



Державна установа
«Інститут еволюційної екології НАН України»



РОБОТА

на здобуття Премії Президента України
для молодих вчених

**Макрофіти у водних екосистемах України:
різноманіття, чужорідні види та інші ризики
антропогенного впливу**

Виконавець: к.б.н. Прокопук М.С.

КИЇВ - 2025



Актуальність роботи:

Посилений антропогенний вплив погіршує стан водойм. На тлі сучасної війни в Україні екологічні виклики, пов'язані з порушенням водних екосистем, набувають ще більшої актуальності. Вищі водні рослини (макрофіти) є важливою складовою гідроекосистем та дієвим інструментом екологічного моніторингу. Якісні зміни у видовому складі макрофітів, перебудова ценотичної структури, збільшення/зменшення продуктивності окремих фітоценозів слугують показниками змін екологічного стану водних екосистем. На фоні повсюдної трансформації водних оселищ дедалі гострішою стає проблема поширення інвазійних чужорідних видів у водоймах, які призводять до трансформації та збіднення аборигенного біорізноманіття екосистем. Все це робить дослідження цієї групи гідробіонтів надзвичайно важливими.





Метою цієї роботи є багатофакторний аналіз антропогенних впливів на різноманіття вищих водних рослин (макрофітів) для виділення основних екологічних ризиків, що сьогодні спричиняють трансформацію водних рослинних комплексів, подекуди – аж до загрози зникнення окремих видів.

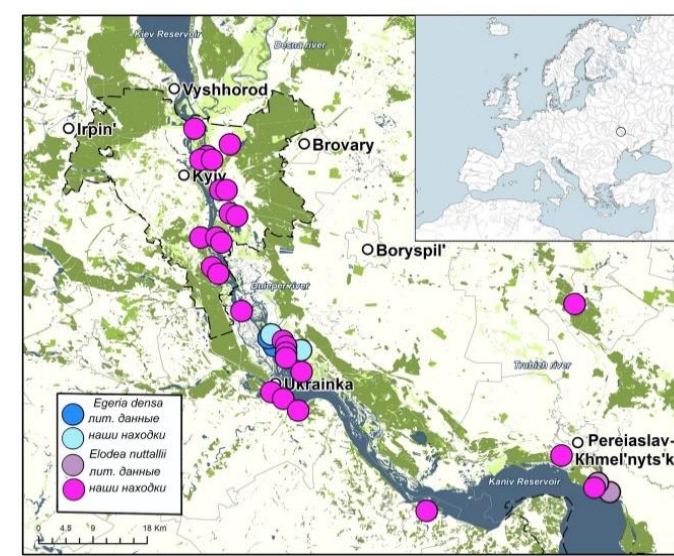
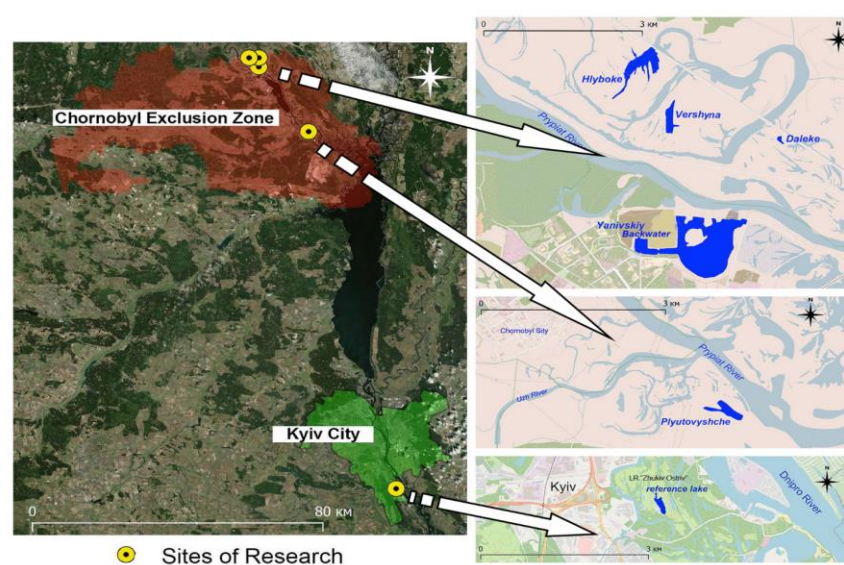
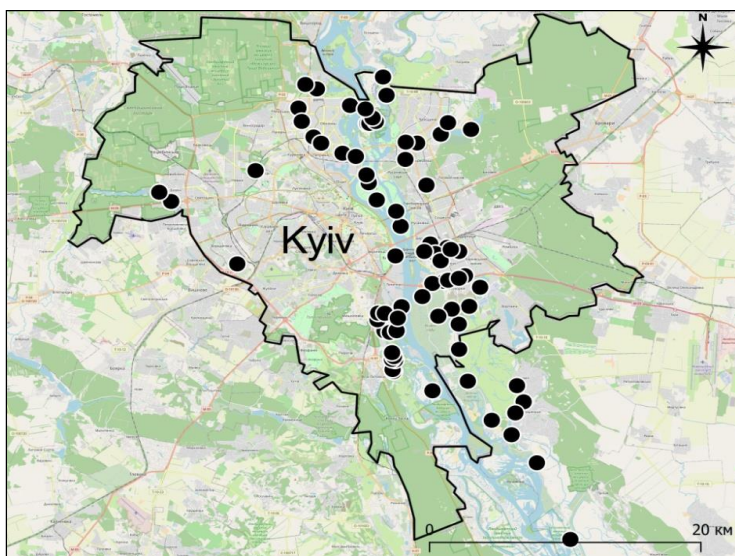
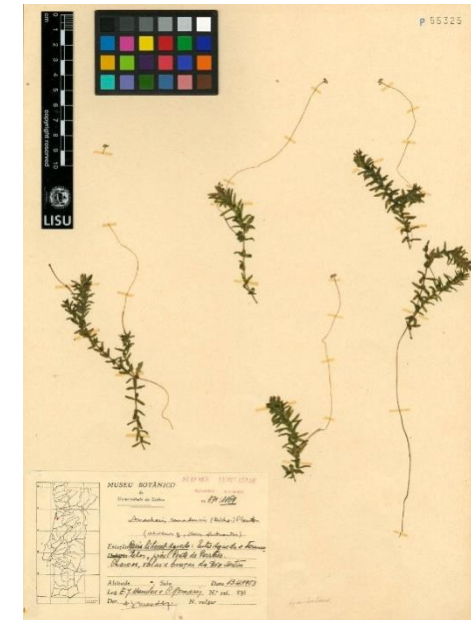
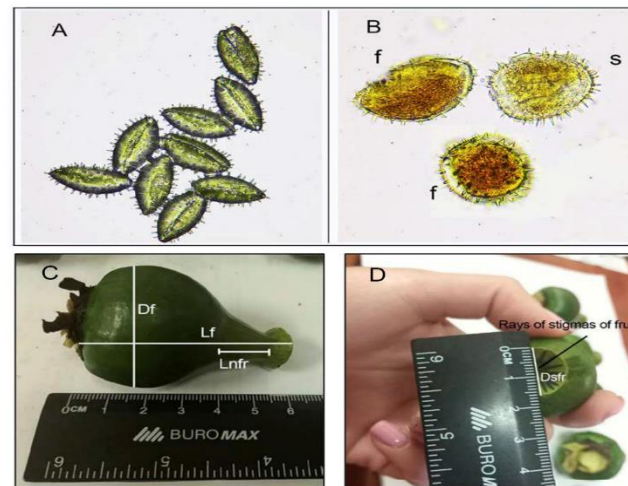
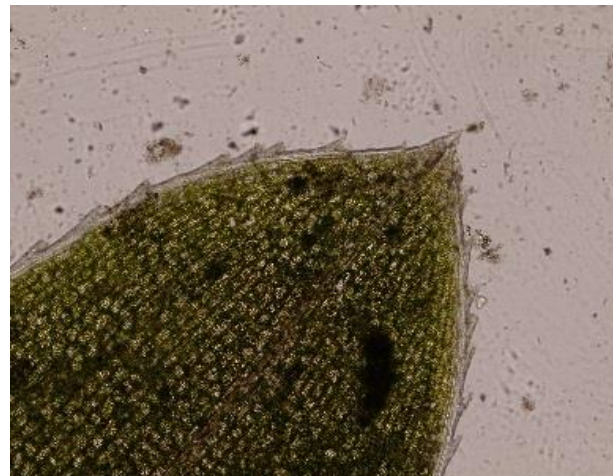


Завдання роботи:

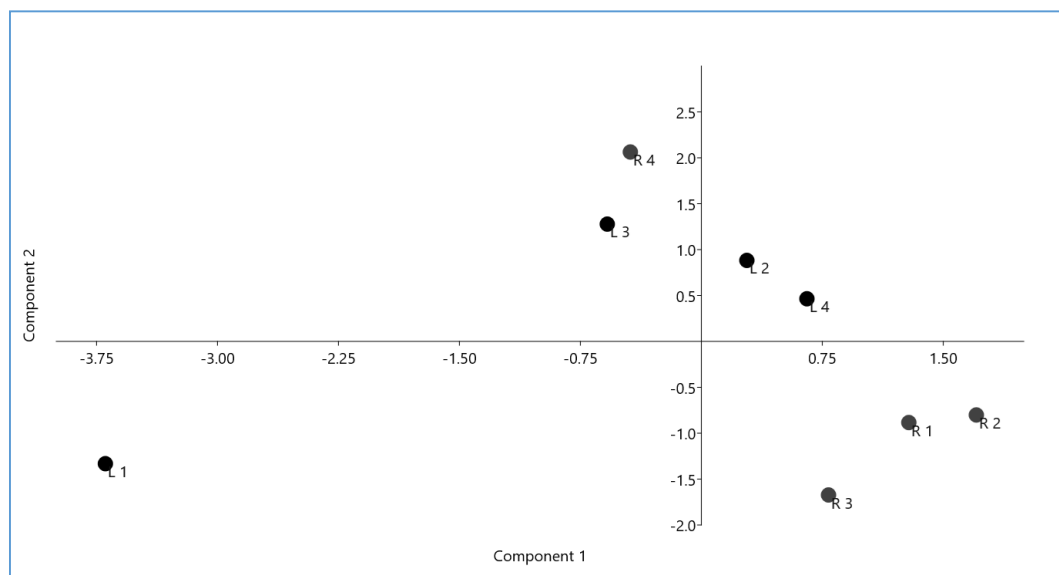
- дослідити екологічні преференції окремих видів макрофітів та різноманіття макрофітів у водоймах різного екологічного стану з акцентом на оцінку впливу антропогенного евтрофування;
- прослідкувати закономірності проникнення і розповсюдження чужорідних видів у водних об'єктах України, проаналізувати диференціацію їх екологічних та функціональних ніш, змодельювати сценарії можливого поширення інвазійних видів;
- дослідити зміни видового складу та життєздатності репродуктивних структур модельних видів в умовах значного антропогенного впливу, зокрема на прикладі пролонгованої дії радіоактивного забруднення
- проаналізувати сучасні особливості поширення раритетної складової макрофітів та встановити сучасні локальні та регіональні критерії вразливості для рідкісних і зникаючих видів водних рослин.



Матеріали та методи дослідження: флористичні, гідроботанічні, гідрохімічні, палінологічні методи, моделювання та статистичні аналізи. Обстежено понад 150 водних об'єктів (водотоків і водойм) Волинської, Рівненської, Київської, Черкаської, Житомирської та Одеської областей України



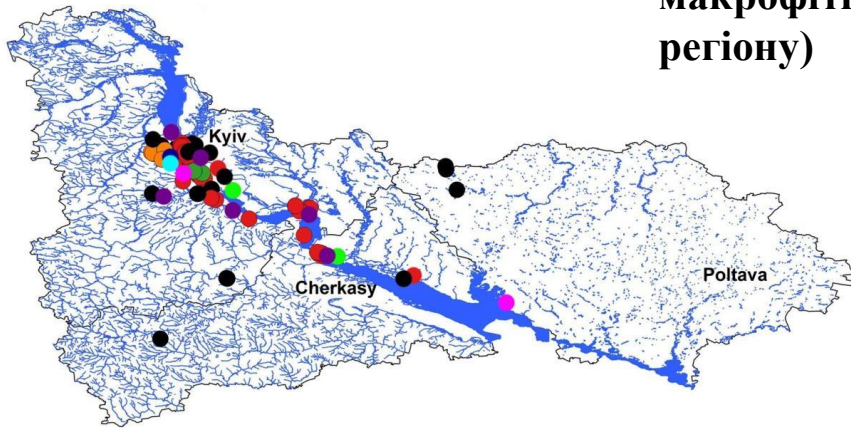
Вплив антропогенного евтрофування: Аналіз даних показав, що водні об'єкти України, навіть штучного походження чи трансформовані в результаті антропогенних впливів, здатні відігравати значну роль в якості резерватів різноманіття вищих водних рослин в умовах трансформованого середовища. А структура угруповань макрофітів, їх видове багатство, різноманітність та рясність, а також екологічна структура їх популяцій є орієнтовними інструментами для проведення екологічної оцінки якості середовища їх існування.



Результати PCA-ординації видового багатства макрофітів заплавної водойми лівого (L) та правого (R) берега р. Дніпра за флористичним складом

Види	оз. Редьчине		оз. Вербне	
	1990	2015	1990	2015
<i>Agrostis stolonifera</i>	-	-	-	+
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	++	+	++	+
<i>Batrachium circinatum</i>	<i>r</i>	-	-	++
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	++	-	++	+
<i>Butomus umbellatus</i>	++	<i>r</i>	++	<i>r</i>
<i>Ceratophyllum demersum</i>	+	+++	+	+++
<i>Ceratophyllum platyacanthum</i>	+	-	-	-
<i>Chara fragilis</i>	++	-	-	-
<i>Eleocharis palustris</i>	+	++	+	++
<i>Equisetum palustre</i>	-	-	++	+
<i>Elodea canadensis</i>	+++	++	++	+++
<i>Glyceria maxima</i>	++	+++	+++	+++
<i>Iris pseudoacorus</i>	+	<i>r</i>	+	<i>r</i>
<i>Oenanthe aquatica</i>	+	+	+	+
<i>Phragmites altissimus</i>	-	+	-	-
<i>Phragmites australis</i>	++	+++	+++	+++
<i>Rorippa amphibia</i>	-	++	+	++
<i>Scirpus lacustris</i>	++	+	++	+
<i>Sium latifolium</i>	+	++	+	++
<i>Sparganium erectum</i>	+	-	++	+
<i>Trapa natans</i>	-	<i>r</i>	-	+
<i>Typha angustifolia</i>	++	+++	++	+++
<i>Typha latifolia</i>	+	++	+	++
<i>Typha laxmannii</i>	-	-	+	-
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	+	-	-	++
<i>Lemna minor</i>	+	++	+	++
<i>Lemna trisulca</i>	+	-	-	-
<i>Salvinia natans</i>	-	-	+	++
<i>Spirodela polyrhiza</i>	+++	-	+	+++
<i>Polygonum amphibium</i>	++	+	++	+
<i>Potamogeton natans</i>	-	<i>r</i>	-	<i>r</i>
<i>Myriophyllum spicatum</i>	+	+++	+	+++
<i>Najas marina</i>	-	++	-	+++
<i>Potamogeton bertcholdii</i>	+	-	-	-
<i>Potamogeton crispus</i>	-	++	+	+++
<i>Potamogeton lucens</i>	-	-	-	++
<i>Potamogeton pectinatus</i>	+++	+++	+++	+++
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	+++	+	++	++
<i>Potamogeton trichoides</i>	+	-	-	-
Всього	28	24	26	32

Дослідження чужорідних видів



- Pistia stratiotes
- Elodea nuttallii
- Egeria densa
- Elodea canadensis
- Azolla caroliniana
- Lemna turionifera
- Phragmites altissimus
- Zizania latifolia
- Typha laxmannii

Дослідження чужорідної компоненти флори водних екосистем України показали, що у водоймах України сьогодні поширені 20 видів (близько 12 % флористичного списку макрофітів), а у Середньому Придніпров'ї виявлено 12 (15% флори водних рослин регіону)

