

РІВНЕНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ISSN 2786-9113 (Online)

ISSN 2786-9105 (Print)

ПРИРОДНИЧА ОСВІТА ТА НАУКА

Випуск 2, 2026



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Головний редактор:

Грицай Наталія Богданівна, доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна)

Члени редакційної колегії:

Белікова Наталія Олександрівна, доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри теорії фізичного виховання та рекреації, Волинський національний університет імені Лесі Українки (м. Луцьк, Україна)

Власенко Руслана Петрівна, кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка (м. Житомир, Україна)

Войтович Ігор Станіславович, доктор педагогічних наук, професор, проректор з навчально-виховної роботи, Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна)

Кіндрат Вадим Кирилович, кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри теорії і практики фізичної культури і спорту, Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна)

Костолович Марія Ігорівна, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна)

Лінксквічене Рита (Rita Linkevičienė), доктор філософії, старший науковий співробітник, Центр природничих досліджень (State Scientific Research Institute Nature Research Centre) (м. Вільнюс, Литовська Республіка)

Міронєць Людмила Петрівна, кандидат педагогічних наук, доцент, декан природничо-географічного факультету, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка (м. Суми, Україна)

Мартинюк Віталій Олексійович, кандидат географічних наук, доцент, професор кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна)

Федонюк Віталіна Володимирівна, кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Луцький національний технічний університет (м. Луцьк, Україна)

Хроленко Марина Володимирівна, доктор педагогічних наук, професор, перший проректор, Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка (м. Глухів, Україна)

Шейрене Вайда (Vaida Šeirienė), доктор філософії (природничі науки), старший науковий співробітник, завідувачка лабораторії четвертинних досліджень, Центр природничих досліджень (State Scientific Research Institute Nature Research Centre), Інститут геології та географії (м. Вільнюс, Литовська Республіка)

Засновано у 2022 році. Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1742 від 23.05.2024 року.

Ідентифікатор медіа: R30-04138.
Суб'єкт у сфері друкованих медіа –
**РІВНЕНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
(вул. Степана Бандери, буд. 12,
м. Рівне, 33028, rectorat@rshu.edu.ua,
тел. (0362) 63-62-09)

Мови розповсюдження: українська,
англійська, польська, німецька,
французька, італійська, литовська,
іспанська, болгарська.

Періодичність видання: 6 разів на рік.

Затверджено до друку та поширення
через мережу інтернет відповідно до
рішення Вченої ради
Рівненського державного
гуманітарного університету
(протокол від 28.05.2026 р. №6).

Матеріали друкуються мовою
оригіналу. Відповідальність за добір
і викладення фактів несуть автори.
Редакція не завжди поділяє точку зору
авторів публікацій.

Статті у виданні перевірені на
наявність плагіату за допомогою
програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com
від польської компанії Plagiat.pl.

Фахова реєстрація (категорія «Б»):

Наказ МОН України № 1543 від
20 грудня 2023 року. Наказ МОН
України № 220 від 21 лютого
2024 року (спеціальності: А1 Освітні
науки, А7 Фізична культура і спорт,
С6 Географія та регіональні студії,
Е1 Біологія та біохімія, Е2 Екологія,
Е4 Науки про Землю)

Офіційний сайт видання:
<https://journals.rshu.rivne.ua/index.php/natural>

ЗМІСТ

ПРИРОДНИЧА ОСВІТА

Освітні науки

Власенко Р. П., Андрійчук Т. В. ЗДОРОВ'ЯОРІЄНТОВАНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ГЕОГРАФІЇ ДО РОБОТИ В ІНКЛЮЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ: ДОСВІД МІЖДИСЦИПЛІНАРНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ.....	9
Войтович О. П., Грицай Н. Б. ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ ПРЕДМЕТІВ ДО ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ І ДОДАТКОВОЇ КОМУНІКАЦІЇ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ.....	17
Добинда І. П., Холявчук Д. І., Кирилюк С. М., Годзінська І. Л. ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ УЧНІВ ЧЕРЕЗ СТВОРЕННЯ АВТОРСЬКОГО АТЛАСУ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ В УМОВАХ НУШ.....	22
Іванців О. Я. МЕТОДИЧНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ НАУК ДО РОБОТИ В УМОВАХ ОСВІТНІХ ВТРАТ: ДОСВІД ПЕДАГОГІЧНОЇ ПРАКТИКИ	31
Кравчук Т. О. СУТНІСТЬ І СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В КОНТЕКСТІ ІНШОМОВНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН.....	36
Лісовський Л. В., Ольшанський І. Г., Довгопола Л. І. БОТАНІЧНА ЕКСКУРСІЯ СТАРОВИННИМ ПАРКОМ У СЕЛИЩІ НЕМІШАЄВЕ (КИЇВСЬКА ОБЛАСТЬ, УКРАЇНА): МЕТОДИЧНИЙ І ПЕДАГОГІЧНИЙ АСПЕКТИ.....	46
Марусич О. О., Ільченко О. Ю. ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ З ІНОЗЕМНИХ МОВ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ: НЕЙРОРУХОВИЙ ПІДХІД І ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО НАВЧАННЯ.....	54
Назаренко Н. В., Шмиголь І. В. ФОРМУВАННЯ МОТИВАЦІЇ ДО ЗДОРОВОГО СПОСОБУ ЖИТТЯ В УЧНІВ 8 КЛАСІВ НА УРОКАХ БІОЛОГІЇ ТА ІНТЕГРОВАНОГО КУРСУ «ЗДОРОВ'Я, БЕЗПЕКА ТА ДОБРОБУТ».....	62
Пономаренко В. Ю., Гуцалюк І. А. ІНТЕГРАЦІЯ ГІГІЄНИЧНИХ ЗНАНЬ І АЛГОРИТМІВ ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ В КУРСІ «ЗДОРОВ'Я, БЕЗПЕКА ТА ДОБРОБУТ».....	67
Романенко О. В., Гурняк О. М., Панчук О. В. ОСВІТНЬО-НАУКОВІ АСПЕКТИ БІОЛОГІЇ КЛІТИНИ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ У ПІДГОТОВЦІ БАКАЛАВРІВ ТЕРАПІЇ ТА РЕАБІЛІТАЦІЇ.....	73
Сяська І. О., Гнатуш С. О. РОЗВИТОК МІЖСОБІСТИСНОЇ КОМУНІКАЦІЇ ЗАСОБАМИ ІНТЕРАКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМАТИКИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	82
Томашук О. Г., Деделюк Н. А., Дишко О. Л., Козіброцький С. П. ПРОФЕСІЙНА МАЙСТЕРНІСТЬ УЧИТЕЛЯ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЙ ОСВІТИ.....	88
Холошин І. В., Мантуленко С. В., Ганчук О. В., Варфоломєєва І. М. ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ВИКЛАДАННІ ЕКОНОМІЧНОЇ І СОЦІАЛЬНОЇ ГЕОГРАФІЇ В СУЧАСНІЙ ШКОЛІ.....	93

