

## ВІДГУК

офіційного опонента – докторки біологічних наук, професорки, чл.-кор. НАН України, головної наукової співробітниці Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України Галини Іутинської на дисертацію Ольги Володимирівни Тарабас «Перетворення сполук сульфуру і нітрогену фототрофними пурпуровими бактеріями, виділеними з техногенно зміненого середовища», подану на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.07 “Мікробіологія”.

### Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження

Фототрофні мікроорганізми відіграють значну роль у глобальному циклі вуглецю у природі, адже вони здатні до утворення органічної речовини з диоксиду карбону за використання енергії світла. Серед цих мікроорганізмів увагу дослідників привертають аноксигенні фототрофні пурпурові бактерії, які, здатні фіксувати карбон діоксид, молекулярний азот та окиснювати відновлені сполуки сульфуру і нітрогену, і тому відіграють важливу роль у глобальних біохімічних циклах карбону, нітрогену і сульфуру. Аноксигенні фототрофні пурпурові бактерії поділяють на пурпурові несіркові бактерії (ПНСБ, що не накопичують молекулярну сірку в клітинах) та пурпурові сіркові бактерії (ПСБ, що відкладають сірку у клітинах). Хоча основні фізіологічні властивості цих мікроорганізмів у літературі описано, багато питань залишаються мало дослідженими і невирішеними. Не проведено оцінки внеску цих мікроорганізмів у біохімічні цикли карбону у конкретних екотопах, зокрема, у антропогенно трансформованих екосистемах, не визначено такі властивості фототрофних пурпурових бактерій, як специфіка метаболічних процесів, завдяки яким окремі представники цих бактерій отримують необхідну кількість енергії. Не описано здатності рости за хемотрофних аеробних чи мікроаeroфільних умов, за використання енергії органічних речовин, особливо тих, що наявні у стічних водах. Перспективними є дослідження з очищення навколишнього середовища за використання біоелектрохімічних систем.

Враховуючи актуальність перелічених вище питань, здобувачка чітко сформулювала мету і визначила завдання роботи. Метою роботи було дослідити закономірності використання сульфід-, тіосульфат- і нітрат-йонів фототрофними пурпуровими несірковими бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620, виділеними з озера Яворівське, для визначення їхньої ролі у перетворенні сполук Сульфуру та Нітрогену і встановлення можливості практичного використання цих бактерій. Для досягнення мети поставлено такі завдання: 1) визначити чисельність фототрофних несіркових і сіркових бактерій у техногенно змінений екосистемі (озеро Яворівське) і природній водоймі (Розточчя); 2) виділити та ідентифікувати фототрофні пурпурові несіркові бактерії, дослідити їхні морфолого-фізіологічні і біохімічні властивості; 3) дослідити здатність бактерій *R. yavorovii* IMB B-7620 використовувати відновлені сполуки сульфуру (гідроген сульфід- і тіосульфат-йони) та нітрат-йони як донори електронів упродовж росту в модельних поживних середовищах або стічних водах; 4) встановити можливість використання *R. yavorovii* IMB B-7620 у процесі утворення екологічно чистої енергії (водню) та генеруванні електричного струму з метою ремедіації середовища від забруднення органічними сполуками.

**Зв'язок наукової роботи з науковими планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано у межах наукових досліджень, які проводили на кафедрі мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка за темами: «Функціонування мікробоценозів антропогенно змінених територій» (№ державної реєстрації 0115U003549, 2015–2017 рр.), «Функціонування мікробоценозів техногенно змінених територій та їхня участь у трансформації сполук важких металів і сульфуру» (№ державної реєстрації 0116U001534, 2016–2018 рр.), «Адаптації мікроорганізмів, які перетворюють сполуки сульфуру у природі, до впливу хімічних забруднень як стресових чинників» (№ державної реєстрації 0120U101771, 2020–2024 рр.), «Моделювання та прогнозування впливу хімічних забруднень на мікроорганізми, які перетворюють сполуки сульфуру» (№ державної реєстрації 0121U109616, 2021–2023 рр.).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність**

Мета роботи авторкою сформульована методологічно правильно відповідно до теми дослідження. Задачі є послідовними та логічними. Об'єкт дослідження – перетворення сполук сульфуру та нітрогену, процеси утворення водню і генерування струму фототрофними пурпурівими бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620. Предмет дослідження – перетворення сполук сульфуру і нітрогену фототрофними пурпурівими бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620, виділеними з техногенно зміненого середовища – озера Яворівське.

