що містить нітрит. На рис. 2Б наведено графічну залежність. Видно, що вона виходить з нуля, і це набагато зручніше

у використанні. Отримано параметри висхідного калібрувального графіка для спектрофотометричного визначення нітриту з МЧ ($P=0,95$, $n=5$): $A_{518} = (0,06\pm0,05) + (0,153\pm0,005)\times C(\text{NO}_2^-)$, 10^{-4} моль/л ($R^2=0.995$). З останнього рівняння можна порахувати за 3s-критерієм межу виявлення нітриту: $MB(\text{NO}_2^-) = 1\times 10^{-4}$ моль/л.

А, відн. од

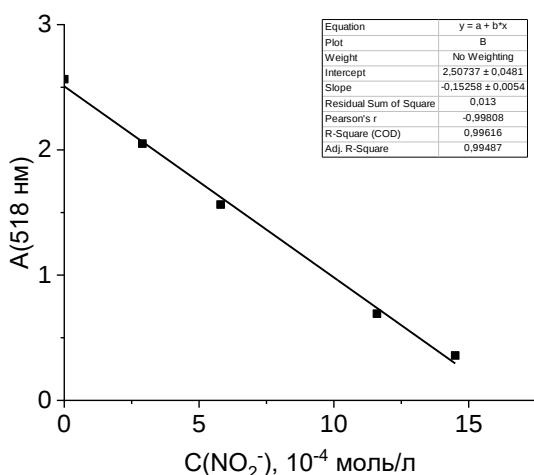


А

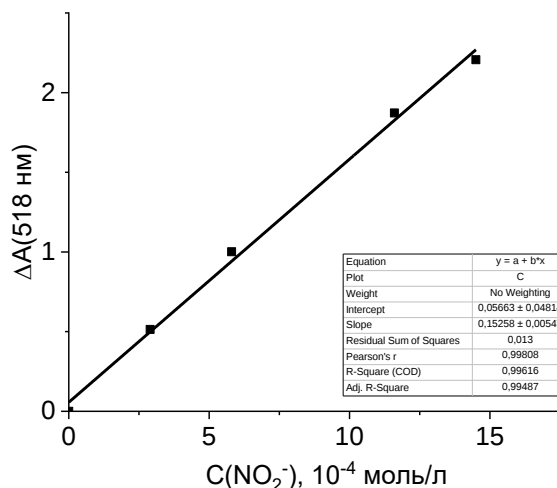


Б

Рис. 1. А – Спектри поглинання розчинів МЧ за відсутності (чорна крива) та в присутності нітриту (червона крива). $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.016$ М, $C(\text{МЧ}) = 5\cdot 10^{-5}$ М, $C(\text{NO}_2^-) = 1\cdot 10^{-4}$ М, час – 50 хв, $l=1,00$ см. Б – Спектри поглинання розчинів, що містять МЧ та нітрит. $C(\text{NO}_2^-)$, 10^{-5} М: 0(1), 0,4 (2), 1,6 (3), 3,0 (4), 6,0 (5), 12,0 (6). $C(\text{МЧ})=5\cdot 10^{-5}$ М, $C(\text{H}_2\text{SO}_4)=0,016$ М. $l=1,0$ см.



А



Б

Рис. 2. Світлопоглинання розчинів, що містять МЧ та нітрит, залежно від вмісту нітриту, побудовані у координатах $A_{518}=f(C(\text{NO}_2^-))$ (А) та $\Delta A_{518}=f(C(\text{NO}_2^-))$ (Б). $C(\text{МЧ})=5\cdot 10^{-5}$ М, $C(\text{H}_2\text{SO}_4)=0.016$ М. $l=1,0$ см.

Запропонований нами підхід простий у виконанні та не потребує багато часу та використання складних чи дороговартісних реактивів, на відміну від інших методів [5, 6]. Час аналізу не перевищує 20 хв, чутливість визначення нітриту в діапазоні концентрацій $(0,3-15) \times 10^{-4}$ моль/л характеризується межею виявлення 1×10^{-4} моль/л.