Фізична культура і спорт*Іванська О. В.*

ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЖІНОК 30–35 РОКІВ ЗАСОБАМИ TRX.....	101
--	-----

ПРИРОДНИЧІ НАУКИ**Біологія і біохімія***Білецька М. Г., Бусленко Л. В., Миронюк Р. О.*

ФІЛОГЕНЕТИЧНІ АСПЕКТИ СТАНОВЛЕННЯ НЮХОВОГО АНАЛІЗАТОРА: ПОРІВНЯЛЬНИЙ ЕМБРІОГЕНЕЗ ПІДНЕБІННО-НОСОВОГО КОМПЛЕКСУ ССАВЦІВ І ЛЮДИНИ.....	106
--	-----

*Горальський Л. П., Цанько І. В., Романюк Р. К., Гутий Б. В., Колеснік Н. Л.,**Рудь О. Г., Куцоконь Л. П.*

МАКРО- ТА МІКРОСКОПІЧНА БУДОВА ЛЕГЕНЬ ЖАБИ ТРАВ'ЯНОЇ (<i>RANA TEMPORARIA FAMILIARIS</i> L., 1758).....	116
--	-----

Ланской А. Ю., Вакал Ю. С.

ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФЕНОМЕНУ БІЛАТЕРАЛЬНОЇ СТИМУЛЯЦІЇ: ІМІТАЦІЯ ПОНТО-ГЕНІКУЛО-ОКЦИПІТАЛЬНИХ PGO ХВИЛЬ ПІД ЧАС EMDR ЯК ФІЗІОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ РЕПРОЦЕСУАЛІЗАЦІЇ.....	127
---	-----

Міщенко С. В., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю.

ВПЛИВ 24-ЕПІБРАСИНОЛІДУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ УТВОРЕННЯ КАЛІОСНОЇ ТКАНИНИ ТА ОРГАНОГЕНЕЗУ <i>LINUM USITATISSIMUM</i> L. В КУЛЬТУРІ IN VITRO.....	136
---	-----

Павлюченко О. В., Дмитрук В. С.

ДИНАМІКА ЕКСПАНСІЇ ТА ОЦІНКА ІНВАЗІЙНОГО РИЗИКУ <i>SINANODONTA WOODIANA</i> (LEA, 1834) У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ УКРАЇНИ.....	144
--	-----

Рудишин С. Д., Самілик В. І.

ПОГЛЯД НА БІОГЕОХІМІЧНИЙ КОЛООБІГ ОКСИГЕНУ З ПОЗИЦІЙ ЕВОЛЮЦІЇ БІОСФЕРИ.....	151
--	-----

Цицюра Н. І., Галаган О. К., Михалюк І. М., Дух О. І., Ромасюк І. М.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЕРЕВНИХ ПРЕДСТАВНИКІВ <i>MAGNOLIOPHYTA</i> ТА <i>PINOPHYTA</i> І ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ БОТАНІЧНОЇ І ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ.....	160
--	-----

Шевчук Л. М., Пакушина Л. З., Савицька О. С.

НЕЙРОБІОЛОГІЧНЕ ПІДґРУНТЯ ПСИХОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ АНАТОМІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ.....	170
---	-----

Екологія*Коробчук Л. І.*

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ТА СТРАТЕГІЇ ЇЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ М. ЛУЦЬК).....	177
--	-----

Лисиця А. В., Шевчук А. І.

ВИДОВИЙ СКЛАД МІКРООРГАНІЗМІВ АКТИВНОГО МУЛУ ОЧИСНИХ СПОРУД ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	183
---	-----

Масовець Б. П.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СТАНУ ВОДИ БОЛОТНОГО МАСИВУ СОМИНЕ (РІВНЕНСЬКИЙ ПРИРОДНИЙ ЗАПОВІДНИК).....	190
---	-----

Мельник В. Й.

СТРУКТУРА, ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РОЛЬ СКВЕРІВ У ФОРМУВАННІ ОЗЕЛЕНЕННЯ МІСТА РІВНЕ.....	198
---	-----

Никитюк Ю. А., Вискушенко Д. А.

ЕКОСИСТЕМНІ ПОСЛУГИ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРИРОДООХОРОННОГО УПРАВЛІННЯ.....	205
--	-----

Сташук М. О.

ГЕОЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ МЕЛІОРАЦІЇ У РІВНЕНСЬКІЙ ОБЛАСТІ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ ЗМІН ВОДНОГО БАЛАНСУ ТА ҐРУНТОВИХ ПАРАМЕТРІВ.....	212
--	-----

Географія

<i>Войтків П. С., Іванов Є. А., Андрейчук Ю. М., Брич Т. Б., Кравців С. С.</i> ВОДНО-БОЛОТНІ УГІДДЯ ДОБРОСИНСЬКО-МАГЕРІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ: ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ.....	222
<i>Григорійчук В. В., Пасічник М. Д., Кушнір Т. Ю.</i> ГІДРОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ МАЛОЇ РІЧКИ СОВИЦІ СТАВЧАНСЬКОЇ.....	231
<i>Костюк В. С., Петруха Н. М., Петруха С. В.</i> КАРТОГРАФІЧНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ КЛІМАТИЧНИМИ ЗМІННИМИ ТА БІОРІЗНОМАНІТТЯМ РЕГІОНУ.....	242
<i>Лебедєв Д. Г., Буяновський А. О.</i> ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ҐРУНТІВ ТЕРИТОРІЇ (НА ПРИКЛАДІ ВЕЛИКОДАЛЬНИЦЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ОДЕЩИНИ).....	252
<i>Сич В. А., Приходько З. В., Шашеро А. М., Волювач О. В.</i> МІГРАЦІЙНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНИХ ЗМІН.....	261