Для вирішення задач та досягнення мети використані сучасні мікробіологічні, біохімічні, хіміко-аналітичні, статистичні та біоінформатичні методи досліджень, які є адекватними та інформативними. Усі результати є статистично достовірними. Висновки є обґрунтованими та відповідають отриманим результатам, об'єкту та предмету дослідження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються комплексним підходом до вирішення поставлених задач, репрезентативною кількістю експериментів, статистичною обробкою результатів досліджень, застосуванням біоінформатичних підходів. Отже, усі висунуті на захист наукові положення є обґрунтованими, висновки добре аргументовані і походять з суті проведених досліджень та отриманих результатів, мають наукову новизну. Висновки повною мірою відповідають отриманим результатам. Результати дисертаційного дослідження є достовірними та об'єктивними.

**Структура дисертаційної роботи** Дисертаційна робота Тарабас О.В. подана за традиційною схемою, викладена українською мовою, містить вступ, огляд літератури, матеріали та методи, результати дослідження, обговорення результатів досліджень, висновки, список використаних джерел (197 посилань) і додатки. Роботу викладено на 180 сторінках машинописного тексту і проілюстровано 31 рисунком та 14 таблицями.

Структура дисертаційного дослідження є логічно узгодженою, а його характер – комплексним

**Перший розділ роботи – огляд літератури.** В огляді сучасної літератури із визначених автором питань, окреслено здобутки науковців, які працювали над дослідженням біологічної трансформації сполук сірки та наголошено на важливості вивчення екологічного значення цих процесів. Висвітлено

особливості метаболізму фототрофних пурпuroвих бактерій. Значну увагу приділено даним щодо метаболізму сполук сульфуру і нітрогену у природі. Наведено відомості про поширення пурпuroвих бактерій у ґрунтах і водоймах. Узагальнення літературних даних дало змогу автору виокремити недосліджені аспекти проблеми і зосередити свою роботу саме на цих питаннях.

**Розділ другий – матеріали та методи** викладено послідовно, відповідно до поставлених у роботі завдань. Наведено перелік основних методів досліджень, використаних у роботі. Серед мікробіологічних методів описано методики виділення чистих культур мікроорганізмів, дослідження їхніх властивостей, культивування бактерій *in vitro*. Застосовано методи молекулярної біології – виділення та аналіз ДНК, гель-електрофорез ДНК, полімеразна ланцюгова реакція. Використано хіміко-аналітичні методи для визначення вмісту сульфід-, тіосульфат-, сульфат-, нітрат-, нітрат-йонів, елементної сірки, йонів кальцію, магнію, хімічного споживання кисню та ін., хроматографічні для дослідження вмісту органічних кислот, складу газової фази, фізичні методи з визначення генерування бактеріями електричного струму. Для обчислення статистичних параметрів отриманих даних, їхнього аналізу й оцінки достовірності використано статистичні методи. Застосовано біоінформатичні методи досліджень для аналізу нуклеотидних послідовностей і проведення філогенетичного аналізу нуклеотидних послідовностей. Застосування комплексу методів дозволило отримати достовірні результати.

