

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка**

Хіміко-біологічний факультет
Кафедра хімії та методики її навчання

Кваліфікаційна робота

на тему:

**РОЗРОБКА ДОСЛІДНИЦЬКОГО ПРОЄКТУ
«МІКРОПЛАСТИК» ДЛЯ КУРСУ ХІМІЇ ПРОФІЛЬНОЇ ШКОЛИ**

Спеціальність 014.06 Середня освіта (Хімія)

Здобувачка другого (магістерського)
рівня вищої освіти, ОПП «Середня освіта
(Хімія, біологія і здоров'я людини)»
Остафійчук Мар'яна Олегівна

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:
доктор біологічних наук, професор
Столяр Оксана Борисівна

РЕЦЕНЗЕНТ:
кандидат педагогічних наук, доцент
кафедри харчової біотехнології і хімії
Тернопільського національного технічного
університету імені І. Пулюя
Назарко Ірина Степанівна

Робота захищена з оцінкою:
Національна шкала _____
Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Анотація

Остафійчук М.О. Розробка дослідницького проєкту «мікропластик» для курсу хімії профільної школи / Остафійчук Мар'яна Олегівна; ТНПУ імені Володимира Гнатюка, хіміко-біологічний факультет, кафедра хімії та методики її навчання; наук. керівник Оксана Столяр. – Тернопіль, 2025. – 76 с.

У роботі розроблено дослідницький проєкт "Мікропластик" для курсу хімії профільної школи, який включає вихідний та кінцевий контроль дослідницьких компетенцій учнів, створення доступного протоколу наукового експерименту з виділення та аналізу вмісту мікропластику у водному середовищі та біологічних тканинах, та презентацію результатів. Розробка довела, що тематика творчих проєктів у профільній школі із застосуванням експериментальних методів є ефективним підходом до усвідомлення учнями впливу хімічного забруднення на довкілля. Вперше доведено, що двостулковий молюск акумулює мікропластик розміром 0,1-0,5 мм з водного середовища. Запропоновано доступний для експериментальної бази профільної школи протокол для виділення мікропластика з водного середовища та живих тканин та підрахунок частинок оптичним методом. Результати творчого експерименту показали, що він сприяв зацікавленості учнів проблемами довкілля, посилив ґрунтовність знань про будову пластику, розвинув навички експерименту.

Ключові слова: профільна освіта, мікропластик, хімічний експеримент, забруднення довкілля, анкетування

Abstract

Ostafiychuk M. O. Development of a research project «Microplastics» for a chemistry course at a specialized school. Ostafiychuk Maryana Olehivna; Volodymyr Hnatyuk TNPU, Faculty of Chemistry and Biology, Department of Chemistry and Methods of its Teaching; Sc. supervisor Oksana Stoliar. – Ternopil, 2025– 76 p.

The work developed a research project “Microplastics” for the chemistry course of a specialized school, which includes initial and final control of students’ research competencies, creation of an accessible protocol of a scientific experiment on the isolation and analysis of the content of microplastics in the aquatic environment and biological tissues, and presentation of the results. The project proved that the subject of creative projects in a specialized school with the use of experimental methods is an effective approach to students’ awareness of the impact of chemical pollution on the environment. It was first proven that a bivalve mollusk accumulates microplastics 0.1-0.5 mm in size from the aquatic environment. A protocol was proposed that was accessible to the experimental base of the specialized school, dye to remove microplastics from the aquatic environment and living tissues. The results of the creative experiment showed that such an experiment promoted students' interest in environmental problems, increased the thoroughness of knowledge about the construction of plastics, and developed experimental skills.

Keywords: specialized education, microplastics, chemical experiment, environmental pollution, questionnaire

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 4 |
| ВСТУП | 5 |
| РОЗДІЛ I. ВІДОБРАЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ МІКРОПЛАСТИКУ У НАУЦІ ТА ПРАКТИЦІ НАВЧАННЯ | 11 |
| 1.1 Аналіз наукової експертизи екологічних загроз мікропластику..... | 11 |
| 1.2 Стан реалізації проблеми дослідницьких проєктів у шкільній практиці..... | 19 |
| РОЗДІЛ II. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ | 27 |
| 2.1 Загальні питання методики експерименту..... | 27 |
| 2.2 Методика проведення експериментального дослідження та аналіз його результатів..... | 29 |
| ВИСНОВКИ | 51 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 53 |
| ДОДАТКИ | 64 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МП– мікропластик

АФК (ROS)– активні форми кисню (reactive oxygen species)

ПВХ (PVC) –полівінілхлорид

ПЕ (PE) –поліетилен

ПЕТ (PET)– поліетилентерефталат

ПП (PP) – поліпропілен

ПС (PS) – полістирол

ПВГ (ПВЩ, HDPE)- поліетилен високої густини (щільності)

ПВТ (LDPE) - поліетилен низької щільності (високого тиску)

ВСТУП

Актуальність. Концепція Нової української школи висуває перед педагогом нові професійні вимоги: замість простого транслявання навчального матеріалу вчитель має забезпечувати всебічний розвиток особистості учня. Це досягається шляхом добору ефективних форм і методів навчання, які активізують розумову діяльність школярів, підвищують їх пізнавальну активність та сприяють формуванню здатності до самостійного здобуття знань [27].

У викладанні хімії в умовах НУШ пріоритет надається підходам, що формують дослідницькі вміння учнів, стимулюють критичне мислення, підсилюють мотивацію до навчання та забезпечують залучення школярів до активної пізнавальної діяльності [11].

Найбільші можливості реалізації творчого потенціалу школярів забезпечуються профільною освітою, адже метою профільної освіти є поглиблення теоретичних знань, удосконалення практичних навичок, сприяння самостійній та безперервній самоосвіті учнів. Питання модернізації профільної освіти знайшли відображення у наукових дослідженнях низки провідних українських і зарубіжних учених, зокрема О. Коберник [16], Н. Любчак [19], С. Ящук [28] та інших. Шкільний курс хімії у профільній освіті акцентує на якомога тіснішому поєднанні теорії з практикою. Відповідно, суттєве місце у вивченні хімії у профільних класах повинно приділятися дослідницькій активності, поступовому формуванню дослідницьких компетенцій в процесі навчальної та дослідницької діяльності [77].

Застосування методу проєктів є провідним складником у дослідницькій активності у сучасному профільному навчанні хімії [20, 21]. Однак проєктний метод не можна вважати новим явищем у світовій педагогічній практиці. Його витоки сягають 1920-х років у Сполучених Штатах Америки, де він був відомий також як проблемний метод. Згодом, у 1985 році Асоціація наукової освіти (ASE) у Великій Британії опублікувала план «Освіта через науку» [32], де зазначалося, що наукова освіта повинна мати «актуальність: наукова освіта

повинна широко спиратися на повсякденний досвід учнів». У 1986 році ці ідеї втілювалися під час конференції для ірландських вчителів хімії на тему «Щоденна хімія» [39].

Дослідницькі проекти розглядаються як педагогічна технологія, спрямована не лише на узагальнення наявних знань, але й на їх здобуття та практичне застосування в процесі самостійної пізнавальної діяльності учнів. Цей підхід передбачає виконання школярами індивідуальних або групових завдань упродовж визначеного часу, обов'язковим елементом яких є розв'язання конкретної проблеми. Така діяльність вимагає, з одного боку, використання різноманітних методів і засобів навчання, а з іншого — інтеграції знань і навичок із різних галузей науки й техніки [2, 3]. Питанням підготовки педагогів до організації проектної діяльності присвячені праці Н. Брюханової, Г. Васяновича, О. Спіріна, В. Стрельнікова та інших дослідників [5, 7, 23, 24]. Основна мета інноваційних педагогічних технологій, зокрема проектних, полягає у чіткому визначенні освітніх результатів та побудові навчального процесу таким чином, щоб забезпечити їх гарантоване досягнення.

На наш час виникає необхідність інтеграції хімічної та екологічної освіти учнів. Проте екологічна складова здебільшого відображається на рівні риторики. Зокрема, у запропонованій тематиці навчальних проектів у 10 класі (Рівень стандарту. Тема 5. Синтетичні високомолекулярні речовини і полімерні матеріали на їх основі) пропонується п'ять навчальних проектів, які, безперечно, мають важливе значення у забезпеченні практичної підготовки учнів, проте вони не охоплюють такої пріоритетної проблеми як забруднення довкілля мікропластиком та його вплив на живі організми [15].

Мікропластик (МП) дедалі частіше визначається як значущий сучасний забруднювач водних екосистем, що викликає посилене занепокоєння наукової спільноти. Мікропластиком називають дрібні пластикові частинки розміром 1 мкм – 5 мм [81]. Він може походити з різних джерел, включаючи промислові та медичні матеріали та продукти деградації багатьох побутових пластикових матеріалів. Мікро- й нанопластики поширюються у водному, ґрунтовому та

повітряному середовищах, потрапляють у харчові ланцюги. У 2013 році світове виробництво пластмас досягло вже 300 тис мільйонів тон, і, за оцінками, виробництво пластмас зросте до 33 млрд. тон до 2050 року (Рис. 1.2А) [67, 69, 80]. Відповідно, середні концентрації мікропластику у зразках, зібраних з озер у міських місцевостях, можуть досягати навіть $5,51 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ [64]. Водоочисні споруди є головним джерелом його надходження у водойми. Підраховано, що навіть за очисної ефективності цих споруд 83%, у водойму з них потрапляє на день 160 млн частинок, представлених поліестерами, поліамідом, поліетиленом, поліакрилатами, сягаючи 1 млн часток на м^3 [65]. Проте через невеликі розміри частинки пластику важко ідентифікувати у воді. Хімічна оцінка забруднення водойм мікропластиком вимагає наявності вартісного обладнання та тривалого часу високоспеціалізованої праці. У переліку токсичних скидів муніципального походження у річки в Україні забруднення мікропластиком взагалі не висвітлюється [94].

Важливо, що небезпека мікропластику для біоти посилюється здатністю адсорбувати на поверхні частинок інші мікрополютанти гідрофобної природи, такі як фармацевтичні препарати, тощо, що призводить до комбінованої несприятливої дії у організмі [71, 72, 73]. Водні організми є первинними реципієнтами у харчових ланцюгах, через які мікропластик потрапляє до кінцевого споживача – людини. Серед цих організмів найбільш перспективними біоіндикаторами можна вважати двостулкових молюсків завдяки їх фільтруючому способу живлення та осілому існуванню. Зокрема встановлено у експериментальних та природних умовах, що вони поглинають сферичні мікрочастинки розміром 5-300 мкм [74, 95]. Відтак, двостулкові молюски можна розглядати як концентратори мікропластику.

Слід відзначити, що навіть засвоюючи інформацію про забруднення довкілля мікропластиком та його вплив на живі організми з наукової чи науково-популярної літератури, учні не асоціюють її із загрозами у повсякденному житті, хоча пластик становить невід'ємну складову побутових контактів. Тому вимогою до ефективного творчого проєкту повинно стати

поєднання академічної строгості та дидактичної життєздатності: у ньому старшокласники повинні не просто «чути» науку, а творити її — збирати зразки, вимірювати, інтерпретувати та публічно захищати висновки. Отже, **актуальність** роботи полягає у необхідності розробки експериментального проєкту стосовно МП у довкіллі, який би продемонстрував єдність теоретичних знань з теми «Синтетичні високомолекулярні речовини і полімерні матеріали на їх основі» та експериментальних підходів до оцінки наслідків використання полімерних матеріалів у техніці та побуті та забезпечив формування загальнонаукових дослідницьких, науково-дослідницьких та спеціальних хімічних дослідницьких компетенцій при вивченні синтетичних полімерних матеріалів.

Об'єкт дослідження – навчально-виховний процес у десятих класах профільної школи.

Предмет дослідження – дослідницькі проєкти у курсі хімії у профільній школі.

Метою роботи стало: створити, обґрунтувати та апробувати навчально-дослідницький модуль «Мікропластик» для курсу хімії профільної школи.

У процесі дослідження ми виходили з гіпотези, згідно якої експериментальне дослідження МП у об'єктах довкілля забезпечить підвищення якості вивчення полімерних матеріалів та стимулюватиме інтерес учнів до власної дослідницької діяльності.

Завдання

1. Систематизувати найновіші наукові результати про походження, міграцію та потенційні ризики мікропластиків водного середовища, використовуючи інформаційні ресурси українською та англійською мовами;

2. Адаптація інформації до мовної та процедурної логіки шкільного експерименту та її будова у компетентнісну рамку сучасної української освіти;

3. Проектування доступних протоколів (ситовий аналіз, флотація, флуоресцентне фарбування Nile Red) для виділення мікропластику з водного середовища та живих тканин;

4. Моделювання контролю якості даних та формування етичних регламентів, щоб кількісно зафіксувати навчальний ефект.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, порівняльний аналіз, анкетування, тестування, діагностичні методи (фізико-хімічні, оптичні), математичні методи статистичної обробки експериментальних даних.

Наукова новизна та теоретичне значення дослідження полягає у розробці оптимального набору інформації для учнів 10 класу профільної школи щодо МП у довкіллі. Завдяки цій розробці повинно реалізуватись виведення цієї проблематики з рівня «екологічної риторики» на рівень вимірюваних фактів у шкільній лабораторії. Вперше розроблено експериментальний модуль щодо оцінки вмісту МП у середовищі при профільному вивченні хімії.

Практичне значення одержаних результатів. Розробка навчально-методичних матеріалів щодо впливу полімерних матеріалів на здоров'я людини і довкілля та експериментального дослідження МП у зразках води та біологічному матеріалі.

Апробація та впровадження результатів дослідження. Матеріали дослідження оприлюднювалися під-час спільних семінарів НДЛ порівняльної біохімії та молекулярної біології ТНПУ з представниками з Центру природних досліджень (Литовська республіка) в рамках білатерального міжнародного наукового співробітництва з Литовською Республікою. Результати дослідження впроваджено у роботу Тернопільського обласного відділення МАН України та опубліковані у збірнику магістерських робіт (Магістерський науковий вісник Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2025. Вип. 45. С. 226-228; <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/37776>

Обсяг і структура роботи. Магістерська робота викладена на 76 сторінках комп'ютерного набору, складається зі вступу, огляду літератури,

опису методів досліджень, результатів роботи та їх обговорення, аналізу та узагальнення результатів, висновків, переліку використаних джерел, який включає 101 джерел (з них 73 латиною), додатків - 4. Робота ілюстрована 8 рисунками та 7 таблицями.

Подяка. Цю роботу було підтримано Міністерством освіти і науки України (проект М/48-2024) та Науково-дослідною радою Литовської Республіки (проект № S-LU-24-13) в рамках українсько-литовської програми співробітництва в галузі досліджень і технологій. S-LU-24-13

РОЗДІЛ І. ВІДОБРАЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ МІКРОПЛАСТИКУ У НАУЦІ ТА ПРАКТИЦІ НАВЧАННЯ

1.1. Аналіз наукової експертизи екологічних загроз мікропластику

Поширення мікропластиків у поверхневих водах. Проблема потрапляння пластикових відходів у водні екосистеми нині викликає значне занепокоєння [93]. Пластмаси набули широкого розповсюдження в багатьох секторах — від аграрного виробництва й промисловості до медицини, виготовлення споживчих товарів і оборонних технологій. Їхній попит пов'язаний із низькою вартістю, високою зносостійкістю, універсальністю та легкістю матеріалу. Проте саме ці властивості стають проблемними, коли пластик у первинному стані потрапляє в довкілля [60]. Аналітичні оцінки свідчать, що за умови збереження теперішніх обсягів виробництва та використання, до 2050 року у світі накопичиться додатково близько 33 млрд тонн пластикових матеріалів [83].

Найпоширенішими у довкіллі видами синтетичних пластмас є поліетилентерефталат (ПЕТ), полістирол (ПС) (Рис. 1.1), поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП) і полівінілхлорид (ПВХ). Значну частку у виробництві волокнистих пластмас — близько 70% — становлять поліестери, тобто полімери, отримані шляхом поліконденсації багатоосновних кислот або їхніх альдегідів із багатоатомними спиртами [50].

Основним представником цієї групи є ПЕТ. Після потрапляння у природне середовище пластмаси зазнають дії комплексу динамічних, гідрологічних, біологічних та атмосферних чинників, серед яких припливи, поверхневі течії, біообростання, механічне руйнування, ультрафіолетове випромінювання, опади й штормові явища [56, 99].

Під впливом цих процесів відбувається поступове руйнування цілісних виробів і їх фрагментація до мікро- та нанорозмірних частинок.

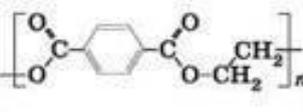
| Назва полімеру | Позначення | Формула | Застосування |
|--|---|--|--|
| Поліетилен-терефталат |  |  | Виготовлення тари для напоїв: мінеральної води, фруктових соків тощо, блистерної упаковки, поліестерного волокна |
| Поліетилен високої густини (поліетилен низького тиску) |  | $[-CH_2-CH_2-]_n$ | Виготовлення пляшок, фляг, напівжорсткої упаковки. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів |
| Полівінілхлорид |  | $[-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-CH_2-]_n$ | Виготовлення труб, садових меблів, покриття для полу, віконних профілів, жалюзі, ізоляційної стрічки, тари для мийних засобів. Непридатний для харчових продуктів |
| Поліетилен низької густини (поліетилен високого тиску) |  | $[-CH_2-CH_2-]_n$ | Виготовлення брезенту, пакетів для сміття, плівки та гнучкої упаковки. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів |
| Поліпропілен |  | $[-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-CH_2-]_n$ | Виготовлення обладнання та бамперів для автомобілів, іграшок, труб для водопроводів, упаковки для харчових продуктів. Вважається безпечним для зберігання харчових продуктів |
| Полістирол, пінополістирол |  | $[-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-CH_2-]_n$ | Виготовлення плит для теплоізоляції будівель, піноматеріалів, харчової упаковки, столових приборів і чашок, іграшок, ручок тощо. Небезпечний у разі горіння |

Рис.1.1 Хімічна структура головних промислових пластмас, галузі їх використання, позначення.