Регіональні особливості чужорідних видів макрофітів

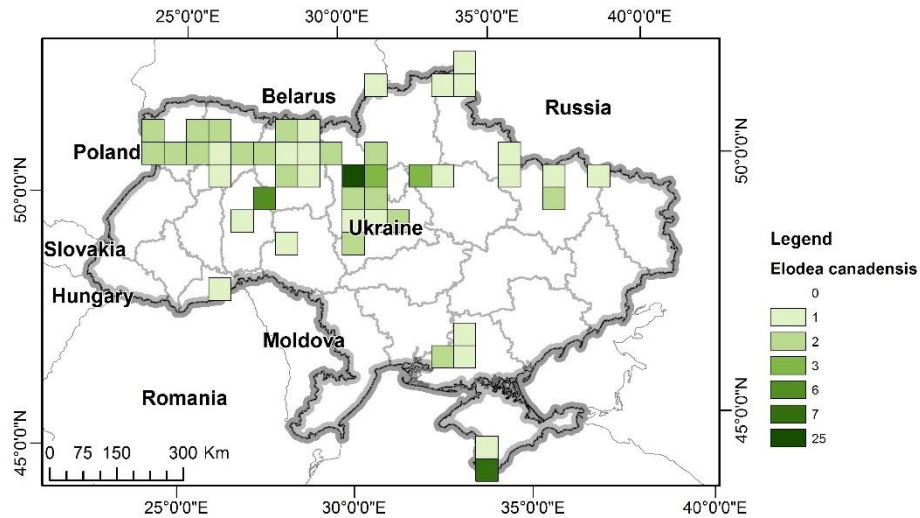
Вид	Ступінь натуралізації	Еколого-ценотична стратегія	Інвазійний статус
<i>Acorus calamus</i>	агріофіт	С-стратег	Naturalized plants
<i>Azolla caroliniana</i>	ефемерофіт	CR-стратег	Casual alien plants
<i>Egeria densa</i>	колонофіт	CR-стратег	Invasive plants
<i>Elodea canadensis</i>	агріофіт	С-стратег	Naturalized plants
<i>Elodea nuttallii</i>	агріофіт	CR-стратег	Invasive plants
<i>Lemna turionifera</i>	ефемерофіт	CR-стратег	Casual alien plants
<i>Phragmites altissimus</i>	агріофіт	С-стратег	Invasive plants
<i>Pistia stratiotes</i>	ефемерофіт	CR-стратег	Casual alien plants
<i>Typha laxmannii</i>	епекофіт	RS-стратег	Invasive plants
<i>Vallisneria spiralis</i>	епекофіт	S-стратег	Naturalized plants
<i>Zizania latifolia</i>	колонофіт	С-стратег	Naturalized plants

Розповсюдження чужорідних видів макрофітів у водоймах Середнього Придніпров'я



Pistia stratiotes в околицях м. Києва

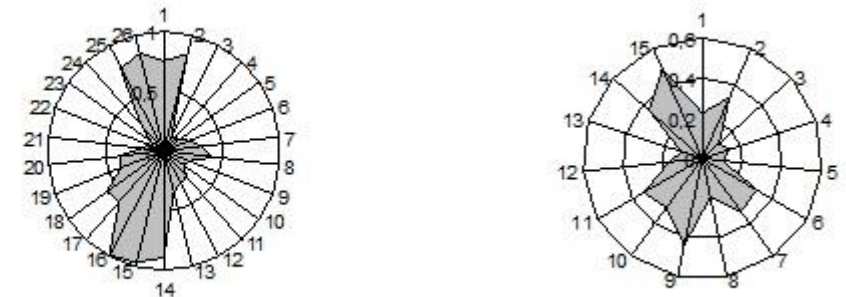
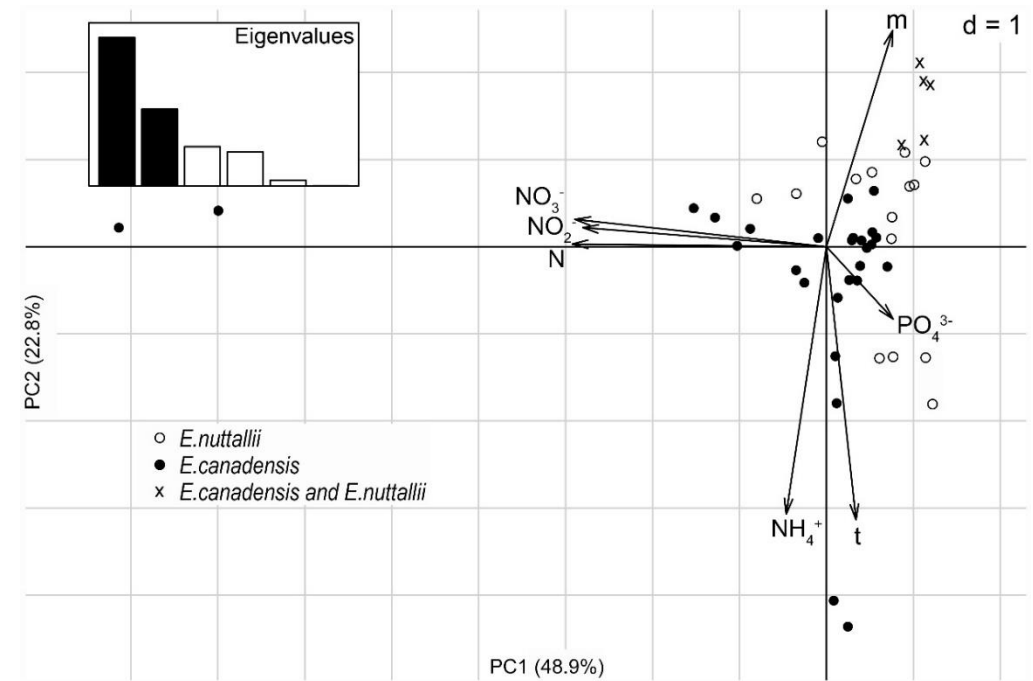
Розповсюдження *Elodea canadensis* територією України



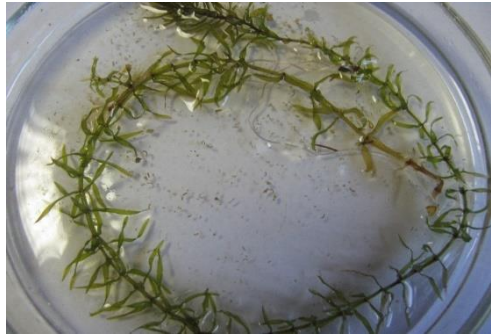
Діапазони варіації морфометричних характеристик *Elodea nuttallii* та *Elodea canadensis* у водоймах України

Морфометричні параметри	<i>Elodea nuttallii</i>				<i>Elodea canadensis</i>			
	min-max	mean	SD	CV	min-max	mean	SD	CV
Довжина головного пагона, см	9,5-165,0	37,8	19,6	51,9	10,0-66,9	33,7	14,13	41,9
Кількість бічних пагонів	0-35	6,5	7,09	108,4	0-10	2,9	1,88	64,8
Довжина бічних пагонів, см	0,4-35,5	5,3	4,49	84,6	0,6-34,0	5,8	7,19	124,0
Довжина міжвузль, см	0,1-5,0	0,7	0,56	78,9	0,1-3,0	0,6	0,42	70,0
Довжина листка, см	3,75-19,7	10,2	3,01	29,5	3,7-12,1	7,3	1,51	20,7
Ширина листка, см	0,75-4,3	1,9	0,41	21,6	1,3-5,5	2,4	0,53	22,1