CONTENTS

NATURAL SCIENCES EDUCATION

Educational sciences

- Vlasenko R. P., Andriichuk T. V.**
HEALTH-ORIENTED TRAINING OF FUTURE GEOGRAPHY TEACHERS FOR INCLUSIVE EDUCATIONAL SETTINGS: INTERDISCIPLINARY INTEGRATION EXPERIENCE..... 9
- Voitovych O. P., Hrytsai N. B.**
TRAINING FUTURE SCIENCE TEACHERS TO USE AUGMENTATIVE AND ALTERNATIVE COMMUNICATION IN GENERAL SECONDARY EDUCATION INSTITUTIONS.....17
- Dobynda I. P., Kholiavchuk D. I., Kyrliuk S. M., Hodzinska I. L.**
DEVELOPING STUDENTS' SPATIAL COMPETENCE THROUGH THE CREATION OF AN AUTHORIAL ATLAS OF A TERRITORIAL COMMUNITY IN THE CONTEXT OF THE NEW UKRAINIAN SCHOOL (NUS)..... 22
- Ivantsiv O. Ya.**
TRAINING FUTURE SCIENCE TEACHERS TO WORK IN ENVIRONMENTS AFFECTED BY EDUCATIONAL DISRUPTIONS: EXPERIENCES FROM TEACHING PRACTICUM..... 31
- Kravchuk T. O.**
THE ESSENCE AND STRUCTURE OF THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN THE CONTEXT OF FOREIGN LANGUAGE TRAINING OF FUTURE TEACHERS OF NATURAL AND MATHEMATICAL DISCIPLINES.....36
- Lisovskiy L. V., Olshanskyi I. H., Dovhopola L. I.**
BOTANICAL EXCURSION THROUGH THE ANCIENT PARK IN NEMISHAIEVE (KYIV OBLAST, UKRAINE): METHODOLOGICAL AND PEDAGOGICAL ASPECTS..... 46
- Marusych O. O., Ilchenko O. Yu.**
PEDAGOGICAL CONDITIONS FOR OPTIMIZING THE FOREIGN LANGUAGE EDUCATION PROCESS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: THE NEURO-MOTOR APPROACH AND THE DEVELOPMENT OF LEARNING READINESS.....54
- Nazarenko N. V., Shmyhol I. V.**
FORMATION OF MOTIVATION FOR A HEALTHY LIFESTYLE IN THE 8TH GRADE PUPILS IN BIOLOGY LESSONS AND THE "HEALTH, SAFETY AND WELL-BEING" INTEGRATION COURSE 62
- Ponomarenko V. Yu., Gutsalyuk I. A.**
INTEGRATION OF HYGIENE KNOWLEDGE AND HOME MEDICAL CARE ALGORITHMS IN THE INTEGRATED COURSE «HEALTH, SAFETY AND WELL-BEING».....67
- Romanenko O. V., Hurniak O. M., Panchuk O. V.**
EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC ASPECTS OF BIOLOGY OF CELL AND INDIVIDUAL DEVELOPMENT IN THE TRAINING OF BACHELORS OF THERAPY AND REHABILITATION.....73
- Siaska I. O., Hnatush S. O.**
THE DEVELOPMENT OF INTERPERSONAL COMMUNICATION THROUGH INTERACTIVE TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT ISSUES..... 82
- Tomashchuk O. H., Dedeliuk N. A., Dyshko O. L., Kozibrotskyi S. P.**
PROFESSIONAL MASTERY OF THE PHYSICAL EDUCATION TEACHER IN THE CONTEXT OF EDUCATIONAL TRANSFORMATIONS..... 88
- Kholoshyn I. V., Mantulenko S. V., Hanchu O. V., Varfolomyeyeva I. M.**
USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN TEACHING ECONOMIC AND SOCIAL GEOGRAPHY IN MODERN SCHOOL: METHODOLOGICAL ASPECTS..... 93

Physical culture and sports

- Ivanska O. V.**
IMPROVING THE FUNCTIONAL STATUS OF WOMEN AGE 30–35 WITH TRX.....101

NATURAL SCIENCES RESEARCH**Biology and biochemistry**

Biletska M. G., Buslenko L. V., Myronyuk R. O. PHYLOGENETIC ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE OLFACTORY SYSTEM: A COMPARATIVE STUDY OF THE EMBRYOGENESIS OF THE NASOPHARYNX IN MAMMALS AND HUMANS.....	106
Horalskyi L. P., Tsanko I. V., Romanyuk R. K., Gutj B. V., Kolesnik N. L., Rud O. H., Kutsokon L. P. MACRO-AND MICROSCOPIC STRUCTURE OF THE LUNG OF THE COMMON FROG (<i>RANA TEMPORARIA FAMILIARIS</i> L., 1758).....	116
Lanskoi A. Yu., Vakal Yu. S. PHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE BILATERAL STIMULATION PHENOMENON: IMITATION OF PONTO-GENICULO-OCCIPITAL PGO WAVES DURING EMDR AS A PHYSIOLOGICAL TOOL FOR REPROCESSING.....	127
Mishchenko S. V., Lavrynenko Yu. O., Marchenko T. Yu. INFLUENCE OF 24-EPIBRASINOLIDE ON THE INTENSITY OF CALLUSE TISSUE FORMATION AND ORGANOGENESIS OF <i>LINUM USITATISSIMUM</i> L. IN VITRO CULTURE.....	136
Pavliuchenko O. V., Dmytruk V. S. EXPANSION DYNAMICS AND INVASION RISK ASSESSMENT OF <i>SINANODONTA</i> <i>WOODIANA</i> (LEA, 1834) IN THE AQUATIC ECOSYSTEMS OF UKRAINE.....	144
Rudyshyn S. D., Samilyk V. I. A. VIEW OF THE BIOGEOCHEMICAL OXYGEN CYCLE FROM THE PERSPECTIVE OF THE EVOLUTION OF THE BIOSPHERE.....	151
Tsytsiura N. I., Halahan O. K., Mykhaliuk I. M., Dukh O. I., Romasiuk I. M. COMPARATIVE ANALYSIS OF ECOSYSTEM SERVICES OF WOODY REPRESENTATIVES OF MAGNOLIOPHYTA AND PINOPHYTA AND ITS SIGNIFICANCE FOR BOTANICAL AND ECOLOGICAL EDUCATION.....	160
Shevchuk L. M., Pakushyna L. Z., Savytska O. S. NEUROBIOLOGICAL BASIS OF PSYCHOLOGICAL PROCESSES: TOPICAL ISSUES OF ANATOMY AND PHYSIOLOGY OF THE NERVOUS SYSTEM.....	170