**У третьому розділі** роботи викладено результати експериментальних досліджень та їх обговорення. У **першому підрозділі** подана фізико-хімічна характеристика води озера Яворівське, яке утворилось після затоплення сіркового кар'єру. Спостереження за якістю води показали, що у період проведення досліджень за значеннями pH (6,6 - 7,8). вмісту йонів натрію, кальцію та магнію,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  та  $\text{NO}_3^-$  показники не перевищували ГДК. Вміст калію на всіх глибинах перевищував ГДК. Звернуто увагу на те, що вміст сульфатів і гідроген сульфіду у воді озера був критичним - у 4–6 разіввищим, ніж ГДК. Закономірно, що за такої ситуації увагу дослідників привертають мікроорганізми, які беруть участь у трансформації сполук сірки. Працівники кафедри мікробіології ЛНУ імені Івана Франка проводять довготривалі дослідження чисельності і процесів життєдіяльності мікробіоти озера Яворівське. За цей період було досліджено сульфатвідновлювальні, ацетатокислювальні сульфатредуктори, фототрофні сіркові бактерії. Проте фототрофні несіркові бактерії залишались мало вивченими.

Проведені дослідження виявили, найбільшу кількість фототрофних несіркових бактерій на глибині 30 м, а фототрофних сіркових бактерій на глибинах 50 і 70 м., що у 21,8 , 222 та 314 разів перевищувало такі показники у джерельній воді. Значна чисельність фототрофних сіркових бактерій на цих глибинах на думку автора вказує на інтенсивну окиснювальну трансформацію сполук сульфуру у цій зоні озера. Було зроблено висновок, що фототрофні несіркові бактерії найінтенсивніше розвиваються на межі окисленої та аноксигенної зон, оскільки здатні рости як за аеробних, так і за анаеробних умов.

Наступним етапом роботи було виділення з озера Яворівське пурпuroвих несіркових бактерій, вивчення їх фізіологічно-біохімічних властивостей та ідентифікація виділених культур (**Підрозділ 3.2.**). Всього було виділено 4 чистих

культури, серед яких ізолят Ya-2016, найшвидше використовував гідроген сульфід із середовища і був відібраний для подальших досліджень.

Таксономічне положення ізоляту Ya-2016 визначали на основі сукупності результатів визначення культурально-морфологічних, фізіолого-біохімічних властивостей та філогенетичного аналізу. Було досліджено морфологію клітин, забарвлення за Грамом, ріст у темряві за аеробних умов, фототрофний ріст, потреби у факторах росту, оптимум pH і температури, використання джерел карбону. Вивчено якісний склад пігментів, серед яких ідентифіковано бактеріохлорофіли  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  та каротиноїди спірілоксантинового ряду (лікопін і ангідрородовібрин). Аналіз нуклеотидної послідовності консервативної ділянки гена 16S rPHK виявив 99%-у подібність шзоляту до бактерій роду *Rhodopseudomonas*. Проте при визначенні видової належності жоден зі секвенованих на нині видів цього роду не був достатньо близьким до виділеного ізоляту. За отриманими характеристиками авторка віднесла виділений штам до нового виду *Rhodopseudomonas yavorovii*. Цей штам депонований у GenBank (номер доступу: OL711631) та зберігається в депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України як *Rhodopseudomonas yavorovii* IMB B-7620.

У підрозділі 3.3. викладено дані щодо використання сполук сульфуру та нітрогену бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620. Визначено здатність накопичення біомаси (до 1,4 г/л) за умов використання сульфатів (2,5 mM MgSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O). За росту у середовищі з 2,5 mM сульфат-йонів бактерії *R. yavorovii* IMB B-7620 асимілюють 17,7 % сульфатів наприкінці експоненційної фази росту. Штам здатний використовувати сульфат-йони як єдине джерело сульфуру за умов освітлення. Дисиміляція цих сполук є процесом отримання енергії, у якому сульфурвмісні сполуки є донорами і акцепторами електронів. Окрім сульфатів *R. yavorovii* IMB B-7620 використовують сульфід- і тіосульфат-йони, причому збільшення концентрації тіосульфат-йонів стимулювало ріст цього штаму. Бактерії *R. yavorovii* Ya-2016 у середовищі з 1,4 mM Na<sub>2</sub>S×9H<sub>2</sub>O знижують вміст сульфід-йонів на 97,4 % на 13-у добу культивування. У результаті окиснення бактеріями гідроген сульфіду за його вмісту 1,4; 2,8 та 5,6 mM у середовищі нагромаджувалось 0,13, 0,12 та 0,11 mM сульфат-йонів, відповідно. Елементна сірка нагромаджувалась поза клітинами у невеликих кількостях. Встановлено, що бактерії *R. yavorovii* IMB B-7620 використовують натрій тіосульфат як донор електронів аноксигенного фотосинтезу.