Фрагменти пластику розміром менше 5 мм прийнято називати «мікропластиком». За сучасною класифікацією, частинки розміром 0,1–0,5 мм відносять до мезопластику [35]. Залежно від походження мікропластик поділяють на первинний і вторинний. Первинний мікропластик — це частинки комерційного пластику розміром менше 5 мм, які надходять у навколишнє

середовище з косметичних засобів, фармацевтичних препаратів, фарб, а також з медичних та електронних пристроїв; прикладом є мікрокульки у засобах гігієни, мийних засобах, покриттях і сировині для виробництва пластикових виробів [45, 61]. Вторинний мікропластик є більш поширеним і формується внаслідок деградації або старіння більших пластикових об'єктів, під час їх утилізації (наприклад, фрагментація синтетичних волокон при пранні одягу, виділення частинок із пляшок та інших пластикових предметів) або після потрапляння у природне середовище (Рис. 1.2) [53, 55].



Рис. 1.2 Надходження пластику у середовище (А) та перетворення у водних екосистемах (Б) [44].

Прісноводні системи виступають важливою ланкою між наземними та морськими екосистемами, щорічно постачаючи у світовий океан приблизно 1,15–2,41 млн тонн пластикових відходів. Концентрації мікропластику у прісних

водоймах Північної та Південної Америки варіюють від 0,16 до 3438 часток/м³, в європейських водоймах — від 0,28 до 1265 часток/м³ [63], у муніципальних очисних спорудах — 15,1–640 часток/м³ [58], а в азійських водоймах — від 293 до 19 860 часток/м³ [85], із середніми концентраціями до 5,51 ± 9,09 мг/л у сильно забруднених прісноводних системах [64]; у річці Дунай відмічено близько 900 часток/л [76]. Даних щодо вмісту мікропластику у водоймах України наразі не знайдено.

Дослідження Magni та співавт. (2019) [70] показали, що навіть за високої ефективності водоочисних споруд (83%) у навколишнє середовище потрапляє близько 160 млн частинок на день, представлених поліестерами, поліамідами, поліетиленом та поліакрилатами, з концентрацією до 1 млн часток/м³ [67]. Встановлено значні труднощі у диференціації цих частинок у природних умовах [36]. В Україні забруднення мікропластиком взагалі не фіксується: серед токсичних викидів муніципального походження у річках домінують лікарські речовини (диклофенак) та диоксин-подібні поліхлоровані біфеніл-ніфеноли, тоді як інформація про забруднення пластиком у відкритих джерелах відсутня [42, 94].

Через невеликі розміри частинок пластику важко ідентифікувати у воді. Виявлення та аналіз МП завжди розпочинається як візуальний огляд з подальшою інфрачервоною спектроскопією з перетворенням Фур'є, раманівською спектроскопією та піролізною газовою хроматографією, мас-спектрометрією, тощо [51]. Для виявлення пластикових частинок діаметром менше 10 мкм, що містяться у біологічних та неорганічних зразках, використовують методи сканувальної електронної мікроскопії з рентгенівським аналізом [31]. Відтак, хімічна оцінка забруднення водойм мікропластиком вимагає наявності вартісного обладнання та тривалого часу високоспеціалізованої праці. Більше того, її результати не дозволяють передбачати загрозу мікропластику для біоти. Хімічні методи визначення МП у організмі аналогічні та пов'язані з додатковими труднощами, оскільки природні полімери (хітозан, целюлоза, хітин) та ліпіди мають співрозмірні

характеристики [36]. У переліку токсичних скидів муніципального походження у річки, що фіксовані в Україні, як забруднення мікропластиком взагалі не оцінюється кількісно [94].

Поверхневі води виконують роль кінцевого накопичувача забруднювачів різного походження. За даними, понад половина річок і озер у Європі має екологічний статус або потенціал, нижчий за рівень «добрий» [89]. У міських та сільськогосподарських регіонах особливу загрозу становить біологічне забруднення, що виникає через поєднання побутових і фармацевтичних препаратів, наноматеріалів, пестицидів, ветеринарних відходів, залишків харчового виробництва та їхніх біоактивних метаболітів [47, 100]. Було доведено, що їх частинки можуть адсорбуватися на мікропластику, який виконує роль «Троянського коня». Методики оцінки ризиків від комбінованого впливу таких сумішей наразі перебувають на початковій стадії розвитку, що ускладнюється великою кількістю можливих взаємодій між компонентами суміші як у водному середовищі, так і в організмі [71, 72, 73].

Акумуляція мікропластиків водними організмами. Завдяки малим розмірам мікропластик швидко поширюється у довкіллі, через що його частинки виявляються у повітрі, ґрунті, прісних і морських водах, полярних льодовиках, а також у живих організмах, що там мешкають [46]. Поглинання мікропластику може відбуватися безпосередньо зі середовища або непрямим шляхом через трофічні ланцюги. Розподіл пластикових частинок у водоймах залежить від щільності матеріалу: більш щільні полімери, як-от ПВХ і ПЕТ, осідають на дні, тоді як легші пластики, такі як ПС, ПП і ПЕ, залишаються у верхніх шарах води. Водночас дослідження показують, що в пробах часто зустрічаються частинки різної щільності, що пояснюється спільною дією екологічних і біологічних процесів [54]. За даними [62], понад 50% мікропластику, поглинутого організмами, складають ПС, ПЕ, ПП і ПЕТ.

Прояви токсичності мікропластику у водних організмів. Дослідження свідчать, що понад 690 морських і більш ніж 50 прісноводних видів здатні поглинати пластикові частинки, що призводить до низки негативних наслідків,

включаючи механічні ушкодження, пряму токсичну дію, а також фізіологічні порушення, пов'язані з добавками та адсорбованими на поверхні частинок забруднювачами [38, 48, 83]. Наявність мікропластику розміром від кількох мікрометрів до 5 мм у травному тракті прісноводних тварин може спричиняти голодування; рух частинок у тілі після проковтування викликає їх накопичення, що супроводжується травмуванням тканин, обструкцією та утворенням псевдофекалій [79].

Двостулкові молюски, поширені в різних регіонах світу, вважаються інформативними біоіндикаторами стану водних екосистем. Це зумовлено їх здатністю фільтрувати воду й накопичувати забруднювачі, а також завдяки осілому способу життя, що дозволяє точно відображати локальні умови довкілля [59, 75, 78]. Попри наявність певних захисних фізіологічних механізмів, ці організми демонструють високу чутливість до впливу забруднювачів, оскільки їх системи антиоксидантного захисту та апоптозу легко індукуються, а стабільність лізосомальних мембран визнана одним з найнадійніших показників токсичного навантаження на організм [91]. Морські двостулкові молюски активно застосовують у міжнародних програмах біомоніторингу, зокрема Mussel Watch, MED POL та BioMar [49].

Так, у *Mytilus galloprovincialis* після впливу пластикових частинок розміром 50–570 мкм і концентрацією 0,01 мг/мл виявлено виражені морфологічні зміни у тканинах травної залози та зябер, а також некротичні процеси в мантиї та інших органах [37, 47]. Тривала дія мікропластикових кульок і волокон у концентрації 0,5–16 мг/л на *Ceriodaphnia dubia* спричинила дозозалежні порушення енергетичного балансу та механічні пошкодження, що, у свою чергу, зменшувало темпи росту та репродукцію [101]. Подібні ефекти зафіксовано й у нематоди *Caenorhabditis elegans*: експозиція до МП у концентраціях 1, 10 і 100 мг/л призводила до змін довжини тіла, зниження репродуктивних показників і зменшення виживання [30, 66]. Варто також враховувати, що порушення поведінкових реакцій організмів свідчать про

дестабілізацію їх нормальної життєдіяльності та можуть бути передвісниками наступних екологічних наслідків [97].

За дії високих концентрацій частинок ПВХ (100 мг/л) у мідій *Perna viridis* фіксується зниження енергетичних резервів, що негативно впливає на основні фізіологічні процеси та підвищує рівень смертності [82]. Вплив нанорозмірних фрагментів МП (70 нм) у діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/л зумовлює інтенсивне утворення активних форм кисню, що спричиняє окисне пошкодження тканин, зокрема травної залози у *Danio rerio* [66].

У *C. elegans* частинки полістиролу діаметром 1,0 мкм продемонстрували найбільший токсичний ефект: підвищення летальності, максимальне накопичення у тканинах, зниження рівня Ca^{2+} у кишечнику та посилення експресії глутатіон-S-трансферази. Для *Dicentrarchus labrax* вплив МП у концентрації 0,26 мг/л спричиняє прояви нейротоксичності та активацію процесів перекисного окиснення ліпідів [33]. Отже, фізична травматизація та окисний стрес залишаються найпоширенішими механізмами токсичної дії мікропластику на біоту [30, 66].

Водночас специфіка біологічної відповіді різних видів на частинки МП різного розміру досі недостатньо з'ясована. Біодоступність мікропластику значною мірою визначається морфофункціональними особливостями організмів, що впливають на ймовірність заковтування частинок, їхню швидкість переміщення в організмі та потенціал транслокації [98].

Отримано важливі докази того, що мікропластик із великою питомою площею поверхні може слугувати переносником інших стійких забруднювачів, зокрема фармацевтичних речовин, що погано усуваються очисними спорудами. Це підсилює загальний токсичний вплив і може спричиняти непередбачувані екологічні наслідки. Зокрема, доведено посилення біоаккумуляції бензопірену у присутності МП, що розглядають як “ефект Троянського коня” [41]. Відомо також, що поєднаний вплив МП і фармацевтичних залишків водного середовища може викликати ендокринні зрушення, метаболічні порушення та

генотоксичні ефекти, хоча ці дані здебільшого отримано в умовах гострої токсичності за використання високих концентрацій чинників [41, 57].

Нещодавно ухвалена державна ініціатива «Безпечне пакування харчів» передбачає, що з 19 листопада 2025 року в Україні набирає чинності новий закон щодо матеріалів, які контактують із харчовими продуктами [23]. Документ спрямований на зменшення поширення токсичних видів пластику та гармонізацію національних вимог із нормами Європейського Союзу. Відтепер будь-яке пакування — від пластикових пляшок до контейнерів для фастфуду — повинно відповідати європейським критеріям безпеки, тобто не допускати міграції до продуктів харчування небажаних хімічних сполук. МОЗ вже встановив гранично допустимий вміст мономеру вінілхлориду — не більше 1 мг на кілограм матеріалу, що фактично унеможливило використання небезпечних типів пластику. Закон покладає на виробників відповідальність за дотримання вимог безпеки, контроль за міграцією речовин, впровадження належної виробничої практики та коректне маркування пакувальних матеріалів. При цьому існуючі види упаковок дозволено використовувати до завершення їхнього терміну придатності. Для пересічних споживачів зміни є малопомітними, однак вони сприятимуть підвищенню безпеки харчових продуктів та зменшенню впливу токсичних матеріалів на здоров'я та довкілля. Відповідно, очікується, що рівень МП у довкіллі може зменшитися.

Відтак, мікропластик являє собою дрібнодисперсні, хімічно інертні частинки, які зберігають стабільність у водному середовищі та не піддаються значущим перетворенням. Потрапляючи в організм, вони здатні спричиняти механічні ушкодження тканин, порушення фізіологічних процесів і клітинної сигналізації, а також індукувати розвиток окисного стресу. Проте інформація щодо загроз МП не адаптована до шкільного курсу хімії. Серед тестів забруднення та токсичності МП є такі, що доступні для виконання у шкільному експерименті. Відтак, розробка адаптованих до рівня вимог профільної хімічної освіти інформації щодо забруднення середовища МП та експериментальних методів оцінки його токсичності сприятиме формуванню екологічної

свідомості, дослідницьких компетенцій та експериментальних навичок учнів профільних класів.

1.2. Стан реалізації проблеми дослідницьких проєктів у шкільній практиці

Відповідно до Закону України «Про загальну середню освіту», старша школа функціонує як профільна, що забезпечує умови для особистісно орієнтованого навчання, враховуючи освітні інтереси, здібності та професійні наміри учнів. У сучасній редакції Концепції профільного навчання наголошується, що профільне навчання є формою диференціації, спрямованою на задоволення освітніх потреб старшокласників шляхом урахування їхніх індивідуальних нахилів і здібностей. Реалізація профільності забезпечується через трансформацію цілей, змісту, структури та організації освітнього процесу, що дозволяє підтримувати процес професійного самовизначення учнів. Згідно з положеннями Концепції у профільній школі кожен учень має можливість вибрати власну освітню траєкторію. Одним із напрямів, за яким здійснюється профільне навчання у старших класах, є природничо-математичний, у межах якого виокремлюють біологічний (хіміко-біологічний) профіль [10]. Спеціалізована хімічна підготовка розглядається як одна з найефективніших форм розвитку в учнів дослідницьких умінь і наукового мислення [77].

В умовах сучасної школи ключовою метою є забезпечення виконання вимог Державного стандарту та формування життєвої компетентності здобувача освіти. Під учнівською компетентністю розуміють інтегрований результат навчання, що охоплює знання, уміння, ставлення й здатність застосовувати їх у реальних ситуаціях. Сучасні соціальні виклики підтверджують, що саме учень, який володіє сформованими життєвими компетентностями, здатний успішно реалізувати себе у суспільстві як свідомий громадянин, фахівець і носій культури.

Важливою умовою розвитку ключових компетентностей є залучення учнів до виконання навчальних дослідницьких проєктів. У програмах з хімії передбачено орієнтовні теми таких проєктів (за вибором), а їх виконання може здійснюватися індивідуально або в групах, що забезпечує формування дослідницької самостійності, вміння працювати в команді та аналізувати отримані результати.

Система дослідницьких компетенцій учнів старших класів у профільній хімічній освіті складається з трьох груп: загальнонаукові дослідницькі компетенції, науково-дослідницькі компетенції та спеціальні хімічні дослідницькі компетенції [18, 77].

Провідною формою організації навчання у сучасній школі виступає самостійна робота учнів. Її змістовою особливістю має бути не репродуктивне відтворення інформації, а залучення здобувачів освіти до дослідницької та пошукової діяльності. Такий підхід сприяє розвитку здатності генерувати нові ідеї, здійснювати їх критичний аналіз, самостійно ухвалювати рішення, формувати власні судження й аргументовану позицію, а також ефективно взаємодіяти у групі під час розв'язання спільних навчальних завдань.

Проблеми організації проєктної діяльності у процесі професійної підготовки майбутніх кваліфікованих спеціалістів досліджено в наукових працях провідних вітчизняних учених, зокрема: М. Аніщенко, М. Артюшиної, Т. Герлянд, О. Глущенко, Н. Кулалаєвої, Н. Любчака, Н. Романова, Г. Романової, А. Ткачук, М. Шимановського, С. Ящук, та ін. [2, 3, 9] Питання розробки і використання проєктних технологій вивчали Т. Вороненко; І. Єрмаков; О. Коберник; П. Лузан; О. Пометун; Л. Романенко, М. Романовська; В. Сидоренко; Ю. Шапран, Л. Довгопола; С. Ящук та ін. [8, 16, 18]. Серед таких методів є метод проєктів, що передбачає виконання учнями дослідницьких проєктів з хімії.

Проєктна діяльність у старшій школі може мати теоретичний або експериментальний характер. Тривалість виконання проєкту варіює: від одного заняття (мініпроєкт) та кількох днів (короткотривалий проєкт) до навчального

року (довготривалий проєкт). Представлення та обговорення результатів (захист) відбувається на окремому уроці або інтегрується в проведення заняття з відповідної теми [2]. Робота над проєктом залучає учнів до творчої та пошукової діяльності, розвиває навички співпраці як у межах учнівської групи, так і у взаємодії з дорослими — учителями та батьками. Така форма навчання стимулює пізнавальний інтерес, сприяє відкриттю нових знань, формує вміння експериментувати, визначати шляхи розв'язання проблем, відповідально ставитися до власної роботи, що загалом підвищує якість засвоєння навчального матеріалу. Проєктна робота також дає можливість учням проявити індивідуальність, ініціативність і активність на кожному етапі дослідження. Завершений груповий продукт підсилює впевненість школярів у власних можливостях, сприяє зростанню самооцінки та формує відчуття компетентності у темі, що вивчається.

Організація проєктної діяльності здійснюється за типовою схемою. На початку роботи педагог окреслює тему, формулює мету й завдання проєкту, визначає тривалість його виконання, необхідні ресурси та можливі шляхи реалізації. Упродовж усього періоду роботи вчитель координує діяльність учнів, допомагає у пошуку та відборі інформації, здійснює методичний супровід, підтримує і мотивує учасників. Ефективність проєктного навчання значною мірою залежить від професійної компетентності педагога: він має не лише володіти предметом, а й орієнтуватися в суміжних галузях, розуміти індивідуальні особливості здобувачів освіти, враховувати їхні інтереси, бути гнучким, творчим і толерантним [2, 3].

Проєкт обов'язково має завершуватися практично значущим результатом. Матеріали дослідження можуть бути оформлені у вигляді мультимедійної презентації, усної доповіді (за потреби — з демонстрацією результатів домашнього хімічного експерименту), моделі, колекції, буклету, стінної газети, статистичного звіту, тематичного заходу чи реферативного повідомлення, що включає обґрунтування актуальності, новизни, практичної значущості та основні висновки.

Оцінювання проектної діяльності учнів залишається надзвичайно складним завданням, оскільки потребує аналізу результатів кожного учасника індивідуально та врахування його особистого внеску. Залучення учнів до процесу оцінювання сприяє формуванню у них об'єктивної самооцінки та відповідальності за власну діяльність. Оцінювання проектів здійснюється за шістьма критеріями, оцінка за кожним із яких варіює від 0 до 2 балів: повнота розкриття теми, цікавість, пізнавальність, наочність, естетичність та ефективність співпраці в групі [6, 17].