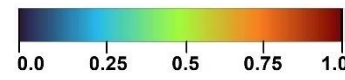
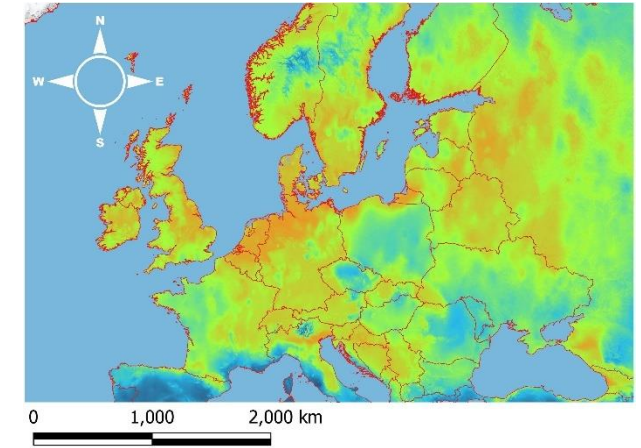
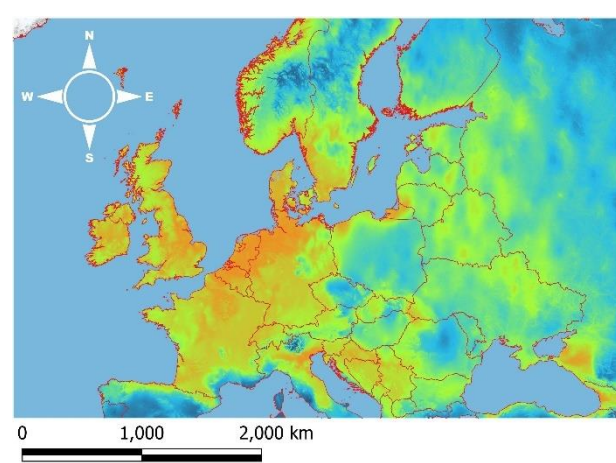
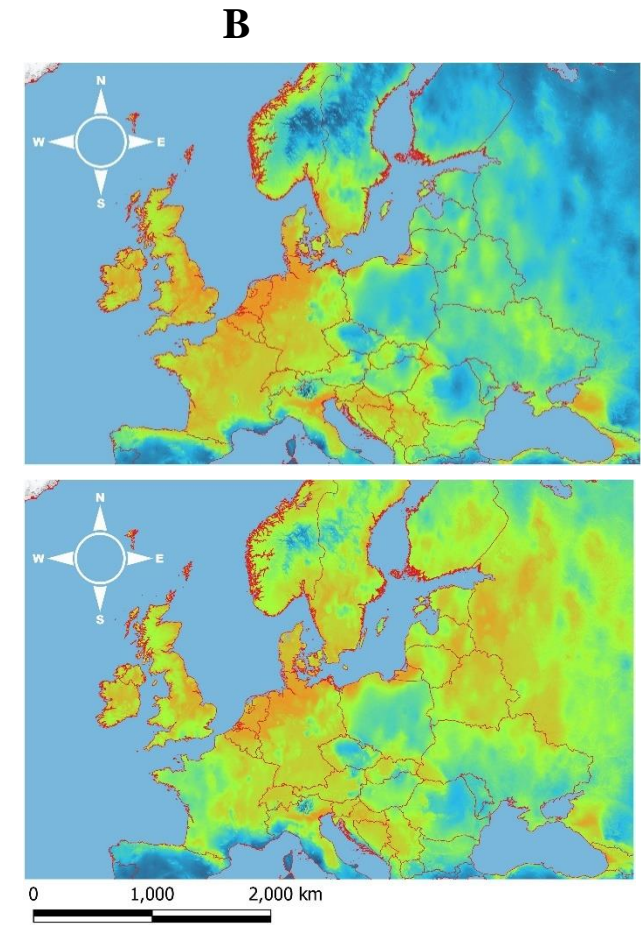
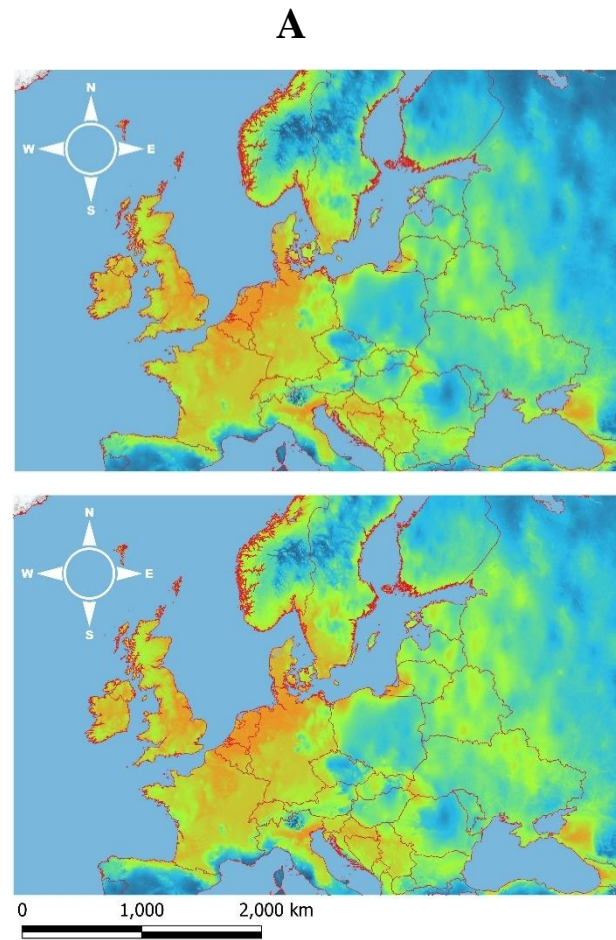
Оцінка факторів впливу на формування ценопопуляцій *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii* методом PCA



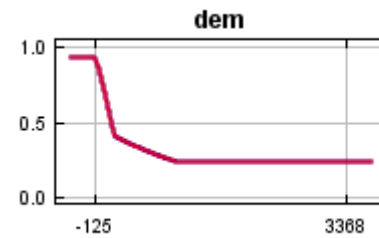
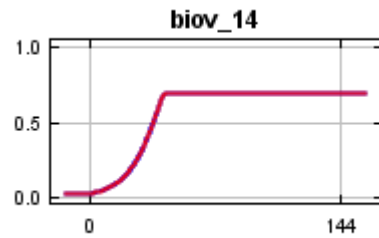
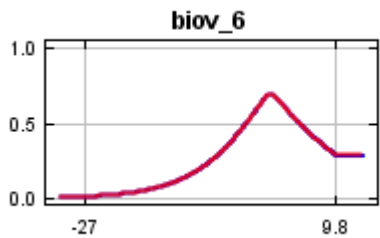
Варіація величини фітомаси *Elodea nuttallii* (а) та *Elodea canadensis* (б) (у повітряно-сухому стані, кг/м²) у межах локальних ценопопуляцій. На радіусі відкладено шкалу значень, по колу – порядковий номер укосів



Загальний вигляд угруповань *Elodea nuttallii* (верхній ряд) та її екоморф (лентичний біотоп – зліва, лотичний – справа)

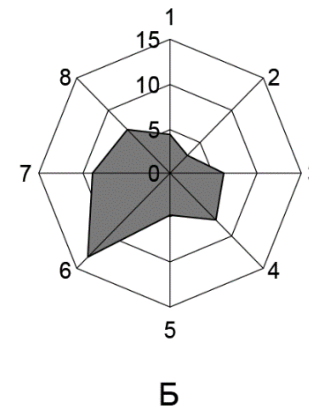
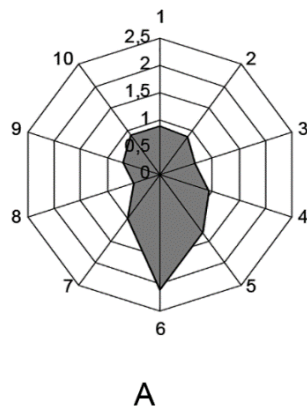
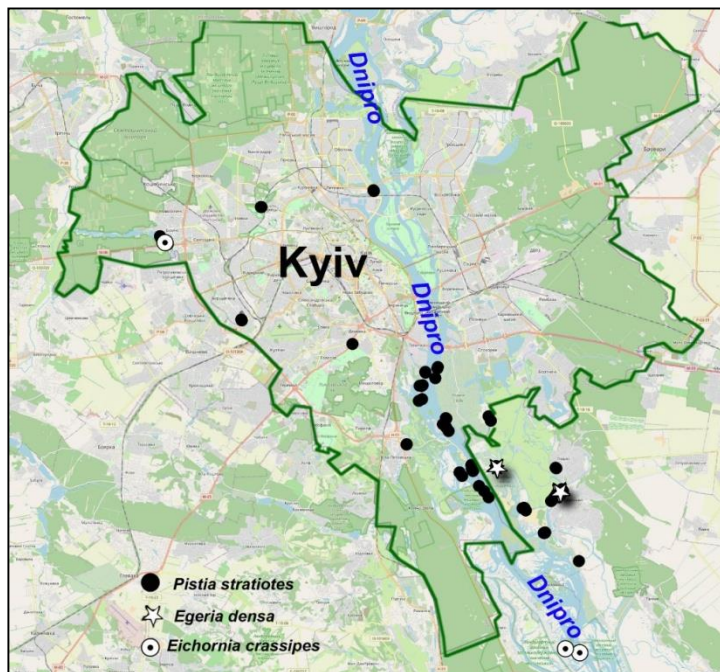


Прогноз ймовірного розповсюдження *Elodea nuttallii* в Європі: А – на 2041-2060рр при ssp126, В – на 2081-2100 рр при ssp126, С – на 2041-2060рр при ssp585, D – на 2081-2100рр при ssp585.