Ecology

Korobchuk L. I. COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON ENVIRONMENTAL COMPONENTS OF AN URBANIZED AREA AND STRATEGIES FOR ITS ECOLOGICAL OPTIMIZATION (USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF LUTSK).....	177
Lysytsya A. V., Shevchuk A. I. SPECIES COMPOSITION OF MICROORGANISMS IN ACTIVATED SLUDGE OF WASTEWATER TREATMENT FACILITIES AND ITS SIGNIFICANCE FOR WASTEWATER PURIFICATION.....	183
Masovets B. P. STUDY OF THE CHEMICAL STATUS OF WATER IN THE SOMYNE WETLAND (RIVNE NATURE RESERVE).....	190
Melnyk V. Y. STRUCTURE, ENVIRONMENTAL FEATURES AND THE ROLE OF SQUARES THE FORMATION OF GREENING IN THE CITY OF RIVNE.....	198
Nykytiuk Yu. A., Vyskushenko D. A. ECOSYSTEM SERVICES AS A COMPONENT OF ENVIRONMENTAL POLICY AND MANAGEMENT.....	205
Stashuk M. O. GEOECOLOGICAL IMPACTS OF DRAINAGE RECLAMATION IN RIVNE REGION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF SCIENTIFIC APPROACHES TO ASSESSING CHANGES IN WATER BALANCE AND SOIL PROPERTIES.....	212

Geography

Voitkiv P. S., Ivanov Ye. A., Andreychuk Yu. M., Brych T. B., Kravtsiv S. S. WETLANDS OF THE DOBROSYN-MAHERIV TERRITORIAL COMMUNITY: ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION AND REVITALIZATION TECHNOLOGY.....	222
---	-----

<i>Hryhoriichuk V. V., Pasichnyk M. D., Kushnir T. Yu.</i> HYDROLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE SMALL RIVER SOVYTSIA STAVCHANSKA.....	231
<i>Kostiuk V. S., Petrukha N. M., Petrukha S. V.</i> CARTOGRAPHIC REPRESENTATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATIC VARIABLES AND BIODIVERSITY OF THE REGION.....	242
<i>Lebediev D. G., Buianovskyi A. O.</i> ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES OF SOILS OF THE TERRITORY (USING THE EXAMPLE OF THE VELIKODALNIK TERRITORIAL COMMUNITY OF ODESA REGION).....	252
<i>Sych V. A., Prykhodko Z. V., Shashero A. M., Voliuvach O. V.</i> MIGRATION TRANSFORMATIONS OF THE POPULATION OF UKRAINE UNDER CONTEMPORARY SOCIO-GEOGRAPHICAL CHANGES.....	261

УДК 628.3:658.265

DOI <https://doi.org/10.32782/NSER/2026-2.24>

ВИДОВИЙ СКЛАД МІКРООРГАНІЗМІВ АКТИВНОГО МУЛУ ОЧИСНИХ СПОРУД ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Лисиця Андрій Валерійович

доктор біологічних наук, професор,

професор кафедри олімпійського та професійного спорту, туризму і рекреації

Рівненського державного гуманітарного університету

ORCID ID: 0000-0001-9028-8412

Researcher ID: M-5864-2018

Шевчук Антон Ігорович

аспірант

Рівненського державного гуманітарного університету

ORCID ID: 0009-0007-8266-2065

Researcher ID: NGS-0921-2025

Стаття присвячена аналізу видового складу мікроорганізмів активного мулу очисних споруд агропромислових підприємств та визначенню їхньої ролі у процесах біологічного очищення стічних вод. Агропромисловий комплекс є значним джерелом висококонцентрованих стоків, що містять білки, жири, вуглеводи, азотні та фосфорні сполуки, а також широкий спектр патогенних мікроорганізмів. Основна увага приділена консорціумам бактерій, здатних ефективно розщеплювати органічні забруднювачі та забезпечувати процеси нітрифікації, денітрифікації й дефосфоризації. У роботі наведено порівняльний аналіз методів очищення стічних вод, підкреслено переваги біологічних технологій, що базуються на використанні активного мулу. Охарактеризовано ключові бактеріальні філуми та роди (*Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Chloroflexi*, *Actinobacteria*), їхні функції у деградації білків, жирів та вуглеводів, а також участь у стабілізації флоків і видаленні токсичних сполук. Особливу увагу приділено протеолітичним бактеріям (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Proteus*), які запускають процес амоніфікації, що доповнюється діяльністю нітрифікуючих та денітрифікуючих мікроорганізмів (*Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Thauera*). Висвітлено роль найпростіших організмів (*Rotifera*, інфузорії), які регулюють чисельність бактерій та підтримують стабільність біоценозу. Показано, що ефективність роботи біореакторів залежить від підтримання оптимальних параметрів середовища (рН, температура, концентрація кисню). Зроблено висновок про перспективність селекції спеціалізованих мікроорганізмів-деструкторів та оптимізації умов їх функціонування для підвищення швидкості гідролізу білків і забезпечення стабільності процесів очищення. Отримані результати мають практичне значення для вдосконалення технологій біологічного очищення стічних вод агропромислових підприємств та підвищення рівня екологічної безпеки.

Ключові слова: стічні води, агровиробництво, активний мул, мікроорганізми, екологічна безпека.

Lysytsya A. V., Shevchuk A. I. Species Composition of Microorganisms in Activated Sludge of Wastewater Treatment Facilities and Its Significance for Wastewater Purification

The article analyzes the species composition of microorganisms in activated sludge from wastewater treatment facilities of agro-industrial enterprises and highlights their role in biological purification processes. The agro-industrial sector generates highly concentrated effluents containing proteins, fats, carbohydrates, nitrogen and phosphorus compounds, as well as pathogenic microorganisms. Special attention is given to microbial consortia capable of degrading organic pollutants and performing nitrification, denitrification, and phosphorus removal. A comparative overview of wastewater treatment methods is provided, emphasizing the advantages of biological technologies based on activated sludge. Key bacterial phyla and genera (*Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Chloroflexi*, *Actinobacteria*) are characterized in terms of their functions in protein, lipid, and carbohydrate degradation, floc stabilization, and detoxification. Particular focus is placed on proteolytic bacteria (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Proteus*), which initiate ammoni-

© Лисиця А. В., Шевчук А. І., 2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

fication, complemented by nitrifying and denitrifying microorganisms (*Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Thauera*). The role of protozoa (*Rotifera*, ciliates) in regulating bacterial populations and maintaining biocenosis stability is also discussed. The efficiency of bioreactors is shown to depend on maintaining optimal environmental parameters (pH, temperature, oxygen concentration). The study concludes that the selection of specialized microbial degraders and optimization of their operating conditions are promising directions for accelerating protein hydrolysis and ensuring stable wastewater purification. The results have practical significance for improving biological treatment technologies at agro-industrial enterprises and enhancing environmental safety.

Key words: wastewater, agricultural production, activated sludge, microorganisms, polyhexamethylene-guanidine, environmental safety.

Постановка проблеми та її актуальність.