Кольори розчинів змінюються від рожевого через червоний до жовтого, що відкриває можливість розробки на цій основі комбінованих сорбційно-твердофазноспектрофотометричних та візуально-тестових методик визначення нітриту. При цьому можна сподіватись на зростання чутливості визначення нітриту за рахунок сорбційного концентрування забарвлених продуктів взаємодії між реагентом МЧ та аналітом на поверхню сорбенту, що може дозволити збільшити чутливість методики визначення останнього.

Для концентрування кольорових продуктів на поверхні сорбенту використали спосіб їх адсорбційного закріплення на поверхні мезопоруватого сорбенту SG60. Цей сорбент має задовільні сорбційні характеристики та кінетичні параметри, є стійким в широких діапазонах кислотності розчину, а також є комерційно доступним. До того ж, його поверхня є полярною за рахунок наявності на ній поверхневих Si-O-Si груп. Сорбцію досліджували в статичних умовах при співвідношенні об'єму розчину до маси наважки сорбенту 10 мл до 0,200 г сорбенту. Поверхню сорбенту не модифікували і не обробляли нічим перед проведенням сорбції.

Встановлено, що даний сорбент вилучає як червону форму МЧ, так і продукт його взаємодії з нітритом, що утворився в оптимальних умовах взаємодії. Також було встановлено, що вилучення МЧ на поверхню відбувається впродовж 15 хв, тож в подальшому сорбцію проводили впродовж такого часу. Готували розчини, що містять МЧ, сульфатну кислоту та нітрит: $C(\text{МЧ})=5 \cdot 10^{-5}$ М, $C(\text{H}_2\text{SO}_4)=0,016$ М; $C(\text{NO}_2^-)$, 10^{-4} М: 0(1), 0,4 (2), 1,6 (3), 3,0 (4), 6,0 (5), 12,0 (6) і залишали їх на 15 хв для розвитку забарвлення. Далі відбирали аліквотну частину розчинів об'ємом 10 мл (різні концентрації нітриту), обережно додавали наважку силікагелю та проводили сорбцію для кожного з розчинів близько 15 хв. Розчини після сорбції та седиментації сорбенту декантували та промивали 2–3 рази невеликою порцією розчину кислоти (0,02 М). Візуально спостерігали за ефективністю вилучення барвників з розчину. З часом інтенсивність забарвлення розчинів зменшувалась, що підтверджує наявність сорбційних процесів. У результаті отримали концентрати, забарвлені у різні кольори залежно від концентрації нітриту у початковому розчині. Колір сорбентів змінювався пропорційно вмісту нітриту в розчинах від рожевого через червоний до жовтогогарячого (рис. 3).

Однак, слід зазначити, що крок шкали потребує оптимізації, як і сама процедура проведення тестування. Шкала стійка у часі впродовж як мінімум 3 місяців.