Досліджено здатність *R. yavorovii* IMB B-7620 використовувати різноманітні сполуки нітрогену у процесах асиміляції. Виявлено, що бактерії як джерело нітрогену використовують амоній хлорид, сечовину, натрій нітрат. При цьому бактерії використовують нітрат-йони як донори електронів аноксигенного фотосинтезу. Нітрат-йони бактерії *R. yavorovii* IMB B-7620 окиснювали до нітрат-йонів лише за освітлення та анаеробних умов росту.

Перевірено здатність *R. yavorovii* IMB B-7620 до азотфіксації. У разі культивування у безазотовому поживному середовищі бактерії нагромаджували біомасу (до 0,72 г/л). Крім того, спостерігали зниження концентрації азоту у складі газової фази. Отримані факти дозволили авторці зробити припущення щодо азотфіксувальної здатності досліджуваних мікроорганізмів.

Встановлені авторкою закономірності використання сульфід-, тіосульфат-, нітрат-йонів як донорів електронів аноксигенного фотосинтезу за анаеробних фототрофних умов культивування доповнюють та розширяють розуміння ролі окиснення сполук сульфуру та нітрогену в екосистемах за участю фототрофних пурпuroвих несіркових бактерій.

У підрозділі 3.4. Вивчено здатність і умови продукування водню бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620. Визначено використання натрій ацетату та малату як джерел карбону та донорів електронів. Досліджено кінетику росту бактерій у середовищах з різними джерелами карбону та донорами електронів (глюкоза, крохмаль, натрій цитрат та сукцинат). Показано, що процес окиснення органічних сполук супроводжувався утворенням водню. Максимальний сумарний об'єм водню за росту досліджуваних мікроорганізмів у середовищі з 90 mM натрій цитрату та  $\text{NH}_4^+$  становив 25,54 мл  $\text{H}_2$ . Цікавим є факт, що бактерії були здатні продукувати водень конститутивно, навіть за наявності  $\text{NH}_4^+$  у середовищі культивування. Отримані дані є корисними для спрямованої регуляції утворення  $\text{H}_2$  у технологічних процесах за комбінації нефotosинтезувальних і фотосинтезувальних бактерій в гіbridній системі, що може збільшити вироблення водню.

Спираючись на отримані результати цілком логічним було продовження роботи у напрямку використання виділеного штаму для біоремедіації стічних вод (Підрозділ 3.5). Ідея цих досліджень полягала у тому, щоб зробити економічно вигідним використання промислових, сільськогосподарських та комунальних відходів для отримання біомаси пурпuroвих несіркових бактерій. Для цього було досліджено вплив стічної води дріжджового заводу та води фільтрату відстійника № 3 Львівського полігону твердих побутових відходів на нагромадження біомаси *R. yavorovii* IMB B-7620. Бактерії найкраще накопичували біомасу (до 1,1 г/л) у досліджених стічних водах, розведеніх у 10 разів. Також вивчали зміни складу цих вод у процесі культивування бактерій. У стічній воді дріжджового заводу на 21-у добу культивування вміст нітрат- та нітрат-йонів знижувався на 52,7 %, сульфат-йонів – на 67,0 %, хлорид-йонів – на 40,1%, гідросульфід-йонів – на 94,7 %. Ефективність окиснення органічних сполук у стічній воді бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620 становила 42,3 %.