Агропромисловий комплекс, що охоплює тваринництво, птахівництво, м'ясопереробку, молочну та плодоовочеву промисловість, є значним джерелом висококонцентрованих стічних вод. Ці стоки часто містять великі обсяги органічних речовин, завислих частинок, поживних речовин, таких як азот і фосфор [6; 14], а також широкий спектр патогенних мікроорганізмів. Необроблені або недостатньо очищені, ці води можуть спричинити значне забруднення поверхневих та підземних вод, порушуючи екосистеми [22] та створюючи ризики для громадського здоров'я [7].

Основна роль в очищенні стічних вод від органічних сполук належить активному мулу очисних споруд. Зазвичай це консорціуми різних

мікроорганізмів. Біологічне очищення стічних вод агропідприємств з використанням активного мулу (біореактори) має свої особливості [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час очищення стічних вод застосовують різні методи (табл. 1), частіше за все найбільш ефективними є комбінації різних технологій очищення води [16; 21].

У біологічному очищенні ключову роль грає видовий склад мікроорганізмів активного мулу. Наприклад, останні дослідження свідчать, що підбір оптимального складу дозволяє угрупованням мікроорганізмів (*Microbacterium* sp. та двох видів *Pseudomonas*) спільно розщеплювати навіть такі сполуки, як фталати (пластифікатори більшості видів пластику) [3].

Таблиця 1

Порівняльний аналіз методів очищення стічних вод тваринницьких ферм та підприємств агропереробки [2; 15]

Методи очищення	Переваги	Недоліки	Ефективність знезараження	Стійкість до біообростання	Екологічний профіль
Механічні	Низька вартість, прості	Низька ефективність, не видаляють розчинені забруднюючі речовини та мікроби	Низька	Низька	Нейтральний
Біологічні	Ефективні для органіки, низькі експлуатаційні витрати	Чутливі до складу стоків, великі площі, не завжди повне знезараження	Середня	Не застосовується	Відносно безпечний
Хімічні (коагуляція/флокуляція)	Ефективні для завислих речовин та колоїдів	Утворення осаду, потреба в реагентах, не повне знезараження	Низька	Низька	Залежить від реагенту
Хлорування	Висока ефективність знезараження	Утворення шкідливих побічних продуктів (ШПП), корозія обладнання, потенційний розвиток резистентності	Висока	Низька	Негативний (ШПП, корозія)
Ультрафільтрація, Зворотний осмос	Висока ефективність видалення ЗВ та мікроорганізмів	Висока вартість, енергоємність, схильність до біообростання	Висока	Низька (основна причина відмов)	Відносно безпечний

Взагалі біознешкодження ксенобіотиків з використанням біологічних методів відбувається декількома шляхами. Залежно від кінцевого результату їх перетворення розрізняють: повну деградацію (мінералізацію, повну деструкцію); неповну деградацію (трансформацію, часткову мінералізацію, часткову деструкцію); зв'язування поллютантів або їх метаболітів з іншою речовиною-матрицею (полімеризація, кон'югація, конденсація) [11].

Метою статті є аналіз видового складу мікроорганізмів активного мулу що беруть участь в очищенні стічних вод агропідприємств від органічних забруднювачів різної природи, зокрема білкової, ліпідної і вуглеводної.

Виклад основного матеріалу дослідження. Активний мул водоочисних споруд є складною

біоценозною системою, що складається з різноманітних мікроорганізмів, які спільно розкладають забруднюючі речовини у стічних водах. Склад стічних вод м'ясних виробництв та їхні мікробні угруповання описані в багатьох джерелах [4; 8; 18]. Через високий вміст жирів, білків, вуглеводів та інших органічних сполук в стічних водах молочних та м'ясних виробництв, в активному мулі розвиваються мікроорганізми, здатні ефективно розщеплювати саме ці компоненти (табл. 2) [9; 17; 23].

Ці мікроорганізми мають необхідні ферменти для розкладання жирів, білків та для ефективного видалення азоту (табл. 3), що забезпечує ефективність роботи очисних споруд [5; 10; 13; 20].

Якщо йдеться про очищення стічних вод від білків, то це складний багатоступеневий процес.

Таблиця 2

Основні бактеріальні філуми та роди в активному мулі очисних споруд молочних та м'ясних виробництв та їхні основні функції

Філум / Родина	Представницькі роди / Родини і Роди (специфічні для промислового типу)	Основні функції	Актуальність для молочних стічних вод	Актуальність для м'ясних стічних вод
Протеобактерії	<i>Nitrosomonas</i> , <i>Thauera</i> , <i>Dechloromonas</i> , <i>Zoogloea</i> , <i>Arcobacter</i> , <i>Azospira</i> , <i>Pseudomonadaceae</i> , <i>Comamonadaceae</i>	Деградація органічних речовин (ОР), видалення азоту (нітрифікація, денітрифікація), дефосфоризація, розщеплення ароматичних сполук, утворення флокул	Деградація ОР, видалення N/P	Деградація ОР, видалення N/P
Бактероїдети	<i>Flavobacteriaceae</i> , <i>Saprospiraceae</i>	Деградація складних органічних речовин (полісахариди, білки, нуклеїнові кислоти)	Деградація лактози та білків	Деградація жирних кислот та амінокислот (особливо <i>Flavobacteriaceae</i>)
Фірмікути	<i>Bacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Proteiniphilum</i> , <i>Tissierella</i>	Деградація органічних речовин, зменшення об'єму мулу	Деградація білків (особливо <i>Bacillus</i>), лактози	Деградація білків та жирів
Хлорофлексі	<i>Caldilinea</i> , <i>Anaerolinea</i> , <i>Leptolinea</i>	Сприяння флокуляції, деградація макромолекулярних ОР, видалення фосфору. Розкладання жирів, стабілізація флокул, анаеробне очищення.	Покращення осідання мулу, деградація ОР	Покращення осідання мулу, деградація ОР
Актинобактерії	<i>Nocardioideaceae</i>	Деградація органічних речовин, деякі пов'язані зі спучуванням (спіненням) мулу	Деградація ОР	Деградація ОР, потенційне спучування
Ацидобактерії		Деградація позаклітинних полісахаридів	Деградація вуглеводів	Деградація вуглеводів
Рід <i>Bacillus</i>		Біодеградація, видалення білків	Висока ефективність у видаленні білків та загальна біодеградація	-