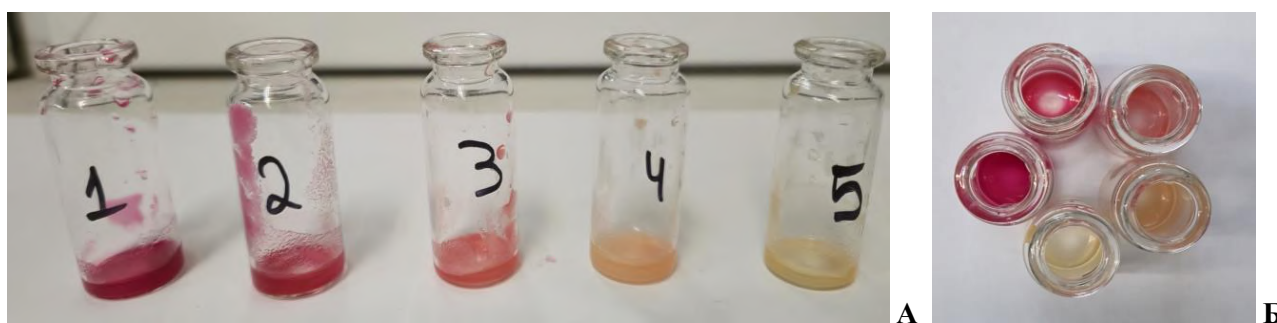


Рис. 3. Дослідження сорбції метилового червоного та продукту його взаємодії з нітритом на поверхню сорбенту. А – фото сорбентів, що контактували з розчинами, що містять МЧ та нітрит. $C(\text{NO}_2^-)$, 10^{-4} М: 0 (1), 2,9 (2), 5,8 (3), 12 (4), 15 (5). $C(\text{МЧ})=5 \cdot 10^{-5}$ М, $C(\text{H}_2\text{SO}_4)=0,016$ М. Б – модель кольорової шкали для визначення нітриту. Концентрація нітриту (зліва від червоного за годинниковою стрілкою) $C(\text{NO}_2^-)$, ммоль/л: 0, 29, 58, 120, 150.

Висновки

За результатами проведеного аналізу літературних даних можна стверджувати, що нітри-ти спричиняють негативний вплив на рослинні та тваринні організми, а також на організм людини, залежно від їх концентрації. Для ідентифікації нітриту у зразках запропоновано вико-

ристання спектрофотометричний метод його визначення за реакцією з метиловим червоним. Показано перспективність подальшої розробки візуально-тестової методики визначення мікро-кількостей нітриту з концентруванням продуктів його взаємодії з метиловим червоним на поверхні силікагелю SG60.

References

1. Hachiya T., Ueda N., Munenori K., Hanke G., Suzuki A., Hase T., Sakakibara, H. *Arabidopsis* root-type ferredoxin:NADP(H) oxidoreductase 2 is involved in detoxification of nitrite in roots. *Plant Cell Physiol.* 2016. Vol. 57. P. 2440–2450. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcw158>.
2. Shiva S. Nitrite: A physiological store of nitric oxide and modulator of mitochondrial function. *Redox Biol.* 2012. Vol. 1 (1). P. 40–44. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2012.11.005>.
3. Ayiti O. E., Babalola O. O. Factors influencing soil nitrification process and the effect on environment and health. *Front. Sustain. Food Syst.* 2022. Vol. 6. 821994. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.821994>.
4. Chazelas E., Pierre F., Druésne-Pecollo N., Esseddik Y., Szabo de Edelenyi F., Agaesse C., De Sa A., Lutchia R., Gigandet S., Srour B., Debras C., Huybrechts I., Julia C., Kesse-Guyot E., Allès B., Galan P., Hercberg S., Deschasaux-Tanguy M., Touvier M. Nitrites and nitrates from food additives and natural sources and cancer risk: results from the NutriNet-Santé cohort. *Int J Epidemiol.* 2022. Vol. 51 (4). P. 1106–1119. <https://doi.org/10.1093/ije/dyab046>.
5. Song Y., Wu D., Dörsch P., Yue L., Deng L., Liao C., Sha Z., Dong W., Yu Y. Improved method for extracting nitrites in soil. *Agronomy.* 2024. Vol. 14. 331. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020331>.
6. Li H., Song Y., Zhou B., Xu H. Nitrite: from application to detection and development. *Appl. Sci.* 2024. Vol. 14. 9027. <https://doi.org/10.3390/app14199027>.
7. Siontorou C. G., Georgopoulos K. N. A biosensor platform for soil management: the case of nitrites. *J. Cleaner Prod.* 2016. Vol. 111. P. 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.038>.
8. Lim N. Y. N., Frostegård Å., Bakken L. R. Nitrite kinetics during anoxia: The role of abiotic reactions versus microbial reduction. *Soil Biol. Biochem.* 2018. Vol. 119. P. 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.006>.
9. Song Y., Wu D., Ju X., Dörsch P., Wang M., Wang R., Song, X., Deng L., Wang R., Gao Z., Haider H., Hou L., Liu M., Yu Y. Nitrite stimulates HONO and NO_x but not N₂O emissions in Chinese agricultural soils during nitrification. *Sci. Total Environ.* 2023. Vol. 902. 166451. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166451>.
10. Tamme T., Reinik M., Roasto, Nitrates M. Nitrites in Vegetables: Occurrence and Health Risks. In : *Bioactive Foods in Promoting Health* (Eds. : R. R. Watson, V. R. Preedy), Academic Press. 2010. P. 307–321. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00021-9>.
11. Tang T. T., Zhang M., Law C. L., Mujumdar A. S. Novel strategies for controlling nitrite content in prepared dishes: Current status, potential benefits, limitations and future challenges. *Food Res. Int.* 2023. Vol. 170. 112984. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112984>.
12. Shen Q., Zeng X., Kong L., Sun X., Shi J., Wu Z., Guo Y., Pan D. Research progress of nitrite metabolism in fermented meat products. *Foods.* 2023. Vol. 12 (7). 1485. <https://doi.org/10.3390/foods12071485>.
13. Sriboonyong T., Kawamatawong T., Sriwantana T., Srihirun S., Titapiwatanakun V., Vivithanaporn P., Pornsuriyasak P., Sibmooh N., Kamalaporn H. Efficacy and safety of inhaled nebulized sodium nitrite in asthmatic patients. *Pulm. Pharmacol. Ther.* 2021. Vol. 66. 101984. <https://doi.org/10.1016/j.pupt.2020.101984>.
14. Chazelas E., Pierre F., Druésne-Pecollo N., Esseddik Y., de Edelenyi F.S., Agaesse C., De Sa A., Lutchia R., Gigandet S., Srour B., Debras C., Huybrechts I., Julia C., Kesse-Guyot E., Allès B., Galan P., Hercberg S., Deschasaux-Tanguy M., Touvier M. Nitrites and nitrates from food additives and natural sources and cancer risk: Results from the NutriNet-Santé cohort. *Int. J. Epidemiol.* 2022. Vol. 51. P. 1106–1119. doi: 10.1093/ije/dyab046.
15. El-Nabarawy N.A., Gouda A.S., Khattab M.A., Rashed L.A. Effects of nitrite graded doses on hepatotoxicity and nephrotoxicity, histopathological alterations, and activation of apoptosis in adult rats. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. Vol. 27. P. 14019–14032. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07901-6>.