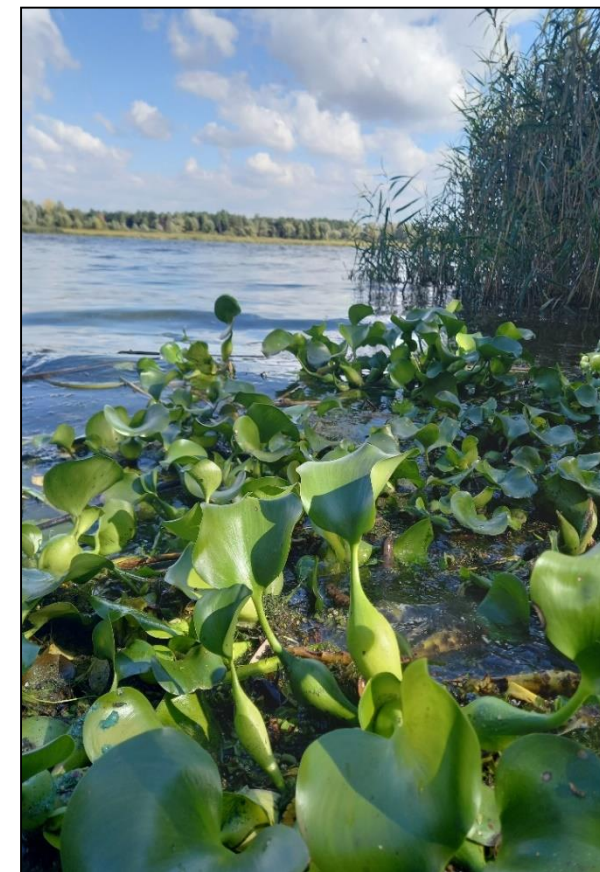
Найвагоміші фактори впливу на розповсюдження *Elodea nuttallii*

Спостерігається проникнення видів південного походження: *Egeria densa*, *Pistia stratiotes*, *Typha laxmanni*, *Phragmites altissimus*. Пом'якшений температурний режим створює сприятливі умови для адаптації та поширення чужорідних видів, зокрема *Egeria densa*, *Pistia stratiotes* і *Eichhornia crassipes*. Вони демонструють високу конкурентоспроможність, значну продуктивність і екологічну пластичність. Масове поширення *Pistia stratiotes* у заплавах водоймах Києва у 2019–2021 рр. свідчить про її перехід до вищого ступеня натуралізації та потенційне подальше інвазійне поширення в Україні.



Варіація величини фітомаси (сира фітомаси, кг/м²) у локальній популяції (А – *Pistia stratiotes*, Б – *Eichhornia crassipes*).

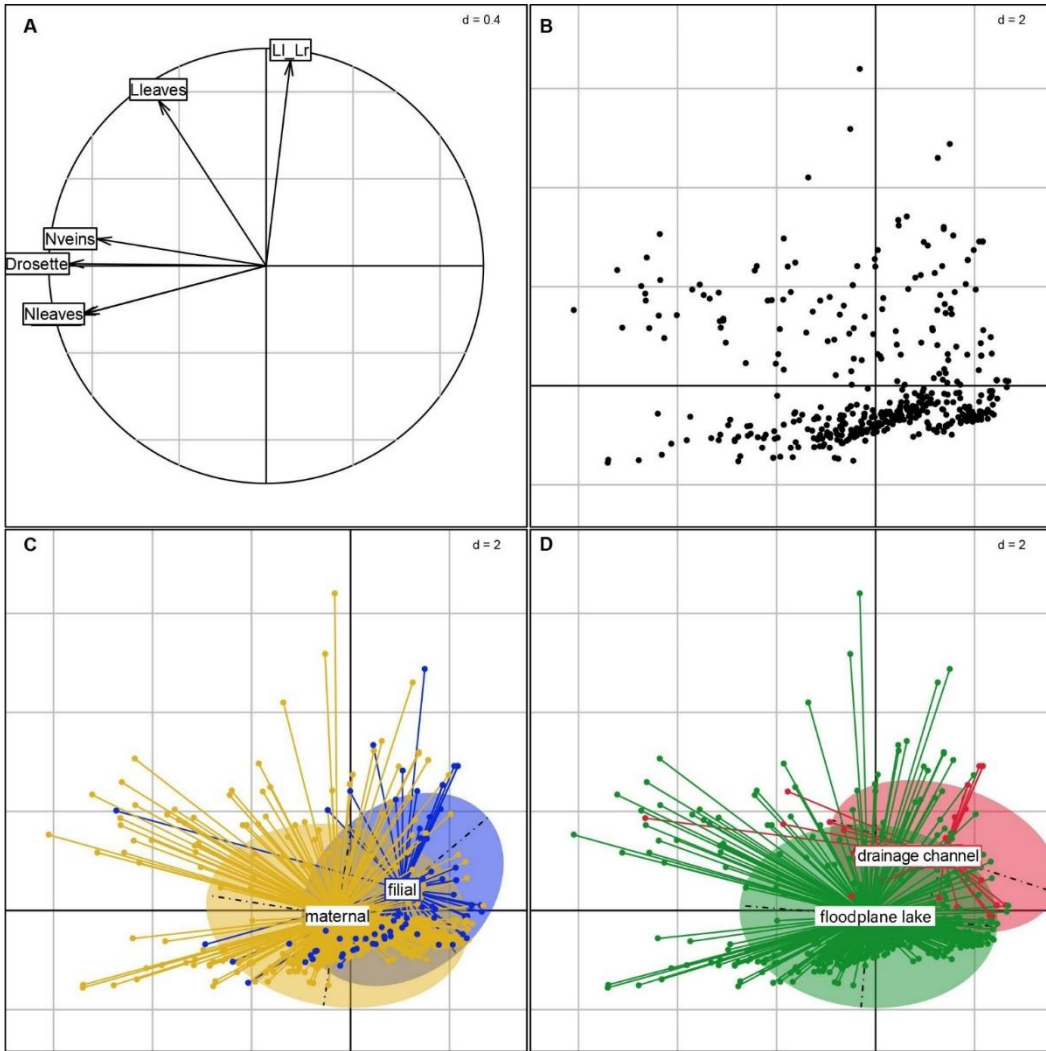
На радіусі відкладено шкалу значень, по колу – порядковий номер укосів



Eichhornia crassipes (р.Дніпро)

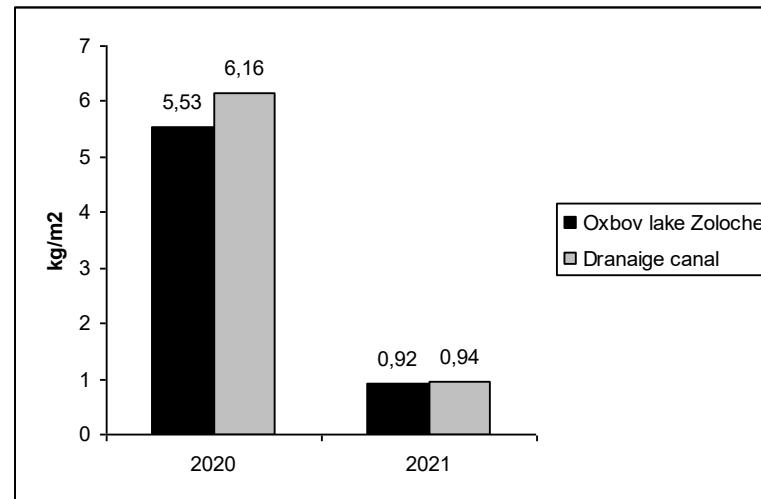
Розповсюдження пантропічних вселенців у м. Київ та його околицях

Морфометричні характеристики *Pistia stratiotes* у різнотипних біотопах



Результати аналізу головних компонент:
кореляційна матриця морфологічних даних (A);
факторні карти для окремих рослин (B), материнських і
дочірніх рослин (C) і водойм (D).