Визначено ефективний процес очищення також фільтрату відстійника № 3 Львівського полігону твердих побутових відходів. Встановлено, що за культивування бактерій *R. yavorovii* IMB B-7620 у стічних водах зменшувався вміст загального Fe,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl,  $\text{HS}^-$ . Отримані дані доповнюють та розширяють знання щодо ролі пурпuroвих несіркових бактерій в екосистемах, які можуть суттєво впливати на біогеохімічні цикли цих сполук в природі. Отримані результати можуть бути використані для розроблення біотехнологій очищення стічних вод від сполук хлору, феруму, нітрогену, сульфуру та органічних речовин.

У підрозділі 3.6. наведено результати вивчення екзоелектрогенних властивостей *R. yavorovii* IMB B-7620 з метою використання їх для трансформування забруднюючих речовин у процесі виробництва електроенергії. Досліджували здатність до генерування електричного струму бактеріями *R. yavorovii* IMB B-7620 у мікробних паливних елементах за використання як модельного субстрату натрій цитрату, так і стічних вод. Під час вирощування

бактерій у середовищі з натрій цитратом (60 мМ) найвищу густину потужності МПЕ (1148,75 мВт/м<sup>2</sup>) зафіковано на 8-у годину вирощування бактерій. Максимальне генерування електричного струму спостерігали у період з 8 до 80 год культивування досліджуваних бактерій. При подовженні строку культивування до 32 годин і повторні заміни католіту спостерігали відповідне підвищення густини потужності до 1039,25 мВт/м<sup>2</sup>. Використання бактеріями цитрату як єдиного донора електронів в анодній камері МПЕ зумовлювало його інтенсивне окиснення та генерування електричного струму.

На наступному етапі досліджень розведену стічну воду дріжджового заводу вносили в анодну камеру для перевірки здатності генерування електричного струму досліджуваними мікроорганізмами. Максимальну густину потужності (1462,5 мВт/м<sup>2</sup>) реєстрували на 96 годину культивування *R. yavorovii* IMB B-7620, що було у 1,6 рази вищим, ніж за використання натрій цитрату як модельного субстрату. Отримані авторкою результати продемонстрували, що *R. yavorovii* IMB B-7620 можуть ефективно генерувати електричний струм у однокамерному мікробному паливному елементі за росту на модельному субстраті і на стічних водах з комплексним забрудненням.

Розділ «Узагальнення результатів» містить розгляд і пояснення отриманих результатів, співставлення їх з наявними у літературі даними. Обґрунтовано причини розподілу чисельності фототрофних пурпuroвих бактерій в шарах води озера Яворівське, продемонстровано, що ці бактерії найбільш інтенсивно розвиваються на межі оксигенної та аноксигенної зон, що зумовлено їхньою здатністю рости як за аеробних, так і за анаеробних умов.

Виділено новий штам фототрофних пурпuroвих бактерій, віднесений авторами до нового виду *R. yavorovii*, що задепонований у депозитарії IMB НАНУ за номером IMB B-7620. На підставі отриманих експериментальних даних щодо здатності цього штаму до використання сульфід-, тіосульфат- та нітрат-йонів автор висловлює цілком обґрунтовану думку щодо ролі фототрофних пурпuroвих бактерій у глобальних циклах карбону, нітрогену і сірки у природі.

Обговорено дані щодо встановленої метаболічної здатності виділеного штаму до продукування водню за використання різних органічних субстратів як у модельних середовищах, так і у стічних водах. На підставі цього дисертації обґрунтovує можливість використання штаму у природоохоронних технологіях. Крім того, наголошено на важливому практичному результаті, що *R. yavorovii* IMB B-7620 можуть ефективно генерувати електричний струм у однокамерному мікробно-паливному елементі за росту як на модельному субстраті, так і на стічних водах з комплексним забрудненням.