Проектна діяльність сприяє розвитку ініціативності, самостійності та організаторських здібностей учнів і водночас стимулює процес їхньої самореалізації. У ході роботи над проектами підвищується пізнавальна активність та критичне мислення, формуються навички переконливої презентації власних ідей, ефективного спілкування та обстоювання особистої позиції. Учні здобувають досвід роботи в команді, вчать розподіляти відповідальність, аналізувати та систематизувати інформацію з різних джерел. Узагальненим результатом такої діяльності є усвідомлення власних життєвих перспектив, можливих ролей у суспільстві, визначення власних покликань та формування життєвого досвіду, що сприяє розвитку особистісної та професійної компетентності [6, 14, 17].

Впровадження розроблених проектів у практику підготовки здобувачів професійної освіти з курсу «Хімія. 10-11 класи» дає принципово нову модель природничої освіти з новими можливостями і результатами. Хімічний компонент навчання спрямований на оволодіння знаннями про речовини та їх перетворення, закономірності хімічних процесів і методи дослідження, формування практичних навичок безпечного поводження з хімічними речовинами. Він також сприяє усвідомленню екологічних проблем, формуванню цілісного уявлення про хімічну картину світу та розвитку здатності оцінювати роль хімії у виробництві, повсякденному житті та соціальних процесах. Дослідницькі проекти з хімії у старших класах можуть досліджувати хімію навколишнього середовища (наприклад, очищення води або

біорозкладні пластмаси), харчову науку (аналіз поживної цінності або консервантів), матеріалознавство (тестування властивостей нових матеріалів) та біохімію (активність ензимів або антибактеріальні властивості натуральних продуктів). Інші теми включають аналіз хімічних складів, дослідження енергетичних розчинів або навіть вивчення хімії предметів повсякденного вжитку.

Активне залучення здобувачів до проєктної дослідницької діяльності з хімії сприяє розвитку креативного мислення, формування предметної і професійної компетентностей, а отриманий досвід знайде застосування у галузі. Щодо дослідницьких проєктів з проблем мікропластику, то не зважаючи на їх соціальну заангажованість, наявні проєкти мають здебільшого просвітницький характер, тоді як експериментальна складова зведена до мінімуму. Можна сказати, що ці проєкти «не працюють» на підвищення хімічної кваліфікації.

Дослідницькі проєкти у старших класах, присвячені проблемі МП, не пов'язані з хімічними знаннями, тобто не розвивають відповідні компетенції учнів у вивченні хімії. Прикладом реалізації цих завдань є дослідницький проєкт «Молодь обирає майбутнє без пластику», який виконала учениця 11-А класу ЗНЗ І–ІІІ ст. №2 імені М. Горького Олександрійської міської ради, Тягінка Лілія (Додаток А) [13]. Проєкт демонструє, як учні можуть застосовувати отримані знання з хімії та екології для практичного дослідження актуальних проблем, формувати навички самостійної роботи, критичного мислення та проєктної діяльності. Презентація цього проєкту анонсує його як дослідницький, проте серед 20 представлених слайдів, на жаль, ми не знайшли власне елементів формування дослідницьких компетенцій, особливо стосовно хімії. Натомість, замість асоціативних ілюстрацій, слайди пересичені текстами декларативного характеру та інформацією про наявність пластикових виробів. Про МП, як основну загрозу використання пластику, у проєкті не йдеться. Цей проєкт формує спрощене уявлення про дослідницьку діяльність та не сприяє закріпленню фундаментальних хімічних знань.

У методичному посібнику Бабука та Кречко (2021) [4] автори приділяють увагу формуванню в учнів культури сортування побутових відходів. Посібник включає матеріали, які розкривають теоретичні та методичні основи сучасних підходів до розвитку екологічної грамотності – однієї з ключових компетентностей Нової української школи. Практична частина видання, складена на основі тематичних розробок авторів-упорядників, дає змогу ефективно використовувати матеріали як під час уроків, так і в позаурочній діяльності.

Проте, на наш погляд, на уроках хімії формування екологічної грамотності учнів має відбуватися не лише через «виховання культури сортування побутових відходів», а здебільшого через забезпечення фундаментальних знань про будову, властивості та потенційну токсичність пластикових виробів і продуктів їх деградації. Крім того, такий підхід сприятиме підвищенню мотивації до вивчення полімерних матеріалів і розвитку наукового мислення учнів.

У додатку 1 цього посібнику наведено приклад розробленого заняття, який ілюструє недоречне використання навчального часу та неспроможність екологічних підходів виконати завдання оцінки екотоксичності МП за наведеною схемою (Додаток Б).

На нашу думку, лише обґрунтування хімічними основами проблематики може забезпечити успіх у посиленні мотивації учнів та розвитку відповідних компетенцій.

Шкільною програмою у 10 класі при вивченні пластмас передбачено виконання лише одного навчального проєкту (Табл. 1.2) [25].

Зміст освітньої програми з хімії у 10 класі щодо перспективи вивчення пластику (Хімія 10-11 класи Профільний рівень. Навчальна програма для закладів загальної середньої освіти)

| Тема 7. Синтетичні високомолекулярні речовини та полімерні матеріали на їх основі | | |
|--|---|--|
| Очікувані результати навчання учня/учениці | Зміст навчального матеріалу | Практична складова |
| <p>Знансвий компонент наводить приклади полімерних сполук, найважливіших пластмас і полімерних матеріалів на їхній основі.</p> <p>Діяльнісний компонент розрізняє синтетичні органічні речовини: пластмаси, каучуки, волокна; складає молекулярні і структурні формули мономерів і полімерів; рівняння реакцій, які характеризують способи добування полімерів; характеризує методи синтезу полімерів; властивості термопластичних, термореактивних полімерів, синтетичних каучуків, синтетичних волокон; порівнює природні, штучні й синтетичні полімерні матеріали; установлює причинно-наслідкові зв'язки між складом, будовою, властивостями та застосуванням полімерів; дотримується правил експлуатації виробів із синтетичних матеріалів.</p> | <p>Особливості високомолекулярних сполук, їхня відмінність від низькомолекулярних сполук.</p> <p>Класифікація полімерів. Хімічна будова полімерів. Лінійна, просторова та розгалужена будова полімерів. Залежність властивостей полімерів від їхньої будови. Термопластичні й термореактивні полімери. Методи синтезу високомолекулярних речовин: полімеризація, поліконденсація. Поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирен, поліакрилова кислота та її похідні, фенолоформальдегідні смоли. Склад, властивості, застосування.</p> <p>Синтетичні каучуки, їхні властивості та застосування. Гума.</p> | <p>Демонстрації</p> <p>1. Зразки пластмас, синтетичних волокон, каучуків, клеїв, герметиків, лакофарбових матеріалів.</p> |
| | | <p>Лабораторні досліді</p> <p>1. Дослідження властивостей термопластичних полімерів.</p> <p>2. Порівняння властивостей каучуку і гуми.</p> <p>3. Відношення синтетичних волокон до розчинів кислот і лугів.</p> |

| Тема 7. Синтетичні високомолекулярні речовини та полімерні матеріали на їх основі | | |
|---|--|--|
| Очікувані результати навчання учня/учениці | Зміст навчального матеріалу | Практична складова |
| Ціннісний компонент <i>робить висновки</i> про залежність властивостей полімерів від їх складу та будови; <i>висловлює судження</i> про значення полімерів у суспільному господарстві і побуті; <i>оцінює</i> вплив пластмас на довкілля. | Синтетичні волокна. Поліестерні та поліамідні волокна, їх склад, властивості, застосування. Поняття про композиційні полімерні матеріали. Поняття про клеї, герметики, лакофарбові матеріали. Поняття про маркування пластмас. | <i>Практичні роботи</i> 1. Розпізнавання деяких пластмас і волокон. |
| | | <i>Навчальні проекти</i> 1. Рециклінг як цивілізований спосіб утилізації твердих побутових відходів. |

Висновки до розділу I

Відтак, під час навчання у магістратурі та вивчення дисципліни «Супрамолекулярна хімія» у магістрантів складаються передумови до адаптації отриманих знань щодо полімерів до створення наукових проєктів у профільних класах. Реалізацію таких передумов ми продемонструємо на прикладі проєкту «Мікропластик».

РОЗДІЛ ІІ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ

2.1. Загальні питання методики експерименту

Для кількісної оцінки частинок МП у водному середовищі та м'яких тканинах молюска було застосовано оптичний метод із забарвленням частинок барвником Ніл червоний (Nile red). Метод дозволяє реєструвати мікропластик з розміром частинок 0,1-0,5 мм, який відповідає розміру мікропластику, утвореного у прісних водоймах в результаті первинного руйнування пластикових виробів.

Реагенти та матеріали: Для виконання дослідження потрібні сита з розміром пор 0,1 і 0,5 мм. Такі сита є доступними, зокрема [89] і не дороговартісними. Гідроксид калію та пероксид водню використовували для омилення жирів та розщеплення тканин з додаванням додецилсульфату натрію (0,5% мас./об.). Барвник Ніл червоний (Nile red) - це ліпофільний флуоресцентний барвник, який в основному використовується в біологічних дослідженнях для візуалізації жирових крапель у клітинах за допомогою флуоресцентної мікроскопії. Його хімічна назва — 9-(діетиламіно)-5Н-бензо[а]феноксазин-5-он, а номер CAS — 7385-67-3. Його ціна 22.50 грн/100 г, що робить його доступним для шкільного експерименту. Використовували його у концентрації 10 мкг/мл, як розчинник додавали 10% диметилсульфоксид.

Для отримання МП розміром 0,1 - 0,5 мм використовували пляшки з поліетилентерафталату (ПЕТ) для води, а також комерційні леза з нержавіючої сталі. Після подрібнення пластик просіювали за допомогою сит з розміром пор 0,1 і 0,5 мм. Отриманий порошок розміром 0,1-0,5 мм додавали в акваріуми, концентрацією МР 1,0 мг/л, що відповідало ≈ 850 частинок/л у середньому. Для порівняння також оцінювали можливість візуалізувати присутність МП полістиролу (Sigma Aldrich) розміром 2 мкм. Концентрацію МП у воді визначали після фільтрування води через 7-15 мкм мембранний фільтр.

Об'єкт дослідження: Для визначення вмісту МП у воді відбирали воду з річки Серет (Тернопіль, нижче ставу) та для визначення вмісту МП у тканинах двостулкових молюсків використовували поширеного у водоймах Тернопілля та, загалом, Північної півкулі, молюска перлівницю *Unio tumidus*. Для аналізу відбирали загальну масу м'яких тканин. Для реалізації запропонованого способу поміщають п'ять екземплярів двостулкового молюска *U. tumidus* у досліджуване середовище об'ємом 5 л. Через дві доби (мінімально) відбирають молюсків. Усі подальші дії виконують під витяжною шафою, а весь скляний посуд та лабораторні інструменти тричі промивають дистильованою водою перед використанням. Молюска розсікають, видаляють та зважують всю м'яку тканину, після чого поміщають у скляний контейнер і заморожують. Для омилення жирів та руйнування біологічних тканин додають 10 мл 1 М КОН і 5 мл 0,5 % (маса/об'єм) водного розчину додецилсульфату натрію на грам тканини молюска. Склянку поміщають на 24 год у водяну баню при температурі 50°C, протягом цього часу обережно струшують. Після 24-годинної інкубації вміст фільтрують через мембранний фільтр (7-15 мкм). Фільтри поміщають у вихідний контейнер для окиснення 30 % пероксидом гідрогену для розщеплення залишків біоорганічного матеріалу. Після цього частинки МП фарбують флуоресцентним барвником Ніл червоний (Nile Red) у концентрації 10 мкг/мл у 10% диметилсульфоксиді (ДМСО). Фільтри досліджують під світловим мікроскопом (при збільшенні 40 x), з додатковим освітленням ультрафіолетовою лампою (УАТО УТ-08582, 395 нм).

Для оцінки ефективності фільтруючої здатності молюсків відбирають воду з досліджуваного середовища до внесення організмів-біоіндикаторів та одночасно з їх аналізом. Концентрацію МП у воді визначають після фільтрування води через 7-15 мкм мембранний фільтр.

Обчислюють коефіцієнти акумулюючої здатності молюска $CF=C_i/C_0$, де C_i – вміст МП у тілі молюска у експериментальному середовищі, C_0 – вміст МП у тілі молюска у не забрудненій воді, та $CA=(C_g/C_w) \times 100\%$, де C_g – концентрація

МП у тілі молюска (частинок/г тканини), C_w – концентрація МП у відповідному середовищі (частинок/л).

Для визначення кількості частинок у кожному зразку біологічної тканини застосовували модифікований метод із використанням гідроксиду калію та пероксиду водню, що дозволяє омилити жири та розщепити тканини [84]. На грам м'якої тканини молюска додавали 10 мл 1 М КОН та 5 мл 0,5% мас./об. додецилсульфату натрію у склянці відповідного об'єму, яку накривали алюмінієвою фольгою. Склянку розміщували на водяній бані при 50 °С протягом 24 годин, періодично обережно струшуючи. Після завершення інкубації вміст фільтрували через мембранні та целюлозні фільтри, які потім повернули у вихідну склянку для подальшого окислення пероксидом водню згідно зі стандартною процедурою для видалення залишків органічного матеріалу. Частинки пластику фарбували барвником Nile red у концентрації 10 мкг/мл, використовуючи 10% диметилсульфоксид як розчинник, після чого проводили дослідження під світловим мікроскопом. Результати подавали у вигляді середнього значення \pm SD. Статистичний аналіз виконували за допомогою параметричного t-критерію Стьюдента з рівнем значущості $p < 0,05$. Для розрахунків використовували програмне забезпечення IBM SPSS Statistics версії 24 для Windows. Обчислювали коефіцієнти акумулюючої здатності молюска $CF=C_i/C_0$, де C_i – вміст МП у тілі молюска у експериментальному середовищі, C_0 – вміст МП у тілі молюска у не забрудненій воді, та $CA=(C_g/C_w) \times 100\%$, де C_g – концентрація МП у тілі молюска (частинок/г тканини), C_w – концентрація МП у відповідному середовищі (частинок/л).

2.2. Методика проведення дослідницького експерименту та аналіз його результатів

Першим етапом дослідницького експерименту став констатувальний аналіз, який було спрямовано на виявлення наявного стану ерудиції, рівня сформованості навичок, знань або якостей особистості без активного втручання вчителя у процес. Його мета — отримати об'єктивні вихідні дані (зріз) для подальшого аналізу або для порівняння з результатами формувального

(перетворюючого) експерименту. Під час констатувального експерименту для виявлення рівня знань нами було застосовано анкетування учнів для фіксації їх знань про мікропластик та умінь здійснювати відповідні розрахунки та експериментальні маніпуляції. Як зазначають Анічкіна та співавт. (2022) [1], цей тип експерименту призначений для виявлення існуючих фактів та зв'язків між явищами, а не для активного перетворення об'єкта дослідження. Відтак, учням було підготовлено анкети із питаннями (Табл. 2.1):

Таблиця 2.1

Зміст анкет учнів 10 класу у констатувальному етапі експерименту

| № завдан ня | Питання | Правильна відповідь |
|----------------|--|---|
| 1 | Назвіть позначення видів пластику, які застосовуються у побуті | ПВХ (PVC) –полівінілхлорид ПЕ (PE) –поліетилен ПЕТ (PET)– поліетилентерефталат ПП (PP) – поліпропілен ПС (PS) - полістирол |
| 2 | Які ознаки руйнування пластику у довкіллі? | зменшується еластичність і міцність, збільшується механічна жорсткість і крихкість. |
| 3 | З огляду на хімічний склад мікропластику, спрогнозуйте його механізм дії в організмі: а). вплив хімічних продуктів перетворення, б) механічний вплив на біологічні структури мікрочастинок, в) виводиться з травного тракту без ушкоджуючої дії | Б. |

| № завдання | Питання | Правильна відповідь |
|------------|---|--|
| 4 | Який вид мікропластику шкідливіший для організму: первинний (0,1-0,5 мм), чи вторинний (1-10 мкм)? Відповідь обґрунтуйте | Вторинний. Значно більша кількість частинок за аналогічної концентрації, які мають вищу проникаючу і руйнівну дію стосовно біологічних тканин. |
| 5 | Обчислити кількість частинок МП у водному середовищі при його концентрації 1 мг/л залежно від розмірів частинок, припускаючи, що густина вихідного пластику 1 г/мл. А) 0,1-0,5 мм; Б) 2 мкм | Для МП 0,1-0,5 мм - ≈ 850 частинок/л у середньому. Для МП розміром 2 мкм - $\cdot 4 \cdot 10^8$ частинок/л. Рис.2.1. ілюструє приклад розрахунку кількості МП у водному середовищі з врахуванням густини МП ~ 1 г/мл. |
| 6 | З огляду на розмір мікропластику, оцініть можливості його експериментального виявлення у середовищі оптичними методами | через більший розмір частинок у прісній воді ($\sim 100-500$ мкм), яка є основним реципієнтом пластикового забруднення та системою перенесення мікрочастинок, кількість частинок відповідає лімітам 0,003-23 одиниці/л. Частинок розміром 1-10 мкм не ідентифікуються сучасними методами моніторингу у прісних водах. |
| 7 | Назвіть приклади застосування пластиків у побуті | пляшки для напоїв, пляшки для молока та засобів гігієни, труби, віконні рами, покриття, пакети, плівка, кришки, контейнери для сметани, одноразовий посуд, одноразовий посуд, упаковка для яєць, пінопласт. |

По завершенню експерименту вчитель розглянув з учнями приклади обрахунків кількості мікропластику у середовищі за однакової маси та різного розміру (Рис. 2.1) відображає цей процес під-час спілкування з учнями).

$$d = 500 \mu\text{m}$$

$$r = 250 \mu\text{m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = 4,2 r^3 = 65,625 \times 10^6 \mu\text{m}^3$$

$$\frac{1 \text{ mg} / 1 \mu}{1 \times 10^9 / 10^6 \mu\text{e}}$$

$$\text{У } 1 \mu: 1 \times 10^9 \mu\text{m}^3 / 65,625 \times 10^6 \mu\text{m}^3 = 15,24$$

$$d = 100 \mu\text{m}$$

$$r = 50 \mu\text{m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = 525 \times 10^3 \mu\text{m}^3$$

$$\text{У } 1 \mu: 1 \times 10^9 \mu\text{m}^3 / 525 \times 10^3 \mu\text{m}^3 = 1,9 \times 10^3$$

Тобто, якщо $d = 0,5 - 0,1 \text{ mm}$, то $N = 15,24 - 1,9 \times 10^3$ частинок

Рис. 2.1 Приклад розрахунку кількості частинок МП розміром 0,1 і 0,5 мм у водному середовищі.