Продовження таблиці 2

Родина <i>Flavobacteriaceae</i>		Деградація жирних кислот, амінокислот, біоорганічних сполук; індуктор спучування/спінювання	-	Ключова роль у деградації білків та жирів; пов'язана зі спучуванням
Рід <i>Dechloromonas</i>		Використання джерел вуглецю, денітрифікація, накопичення поліфосфатів	Видалення N та P	Видалення N та P
Рід <i>Zoogloea</i>		Формування флокул, стабілізація структури мулу і органічних речовин	Покращення осідання мулу	Покращення осідання мулу
Рід <i>Leptothrix</i>		Широко поширений, деякі види пов'язані зі спучуванням (хоча багато перекласифіковано)	Потенційне спучування, але часто не проблема	Потенційне спучування, але часто не проблема
Рід <i>Nitrosomonas</i>		Нітрифікація (окиснення аміаку до нітриту)	Видалення азоту	Видалення азоту
Рід <i>Nitrospira</i>		Нітрифікація (окиснення нітриту до нітрату)	Видалення азоту	Видалення азоту
Рід <i>Thauera</i>		Денітрифікація (відновлення нітратів до азоту), деградація ароматичних сполук	Видалення азоту	Видалення азоту
Вид <i>Thauera aminoaromatica</i>		Деградація жирних кислот	Деградація жирних кислот	Деградація жирних кислот
Рід <i>Paracoccus</i>		Денітрифікація (відновлення нітратів до азоту)	Видалення азоту	Видалення азоту
Рід <i>Accumulibacter</i>		Акумуляція фосфору	Вилучення фосфору	Вилучення фосфору
Рід <i>Tetrasphaera</i>		Акумуляція фосфору	Вилучення фосфору	Вилучення фосфору

Таблиця 3

Мікробні групи та ферменти, залучені до деградації основних органічних компонентів у стічних водах молочної та м'ясної промисловості

Органічний компонент	Ключові ферменти	Домінуючі мікробні групи / Роди	Специфічна актуальність для стічних вод молочних/м'ясних виробництв
Білкові речовини	Протеази / Пептидази	Різноманітні таксони, <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Treponema</i> , <i>Syntrophus</i> , <i>Desulfobulbus</i> , Бактероїдоти, Актинобактерії, Хлорофлекс	Деградація казеїну/сироватки (молочні), м'ясних білків та амінокислот (м'ясні)
Жири/Ліпіди	Ліпази / Естерази	Гаммапротеобактерії, Міксококоти, Бетапротеобактерії (зміщення до Альфапротеобактерій)	Деградація молочних жирів, тваринних жирів (м'ясні)
Вуглеводи	Вуглевод-активні гідролази / Амілази / Целюлази	Бактероїдоти, Ацидобактерії, Гемматімонадоти, <i>Paenibacillus</i> , <i>Verrucomicrobium</i> (перекласифіковані)	Деградація лактози (молочні), глікогену та інших вуглеводів

Оскільки білки є високомолекулярними сполуками, мікроорганізми не можуть поглинути їх напряму. Спочатку вони мають виділити в середовище спеціальні ферменти – протеази, які розщеплюють білки до пептидів та амінокислот. У першу чергу мова йде про такі бактерії-деструктори (про-

теолітики): рід *Bacillus*, виробляють потужні екзоферменти, які швидко руйнують пептидні зв'язки, найбільш активними є *Bacillus subtilis* та *Bacillus cereus*; рід *Pseudomonas*, не тільки розщеплюють білки, але й здатні окислювати широкий спектр органічних забруднень, зокрема жири та вугле-

води; рід *Proteus*, мають високу протеолітичну активність і часто домінують у мулі при високих концентраціях білкових стоків (наприклад, від м'ясокомбінатів).

Щоб ці мікроорганізми працювали на повну потужність, в біореакторах необхідно підтримувати певні умови: рН 7,0-8,5 (протеази бактерій найбільш активні в слаболужному середовищі); кисень 2,0-4,0 мг/л (процес окислення амінокислот потребує багато енергії та кисню); температура $\approx 20-30$ °C (при зниженні температури ферментативна активність падає).

Після того як протеолітики розщепили білки, виділяється велика кількість аміаку (процес амоніфікації). Тут у гру вступають бактерії, що очищують воду від токсичного азоту: *Nitrosomonas* (окиснюють аміак до нітритів), *Nitrobacter* (перетворюють нітріти на безпечніші нітрати).

Також важливими є групи бактерій *Proteobacteria* і *Bacteroidetes*, часто вони стають домінуючими під час інтенсивного розщеплення білків [13].

Якщо в стоках занадто багато білка, може виникнути явище спінення мулу або розвиток нитчастих бактерій, що погіршує осідання пластівців у вторинних відстійниках.

Якщо говорити про «екологію» біоценозу активного мулу очисних споруд, то крім бактерій, значну роль грають найпростіші, вони регулюють чисельність бактерій і підтримують стабільність в системі. Це зокрема, коловертки (*Rotifera*) та черевовійчасті черви. Їх наявність свідчить про глибоке очищення та стабільність процесу. Вони поглинають дрібні суспензії білкового походження, які не встигли осісти. Також мають значення вільчасті інфузорії (наприклад, *Vorticella* або *Opercularia*). Вони працюють як «фільтри», очищуючи воду від поодиноких бактерій та найдрібніших частинок білка.

Отже, найбільш перспективним напрямком є використання для очищення природних вод, забруднених різними типами ксенобіотиків, біологічного методу, заснованого на використанні спеціально підібраних видів мікроорганізмів-деструкторів [11]. У більшості випадків це змішані популяції мікроорганізмів які забезпечують процес окиснення політантів, їх мінералізацію та ефективну детоксикацію води. Тому досить актуальним залишається питання селекції таких мікроорганізмів та визначення оптимальних умов їх функціонування.

Нові технології для виділення «найсильніших» протеолітичних бактерій з активного мулу пояснюють чому гідроліз білків часто є лімітуючою (найповільнішою) стадією очищення [19].

Висновки. Видовий склад активного мулу є ключовим чинником ефективності біологічного очищення стічних вод агропромислових підприємств. Домінування протеобактерій, бактероїдетів, фірмікутів та інших груп забезпечує розщеплення білків, жирів і вуглеводів, а також видалення азоту та фосфору, що підтверджує їхню екологічну значущість.

Функціональна взаємодія мікроорганізмів у консорціумах забезпечує комплексну детоксикацію стоків. Протеолітичні бактерії (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Proteus*) запускають процес амоніфікації, який доповнюється нітрифікацією та денітрифікацією (*Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Thauera*), а також участю найпростіших (*Rotifera*, інфузорії), що стабілізують біоценоз.

Перспективним напрямом є селекція та оптимізація умов функціонування мікроорганізмів-деструкторів. Підтримання оптимальних параметрів (рН, температура, концентрація кисню) та використання змішаних популяцій дає змогу підвищити швидкість гідролізу білків і забезпечити стабільність процесів очищення, що відкриває можливості для впровадження нових біотехнологій у сфері екологічної безпеки.