LYTOVCHENKO Y. R.¹, BLYUM E. Y.², KYPORENKO O. Y.², ZINKO L. S.¹

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Ukraine, 01033, Kyiv, Pavla Skoropadskoho str., 12

² Kyiv Youth Academy of Sciences,
Ukraine, 01010, Kyiv, Ivana Mazepy str., 13

INFLUENCE OF NITRITES ON DIFFERENT ORGANISMS AND DEVELOPMENT OF APPROACHES TO THEIR EFFECTIVE DETECTION

Aim. To assess the effect of nitrites on different organisms according to open scientific data. To conduct research to develop a reliable, effective, convenient and inexpensive method for qualitative and quantitative analysis of nitrites in samples in order to prevent their toxic effect on target organisms. **Methods.** Spectrophotometric method for determining

nitrite by reaction with methyl red, study of sorption of methyl red and the product of its interaction with nitrite on the surface of the sorbent. **Results.** The results of the research were analyzed and it was found that nitrites can cause a significant negative impact on plant and animal organisms, as well as on the human body, depending on their concentration. Approaches were proposed to develop a simple and rapid method for spectrophotometric determination of trace amounts of nitrites using methyl red. A color scale was created for visual testing of nitrites, which allows determining their concentration by changing the color of the sorbent. **Conclusions.** Since nitrites can accumulate and cause toxic effects, the development of sensitive methods for quantitative and qualitative detection of nitrites in various samples is an important direction for monitoring their presence in samples, in particular soil, water, agricultural products, etc. Based on the results obtained, methyl red can be recommended as a promising reagent for the development of a method for the detection of trace amounts of nitrite.

Keywords: nitrites, toxicity, methyl red, sorption, spectrophotometric analysis.