Результати констатувального етапу представлені у Табл. 2.2. Загальний результат (за кількістю відповідей, повних та неповних) було здійснено на підставі обчислення за А. А. Киверяглом: $K = \sum(I_0) / (n \times I_a)$, де n – кількість учнів у експериментальній групі, $\sum(I_0)$ – сума засвоєних елементів знань та умінь. I_a – число елементів знань, повідомлених кожному учневі), $K = \sum(I_0) / (n \times I_a) = 67\%$ (за кількістю позитивних відповідей загалом), повних та неповних) та 33% за кількістю повних відповідей.

**Результати констатувального аналізу результатів учнів 10 класу
під-час творчого експерименту «Мікропластик»**

| № завдання | Кількість учнів | Вичерпна відповідь | Неповна відповідь | Відсутність відповіді |
|------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 10 | 1 | 5 | 4 |
| 2 | 10 | 3 | 4 | 3 |
| 3 | 10 | 4 | 2 | 4 |
| 4 | 10 | 2 | 4 | 4 |
| 5 | 10 | 4 | 3 | 3 |
| 6 | 10 | 2 | 3 | 5 |
| 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |

Констатувальний етап показав, що лише 40% опитуваних учнів обчислили кількість частинок МП у воді за масової концентрації 1 мг/л (Табл. 2.2). Відтак, формувальний етап педагогічного експерименту полягав у оцінюванні ефективності розвитку визначених компонентів експериментальної компетентності майбутніх хіміків у процесі їхньої професійної підготовки в закладах вищої освіти. Результати проведеного констатувального етапу дослідження дозволили визначити, що в середньому 33 % учнів мають високий рівень сформованості експериментальної компетентності, переважна більшість 34% володіє достатнім рівнем, і 33% виявили низький рівень сформованості знань щодо тематики експерименту.

Експеримент з реалізації дослідницького проєкту «Мікропластик" було проведено у період з листопада 2024 р по січень 2025 р на базі НДЛ порівняльної біохімії та молекулярної біології із слухачами Тернопільського відділення МАН. Для перевірки гіпотези дослідження було обрано константну методику експерименту, тобто була відсутня контрольна група учнів. Це було обумовлено обмеженою кількістю учнів та етичними вимогами, згідно яких,

кожен учень мав право розвинути свої компетенції. Відтак, у наших умовах було нереально застосувати метод «інтервенція/контроль».

Детальний план експерименту включав мету роботи: створити, обґрунтувати та апробувати навчально-дослідницький модуль «Мікропластик» для курсу хімії профільної школи.

У процесі дослідження ми виходили з гіпотези, згідно якої експериментальне дослідження МП у об'єктах довкілля забезпечить підвищення якості вивчення полімерних матеріалів та стимулюватиме інтерес учнів до власної дослідницької діяльності.

Проведення експерименту: Розроблені нами методи оцінки вмісту МП у воді та у живих тканинах було застосовано у контрольованих умовах позакласного експерименту.

Створення умов: Було створено контрольовані умови для проведення експерименту, які дозволять виявити вміст МП у водному середовищі та живих організмах. У позаурочний час учні здійснили відбір молюсків перлівниці *U. tumidus*. Воду доставили у лабораторію, де відразу дослідили. Частину екземплярів перлівниці використали на другий день після відбору, а частину утримували у акваріумі з аератором протягом 14 діб, відбираючи що два дні екземпляри для дослідження.

Результати експерименту. Результати виявлення частинок МП оптичними методами представлено на Рис. 2.2. З нього бачимо, що можливості використання світлового мікроскопу є адекватними до обчислення вмісту МП розміром 0,1-0,5 мм у водному середовищі чи тканинах. Разом з тим, частинки розміром 2 мкм у таких умовах не візуалізуються. Їх виявляли тільки за допомогою металографічного мікроскопа при збільшенні 125×. Аналіз вмісту МП у річковій воді показав, що частинки розміром близько 100 – 500 мкм містяться у ній у концентрації близько 100 частинок/л води, проте і у воді лабораторного басейну також було зафіксовано присутність цих частинок, хоча у 20 разів меншій концентрації. Слід відзначити, що склад, розмір та

концентрація МП є типовими для прісних водойм у ділянках нижче розташування водоочисних споруд [29, 86].

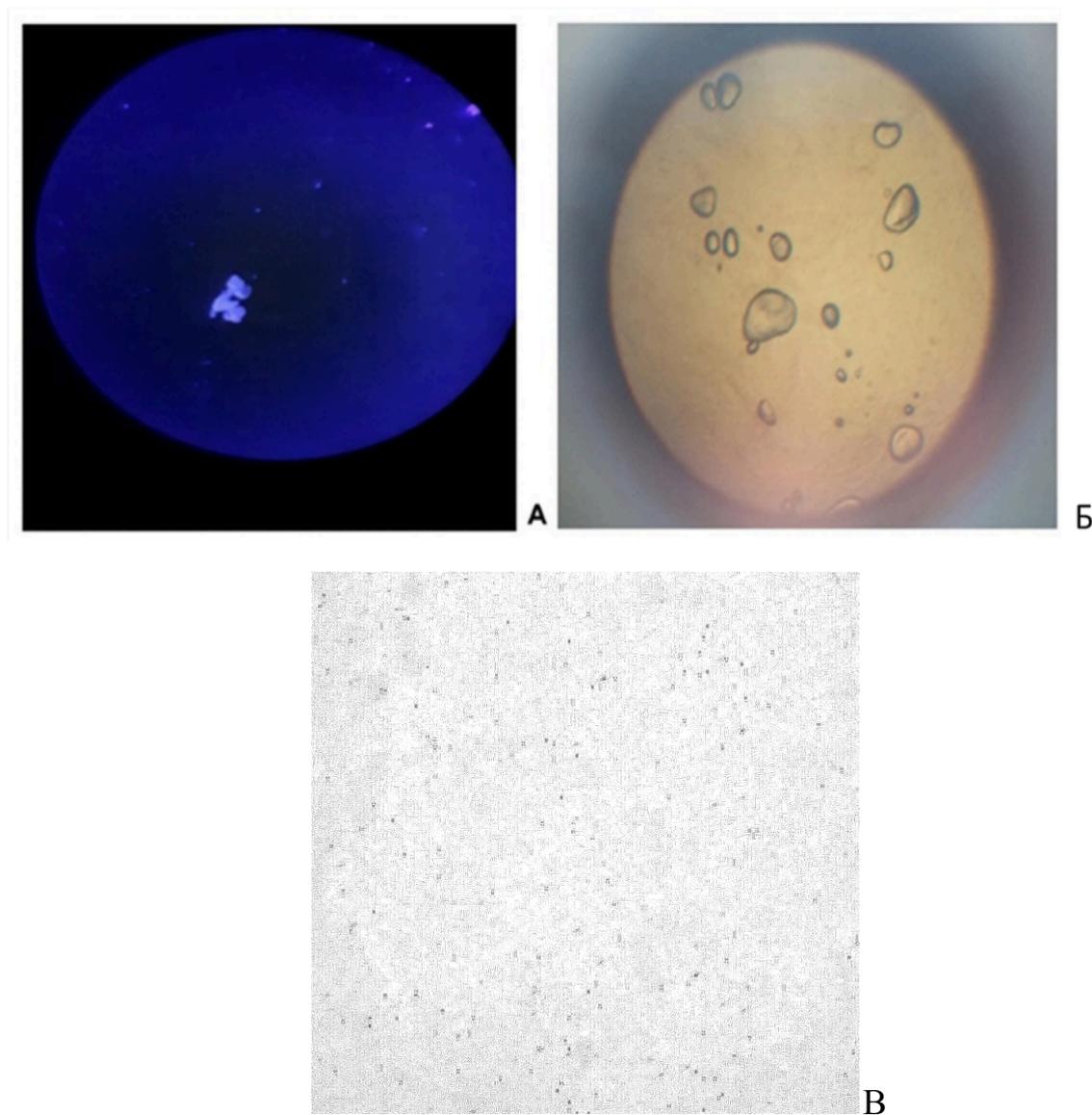


Рис. 2.2. Виявлення мікропластику в експериментальному середовищі (1 мг/л): А – оптичний мікроскоп із флуоресцентним освітленням (збільшення 40×), частинки пластику розміром 0,1–0,5 мм, пофарбовані барвником Nile red, видимі як яскраві структури; Б – металографічний мікроскоп (збільшення 125×), частинки пластику 0,1–0,5 мм; В – металографічний мікроскоп (збільшення 125×), частинки пластику розміром 2 мкм.

Результати визначення вмісту МП у м'яких тканинах перлівниці, відібраної з водойми, показали, що а) у річковій воді міститься МП, причому вміст мікропластику, визначений у річковій воді, є співрозмірним з таким у ділянці річок та океану [40, 43, 68, 96]; б) у результаті хронічного перебування

молюсків у річковій воді у їх організмі акумулюється МП. Хоча у лабораторному басейні відбувається очистка організму від цих частинок, проте певна їх частина залишається у м'яких тканинах (Табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Концентрація МП у м'яких тканинах двостулкового молюска *U. tumidus* (M±SD, N = 4) та у воді з р Серет (M±SD, N =3) у порівнянні з контролем (7 днів перебування у лабораторному басейні)

| Показник | Контроль (лабораторний басейн) | Водойма |
|---|-----------------------------------|------------|
| Число частинок у тілі перлівниці | 9,5±0,6 | 86,5±5,1* |
| Число частинок на грам маси м'яких тканин | 0,35±0,03 | 4,91±0,21* |
| Число частинок у воді на л | 5 | 107 |

Примітка. * - відхилення порівняно з контролем вірогідне при $p < 0,05$;

Результати експериментальної експозиції молюсків у присутності мікропластику (МП) у лабораторних умовах показали, що зміни кількості частинок у тканинах молюсків і у воді з додаванням 1 мг/л МП змінювалася узгоджено з протилежною закономірністю (Табл. 2.4, Рис. 2.3). На початковий день інкубації (0 день, без додавання МП) кількість частинок у тканинах була мінімальною, проте до 2-ї доби експозиції з МП розміром 0,1–0,5 мм та концентрацією 1 мг/л спостерігалася різке зростання накопичення. Максимальне накопичення МП у м'яких тканинах молюсків відзначалося на 8–10 добу та залишалося значно підвищеним і на 14-й день експозиції.

Кількість частинок у воді експериментального акваріуму змінювалася протягом 2–14 днів у межах 590–790 часток/л. Найвищий рівень фіксувався на 2-й день, після чого спостерігалася зниження до мінімального значення на 10-й день та повторне зростання на 14-й день. Таким чином, максимальне накопичення МП у тканинах на 10-ту добу експозиції співпадало з

найінтенсивнішим вилученням частинок із водного середовища. Динаміка накопичення МП у м'яких тканинах та воді демонструвала значну негативну кореляцію ($r = -0,799$, $P < 0,05$).

Таблиця 2.4

Вміст МП в організмі перлівниці та у воді за утримування молюсків *U. tumidus* у акваріумі з вмістом мікропластика розміром 1-5-мм протягом 14 діб, $M \pm SD$, $N=4$.

| День експозиції | Кількість частинок в організмі | Кількість частинок на г тканини | Кількість частинок на довжину (см ⁻¹) | Кількість частинок у воді /л | Інтенсивність накопичення тканина/частинки /л), % |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|------------------------------|---|
| Лабораторний дослід | | | | | |
| 0 (контроль) | 9,5±0,6 ^a | 0,4±0,1 ^a | 1±0,1 ^a | 5,2±0,9 ^a | 184,6±27,7 ^a |
| 2 | 130,5±13,5 ^b | 5,0±0,9 ^b | 13,4±1,4 ^b | 790,7±4,6 ^b | 16,5±1,7 ^b |
| 4 | 208,3±16,2 ^c | 8,1±0,8 ^c | 21,1±1,5 ^c | 670,7±4,3 ^c | 31,0±2,4 ^c |
| 6 | 265,0±41,4 ^d | 10,4±1,3 ^d | 27,4±3,6 ^d | 630,5±4,2 ^d | 42,0±6,6 ^d |
| 8 | 323,6±9,4 ^e | 12,1±0,3 ^f | 35,7±0,8 ^g | 600,7±8,3 ^e | 53,9±1,6 ^e |
| 10 | 327,0±20,5 ^e | 15,6±0,7 ^e | 38,0±1,7 ^e | 590,2±6,5 ^e | 55,4±3,4 ^e |
| 12 | 270,0±10,0 ^f | 12,7±0,7 ^f | 31,5±1,5 ^f | 661,5±8,5 ^e | 40,8±1,6 ^f |
| 14 | 250,8±25,4 ^g | 9,5±1,0 ^d | 26,3±2,8 ^d | 779,5±3,4 ^f | 32,2±3,3 ^c |

Примітка: У кожному стовпчику різні літери вказують на вірогідно відмінні значення між днями експозиції ($P < 0,05$).

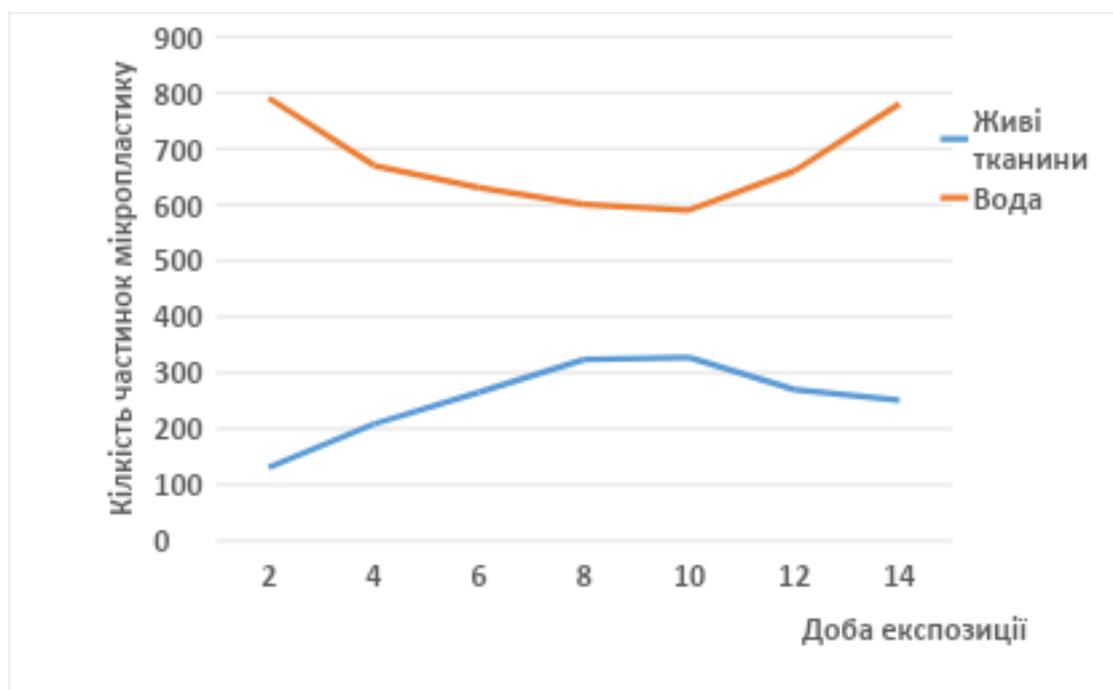


Рис. 2.3. Динаміка вмісту МП в організмі перлівниці та у воді за утримування *U. tumidus* у акваріумі з вмістом мікропластика розміром 1-5-мм протягом 14 діб.

За отриманими результатами було обраховано ефективність акумуляції МП у організмі молюсків (Табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Показники (середні значення) акумуляції МП у м'яких тканинах двостулкового молюска *U. tumidus* з водного середовища, де створювали концентрацію 1 мг/л МП (0,1-0,5 мм) протягом 14 діб інкубації

| Період інкубації, дні | $CF = C_i/C_0$ | $CA = (C_g/C_w), \%$ |
|-----------------------|----------------|----------------------|
| 2 | 14,1 | 0,6 |
| 4 | 22,5 | 1,2 |
| 6 | 28,6 | 1,6 |
| 8 | 35,0 | 1,4 |
| 10 | 35,4 | 2,6 |
| 12 | 25,0 | 1,6 |
| 14 | 27,1 | 1,2 |

Обговорення результатів експерименту. Обговорення результатів було здійснено на підставі отриманих даних і забезпечило конструктивні висновки щодо забруднення середовища мікропластиком. Для оцінки коректності отриманих результатів важливо було порівняти їх з відомостями літератури. За даними літератури, концентрація полістирольного мікропластику розміром 2–20 мкм у водоймах Кореї коливалася від 33,61 до 202,07 частинок/л, тоді як у питній воді Фландрії частинки розміром 1–50 мкм спостерігалися в кількості 3,76–5,59 частинок/л [65, 87]. Мікропластик дрібного розміру у природних водах загалом важко ідентифікувати через технічні обмеження, однак очікується, що його чисельність за кількістю частинок значно перевищує вміст мезопластику при рівній масовій концентрації [34].