**Наукова новизна положень, результатів та висновків дисертаційної роботи** Дисертаційне дослідження має самостійний системний, цілісний характер та відзначається науковою новизною. Вперше визначено кількість фотосинтезувальних несіркових бактерій у воді озера Яворівське та воді джерельного типу заповідника Розточчя. Виділено та ідентифіковано новий штам пурпuroвих несіркових бактерій *Rhodopseudomonas yavorovii* IMB B-7620. Показано його здатність використовувати нітрат-йони як донор електронів. На підставі вивчення метаболічних властивостей нового штаму зроблено висновки щодо можливого впливу пурпuroвих несіркових бактерій на глобальні цикли карбону, нітрогену і сульфуру. Описано наукові підходи щодо біотехнології

отримання водню та електроенергії за одночасної біоремедіації стічних вод харчової промисловості з використанням нововиділеного штаму..

**Практичне значення отриманих результатів.** В ході виконання роботи авторка має здобутки практичного значення. Серед них слід відмітити обґрунтування можливості використання *R. yavorovii* IMB B-7620 для розробки біотехнології очищення забруднених органічними та неорганічними сполуками промислових стоків, а також для продукування водню. Отримано практично важливі результати щодо використання пурпuroвих несіркових бактерій для дослідження механізмів генерування електричного струму. Є патент на корисну модель (Пат. 132187 Україна, МПК H01M 8/00; H01M 8/16; H01M 8/22. Спосіб одержання електричного струму у мікробному паливному елементі.). Результати дисертаційної роботи впроваджено у викладання курсів «Мікробіологія», «Актуальні питання практичної мікробіології», «Біогеохімічна діяльність мікроорганізмів», «Екологія мікроорганізмів», «Фізіологія і біохімія мікроорганізмів» для студентів закладів вищої освіти.

**Оцінка змісту дисертації** Дисертація Тарабас Ольги Володимирівни викладена на 180 друкованих сторінках. Вона містить 31 рисунок, 14 таблиць. Структура дисертації містить вступ, огляд літератури, матеріали і методи досліджень, результати дослідження, обговорення результатів досліджень, висновки, список використаних джерел (197 посилань) та додатки. Анотації українською та англійською мовами відповідають положенням, що викладені в тексті дисертації та не містять даних, які були б відсутні в основному тексті роботи і оформлені відповідно до діючого Порядку присудження наукових ступенів.

З аналізу змісту дисертації вбачаю дотримання вимог академічної добродетелі в повному обсязі. Робота містить посилання на згадані у тексті джерела інформації, автором дотримано вимоги норм законодавства про авторське право, надано повну інформацію про результати наукової діяльності, а також використані методи досліджень.

**Ідентичність змісту автoreферату і основних наукових положень дисертації.** У тексті автoreферату відображені основні положення, зміст, результати і висновки виконаної дисертаційної роботи. Зміст автoreферату та основні положення дисертації є ідентичними.

**Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях** Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 27 наукових працях, з яких 7 статей у фахових журналах (з них 2 – у виданні бази Scopus, 1 – Web of Science), отримано 1 свідоцтво про депонування штаму бактерій, 1 патент України на корисну модель. Апробацію матеріалів дисертації підтверджено участю у 18 міжнародних та українських конференціях.

**Дискусійні положення, запитання та зауваження щодо змісту дисертації.**

Дослідження виконано на сучасному рівні, текст дисертації викладено чітко і зрозуміло, але деякі положення потребують уточнень. Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу хотілося б отримати відповіді на деякі дискусійні питання, та виказати певні зауваження:

- Поясніть, чому у складі води оз. Яворівське саме вміст йонів калію переважав ГДК, у той час як йонів натрію, кальцію і магнію був на рівні ГДК?
- У мікробіологічній термінології прийнято виділені з навколошнього середовища культури відносити до «ізолятів», а після визначення їхнього таксономічного положення вказувати «штам».
- У дисертації проведено роботу з визначення таксономічного положення нововиділеного штаму фототрофних несіркових бактерій. Спираючись на дані щодо морфології, здатності засвоювати джерела карбону та енергії, за відношенням до оксигену, здатністю продукувати пігменти, а також за аналізом даних послідовності генів 16S рРНК, дисертантка зробила висновок про те, що виділений штам є новим видом, якому дали назву *Rhodopseudomonas yavorovii* IMB B-7620. Не заперечуючи описаних характеристик штаму, все ж слід зазначити, що для повної валідації нового виду мікроорганізму згідно міжнародних правил слід було би отримати додаткові характеристики, а саме: хемотаксономічні ознаки складу клітинної стінки, визначити вміст у геномній ДНК G+C пар і ДНК-ДНК спорідненість між новим видом та штамами близького типу. Тому слід було би зробити уточнення, що цей штам **попередньо** було віднесено до нового виду, але це положення потребує у подальшому додаткових досліджень.
- У підрозділі 3.2. наведено дані з визначення пігментів *R. yavorovii* IMB B-7620, зокрема, гомологів бактеріохлорофілу *a*, зазначено, що вони мали спектри поглинання за  $\lambda_{\max}$  361; 605; 770 нм. Бажано було би підтвердити ці дані і навести спектри поглинання ідентифікованих сполук.
- У підрозділі 3.3. наведено дані щодо використання сполук Сульфуру виділеним штамом. Авторка встановила, що найбільшу біомасу (1,4 г/л) бактерії нагромаджували на десяту добу росту в середовищі з 2,5 mM  $MgSO_4 \times 7H_2O$  (контроль). Проте на рис. 3.7, що підтверджує ці дані, на вісі абсцис подано концентрації  $SO_4^{2-}$  (mM). У тексті вони трактуються як рівнозначні  $MgSO_4$  (mM), але це не тотожні значення.
- У роботі зроблено припущення про можливу здатність до фіксації атмосферного азоту новим штамом на підставі результатів балансового методу за зниженням концентрації азоту у складі газової фази та накопиченням біомаси за росту на безазотовому середовищі. Проте загальновідомо, що більш доказові результати біологічної фіксації азоту слід отримувати ацетилен-етиленовим методом.
- Дисертанткою виявлено цікавий феномен: *R. yavorovii* IMB B-7620 продукували водень незалежно від фіксації азоту навіть за наявності йонів амонію у поживному середовищі. Опишіть можливі шляхи утворення  $CO_2$  і  $H_2$  під час культивування штаму за умов споживання натрію цитрату і наявності йонів амонію.

Перераховані зауваження не мають принципового характеру і не змінюють загальної високої позитивної оцінки дисертаційної роботи Ольги Володимирівни Тарабас.

**Загальний висновок та оцінка дисертації.** Дисертаційна робота Тарабас Ольги Володимирівни «Перетворення сполук сульфуру і нітрогену фототрофними пурпурівими бактеріями, виділеними з техногенно зміненого середовища» є завершеною науковою роботою, в якій отримано науково обґрунтовані нові результати, що у сукупності вирішують конкретну наукову задачу, яка має суттєве значення для біології, мікробіології, екології. Робота містить посилання на згадані у тексті джерела інформації, автором дотримано вимоги норм законодавства про авторське право, надано повну інформацію про результати наукової діяльності, а також використані методи досліджень. За актуальністю теми, застосуванням сучасних методів досліджень, науковою новизною, достовірністю висновків, повнотою викладення у публікаціях дисертаційна робота відповідає наказу Міністерства освіти і науки України від 23.09.2019 №1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. за №567 та «Вимогам до оформлення дисертацій», затверджених наказом МОН України №40 від 12.01.2017, що висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук, а її автор, Тарабас Ольга Володимирівна заслуговує на присудження ступеня кандидата (доктора філософії) біологічних наук за спеціальністю 03.00.07 - мікробіологія

Офіційний опонент  
докторка біологічних наук, професорка,  
членкиня-кореспондентка НАН України,  
головна наукова співробітниця  
відділу загальної і ґрунтової мікробіології  
Інституту мікробіології і вірусології  
ім. Д.К. Заболотного НАН України



Галина ІУТИНСЬКА

Підпис Іутинської Г.О. засвідчує:  
учений секретар Інституту мікробіології і вірусології  
ім. Д.К. Заболотного НАН України  
к.б.н.



Олена АНДРІЄНКО