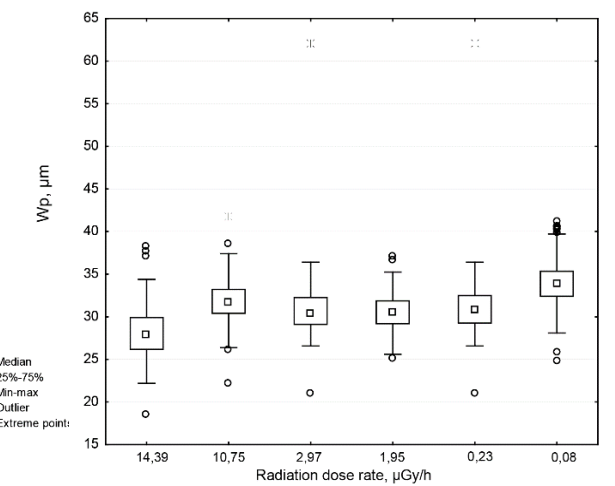
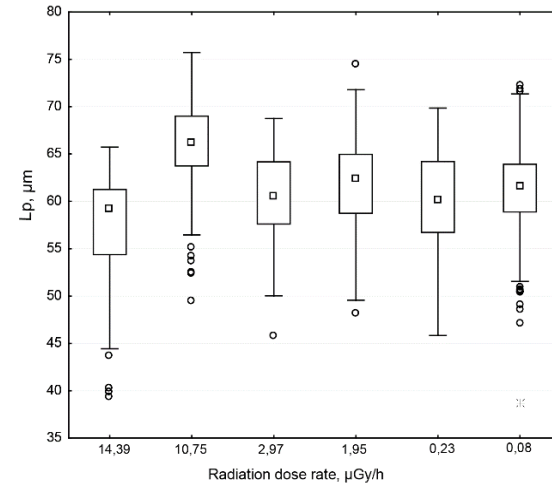
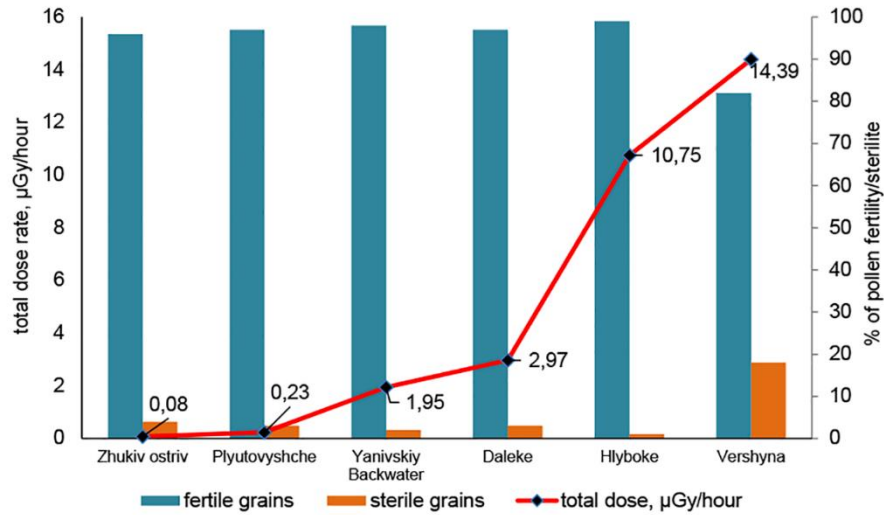
Морфометричні параметри	дренажний канал		заплавна водойма	
	Материнські рослини	Дочірні рослини	Материнські рослини	Дочірні рослини
Діаметр розетки (Dr, cm)	16,33±8,06	3,68±1,64	12,82±7,12	10,49±5,19
Кількість жилок (Nv)	7,00±0,87	5,87±1,01	6,96±1,25	6,95±0,93
Кількість листків (Nl)	8,67±3,00	4,47±1,08	8,79±2,85	6,19±2,49
Довжина листків (Ll)	6,57±4,59	1,76±1,25	5,15±3,48	4,51±3,09
Довжина коріння (Lr)	17,89±8,77	4,53±1,72	14,61±9,74	12,77±9,46



дренажний канал в районі шлюза-регулятора №3

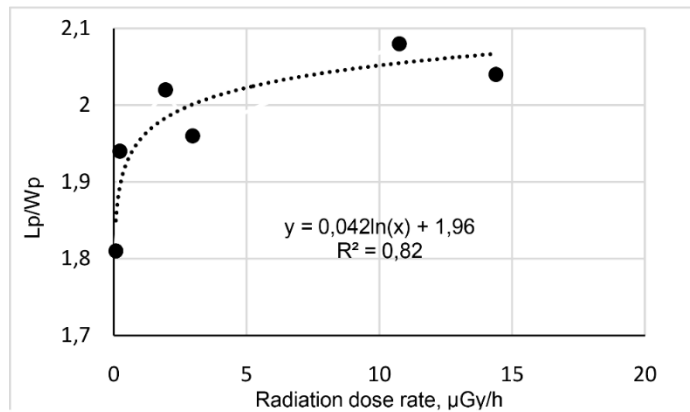
Динаміка фітомаси *Pistia stratiotes* у модельних локалітетах

Вплив тривалого іонізуючого випромінювання на показники репродуктивних структур макрофітів