Порівняння отриманих результатів із даними про присутність мікропластику у морських організмів свідчить, що прісноводні молюски здатні накопичувати МП на рівні, який відповідає або навіть перевищує показники, зафіксовані у тканинах молюсків із максимально забруднених ділянок морського середовища ($11,0 \pm 8,2$ шт./г) в Ірані серед 22 досліджених країн [43]. У цілому, порівняння польових та лабораторних експериментальних груп молюсків показало, що здатність до накопичення МП у лабораторних умовах була вищою.

Результати довели, що максимальна акумуляція МП у тілі молюска за умов регулярного поновлення його вмісту у воді реалізується після 10 діб інкубації. Проте, навіть після періоду депурації (день «0»), молюски містять у організмі МП, що характеризує максимальну акумулювальну здатність. За період двох діб рівень МП у організмі молюска зростає у сім разів, що дозволяє використовувати цей період як достатній для експрес-аналізу забруднення води.

Результати показали, що в результаті хронічного перебування молюсків у річковій воді у місцевості, де ймовірно забруднення побутовими стоками, в їх організмі акумулюється мікропластик. Порівняння з відомостями літератури показує, що вміст мікропластику, визначений у річковій воді, є співрозмірним з таким у ділянці ріки Лос Анжелес (641 частинок/л води [96]). Концентрація МП,

визначена за допомогою високочутливих методів мікроскопії у тканинах молюсків із забруднених морських вод, становила 2,1–10,5 частинки/г (Китай) [68], максимально $11,0 \pm 8,2$ частинок/г [43] та $18,4 \pm 21,9$ частинок/г [40], що співрозмірно з даними, отриманими запропонованим способом.

Таким чином, цим експериментом ми довели, що за допомогою маловитратного методу і загальнодоступного лабораторного обладнання (Мікроскоп, вага) оцінити рівень забруднення МП у досліджуваних зразках води протягом короткого часу (2 доби - 8 діб) утримування у ній молюсків та за умов існування у природній місцевості. Результати дозволяють створити інформативну базу про забруднення водойм для оцінки якості водного середовища, прогнозу створення інфраструктури для очистки водойм, та очистки середовища від забруднення мікропластиком.

Публічний захист проєкту відбувся шляхом демонстрації презентації.
(Дод. 4)

Перевірка результативності реалізації проєкту здійснювалася за такими критеріями:

Критерій 1. розширення інформованості учнів про проблему мікропластику.

Критерій 2. Зміни у сформованості експериментальних компетенцій учнів.

Критерій 3. Зміни у сформованості пізнавального інтересу учнів.

Критерій 4. розширення знань про хімічну природу побутових та промислових пластиків.

Для виявлення результативності проєкту учням було запропоновано два види анкетування та вправа з рефлексії.

Перевірка здійснювалася шляхом анкетування:

Вправа «ТАК» / «НІ»

(робота з картками)

Обвести правильний варіант «так» або «ні»

| № п/ п | Питання | Варіанти відповідей | |
|--------------|--|---------------------|----|
| | | Так | Ні |
| 1 | Процес сполучення однакових молекул з відносно низькою молекулярною масою у великі молекули – це реакція гідролізу | | + |
| 2 | Низькомолекулярна речовина, з якої добувають полімери - мономер | + | |
| 3 | Властивість пластмас розмякшуватися при нагріванні, легко формуватись у виробі і тверднути при охолодженні: в'язкість | | + |
| 4 | Процес полімеризації, у якому беруть участь два або більше різних мономерів:- ланцюгова реакція | | + |
| 5 | Група атомів, що багаторазово повторюється в макромолекулі полімеру - мономер | + | |
| 6 | Полімерні сполуки, макромолекули яких складаються зі структурних ланок однакової хімічної природи - гомополімери | + | |
| 7 | Полімер, що за хімічною стійкістю перевищує такі метали, як платину і золото, не впливає на фізіологічні процеси, тому використовується у виготовленні штучних хрящів і кісток - тефлон (фторопласт) | + | |
| 8 | Найраціональнішим способом утилізації відходів поліетилену є: складування у сміттєзвалищах | | + |
| 9 | Первинна ланка у харчовому ланцюзі, що поглинає мікропластик – це риба | | + |

Варіанти з вибором правильної відповіді

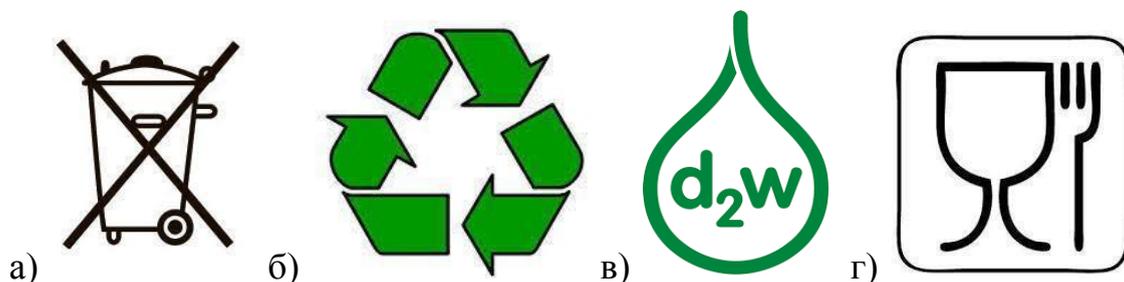
- 1. Процес сполучення однакових молекул з відносно низькою молекулярною масою у великі молекули:**
 - а) реакція ізомеризації
 - б) ланцюгова реакція
 - в) реакція гідролізу
 - г) реакція полімеризації

- 2. Низькомолекулярна речовина, з якої добувають полімери:**
 - а) мономер
 - б) радикал
 - в) структурна ланка
 - г) функціональна група

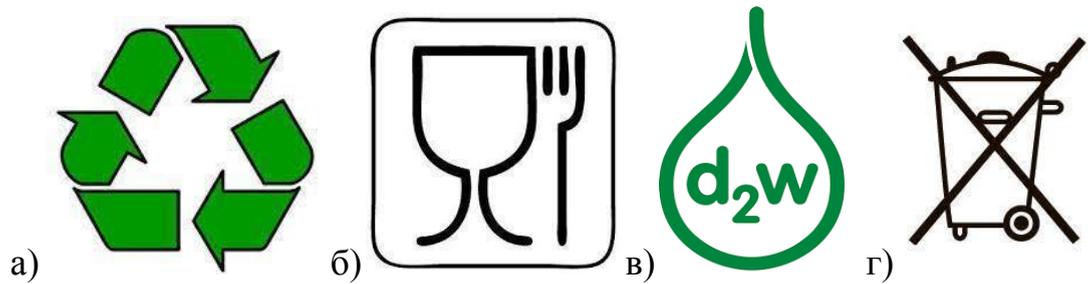
- 3. Властивість пластмас розмякшуватися при нагріванні, легко формуватись у виробі і тверднути при охолодженні:**
 - а) еластичність
 - б) термопластичність
 - в) в'язкість
 - г) термореактивність

- 4. Процес полімеризації, у якому беруть участь два або більше різних мономерів:**
 - а) реакція поліконденсації
 - б) реакція співполімеризації
 - в) ланцюгова реакція
 - г) реакція естерифікації

5. Група атомів, що багаторазово повторюється в макромолекулі полімеру:
- а) структурна ланка
 - б) радикал
 - в) мономер
 - г) функціональна група
6. Полімерні сполуки, макромолекули яких складаються зі структурних ланок однакової хімічної природи:
- а) співполімери
 - б) гомополімери
 - в) лінійні полімери
 - г) стереорегулярні полімери
7. Полімер, що за хімічною стійкістю перевищує такі метали, як платину і золото, не впливає на фізіологічні процеси, тому використовується у виготовленні штучних хрящів і кісток:
- а) полістирол
 - б) полівінілхлорид
 - в) тефлон (фторопласт)
 - г) поліетилен
8. Виберіть знак, який означає, що пакувальний матеріал вироблений з повторно переробленої сировини або містить частку повторно переробленого матеріалу:



9. Виберіть знак, який означає, що виріб виготовлено із нетоксичної сировини, і він може контактувати з харчовими продуктами:



10. Полімером, що не переробляється в природі мікроорганізмами та забруднює навколишнє середовище, є:

- а) протеїн
- б) целюлоза
- в) крохмаль
- г) поліетилен

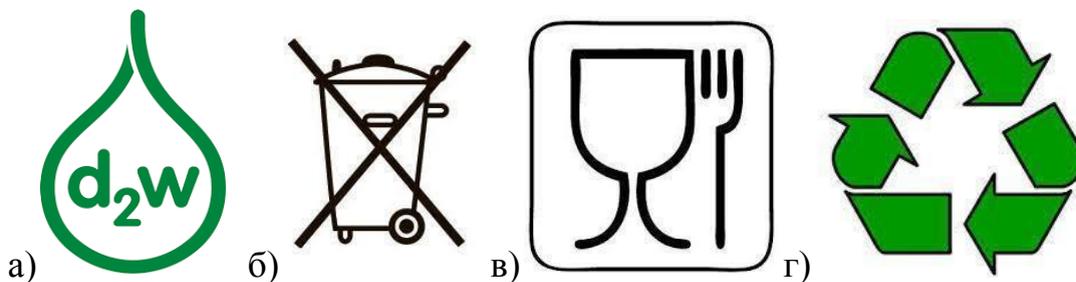
11. Найраціональнішим способом утилізації відходів поліетилену є:

- а) спалювання
- б) рециклізація (повторна переробка)
- в) скидання у водойми
- г) складування у сміттєзвалищах

12. Хто або що страждає від забруднення полімерами:

- а) птахи
- б) риби
- в) тварини, людина, рослини
- г) механізми, інформаційний простір

13. Виберіть знак, який означає, що пластик біологічно розкладається:



14. Які засоби боротьби із пластиковим забрудненням використовуєте особисто ви?

- а) мию пластикові пляшки
- б) спалюю вдома непотрібний пластик
- в) намагаюсь не купувати продукти у пластиковій упаковці, ношу торбинку з тканини, збираю навкруги пластикове сміття
- г) викидаю пластик разом з іншим сміттям

15. Оксорозкладний пластик це:

- А). пластик, що розкладається повністю живими організмами
- Б) містить домішки, що при окисленні призводять до фрагментації пластикового матеріалу на мікрофрагменти або до хімічного розкладання.
- В) виготовляється з рослинних полімерів (крохмаль, целюлоза)
- Г) це звичайний полімерний матеріал з біодобавками (частіше з крохмалем або рослинними волокнами в складі), який під впливом УФ-променів і кисню розпадається повністю

У підсумку творчого експерименту учням було запропоновано завдання з рефлексії, а саме відповісти на питання: Під час виконання проєкту... 1. Я дізнався.... 2. Я зрозумів... 3. Мені сподобалось... 4. Мені не сподобалось... 5. Я навчився... 6. Мене зацікавило... 7. Я відчував труднощі... 8. Я не вмів, а тепер умію... 9. Мене надихнуло на...

Порівняння результатів показників до експерименту (початковий рівень) та після його проведення (кінцевий рівень) було проведено за такими параметрами:

А) рівень знань про походження, міграцію та потенційні ризики мікро- та нанопластиків;

Б) здатність до створення протоколу шкільного експерименту та планування наступних експериментів (ситовий аналіз, флотація, флуоресцентне фарбування Nile Red) для виділення мікропластика з водного середовища та живих тканин на його основі;

В) уміння здійснювати обрахунки кількості речовини. Зокрема, було запропоновано дати повторні відповіді на анкету констатувального експерименту (Табл. 2.1). Результати контролю після експерименту наведено у Табл. 2.6

Таблиця 2.6

Результати тестування після експерименту учнів 10 класу під-час творчого експерименту «Мікропластик»

| № завдання | Кількість учнів | Вичерпна відповідь | Неповна відповідь | Відсутність відповіді |
|------------|-----------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 2 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 3 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| 4 | 10 | 9 | 1 | 0 |
| 5 | 10 | 8 | 2 | 0 |
| 6 | 10 | 7 | 3 | 0 |
| 7 | 10 | 7 | 3 | 0 |

Відтак, результати творчого експерименту виявили його ефективність у формуванні визначених компонентів експериментальної компетентності майбутніх хіміків у процесі професійної підготовки в ЗВО. Результати проведеного узагальнюючого етапу дослідження виявили, що в середньому 77 % учнів мають високий рівень сформованості експериментальної

компетентності, переважна більшість 23% володіє достатнім рівнем, і відсутні учні, які виявляють низький рівень сформованості знань щодо тематики експерименту.

Отримані нами результати добре узгоджуються з даними інших авторів, які займаються творчими експериментами у старших класах. Зокрема у статті [92] наводяться результати оцінювання експерименту за набором критеріїв (Рис. 2.4). Ці критерії включають: оцінку знань (коректність презентації), знання (коректність написання), спілкування (коректність виступу), спілкування (ясність виступу), кооперація – персональний і між персональний розвиток. Як видно з Рис. 2.4, найвищий успіх був отриманий у презентації, очевидно, завдяки емоційності та зацікавленістю процесом дослідження.

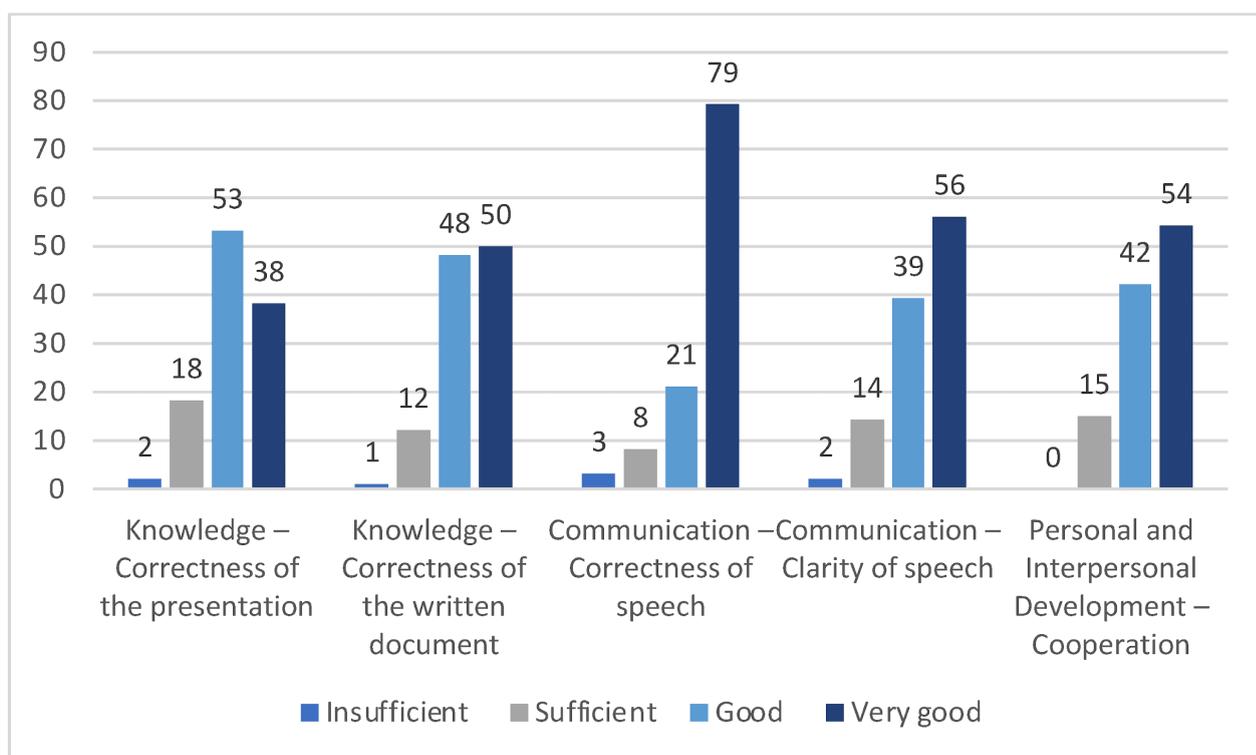


Рис. 2.4. Оцінки за категоріями критеріїв, отримані студентами за письмовий документ та за усну презентацію [92].

Отже, результати цього дослідження показали, що більшість учнів добре виконали як письмові, так і усні завдання, продемонструвавши покращені навички наукового спілкування. Це свідчить про те, що наукова освіта, що

базується на дослідженні (inquiry-based science education (IBSE)), особливо в контексті середньої освіти, може бути ефективним підходом до розвитку здібностей учнів до комунікації у межах наукових концепцій. Дослідження має значення для вдосконалення педагогічної практики та заохочує до подальших досліджень довгострокового впливу IBSE на навчання учнів.

Зацікавленість проблемою МП проявилась у учнів у пошуках позитивного рішення очистки водою від МП шляхом хімічних методів. Так, під час обговорення результатів, учні прокоментували новітнє відкриття бразильських вчених щодо можливості адсорбції частинок МП завдяки здатності утворювати «корону». Зокрема, сутність методу полягає у використанні магнітних наночастинок, покритих особливим полімером — полідофаміном (Рис. 2.5). Цей полімер має унікальну здатність міцно зв'язуватися з різними видами пластику. Після додавання магнітних наночастинок у забруднену воду, вони «притягуються» до мікропластикових частинок, утворюючи з ними комплекси. Потім, за допомогою магнітного поля, ці комплекси легко видаляються з води [52, 88]. Принцип такої очистки від МП ілюстровано Рис. 2.6.