Література:

1. Лисиця А.В., Шевчук А.І. Проблеми очищення та знезараження стічних вод агропідприємств. Природнича освіта та наука. 2025. № 3. С. 88–95. DOI: <https://doi.org/10.32782/NSER/2025-3.13>
2. Al-Tayawi A.N., Sisay E.J., Beszédes S., Kertész S. Wastewater treatment in the dairy industry from classical treatment to promising technologies: an overview. Processes. 2023. Vol. 11, Iss. 7. P. 2133. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11072133>
3. Bertoldi S., Klaes S., Claus S., Marsans A., Heipieper H.J., Eberlein C. Cross-feeding drives degradation of phthalate ester plasticizers in a bacterial consortium. Frontiers in Microbiology. 2026. Vol. 16. P. 1757196. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1757196>
4. Bethi C.M.S., Narayan B., Martin A., Sangeetha G., Ramakrishna C.S., Madhuri M.L.N.S., Rao M.L. Recovery, physicochemical and functional characteristics of proteins from different meat processing wastewater streams. Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. P. 25119–25131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08930-x>
5. Bhardwaj A., Singh J., Chaman S. Molecular characterization of native dairy wastewater degrading microbes isolated from dairy industry effluent. Nature Environment and Pollution Technology. 2018. Vol. 17, Iss. 2. P. 517–523. URL: [https://neptjournal.com/upload-images/NL-64-25-\(23\)-B-3482.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/NL-64-25-(23)-B-3482.pdf)
6. Campos J.L., Crutchik D., Franchi O., Pavissich J.P., Belmonte M., Pedrouso A., Mosquera-Corral A., Val del Río A. Nitrogen and phosphorus recovery from anaerobically pretreated agro-food wastes: a review. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2019. Vol. 2. P. 91. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00091>

7. Cristian O. Characteristics of the untreated wastewater produced by food industry. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului*. 2010. Vol. 15. P. 709–714. URL: https://protmed.uoradea.ro/facultate/anale/protecția_mediului/2010/im/29.%20Onet%20Cristian%2010.pdf
8. Daud N.N.N., Anijiofor S.Ch. Chicken slaughterhouse wastewater disposal: the challenges ahead. *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 2018. Special Issue. P. 42–45. URL: <https://www.asianjab.com/wp-content/uploads/2018/05/6.CHICKE1.pdf>
9. Dey S., Anand U., Bhattacharya S., Kumar V., Dey A. Microbial community composition and functions in activated sludge treatment system. *Omics Insights in Environmental Bioremediation*. Singapore : Springer, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-4320-1_8
10. Jafari S., Salehiziri M., Foroozesh E., Bardi M.J., Rad H.A. An evaluation of lysozyme enzyme and thermal pretreatments on dairy sludge digestion and gas production. *Water Science and Technology*. 2020. Vol. 81, Iss. 5. P. 1052–1062. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.198>
11. Kvartenko O. M., Lysytsya A. V. Analysis of contemporary methods and technologies for the removal of pollutants from natural waters. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2026. Vol. 48, No. 1. P. 37–51. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X26010066>
12. Liu S., Wu J., Hu Z., Jiang M. Changes in microbial community during hydrolyzed sludge reduction. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. P. 1239218. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1239218>
13. Liu Z., Smith S.R. Enzyme recovery from biological wastewater treatment. *Waste and Biomass Valorization*. 2021. Vol. 12. P. 4185–4211. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01251-7>
14. Madjar R.M., Scăteanu G.V., Sandu M.A. Nutrient water pollution from unsustainable patterns of agricultural systems, effects and measures of integrated farming. *Water*. 2024. Vol. 16, Iss. 21. P. 3146. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16213146>
15. Magrí A., Carreras-Sempere M., Biel C., Colprim J. Recovery of phosphorus from wastewater profiting from biological nitrogen treatment: upstream, concomitant or downstream precipitation alternatives. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 7. P. 1039. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10071039>
16. Muhammad Z., Mahmood A. Wastewater treatment solutions for small towns: a practical guide. *Wastewater Treatment Plants*. Cham : Springer, 2025. (Water Science and Technology Library; 130). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-87461-1_16
17. Ng M., Dalhatou S., Wilson J., Kamdem B.P., Temitope M.B., Paumo H.K., Djelal H., Assadi A.A., Nguyen-Tri P., Kane A. Characterization of slaughterhouse wastewater and development of treatment techniques: a review. *Processes*. 2022. Vol. 10, Iss. 7. P. 1300. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10071300>
18. Nunes J.F., da Costa Patricio T.C., de Farias B.O., de Souza N.P., Lima M.C., de Matos J.E.S., de Oliveira Silva A.L., Diniz A.P.C., da Costa R.A., de Siqueira E.K.L. Poultry slaughterhouse wastewater as a source of bacterial antimicrobial resistance. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2024. Vol. 55. P. 3363–3372. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01466-z>
19. Potenza L., Smacchia V., Drewniak L., Kaminski T.S. Microfluidic enrichment of proteolytic microbial consortia from sewage sludge. *bioRxiv*. 2026. DOI: <https://doi.org/10.64898/2026.02.10.705040>
20. Song Z., Hua J., Zhang X., Li K. Bacterial networks and enzyme genes in bacterial flocules from hydrolysis and aeration reactors in a dairy wastewater treatment system. *Letters in Applied Microbiology*. 2024. Vol. 77, Iss. 7. P. ovae066. DOI: <https://doi.org/10.1093/lambio/ovae066>
21. World Bank. Wastewater treatment and reuse: a guide to help small towns select appropriate options. Washington, DC: World Bank, 2023. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wastewater-treatment-and-reuse-a-guide-to-help-small-towns-select-appropriate-options>
22. Wu X., Nawaz S., Li Y., Niu X., Sun X., Zhu X. Environmental health hazards of untreated livestock wastewater: potential risks and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31. P. 24745–24767. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32853-6>
23. Zheng Z., Liao C., Chen Y., Ming T., Jiao L., Kong F., Su X., Xu J. Revealing the functional potential of microbial community of activated sludge for treating tuna processing wastewater through metagenomic analysis. *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 15. P. 1430199. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1430199>

References:

1. Lysytsya, A. V., & Shevchuk, A. I. (2025). Problems of purification and disinfection of wastewater from agricultural enterprises. *Pryrodnycha Osvita ta Nauka*, 3, 88–95. <https://doi.org/10.32782/NSER/2025-3.13>
2. Al-Tayawi, A. N., Sisay, E. J., Beszédes, S., & Kertész, S. (2023). Wastewater treatment in the dairy industry from classical treatment to promising technologies: An overview. *Processes*, 11(7), 2133. <https://doi.org/10.3390/pr11072133>
3. Bertoldi, S., Klaes, S., Claus, S., Marsans, A., Heipieper, H. J., & Eberlein, C. (2026). Cross-feeding drives degradation of phthalate ester plasticizers in a bacterial consortium. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1757196. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1757196> (doi.org in Bing)
4. Bethi, C. M. S., Narayan, B., Martin, A., Sangeetha, G., Ramakrishna, C. S., Madhuri, M. L. N. S., & Rao, M. L. (2020). Recovery, physicochemical and functional characteristics of proteins from different meat processing wastewater streams. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 25119–25131. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08930-x> (doi.org in Bing)

5. Bhardwaj, A., Singh, J., & Chaman, S. (2018). Molecular characterization of native dairy wastewater degrading microbes isolated from dairy industry effluent. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(2), 517–523. [https://neptjournal.com/upload-images/NL-64-25-\(23\)-B-3482.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/NL-64-25-(23)-B-3482.pdf)
6. Campos, J. L., Crutchik, D., Franchi, O., Pavissich, J. P., Belmonte, M., Pedrouso, A., Mosquera-Corral, A., & Val del Río, A. (2019). Nitrogen and phosphorus recovery from anaerobically pretreated agro-food wastes: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 91. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00091> (doi.org in Bing)
7. Cristian, O. (2010). Characteristics of the untreated wastewater produced by food industry. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului*, 15, 709–714. https://protmed.ursoradea.ro/facultate/anale/protecția_mediului/2010/im/29.%20Onet%20Cristian%201.pdf
8. Daud, N. N. N., & Anijiofor, S. Ch. (2018). Chicken slaughterhouse wastewater disposal: The challenges ahead. *Asian Journal of Agriculture and Biology, Special Issue*, 42–45. <https://www.asianjab.com/wp-content/uploads/2018/05/6.CHICKE1.pdf>
9. Dey, S., Anand, U., Bhattacharya, S., Kumar, V., & Dey, A. (2022). Microbial community composition and functions in activated sludge treatment system. In *Omics Insights in Environmental Bioremediation*. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4320-1_8 (doi.org in Bing)
10. Jafari, S., Salehiziri, M., Foroozesh, E., Bardi, M. J., & Rad, H. A. (2020). An evaluation of lysozyme enzyme and thermal pretreatments on dairy sludge digestion and gas production. *Water Science and Technology*, 81(5), 1052–1062. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.198> (doi.org in Bing)
11. Kvartenko, O. M., & Lysytsya, A. V. (2026). Analysis of contemporary methods and technologies for the removal of pollutants from natural waters. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 48(1), 37–51. <https://doi.org/10.3103/S1063455X26010066>
12. Liu, S., Wu, J., Hu, Z., & Jiang, M. (2023). Changes in microbial community during hydrolyzed sludge reduction. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1239218. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1239218> (doi.org in Bing)
13. Liu, Z., & Smith, S. R. (2021). Enzyme recovery from biological wastewater treatment. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 4185–4211. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01251-7> (doi.org in Bing)
14. Madjar, R. M., Scăteanu, G. V., & Sandu, M. A. (2024). Nutrient water pollution from unsustainable patterns of agricultural systems, effects and measures of integrated farming. *Water*, 16(21), 3146. <https://doi.org/10.3390/w16213146>
15. Magrí, A., Carreras-Sempere, M., Biel, C., & Colprim, J. (2020). Recovery of phosphorus from wastewater profiting from biological nitrogen treatment: Upstream, concomitant or downstream precipitation alternatives. *Agronomy*, 10(7), 1039. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071039> (doi.org in Bing)
16. Muhammad, Z., & Mahmood, A. (2025). Wastewater treatment solutions for small towns: A practical guide. In *Wastewater Treatment Plants*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87461-1_16 (doi.org in Bing)
17. Ng, M., Dalhatou, S., Wilson, J., Kamdem, B. P., Temitope, M. B., Paumo, H. K., Djelal, H., Assadi, A. A., Nguyen-Tri, P., & Kane, A. (2022). Characterization of slaughterhouse wastewater and development of treatment techniques: A review. *Processes*, 10(7), 1300. <https://doi.org/10.3390/pr10071300>
18. Nunes, J. F., da Costa Patricio, T. C., de Farias, B. O., de Souza, N. P., Lima, M. C., de Matos, J. E. S., de Oliveira Silva, A. L., Diniz, A. P. C., da Costa, R. A., & de Siqueira, E. K. L. (2024). Poultry slaughterhouse wastewater as a source of bacterial antimicrobial resistance. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55, 3363–3372. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01466-z> (doi.org in Bing)
19. Potenza, L., Smacchia, V., Drewniak, L., & Kaminski, T. S. (2026). Microfluidic enrichment of proteolytic microbial consortia from sewage sludge. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.64898/2026.02.10.705040>
20. Song, Z., Hua, J., Zhang, X., & Li, K. (2024). Bacterial networks and enzyme genes in bacterial flocs from hydrolysis and aeration reactors in a dairy wastewater treatment system. *Letters in Applied Microbiology*, 77(7), ovae066. <https://doi.org/10.1093/lambio/ovae066> (doi.org in Bing)
21. World Bank. (2023). Wastewater treatment and reuse: A guide to help small towns select appropriate options. Washington, DC: World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wastewater-treatment-and-reuse-a-guide-to-help-small-towns-select-appropriate-options>
22. Wu, X., Nawaz, S., Li, Y., Niu, X., Sun, X., & Zhu, X. (2024). Environmental health hazards of untreated livestock wastewater: Potential risks and future perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 24745–24767. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32853-6> (doi.org in Bing)
23. Zheng, Z., Liao, C., Chen, Y., Ming, T., Jiao, L., Kong, F., Su, X., & Xu, J. (2024). Revealing the functional potential of microbial community of activated sludge for treating tuna processing wastewater through metagenomic analysis. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1430199. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1430199>

Дата першого надходження статті до видання: 22.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026

Наукове видання

Природнича освіта та наука

Випуск 2(14), 2026

Засновано у 2022 році

Засновник:

Рівненський державний гуманітарний університет

Періодичність видання: 6 разів на рік

Українською та англійською мовами

Коректура • В. О. Бабич

Комп'ютерна верстка • Ю. В. Ковальчук

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 31,39.

Дата розміщення онлайн: 30.05.2026. Дата друку: 08.06.2026.

Зам. № 0626/611. Наклад 100 прим.

Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.