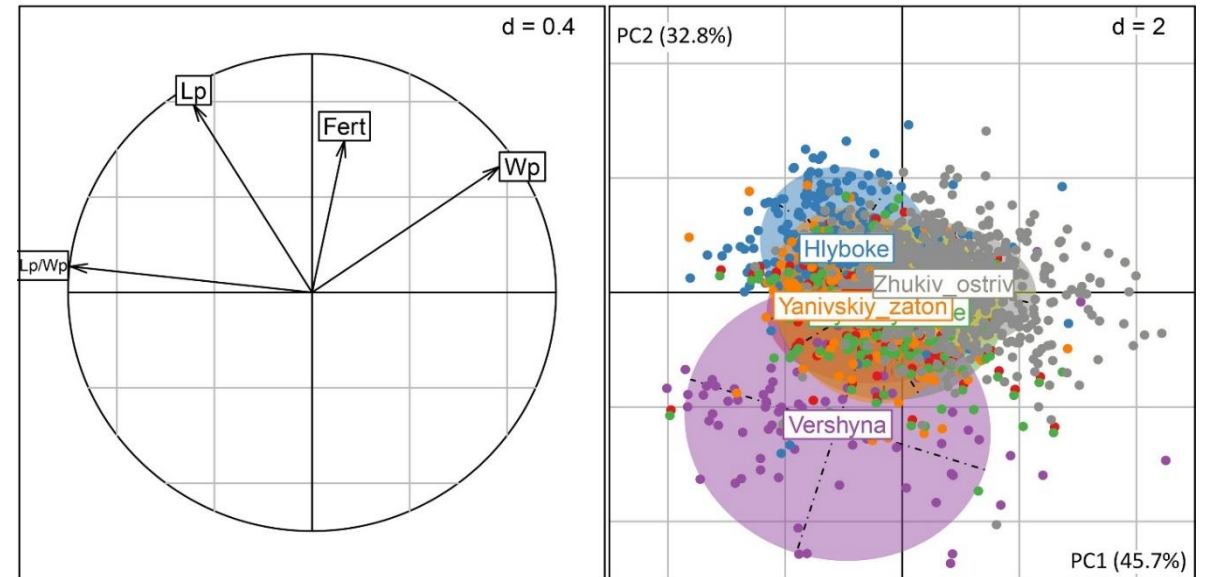


Діаграми діапазону морфометричних параметрів пилкових зерен *Nuphar lutea*

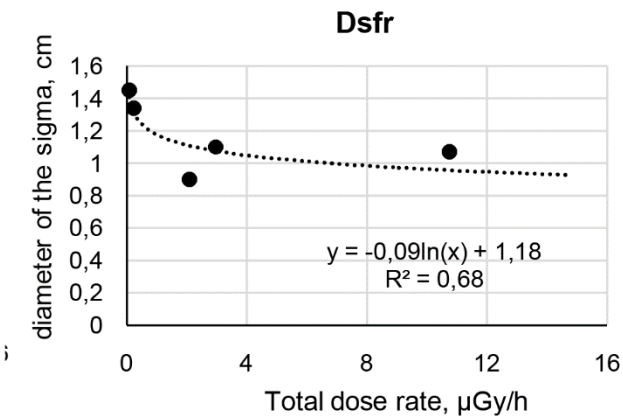
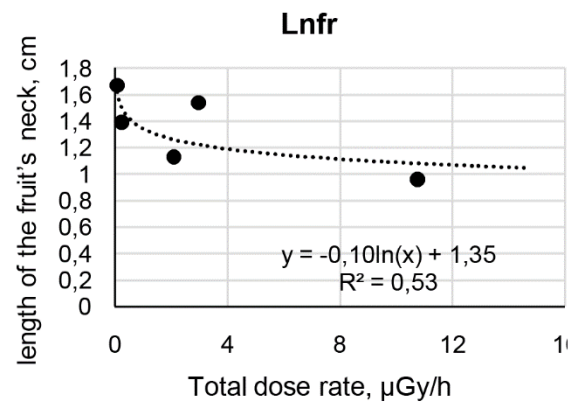
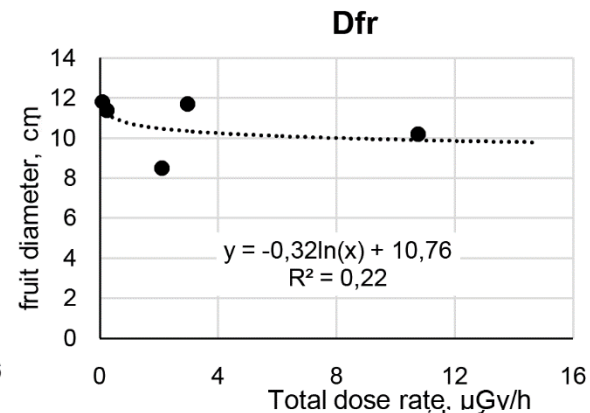
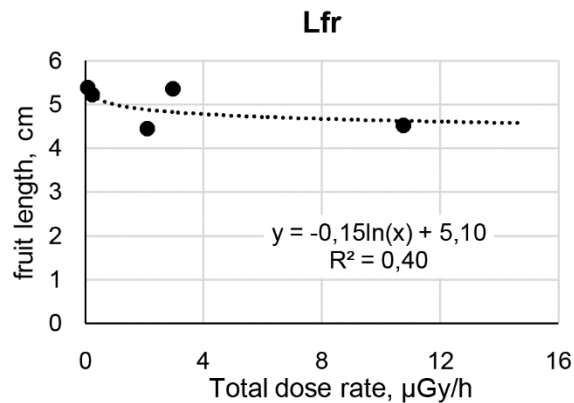
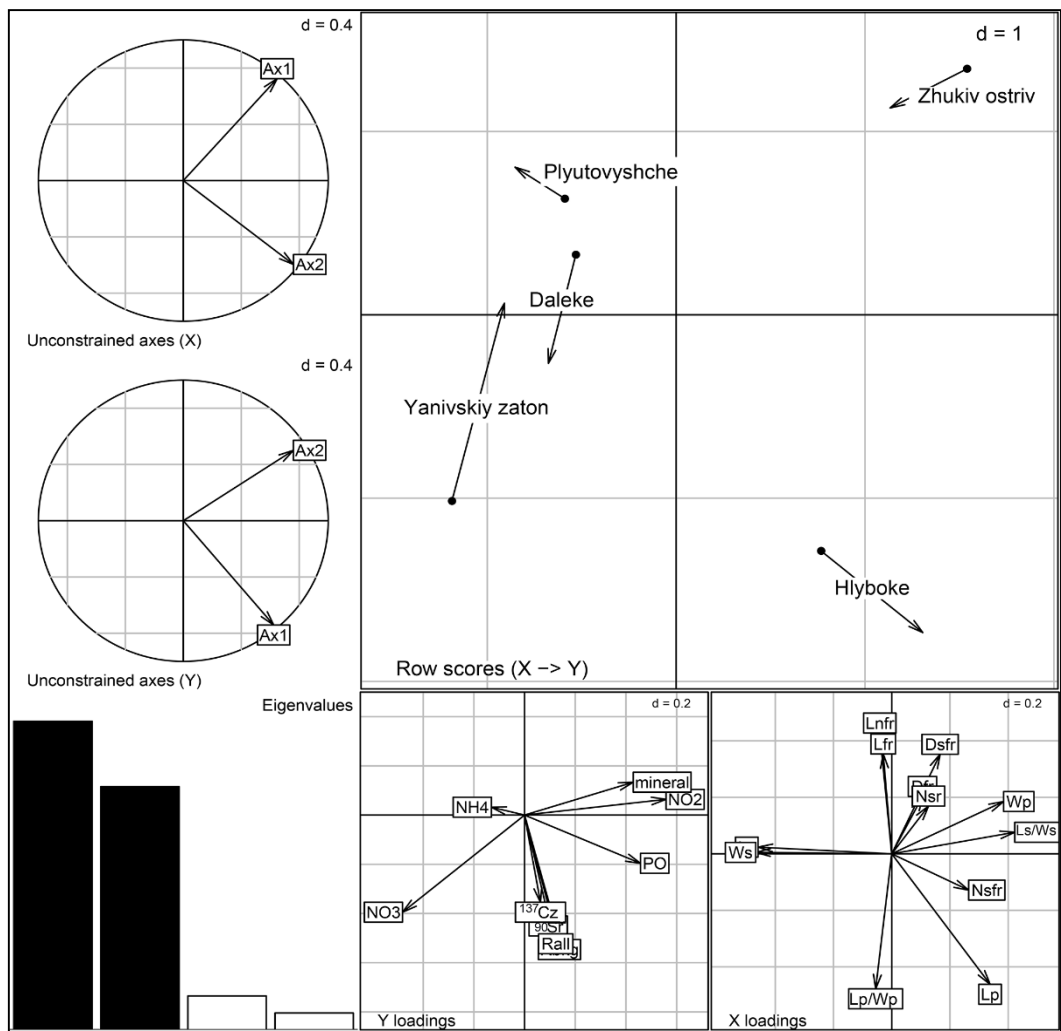
Життєздатність пилку *Nuphar lutea* у градієнті потужності поглиненої дози іонізуючого випромінювання



Залежність потужності сумарної дози опромінення від відношення довжини до ширини пилкового зерна (середні значення по водоймах)

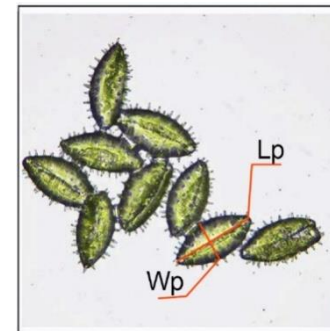


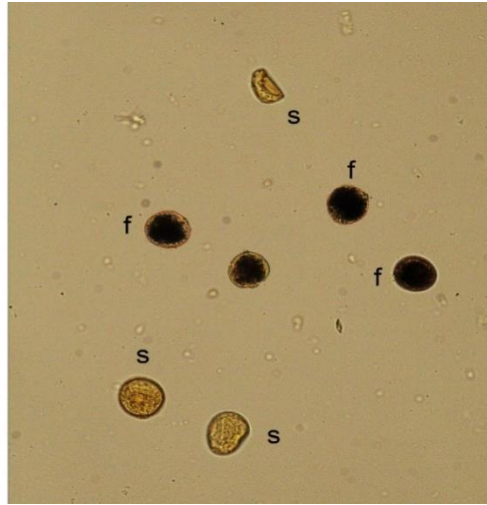
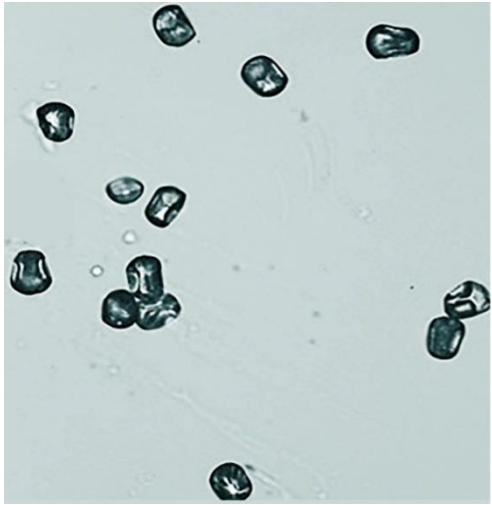
РСА морфології пилку та даних про його фертильність. Зліва: коло кореляції параметрів. Справа: факторна карта РСА для водойм відбору зразків, де зразки згруповані за кожним водним об'єктом. Еліпси інерції виділяють ~68% зразків кожної групи за проекцією на осі



Морфологічні показники плодів *Nuphar lutea* (середні значення) у градієнті потужності дози радіації: Lfr – довжина плоду, Dfr – ширина плоду, Lnfr – довжина шийки плоду, Dsfr – ширина шийки плоду

Композитний графік аналізу коінерції, виконаного для екологічних змінних і морфологічних даних пилку, плодів та насіння. Проекція перших осей двох простих РСА для екологічних змінних та морфологічних даних на осі коінтерії в верхньому лівому куті. Комбінований графік оцінок місць умов середовища (стрілки) та морфологічних даних (точки). Гістограма власних значень в нижньому лівому куті. Коефіцієнти аналізу коінтерії для екологічних змінних (Y навантаження) та морфологічних параметрів (X навантаження) на двох графіках в нижньому правому куті



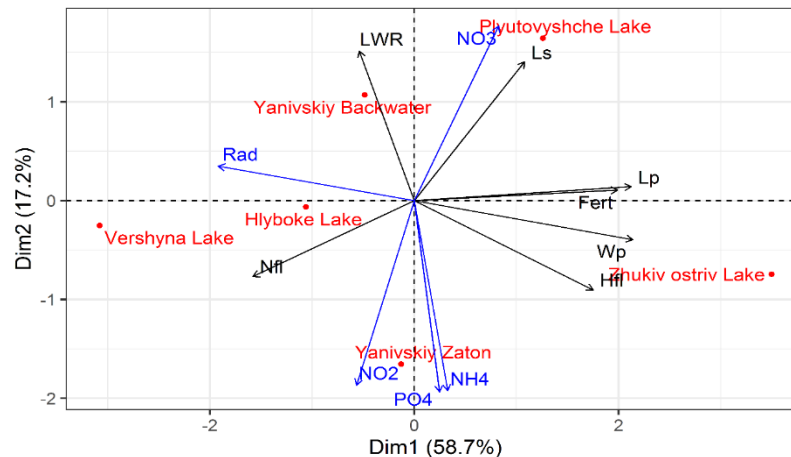


Показники насінневої продуктивності *Glyceria maxima* в умовах водойм з різним рівнем потужності поглиненої дози