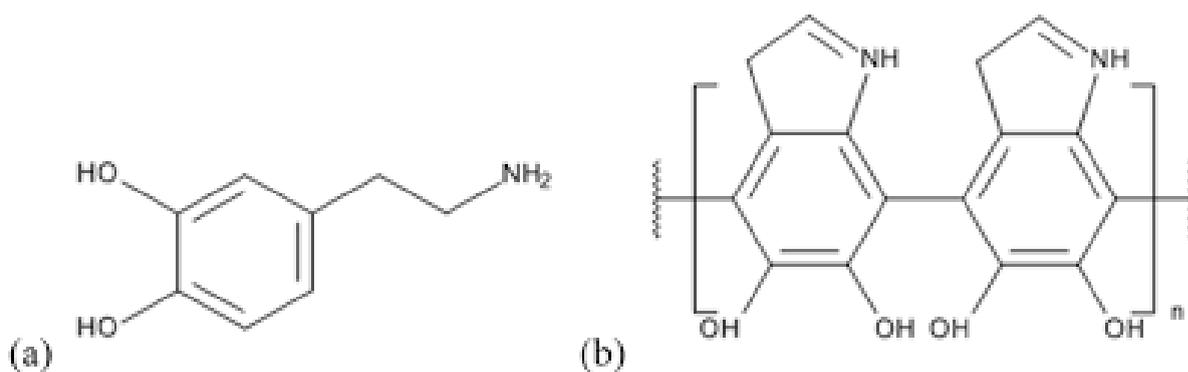


Рис. 2.5. Структура дофаміну (а) та полідофаміну (б).

Цей приклад інформації, запропонований учнями, є особливо цінним, оскільки доводить їх сформовану зацікавленість у отриманні інформації англійською мовою. Було відзначено глибокий розрив між станом інформативної бази щодо мікропластику українською та англійською мовами.

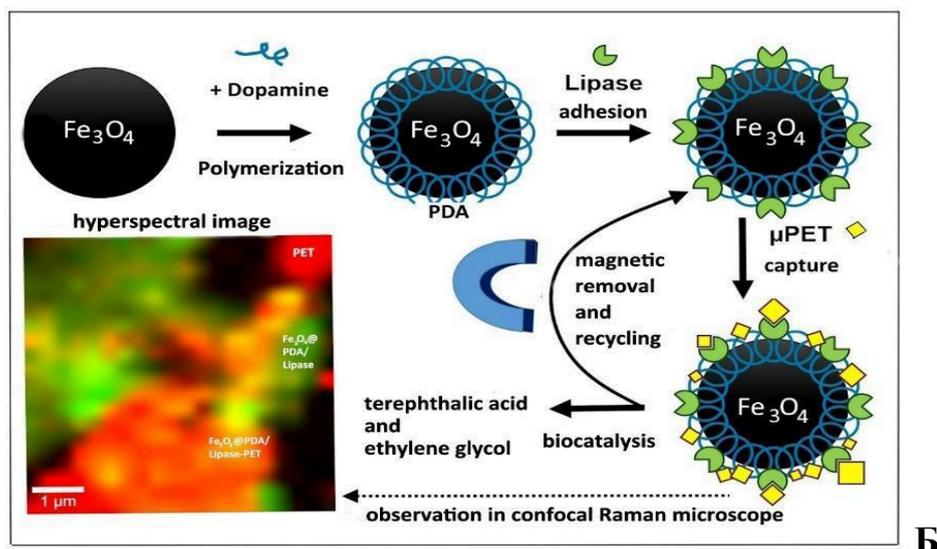
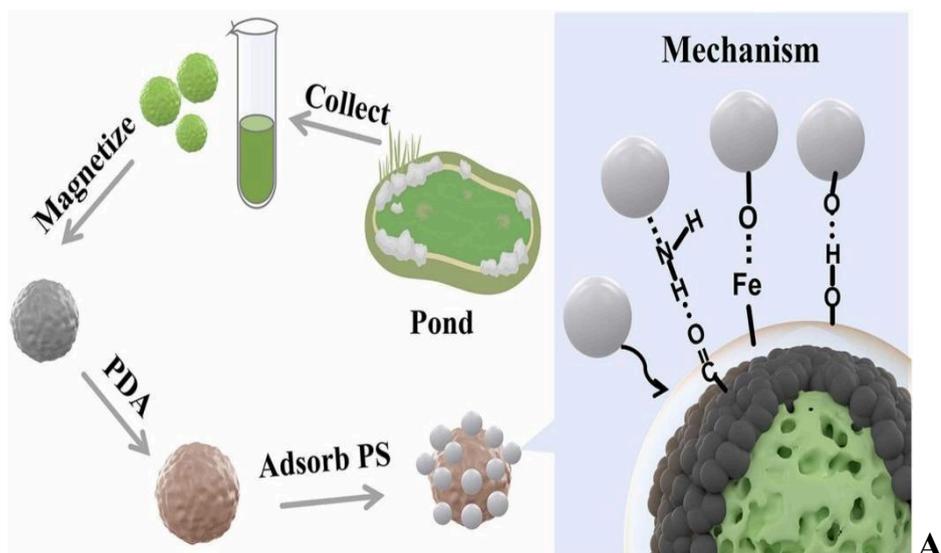


Рис. 2.6. Принцип очищення водного середовища від мікропластика методом адгезії (А) та з використанням ензимів, що забезпечують адгезію (Б) [52, 88].

Важливо, що учні довідалися про позитивні зрушення у проблемі МП, пов'язані з хімічним підходом. Вони переконалися, що дослідники не обмежуються лише видаленням мікропластику. Вони також розробляють способи розкладання пластикових частинок за допомогою ензимів. Зокрема ензим ліпаза здатний розщеплювати поліетилентерефталат (ПЕТ), один із найпоширеніших видів пластику [88]. Це відкриває перспективи не тільки для

очищення води, а і для створення замкнутого циклу переробки пластикових відходів (Рис. 2.5 Б).

Висновки до розділу II

Відтак, результати творчого експерименту, оцінені шляхом повторного анкетування, розширеного анкетування за типом «так» чи «ні» на вибір правильної відповіді та за допомогою рефлексії показали, що такий експеримент сприяв зацікавленості учнів проблемами довкілля, посилив ґрунтовність знань про будову пластику, розвинув навички експерименту.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено дослідницький проєкт "Мікропластик" для курсу хімії профільної школи, який включає вихідний та кінцевий контроль дослідницьких компетенцій учнів, створення доступного протоколу наукового експерименту з виділення та аналізу вмісту мікропластику у водному середовищі та біологічних тканинах, та презентацію результатів. Розробка довела, що тематика творчих проєктів у профільній школі із застосуванням експериментальних методів є ефективним підходом до усвідомлення учнями впливу хімічного забруднення на довкілля.

1. Аналіз проблеми у науковій літературі та практиці проєктів у профільній школі показав глибокий розрив між станом знань про найновіші наукові результати про походження, міграцію та потенційні ризики мікропластиків водного середовища та стан відображення проблеми у методиці профільної хімічної освіти.
2. Використовуючи інформаційні ресурси українською та англійською мовами з'ясовано, що головною проблемою дослідницьких проєктів у шкільній практиці в Україні є їх констатуючий характер, на відміну, від акценту у міжнародній практиці на хімічному експерименті. Цей недолік вимагає адаптацію інформації до мовної та процедурної логіки шкільного експерименту та її вбудову у компетентнісну рамку сучасної української освіти.
3. Вперше доведено, що перлівниця акумулює мікропластик розміром 0,1-0,5 мм з водного середовища за його концентрації у воді 1 мг/л протягом 14 діб інкубації з максимальним накопиченням у м'яких тканинах на 8-10 доби інкубації узгоджено із зменшенням вмісту мікропластика у водному середовищі. Ці результати створюють перспективи використання молюсків для очистки стічних вод від мікропластику. Мікропластик розміром 2 мкм оптичними методами не був виявлений.

4. Було запропоновано доступний для експериментальної бази профільної школи протокол, що включає ситовий аналіз, флотацію, флуоресцентне фарбування барвником Ніл Червоний (Nile Red) для виділення мікропластика з водного середовища та живих тканин та підрахунок частинок оптичним методом.
5. Розроблено набір тестів для контролю якості даних та аргументованої презентації результати.
6. Під-час виконання проєкту та обговорення його результатів було реалізовано виховний аспект проєкту, що полягає в усвідомленні величезного значення, яке має розроблення ефективних методів очищення води від мікропластику для збереження довкілля та здоров'я людини.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анічкіна О. В., Авдєєва О. Ю., Євдоченко О. С. Формування експериментальної компетентності майбутніх хіміків у процесі професійної підготовки в закладі вищої освіти. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2022. № 3. С. 3-12.
2. Аніщенко В. М., Артющина М. В., Герлянд Т. М., Кулалаєва Н. В., Романова Г. М., Шимановський М. М. Теорія і практика проектного навчання у професійно-технічних навчальних закладах : монографія. Житомир: Полісся, 2019а. 208 с.
3. Аніщенко В. М., Глущенко О. В., Кулалаєва Н. В., Романова Г. М., Шимановський М. М. Підготовка педагогічних працівників професійно-технічних навчальних закладів до розроблення та застосування проектних технологій професійного навчання: навч. -метод. посіб. Житомир: Полісся, 2019б. 192 с.
4. Бабука Г. Й., Кречко О. В. Виховання в учнів культури сортування побутових відходів : методичний посібник: Ужгород, 2021. 124 с.
5. Брюханова Н.О. Методика навчання майбутніх викладачів технічних дисциплін проектуванню дидактичного матеріалу : Автореф. дис...канд. пед. наук: 13.00.02. 2002. 19 с.
6. Буджак Т. Метод проектів як педагогічна технологія : Біологія і хімія в школі. 2004. С. 43–45.
7. Васянович Г. П. Підвищення кваліфікації педагогічних кадрів на Заході. Педагогіка і психологія професійної освіти : науково методичний журнал : Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка». 2009. С. 187–193
8. Вороненко Т. І. Використання міні-проектів під час вивчення нового матеріалу на уроках хімії. Біологія і хімія в рідній школі, 2018. № 5. С. 17–26.
9. Глущенко О.В., Романов Л.А., Пашенко Т.М., Пятничук Т.В., Шимановський М.М. Проектні технології навчання учнів професійно-технічних навчальних закладів: довідник. Житомир: Полісся, 2019. 126 с.

10. Грицай Н. Б. Методична підготовка майбутніх учителів біології до викладання у профільних класах старшої школи : збірник наукових праць "Педагогічні науки", 2011. Том 1 № 57. С. 245-250.
<https://ps.journal.kspu.edu/index.php/ps/article/view/3958>
11. Докай Н. В. Методичні орієнтири навчання хімії у Новій українській школі STEM-підхід як спосіб міжпредметної інтеграції на уроках хімії в умовах НУШ. збірник тез конференції. С. 217-218.
<http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/26874/1/82.pdf>
12. Дослідники. Електронний ресурс. Режим доступу :
<https://doslidnyky.com/node/613>
13. Дослідницький проект «Молодь обирає майбутнє без пластику». Електронний ресурс. Режим доступу :
<https://naurok.com.ua/proekt-molod-proti-plastiku-371304.html>
14. Загнибіда Н. М. Метод проектів на уроках хімії : Ранок, 2011. 128 с.
15. Календарно-тематичне планування "Хімія 10 клас" (нова програма) рівень стандарт. Електронний ресурс. Режим доступу :
<https://naurok.com.ua/kalendarno-tematichne-planuvannya-himiya-10-klas-nova-programa-riven-standart-94028.html>
16. Коберник О. М. Проектна технологія: можливості застосування в освіті. Електронний ресурс. Режим доступу: http://dspace.udpu.org.ua:8080/jspui/bitstream/6789/2395/1/Kobernik%20O_%20proektna%20tehnologia.pdf
17. Логвин В. Л. Метод проектів у контексті сучасної середньої освіти : Проекти, реалії, перспективи. 2003. 120 с.
18. Лузан П. Г. Суть і дефініція поняття “педагогічна технологія” : збірник наукових праць Науковий вісник Інституту професійно-технічної освіти НАПН України. 2013. С. 12–19.
19. Любчак Н. М. Проектні технології: сутність та особливості використання у навчальному процесі. Електронний ресурс. Режим доступу :
<http://visnyk.chnpu.edu.ua/download/vs122/35.pdf>

20. Новікова Т. Д., Довгопола Л. Організація проєктної діяльності здобувачів освіти у курсі хімії закладів професійно-технічної освіти. Вісник науки та освіти. 2023. С. 658-672.
[https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-5\(11\)-658-672](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-5(11)-658-672)
21. Проектні технології навчання у професійній підготовці майбутніх кваліфікованих робітників : тези наук.-практ. семінару. ІХ Міжнародна виставка «Інноватика в сучасній освіті-2017», 25 жовт. 2017 р. Київ : ПІТО НАПН України, 2017. 86 с. 10.
22. Про матеріали і предмети, призначені для контакту з харчовими продуктами : Закон України від 03.11.2022 № 2718-ІХ : станом на 16 листоп. 2025 р.
<https://dpss.gov.ua/news/bezpechne-pakuvannia-kharchovykh-produktiv-v-ukraini-pochyne-diiaty-novyj-zakon>
23. Спирін О. М. Теоретичні та методичні засади професійної підготовки майбутніх учителів інформатики за кредитно-модульною системою : монографія. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2007. 300 с.
24. Стрельников В. Підготовка викладачів до проектування системи інтенсивного навчання. Вісник Львівського університету. Серія : Педагогіка. 2009. С. 40-47.
25. ХІМІЯ 10-11 класи Профільний рівень Навчальна програма для закладів загальної середньої освіти. Укладачі програми : Бобкова О.С., Бухтіяров В.К., Валюк В.Ф., Величко Л.П., Дубовик О.А., Павленко В.О., Пугач С.В.
https://chemteacher.if.ua/doc/DvX/NP10-11_2018_prof.pdf
26. Шапран Ю., Довгопола Л., Супрунова М. Уплив методу проєктів на формування предметної компетентності з біології в учнів закладу загальної середньої освіти. Актуальні питання гуманітарних наук: збірник наукових праць: Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 39. Том 3. С. 274–281.
<https://doi.org/10.24919/2308-4863/39-3-44>
27. Шиян Н. І. Методика навчання хімії : навчальний посібник. ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2023. 332 с. <http://dspace.pnpu.edu.ua>

28. Ящук С. М. Розвиток творчого потенціалу учнів у процесі проектно-технологічної діяльності. Рідна школа. 2004. № 4. С. 9–11
29. Aigars J., Barone M., Suhareva N., Putna-Nimane I., Dimante-Deimantovica I. Occurrence and spatial distribution of microplastics in the surface waters of the Baltic Sea and the Gulf of Riga. *Marine pollution bulletin*. 2021. Vol. 172. P. 112860. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112860>
30. Alomar C., Sureda A., Capó X., Guijarro B., Tejada S., Deudero S. Microplastic ingestion by *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758 fish and its potential for causing oxidative stress. *Environmental research*. 2017. Vol. 159. P. 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.043>
31. Asamoah B. O., Roussey M., Peiponen K. E. On optical sensing of surface roughness of flat and curved microplastics in water. *Chemosphere*. 2020. Vol. 254. P. 126789. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126789>
32. Association for Science Education (ASE). Education through science: Science education for pupils aged 5 to 16+. 1985. London: John Murray
33. Barboza L. G. A., Vieira L. R., Branco V., Figueiredo N., Carvalho F., Carvalho C., Guilhermino L. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquatic toxicology*. 2018. Vol. 195. P. 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.12.008>
34. Beiras R., Schönemann A. M. Currently monitored microplastics pose negligible ecological risk to the global ocean. *Scientific reports*. 2020. Vol. 10. P. 22281. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79304-z>
35. Bermúdez J. R., Swarzenski P. W. A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods. *Methods X*. 2021. Vol. 8. P. 101516. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101516>
36. Binelli A., Della Torre C., Nigro L., Riccardi N., Magni S. A realistic approach for the assessment of plastic contamination and its ecotoxicological consequences: A case study in the metropolitan city of Milan (N. Italy). *The*

- Science of the total environment*. 2022. Vol. 806. P. 150574.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150574>
37. Brate I. L. N., Blázquez M., Brooks S. J., Thomas K. V. Weathering impacts the uptake of polyethylene microparticles from toothpaste in Mediterranean mussels (*M. galloprovincialis*). *The Science of the total environment*. 2018. Vol. 626. P. 1310–1318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.141>
38. Carbery M., O'Connor W., Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment international*. 2018. Vol. 115. P. 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>
39. Childs P. E., Hayes S., O ' Dwyer A. Chemistry and Everyday Life: Relating Secondary School Chemistry to the Current and Future Lives of Students. Relevant Chemistry Education. SensePublishers, Rotterdam. 2015. P. 33-54. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5_3
40. Cozzolino L., Santos C., Zardi G., Repetto L., Nicastro K. Microplastics in commercial bivalves harvested from intertidal seagrasses and sandbanks in the Ria Formosa lagoon, Portugal. *Marine and Freshwater Research*. 2021. Vol. 72. P. 1092-1099. <https://doi.org/10.1071/MF20202>
41. de Sá L. C., Oliveira M., Ribeiro F., Rocha T. L., Futter M. N. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *The Science of the total environment*. 2018. Vol. 645. P. 1029–1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
42. Diamanti K. S., Alygizakis N. A., Nika M. C., Oswaldova M., Oswald P., Thomaidis N. S., Slobodnik J. Assessment of the chemical pollution status of the Dniester River Basin by wide-scope target and suspect screening using mass spectrometric techniques. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2020. Vol. 412. P. 4893–4907. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02648-y>
43. Ding J., Zhang S., Razanajatovo R. M., Zou H., Zhu W. Accumulation, tissue distribution, and biochemical effects of polystyrene microplastics in the

- freshwater fish red tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental pollution*. 2018. Vol. 238. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.001>
44. Ecosoft. Электронный ресурс. Режим доступа : <https://ecosoft.ua/ua/blog/mikroplastik-v-vode/>
45. Efimova I., Bagaeva M., Bagaev A., Kileso A., Chubarenko I. P. Secondary microplastics generation in the sea swash zone with coarse bottom sediments: laboratory experiments. *Frontiers in Marine Science*. 2018. Vol. 5. P. 313. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00313>
46. Fackelmann G., Sommer S. Microplastics and the gut microbiome: How chronically exposed species may suffer from gut dysbiosis. *Marine pollution bulletin*. 2019. Vol. 143. P. 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.030>
47. Faggio C., Tsarpali V., Dailianis S. Mussel digestive gland as a model tissue for assessing xenobiotics: An overview. *The Science of the total environment*. 2018. Vol. 636. P. 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.264>
48. Gall S. C., Thompson R. C. The impact of debris on marine life. *Marine pollution bulletin*. 2015. Vol. 92. P. 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>
49. Georgieva E., Antal L., Stoyanova S., Aranudova D., Velcheva I., Iliev I., Vasileva T., Bivolarski V., Mitkovska V., Chassovnikarova T., Todorova B., Uzochukwu I. E., Nyeste K., Yancheva V. Biomarkers for pollution in caged mussels from three reservoirs in Bulgaria: A pilot study. *Heliyon*. 2022. Vol. 8. P. e09069. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09069>
50. Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*. 2017. Vol. 3. P. e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
51. Gregory M. R., Andrady A. L. Plastics in the Marine Environment. In: Andrady, A.L., Ed., *Plastics and the Environment*. 2003. Wiley, Hoboken. P. 379-401. <https://doi.org/10.1002/0471721557.ch10>

52. Guo H., Peng L. E., Yao Z., Yang Z., Ma X., Tang C. Y. Non-Polyamide Based Nanofiltration Membranes Using Green Metal–Organic Coordination Complexes: Implications for the Removal of Trace Organic Contaminants. *Environ. Sci. Technol.* 2019. Vol. 53. P. 2688–2694.
53. Hale R. C., Seeley M. E., La Guardia M. J., Mai L., Zeng E. Y. A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans.* 2020. Vol. 125. P. e2018JC014719. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
54. Hantoro I., Löhr A. J., Van Belleghem F. G. A. J., Widianarko B., Ragas A. M. J. Microplastics in coastal areas and seafood: implications for food safety. *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment.* 2019. Vol. 36. P. 674–711. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1585581>
55. Hirt N., Body-Malapel M. Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Particle and fibre toxicology.* 2020. Vol. 17. P. 57. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00387-7>
56. Jambeck J. R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K. L. Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science.* 2015. Vol. 347. P. 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
57. Jeyavani J., Sibiya A., Stalin T., Vigneshkumar G., Al-Ghanim K. A., Riaz M. N., Govindarajan M., Vaseeharan B. Biochemical, Genotoxic and Histological Implications of Polypropylene Microplastics on Freshwater Fish *Oreochromis mossambicus*: An Aquatic Eco-Toxicological Assessment. *Toxics.* 2023. Vol. 11. P. 282. <https://doi.org/10.3390/toxics1103028>
58. Kang H. J., Park H. J., Kwon O. K., Lee W. S., Jeong D. H., Ju B. K., Kwon J. H. Occurrence of microplastics in municipal sewage treatment plants: a review. *Environmental health and toxicology.* 2018. Vol. 33. P. e2018013. <https://doi.org/10.5620/eht.e2018013>
59. Khan B., Ho K. T., Burgess R. M. Application of Biomarker Tools Using Bivalve Models Toward the Development of Adverse Outcome Pathways for

- Contaminants of Emerging Concern. *Environmental toxicology and chemistry*. 2020. Vol. 39. P. 1472–1484. <https://doi.org/10.1002/etc.4757>
60. Kiran B. R., Kopperi H., Venkata Mohan S. Micro/nano-plastics occurrence, identification, risk analysis and mitigation: challenges and perspectives. *Reviews in environmental science and bio/technology*. 2022. Vol. 21. P. 169–203. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09609-6>
61. Koelmans A. A., Diepens N. J., Velzeboer I., Besseling E., Quik J. T., van de Meent D. Guidance for the prognostic risk assessment of nanomaterials in aquatic ecosystems. *The Science of the total environment*. 2015. Vol. 535. P. 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.032>
62. Kwon J. H., Kim J. W., Pham T. D., Tarafdar A., Hong S., Chun S. H., Lee S. H., Kang D. Y., Kim J. Y., Kim S. B., Jung, J. Microplastics in Food: A Review on Analytical Methods and Challenges. *International journal of environmental research and public health*. 2020. Vol. 17. P. 6710. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186710>
63. Kye H., Kim J., Ju S., Lee J., Lim C., Yoon Y. Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards. *Heliyon*. 2023. Vol. 9. P. e14359. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14359>
64. Lasee S., Mauricio J., Thompson W. A., Karnjanapiboonwong A., Kasumba J., Subbiah S., Morse A. N., Anderson T. A. Microplastics in a freshwater environment receiving treated wastewater effluent. *Integrated environmental assessment and management*. 2017. Vol. 13. P. 528–532. <https://doi.org/10.1002/ieam.1915>
65. Lee C. F., Caudal A., Abell L., Nagana Gowda G. A., Tian R. Targeting NAD⁺ Metabolism as Interventions for Mitochondrial Disease. *Scientific reports*. 2019. Vol. 9. P. 3073. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39419-4>
66. Lei L., Wu S., Lu S., Liu M., Song Y., Fu Z., Shi H., Raley-Susman K. M., He D. Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *The Science of the*

- total environment*. 2018. Vol. 619-620. P. 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.103>
67. Li J., Liu H., Chen J. P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research*. 2018. Vol. 137. P. 362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
68. Li J., Yang D., Li L., Jabeen K., Shi H. Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental pollution*. 2015. Vol. 207. P. 190–195.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.018>
69. Liu L., Xu K., Zhang B., Ye Y., Zhang Q., Jiang W. Cellular internalization and release of polystyrene microplastics and nanoplastics. *The Science of the total environment*. 2021. Vol. 779. P. 146523.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146523>
70. Magni S., Binelli A., Pittura L., Avio C. G., Della Torre C., Parenti C. C., Gorbi S., Regoli F. The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *The Science of the total environment*. 2019. Vol. 652. P. 602–610.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.269>
71. Martyniuk V., Gylytė B., Matskiv T., Khoma V., Tulaidan H., Gnatyshyna L., Orlova-Hudim K., Manusadžianas L., Stoliar O. Stress responses of bivalve mollusc *Unio tumidus* from two areas to ibuprofen, microplastic and their mixture. *Ecotoxicology*. 2022a. Vol. 31. P. 1369–1381.
<https://doi.org/10.1007/s10646-022-02594-8>
72. Martyniuk V., Khoma V., Matskiv T., Baranovsky V., Orlova-Hudim K., Gylytė B., Symchak R., Matciuk O., Gnatyshyna L., Manusadžianas L., Stoliar O. Indication of the impact of environmental stress on the responses of the bivalve mollusk *Unio tumidus* to ibuprofen and microplastics based on biomarkers of reductive stress and apoptosis. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology*. 2022b. Vol. 261. P. 109425.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109425>
73. Martyniuk V., Khoma V., Matskiv T., Yunko K., Gnatyshyna L., Stoliar O., Faggio C. Combined effect of microplastic, salinomycin and heating on *Unio*

- tumidus*. Environmental toxicology and pharmacology. 2023. Vol. 98. P. 104068.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104068>
74. Martyniuk V. V. Accumulation of microplastics in the bivalve mollusc *Unio tumidus* under experimental and field exposures. *Studia Biologica*. 2022. Vol. 16. P. 33–44. <https://doi.org/10.30970/sbi.1604.694>
75. Matozzo V., Zampieri C., Munari M., Marin M. G. Glyphosate affects haemocyte parameters in the clam *Ruditapes philippinarum*. *Marine environmental research*. 2019. Vol. 146. P. 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.03.008>
76. Moore C. J., Lattin G. L., Zellers A. F. Density of plastic particles found in zooplankton trawls from coastal waters of California to the North Pacific Central Gyre. In *The plastic debris river to sea conference, Redondo Beach, California*. 2005.
77. Nechypurenko P. P. Developing Research Competencies in High School Students Through Specialized Chemistry Education: A Computer-Based Approach. SciTePress, 2023. P. 835-849.
<https://doi.org/10.5220/0012068300003431>
78. Pain-Devin S., Cossu-Leguille C., Geffard A., Giambérini L., Jouenne T., Minguez L., Naudin B., Parant M., Rodius F., Rousselle P., Tarnowska K., Daguin-Thiébaud C., Viard F., Devin S. Towards a better understanding of biomarker response in field survey: a case study in eight populations of zebra mussels. *Aquatic toxicology*. 2014. Vol. 155. P. 52–61.
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.06.008>
79. Paul-Pont K. Tallec C. Gonzalez-Fernandez C. Lambert D. Vincent D. Mazurais J.L. Zambonino-Infante G. Brotons F. Lagarde C. Fabioux P. Soudant Constraints and priorities for conducting experimental exposures of marine organisms to microplastics. *Frontiers in Marine Science*. 2018. Vol. 5. P. 252.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00252>
80. Qu X., Su L., Li H., Liang M., Shi H. Assessing the relationship between the abundance and properties of microplastics in water and in mussels. *Science Total Environment*. 2018. Vol. 621. P. 679–686.

81. Revel M., Yakovenko N., Caley T., Guillet C., Châtel A., Mouneyrac C. Accumulation and immunotoxicity of microplastics in the estuarine worm *Hediste diversicolor* in environmentally relevant conditions of exposure. *Environmental science and pollution research international*. 2020. Vol. 27. P. 3574– 3583. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3497-6>
82. Rist S. E., Assidqi K., Zamani N. P., Appel D., Perschke M., Huhn M., Lenz M. Suspended micro-sized PVC particles impair the performance and decrease survival in the Asian green mussel *Perna viridis*. *Marine pollution bulletin*. 2016. Vol. 111. P. 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.006>
83. Rochman C. M., Manzano C., Hentschel B. T., Simonich S. L., Hoh E. Polystyrene plastic: a source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. *Environmental science & technology*. 2013. Vol. 47. P. 13976–13984. <https://doi.org/10.1021/es403605f>
84. Rochman C. M., Tahir A., Williams S. L., Baxa D. V., Lam R., Miller J. T., Teh F. C., Werorilangi S., Teh S. J. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific reports*. 2015. Vol. 5. P. 14340. <https://doi.org/10.1038/srep14340>
85. Sarijan S., Azman S., Said M. I. M., Jamal M. H. Microplastics in freshwater ecosystems: a recent review of occurrence, analysis, potential impacts, and research needs. *Environmental science and pollution research international*. 2021. Vol. 28. P. 1341–1356. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11171-7>
86. Scherer C., Weber A., Stock F., Vurusic S., Egerci H., Kochleus C., Arendt N., Foeldi C., Dierkes G., Wagner M., Brennholt N., Reifferscheid G. Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *The Science of the total environment*. 2020. Vol. 738. P. 139866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139866>
87. Semmouri I., Vercauteren M., Van Acker E., Pequeur E., Asselman J., Janssen C. Presence of microplastics in drinking water from different freshwater sources in Flanders (Belgium), an urbanized region in Europe. *International Journal of Food Contamination*. 2022. Vol. 9. P. 6.

88. Srichonphaisarn P., Soonthornwiphath N., Julapong P., Limlertchareonwanit T., Meekoch T., Park I., Villacorte-Tabelin M., Juntarasakul O., Saisinchai S., Tabelin C. B. Application of Surface-Modified Natural Magnetite as a Magnetic Carrier for Microplastic Removal from Water. *Minerals*. 2025. Vol. 15. P. 425. <https://doi.org/10.3390/min15040425>
89. The European environment state and outlook 2015. European briefings. <http://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/freshwater>
90. Ukranalitica. <https://ukranalitika.com.ua/ua/goods/sita-laboratornye/sita-laboratornye>
91. Viarengo A., Lowe D., Bolognesi C., Fabbri E., Koehler A. The use of biomarkers in biomonitoring: a 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology : CBP*. 2007. Vol. 146. P. 281–300. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.04.011>
92. Vilela M., Morais C., Paiva J. C. Inquiry-Based Science Education in High Chemistry: Enhancing Oral and Written Communication Skills Through Authentic and Problem-Based Learning Activities. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15. P. 334. <https://doi.org/10.3390/educsci15030334>
93. Vivekanand A. C., Mohapatra S., Tyagi V. K. Microplastics in aquatic environment: Challenges and perspectives. *Chemosphere*. 2021. Vol. 282. P. 131151. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131151>
94. Vystavna Y., Frkova Z., Celle-Jeanton H., Diadin D., Huneau F., Steinmann M., Crini N., Loup C. Priority substances and emerging pollutants in urban rivers in Ukraine: Occurrence, fluxes and loading to transboundary European Union watersheds. *The Science of the total environment*. 2018. Vol. 637-638. P. 1358–1362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.095>
95. Ward J. E., Rosa M., Shumway S. E. Capture, ingestion, and egestion of microplastics by suspension-feeding bivalves: a 40-year history. *Anthropocene Coasts*. 2019. Vol. 2. P. 39-49. <https://doi.org/10.1139/anc-2018-0027>

96. Wiggin K. J., Holland E. B. Validation and application of cost and time effective methods for the detection of 3-500 μm sized microplastics in the urban marine and estuarine environments surrounding Long Beach, California. *Marine pollution bulletin*. 2019. Vol. 143. P. 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.060>
97. Wong B. B., Candolin U. Behavioral responses to changing environments. *Behavioral Ecology*. 2015. Vol. 26. P. 665-673. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru183>
98. Wright S. L., Thompson R. C., Galloway T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution*. 2013. Vol. 178. P. 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
99. Zhang H., Wang J., Zhou B., Zhou Y., Dai Z., Zhou Q., Christie P., Luo Y. Enhanced adsorption of oxytetracycline to weathered microplastic polystyrene: Kinetics, isotherms and influencing factors. *Environmental pollution*. 2018. Vol. 243. P. 1550–1557. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.122>
100. Zhou S., Di Paolo C., Wu X., Shao Y., Seiler T. B., Hollert H. Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants - The case of pharmaceuticals in European surface waters. *Environment international*. 2019. Vol. 128. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.034>
101. Ziajahromi S., Kumar A., Neale P. A., Leusch F. D. L. Impact of Microplastic Beads and Fibers on Waterflea (*Ceriodaphnia dubia*) Survival, Growth, and Reproduction: Implications of Single and Mixture Exposures. *Environmental science & technology*. 2017. Vol. 51. P. 13397–13406. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03574>

ДОДАТКИ

Додаток А

Приклад презентації навчального проєкту

Приклад презентації навчального проєкту Дослідницький проєкт «Молодь обирає майбутнє без пластику» [13]. Виконала : учениця 11-А класу ЗНЗ І-ІІІ ст. №2 імені М.Горького Олександрійської міської ради Тягінка Лілія.

Мета проєкту: Дослідити питання впливу пластикових пляшок на навколишнє середовище та визначити можливість їх вторинного використання. Завдання : Вивчити загальну проблему забруднення навколишнього середовища сміттям з пластикових пляшок. Вивчити проблему забруднення навколишнього середовища сміттям з пластикових пляшок на території міста Олександрії. Зібрати низку цікавих фактів про пластиківі вироби. Ознайомитися із різними способами використання пластикових пляшок в якості сировини і будівельного матеріалу. Провести практичне заняття з повторного використання пластикових пляшок із учнями закладу. Знайомство з основними етапами проєктної діяльності. Об'єкт дослідження: використані пластиківі пляшки. Предмет дослідження: можливість вторинного використання пластикових пляшок. Тип проєкту: дослідницький. Методи дослідження: - вивчення літературних джерел та інформації в Інтернеті - соціологічне опитування учнів та вчителів закладу - спостереження за пластиківими пляшками на вулицях міста. І етап. Визначення актуальності заданої проблеми дослідження Обговорення ініціативною групою проблеми дослідження; Оголошення загальношкільної акції «Сміття чи пластикова пляшка?» по зборі інформації про смітники з пластиківими пляшками та місцезнаходження контейнерів для збору пластикових пляшок поблизу навчального закладу. ІІ етап. Дослідження проблеми: Щоб переконатись в актуальності обраної теми ми: Провели опитування школярів щодо проблеми смітників з пластиківими пляшками на території поблизу ЗНЗ№2 по вулицях Першотравнева та Шевченка. Провели рейд «Сміття чи пластикова пляшка?» Опитали вчителів та учнів.

Загальні відомості: Ініціативною групою було обговорено проблему дослідження. 42 роки тому людство винайшло пластикову пляшку. Перші зразки важили 135 г (на 96% більше, ніж зараз). Зараз вона важить 69 грамів. В наші дні щороку використовуються і викидаються мільйони пляшок. Невелике місто щомісяця викидає близько 20 тонн пластикових пляшок. І з кожним роком відходи з пластикових пляшок ростуть на 20%.

Види пластику: Пластмаси – одна з найпоширеніших груп сучасних матеріалів. Розробка й одержання нових матеріалів та вдосконалення існуючих – одне з головних завдань сучасної хімії. Полімери - це високомолекулярні сполуки, що складаються з безлічі однакових структурних ланок. За походженням полімери поділяються на природні та синтетичні. Полімери природні - це, наприклад, натуральний каучук, крохмаль, целюлоза, білки, нуклеїнові кислоти. Без них неможливе життя на нашій планеті. Синтетичні полімери - це численні пластмаси, волокна, каучуки.

Додаток Б

Приклад розробки заняття на тему: "Пластик. Небезпечний поліетилен" [4].