Водойма	Потужність поглиненої дози, мкГр/год	Насіннева продуктивність		Коефіцієнт насіннефікації, %
		потенційна	фактична	
Оз. Глибоке	11,75	177,77±60,4 3	3,00±3,81	1,68
Оз. Азбучин	9,58	296,93±138,93	0,07±0,26	0,02
Янівський затон	2,45	403,02±135,61	0,36±0,67	0,08
Оз. Плютовище	0,59	335,1±162,8	17,73±15,84	5,97
Водойма ЛЗ «Жуків острів»	0,086	497,31±122,29	4,54±3,3	0,91

Верхній ряд: вигляд пилку *Glyceria maxima* під мікроскопом: ліворуч – загальний вигляд сухого пилку, праворуч – вигляд фарбованого пилку (f – фертильні зерна, s – стерильні)

Нижній ряд: суцвіття та насіння *Glyceria maxima*



Діаграма аналізу головних компонент PCA морфометричних параметрів *Glyceria maxima* (чорні стрілки), а також вектори змінних середовища (сині стрілки), спроектовані у ординаційну площину

Дослідження рідкісних видів

За результатами просторово-часового аналізу флори макрофітів водних об'єктів м. Київ для 23 рідкісних і охоронюваних видів розроблено локальні критерії вразливості (созологічної значущості):



Caldesia parnassifolia, *Potamogeton alpinus* – зникли з флори міста (Ex)

Aldrovanda vesiculosa, *Batrachium aguatile*, *Hottonia palustris*, *Potamogeton praelongus*, *Sparganium minimum*, *Utricularia intermedia*, *U. minor* – перебувають під критичною загрозою зникнення (Cr)

Calla palustris, *Ceratophyllum submersum*, *Potamogeton acutifolius*, *P. compressus*, *P. obtusifolius*, *P. trichoides* – перебувають під загрозою зникнення (En)

Potamogeton heterophyllus, *Callitriche palustris*, *Nymphaea alba*, *N. candida* – уразливі, з високим ризиком зникнення (Vu)

Salvinia natans, *Wolffia arrhiza*, *Nuphar lutea*, *Trapa natans* – з низьким рівнем ризику зникнення (Lr)

Висновки:

Аналіз даних показав, що водні об'єкти України, навіть штучного походження чи трансформовані в результаті антропогенних впливів, здатні відігравати значну роль в якості резерватів різноманіття вищих водних рослин в умовах трансформованого середовища. А структура угруповань макрофітів, їх видове багатство, різноманітність та рясність, а також екологічна структура їх популяцій є орієнтовними інструментами для проведення екологічної оцінки якості середовища їх існування:

1. Видове багатство макрофітів визначається екологічним станом водойм: посилення антропогенного евтрофування призводить до помітних змін флористичного і ценотичного різноманіття макрофітів. Трансформація флористичних комплексів проявляється в малій кількості масових видів та їх еврівалентності. Превалювання у списках видів, що трапляються зрідка та рідкісних, зумовлене зменшенням кількості оселищ, що характеризуються водою високої якості. Відбулася послаблення ценотичної ролі окремих видів, що є свідченням значної трансформації мілководної зони водойм і гомогенності біотопів.
2. Чужорідні макрофіти освоюють та закріплюються в евтрофованих оселищах та трансформованих водних об'єктах, проникнення чужорідних видів у місцеві екосистеми може становити небезпеку для збереження видового різноманіття. За останні 10-15 років посилюється експансія чужорідних видів водних рослин: у Середньому Придніпров'ї їхня кількість зросла втричі (з 3 до 12 видів), а також значно збільшилася кількість їх локалітетів зростання. Повсюдна антропогенна евтрофікація водойм та водотоків сприяє поширенню інвазійних гідрофітів, що характеризуються евритопністю. Виключенням є інвазії *Elodea canadensis*, які за рахунок збільшення тропності на фоні надмірного зарегулювання водотоків, можна розглядати як регресивні. На сучасному етапі спостерігається проникнення видів південного походження: *Egeria densa*, *Pistia stratiotes*, *Typha laxmanni*, *Phragmites altissimus*, чому сприяє пом'якшений температурний режим. Вони демонструють високу конкурентоспроможність, значну продуктивність і екологічну пластичність. Масове поширення таких видів у заплавах Києва у 2019–2021 рр. свідчить про її перехід до вищого ступеня натуралізації та потенційне подальше інвазійне поширення в Україні.

Висновки:

3. Небезпечним сучасним чужорідним вселенцем з найбільшим інвазійним потенціалом є *Elodea nuttallii*. Основними лімітуючими факторами для розповсюдження виду є кількість опадів у найпосушливішому місяці, мінімальна температура найхолоднішого місяця, висота над рівнем моря та сезонна мінливість опадів. Через свою евритопність, походження з регіону з помірним кліматом та здатність швидко поширюватися, *Elodea nuttallii* є видом, що розширює свій вторинний ареал в Україні та всій Східній Європі. З огляду на поточні зміни клімату, цей вид значно збільшить своє розповсюдження до 2060 року: *Elodea nuttallii* здатна поширитися на більш континентальні та східні території, зокрема, Білорусь та північну Україну, а також зменшить свою присутність у Західній та Центральній Європі. Ймовірність розповсюдження виду в Україні досягне 61% у 2100 році за оптимістичним сценарієм та 78% за песимістичним. Паралельно спостерігається сучасне зростання інвазійного потенціалу та посилення ступеня натуралізації ще двох видів макрофітів – *Pistia stratiotes* та *Eichhornia crassipes*. Це види, популярні в міській аквакультурі, що забезпечує джерело постійного їх «вливання» в міські, а згодом – і природні водні об'єкти. А висока конкурентоспроможність та евритопність даних видів дає підстави нам розглядати їх в умовах помірно континентального клімату як види віолентної еколого-фітоценотичної стратегії (CR-стратегі), здатні до подальшого інвазійного поширення гідромережею України. Можна очікувати формування стійких локальних популяцій в умовах природних водотоків та заплавних водойм.

Висновки:

4. Проведені дослідження зміни видового складу та життєздатності репродуктивних структур двох модельних видів (*Glyceria maxima* та *Nuphar lutea*) в умовах пролонгованої дії радіоактивного забруднення на заплавах водойм зони відчуження Чорнобильської АЕС показав, що вплив радіації найбільшою мірою позначається на чоловічому гаметофіті: із збільшенням рівня дозового навантаження зменшується розмір пилкового зерна, його форма у вибірці (розмах величин окремих зерен) починає більше варіювати. Зв'язок морфометричних показників більш пізніх репродуктивних структур – суцвіття, супліддя і насінини – із збільшенням радіаційного навантаження слабший і більше пов'язаний із трофічним статусом водойми. Усі проаналізовані ознаки показали обернений зв'язок із потужністю поглиненої дози, якої зазнають батьківські рослини. Хронічне радіаційне опромінення (до 9-13 $\mu\text{Gy/h}$) може спричинити стерильність 50-60% пилкових зерен у *Glyceria maxima*. У *Nuphar lutea* пилкові зерна демонструють відносну стійкість до довготривалого радіаційного впливу (спостерігалася лише 18% стерильних пилкових зерен). На водоймі з фоновими рівнями радіаційного забруднення (контроль) середні значення довжина, ширина пилкових зерен на 14-20% були більші та мали відносно стабільні розміри.

5. Просторово-часовий аналіз флори вищих водних рослин водойм міста Києва дозволив розробити локальні критерії охорони (критерії вразливості для 23-ох рідкісних і зникаючих видів макрофітів) які суттєво відрізняються від регіональних через значну трансформацію урбанізованого середовища. За останні 40–50 років рідкісний компонент макрофітної флори міста зазнав значного збіднення: два види зникли, сім перебувають у критичній зоні загрози, шість – під загрозою зникнення, чотири – є вразливими з високим ризиком зникнення, а ще чотири види мають низький ризик зникнення.

Новизна представленої роботи полягає в комплексному аналізі впливу різноманітних антропогенних чинників на стан макрофітних комплексів водних екосистем України та виділенню основних екологічних ризиків, що сьогодні спричиняють зменшення видового і ценотичного різноманіття вищих водних рослин. Вперше проведено дослідження життєздатності репродуктивних структур окремих видів макрофітів у радіаційно забруднених водоймах зони відчуження ЧАЕС. Досліджено залежність видового багатства макрофітів від екологічного стану водойм, оцінені трофічні преференції низки видів макрофітів (у т.ч. і чужорідних). Встановлено сучасні тенденції поширення чужорідних макрофітів, особливості їхнього біотопічного приурочення, екології та стратегії поведінки у вторинному ареалі; проаналізовано зв'язок продукційних показників ценопопуляцій чужорідних видів та фенотипічної мінливості з гідрологічним та трофічним режимами біотопів, зпрогнозовані можливі сценарії розповсюдження.