Мета: з'ясувати значення пластику в житті людини та звернути увагу на шкідливість забруднення пластиком. Навчитися давати йому друге життя. Формувати та підвищувати екологічну культуру школярів. Обладнання та наочність: вироби з вторинної сировини, екоторбинки, QR-коди, відео

Хід заняття 1. Організаційний етап Доброго дня, діти. Сьогодні ми з вами познайомимося з одвічною проблемою людства - це сміття. 2. Актуалізація опорних знань Вправа "Мікрофон" Висловіть свої думки у мікрофон, продовжуючи речення: "Які речі вдома найшвидше після їх використання потрапляють на смітник?" (діти відповідають та пояснюють свою думку). 3. Мотивація навчальної діяльності Подивіться уважно довкола себе та дайте відповідь на питання, з якого матеріалу виготовлена переважна більшість предметів, які нас оточують. Лінійка – з пластику, ручка – пластмасова, планшет – теж з пластику, телевізор, телефон – з пластмаси. Ми живемо в будинках з пластиковими вікнами, їмо з пластикової посуду, купаємося в пластикових ваннах, тазах. Наш сучасний світ створений з пластику. Пластик дуже зручний матеріал. З нього виготовляють корисні вироби, які є легкими, практичними, їх можна зварювати, склеювати, обточувати і навіть свердлити. І як після цього можна назвати наш час? Ну, звичайно, століттям пластику. Чому пластик може бути корисним для нас? (вислухати відповіді). А в чому може бути його шкода? (вислухати відповіді). Правильно. Найбільша проблема - це пластик, який вже виконав своє призначення і його викинули на смітник у вигляді сміття. Ви тільки вдумайтеся в факт: 30 "Пластик починає розкладатися тільки через 450 років, а повністю процес завершується ще через 50-80 років. При існуючих темпах виробництва пластмасових виробів, Земля покриється пластиком ще до того, як перші пластикові предмети почнуть розкладатися". 4. Основний етап Сміття – найбільша проблема людства. Сміття було проблемою для Європи. Однак

європейці справилися з цією проблемою та стали на відходах заробляти. За прогнозами вчених, уже за 30 років пластику в морях буде більше, ніж риби! І ми навіть приблизно не можемо уявити, яка це величезна кількість сміття, що завдає шкоду довкіллю та людям! Наприклад, за статистикою, у світі щосекунди використовують 160 тисяч поліетиленових пакетів. Уявили масштаби? Саме тому ми повинні вже зараз докладати значні зусилля, щоб бодай на кілька одиниць зменшити ці великі цифри. А починати потрібно із себе. (Далі кожний етап можна проводити окремим заняттям) 1. Поліетилен

Чим саме шкідливий поліетилен? Поліетиленові пакети розкладаються на мікропластик. Пластик виробляється з невідновлюваних ресурсів, таких як нафтопродукти, видобуток яких шкодить довкіллю. Тонкі пластикові пакети є потенційно небезпечними для дітей: вони можуть гратися ними, заплутатися і задуситися. У США, наприклад, через них щороку задихається близько 25 дітей, більшість з яких – у віці до одного року. Крім того, звичайні пластикові пакети дуже повільно розкладаються у природі і можуть знаходитися в природному середовищі понад кілька століть, поки не розкладуться. Тварини часто плутають їх із їжею, що спричиняє їхню загибель. А ось, наприклад, декілька доведених фактів про жахливий вплив будьякого поліетилену на організм людини:

- У виробництві поліетилену використовується свинець. Цей метал надзвичайно токсичний. Його скупчення в організмі викликає розвиток багатьох захворювань.
- Зберігання їжі в поліетилені не приносить користі. Цю інформацію намагаються замовчувати, адже в цьому зацікавлені великі трансатлантичні компанії, які виробляють пакети та хочуть зберегти цей прибутковий бізнес.
- Продукти, що лежать в пакеті, швидше починають псуватися, розвивається пліснява. А при заморожуванні поліетилену, з нього виділяються токсини. Особливо небезпечно розігрівати напівфабрикати в

упаковці: вчені довели, що під дією високої температури з пластику виділяється формальдегід, токсичний газ.

- З метою реклами на поліетилен наносяться логотипи фірм, їх роблять яскравими, помітними. В складі фарби часто є токсини, згубні для людини.
- Для з'єднання швів упаковки нерідко застосовують хімічний клей. Він також може згубно впливати на продукти, які потім вживає людина.

31 На сьогодні вже більше 33 країн світу повністю відмовилися від пластикових пакетів, а 53 ввели часткове обмеження або податкову систему. Першою країною, яка заборонила тонкі поліетиленові пакети ще у 2002 році, був Бангладеш. Таке рішення там прийняли після того, як з'ясували, що "пластик" блокував водостічну систему, посилюючи смертоносні повені. Заборону на одноразові пакети також ввели Китай, ПАР, Кенія, Уганда і Тайвань. У Європі з пластиковою реальністю почали боротися 3 роки тому. Тоді ухвалили директиву, яка зобов'язує країни ЄС обмежувати використання поліетилену. Кожна держава обирає свій варіант – або накладає спеціальні податки, або вводить заборони. Відтак, до наступного року кількість використаного пластику має зменшитися наполовину. Як в Україні борються з надмірним використанням поліетиленових пакетів? Щороку кожен українець використовує близько 500 поліетиленових пакетів, в той час як у ЄС цей показник наближається в середньому до 90 пакетів. 01.06.2021 року прийнято Закон України "Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України". Закон спрямований на зменшення обсягу використання в Україні пластикових пакетів, обмеження їх розповсюдження з метою поліпшення стану навколишнього природного середовища та благоустрою територій. Законом забороняється розповсюдження в об'єктах роздрібної торгівлі, громадського харчування та надання послуг: 1) надтонких пластикових пакетів; 2) тонких пластикових пакетів; 3) оксорозкладних пластикових пакетів. Дана заборона не поширюється на біорозкладні пластикові пакети, а також на надтонкі пластикові пакети, що призначені для пакування та/або транспортування свіжої риби, м'яса

та продуктів із них, сипучих продуктів, льоду та розповсюджуються в об'єктах роздрібної торгівлі як первинна упаковка. Пластикові пакети, що не відповідають встановленим цим Законом вимогам, підлягають вилученню з обігу. Законом забороняється безоплатне розповсюдження пластикових пакетів. Перший етап обмежень обігу пластикових пакетів на території України почав діяти з 10 грудня 2021 року. Хоча ще далеко до повної відмови від використання, але початок покладено. Саме тому надзвичайно важливими є такі акції, як сьогодні. Вони дозволяють сформувати екологічну поведінку, ще раз привернути увагу до проблеми забруднення довкілля та надмірного використання одноразових пакетів. Найпростіший спосіб скоротити споживання одноразового пластику на кухні – це замінити його на безпечні аналоги. А як я можу допомогти довкіллю в даній ситуації? Моя екозвичка На сьогодні бути екосвідомим стало не лише трендом, але й необхідністю.

Завдання для учнів: (Ділимо учнів на 2 групи). Перед вами розкладені пластикові речі. Ваше завдання: вибрати для себе, з допомогою підказки з маркування пластику, I варіант: 1 група - найбільш шкідливі вироби; 2 група - найменш шкідливі вироби. II варіант: 1 група - речі, які переробляються; 2 група - речі, які не переробляються. III варіант: запропонувати ідеї для повторного використання пластикової речі.

Додаток В

Зразкові теми дослідницьких робіт з хімії для учнів 10 класів [12]

Дослідники - дослідницькі роботи і проєкти дітей України:

- Азот в нашому житті;
- Амфотерність сполук Берилію;
- Антибіотики – потужна зброя;
- Білки – основа життя. Вивчення білків, ферментів: погляд хіміка, біолога, фізика;
- Біогенні елементи;
- Біологічна і медична роль хімічних елементів;
- Біологічний годинник, або як прожити довго;
- Біологічні аспекти хімії елементів;
- Блиск і сила здорового волосся (з точки зору хіміка);
- Визначення забезпеченості організму мікроелементами і вітамінами;
- Вітамінодефіцитні стани і захворювання;
- Визначення іонів цинку, кобальту в стічних водах хімічної промисловості;
- Визначення фізико-хімічних показників молока;
- Визначення якості продуктів харчування (коров'ячого молока, свіжого м'яса, натурального меду);
- Використання неорганічних (і органічних) речовин у військовій справі;
- Виробництво мінеральних макро - і мікродобрив;
- Вирощування кристалів;
- Виявлення важких металів в рослинах. Вплив важких металів на ріст і розвиток проростків;
- Виявлення нітратів в рослинах;
- Вітаміни та їх роль в життєдіяльності людини;
- Властивості галогенідів 5В групи;
- Вплив біологічно активної води на ріст рослин;
- Вплив мікроелементів на організм рослин;
- Вплив рН середовища на ріст рослин;

- Вплив спиртних напоїв на денатурацію білків;
- Вплив сучасних миючих засобів на життєздатність різних типів волосся;
- Гігієнічні властивості деяких миючих засобів;
- Гігієнічні та косметичні засоби;
- Ґрунт – джерело поживних речовин для рослин;
- Групи Біогенних елементів;
- Дефіцит елементів і зовнішність;
- Дієтичний замітник цукру аспартам – токсична речовина;
- Домашня аптечка;
- Дослідження процесів термічного розкладання колоїдних розчинів оксидів заліза;
- Дослідження процесу розкладання деяких полімерів;
- Дослідження хімічного складу в сучасних монетах;
- Екологія будинку;
- Електроліз;
- Залізо в нашому житті;
- Залізо і його біологічна роль в організмі людини;
- Засоби для боротьби з побутовими комахами;
- Засоби догляду за зубами;
- Застосування біополімерів в медицині;
- Застосування Паладію в медицині;
- Значення біополімерів в медицині;
- Йод в нашому житті;
- Їжа на користь і на шкоду;
- Квантово-хімічні розрахунки структур органічних кристалів;
- Кислоти і підстави в світлі різних теорій;
- Кислоти, їх склад, властивості і застосування;
- Кислотні опади: їх природа і наслідки;
- Корекція ваги. Причини і види підвищення маси тіла у школярів;
- Лікарські рослини як альтернатива фармацевтичним препаратів;

- Механізми біологічно активних елементів;
- Нанотехнології в хімії;
- Не тільки у воді (водні та неводні розчини);
- Окислювально-відновні реакції;
- Органічні добрива;
- Основи: склад, властивості і застосування;
- Особливості хімічних властивостей елементів 3 в групі в порівнянні з іншими елементами D групи;
- Підвищення продуктивності тварин за допомогою стимуляторів росту, спеціальних кормових добавок;
- Пластикові вікна. За і проти;
- Полімери – сучасні конструкційні матеріали;
- Полімери в природі і житті людини;
- Полімери: від натурального каучуку до полімерного електроліту;
- Порівняння властивостей простих речовин 1A і 2A групи;
- Практичне значення хімічних елементів в медицині;
- Приготування продуктів харчування за допомогою живих організмів;
- Прилад для визначення в повітрі парів кислот;
- Природні джерела вуглеводнів і перспективи розвитку нафтопереробної промисловості;
- Противірусні засоби;
- Протиінфекційні засоби;
- Реакції натрію і калію з киснем;
- Реакція комплексоутворень з'єднань елементів 1 A групи;
- Реакція комплексоутворень з'єднань елементів 2 A групи;
- Роль полімерів в сучасному літакобудуванні (автомобілебудуванні, будівельної індустрії, нафто - і газовидобутку);
- Роль полімерів в сучасному світі;
- Роль хімії в лікуванні онкологічних захворювань;
- Синтез Фішера - Тропша як джерело хімічної сировини;

- Синтетичні високомолекулярні сполуки і полімерні матеріали на їх основі;
- Складання харчових раціонів в залежності від добових енерговитрат, визначення норм харчування;
- Солі Титану;
- Солі: склад, властивості і застосування;
- Сплави в нашому житті;
- Сполуки Літію магнію кальцію в медицині;
- Тиск в навколишньому світі;
- Токсичність Берилію і Барію;
- У світі індикаторів;
- Унікальна речовина – вода. Яку воду ми п'ємо? Найпростіші способи очищення води з природних джерел;
- Ферменти і їх використання в побуті і на виробництві;
- Фітотерапія проти фармакології;
- Хімізація тваринництва;
- Хімічні засоби захисту рослин;
- Хімія біополімерів;
- Хімія для домогосподарок;
- Хімія і гігієна;
- Хімія і краса;
- Хімія і хімічна технологія у вирішенні проблем людства;
- Хімія кімнатних рослин;
- Хімія на кухні;
- Чим замінити нафту?
- Штучні органи;
- Якісне визначення речовин у складі різних видів морозива.

Додаток Г

Презентація дослідницького проєкту «Мікропластик»

РОЗРОБКА ДОСЛІДНИЦЬКОГО ПРОЄКТУ «МІКРОПЛАСТИК» ДЛЯ КУРСУ ХІМІЇ ПРОФІЛЬНОЇ ШКОЛИ DEVELOPMENT OF A RESEARCH PROJECT «MICROPLASTICS» FOR A CHEMISTRY COURSE AT A SPECIALIZED SCHOOL



Остафійчук Мар'яна Олегівна
Кваліфікаційна робота

Науковий керівник: Оксана Столяр доктор біол. наук, проф. кафедри хімії та методики її навчання Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка

Об'єкт дослідження – навчально-виховний процес у десятих класах профільної школи.

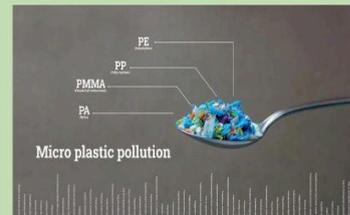
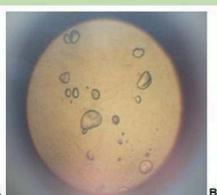
Предмет дослідження – дослідницькі проєкти у курсі хімії у профільній школі
Метою роботи стало: створити, обґрунтувати та апробувати навчально-дослідницький модуль «Мікропластик» для курсу хімії профільної школи.
У процесі дослідження ми виходили з гіпотези, згідно якої експериментальне дослідження МП у об'єктах довкілля забезпечить підвищення якості вивчення полімерних матеріалів та стимулюватиме інтерес учнів до власної дослідницької діяльності.

Завдання

Систематизувати найновіші наукові результати про походження, міграцію та потенційні ризики мікропластиків водного середовища, використовуючи інформаційні ресурси українською та англійською мовами.
Адаптація інформації до мовної та процедурної логіки шкільного експерименту та її вбудова у компетентнісну рамку сучасної української освіти.
Проектування доступних протоколів (ситовий аналіз, флотація, флуоресцентне фарбування Nile Red) для виділення мікропластика з водного середовища та живих тварин.
Моделювання контролю якості даних та формування етичних регламентів, щоб кількісно зафіксувати навчальний ефект. -



Методи дослідження – теоретичний аналіз, порівняльний аналіз, анкетування, тестування, діагностичні методи (фізико-хімічні, оптичні), математичні методи статистичної обробки експериментальних даних. Вміст мікропластика визначали оптичним методом згідно рекомендацій Qiu та інш. з використанням барвника Ніл Червоний (2016).
Об'єкт дослідження: Особини чоловічої статі двостулкового молюска *Unio tumidus* (9,2-9,4 см та масою 67-84 г).
Види мікропластику для дослідження: 1mg/L PET, 0,1 - 0,5 mm); 1mg/L, 2 мкм, 18°C (PS);



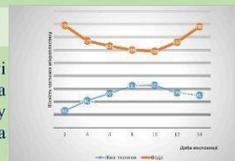
Виявлення мікропластику в експериментальному середовищі (1 мг л⁻¹), А - під оптичним мікроскопом з флуоресцентною лампою (збільшення 40×), частинки пластику, забарвлені барвником Ніл Червоний, видно як яскраві структури; В - частинки пластику під металографічним мікроскопом METAM-P1 («АСМА-Прилад», Україна) (на склі при збільшенні 125×).

Розташування місця відбору проб на р. Серет (с Острів)



Результати

Динаміка вмісту МП в організмі перлівниці та у воді за утримування *Unio tumidus* у акваріумі з вмістом мікропластика розміром 1-5-мм протягом 14 діб,



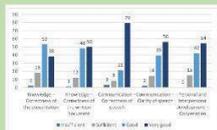
Показники (середні значення) акумуляції МП у м'яких тканинах двостулкового молюска *Unio tumidus* з водного середовища, де створювали концентрацію 1 мг/л МП (0,1-0,5 мм) протягом 14 діб інкубації

| дні | CF = C _i /C ₀ | CA = (C _i /C _w), % |
|-----|-------------------------------------|---|
| 2 | 14,1 | 0,6 |
| 4 | 22,5 | 1,2 |
| 6 | 28,6 | 1,6 |
| 8 | 35,0 | 1,4 |
| 10 | 35,4 | 2,6 |
| 12 | 25,0 | 1,6 |
| 14 | 27,1 | 1,2 |

CF=C_i/C₀, де C_i – вміст МП у тілі молюска у експериментальному середовищі, C₀ – вміст МП у тілі молюска у незабрудненій воді, та CA=(C_i/C_w)x100%, де C_w – концентрація МП у тілі молюска (частинок/г тканини), C_w – концентрація МП у відповідному середовищі (частинок/л).

$l = 500 \mu m$
 $r = 250 \mu m$
 $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (250)^3 = 65.425 \cdot 10^6 \mu m^3$
 $\frac{1 \text{ mg}}{2 \cdot 10^6 \text{ l}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{2 \cdot 10^6 \text{ l}} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ g/l}$
 $n = 1 \cdot 10^3 \text{ шт./л} / 65,425 \cdot 10^6 \mu m^3 = 15,29$
 $d = 100 \mu m$
 $r = 50 \mu m$
 $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (50)^3 = 525 \cdot 10^3 \mu m^3$
 $n = 1 \cdot 10^3 \text{ шт./л} / 525 \cdot 10^3 \mu m^3 = 1,9 \cdot 10^3$
Тобто, якщо $d = 65-103 \text{ мкм}$, то $n = 15-24 \cdot 10^3 \text{ частинки/л}$

Приклад розрахунку кількості частинок МП розміром 0,1 і 0,5 мм у водному середовищі.



- Приклади тестування та їх результатів;
- Виберіть знак, який означає, що пластик біологічно розкладається: а)

Висновки
Вперше доведено, що перлівниця акумулює мікропластик розміром 0,1-0,5 мм з водного середовища за його концентрації у воді 1 мг/л протягом 14 діб інкубації з максимальним накопиченням у м'яких тканинах на 8-10 доби інкубації. Розроблено набір тестів для контролю якості даних та аргументованої презентації результати.