ЛАНДШАФТНИЙ ПІДХІД У ОЦІНЦІ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ПРОДУКЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Федонюк Тетяна Павлівна – доктор сільськогосподарських наук, професор, керівник навчально-наукового центру екології та охорони навколишнього середовища Поліського національного університету

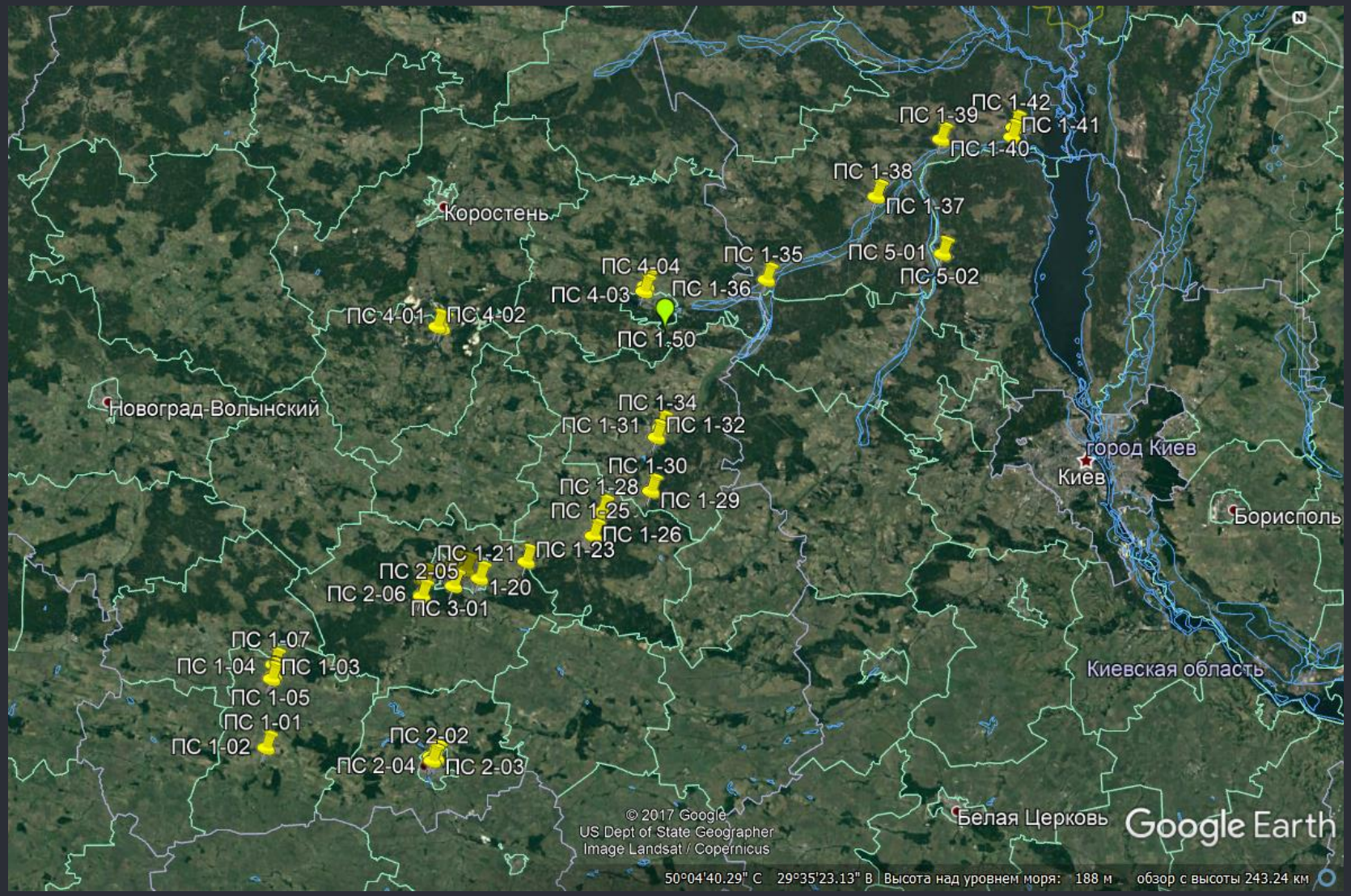
Зимароєва Анастасія Анатоліївна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації лісових ресурсів Поліського національного університету

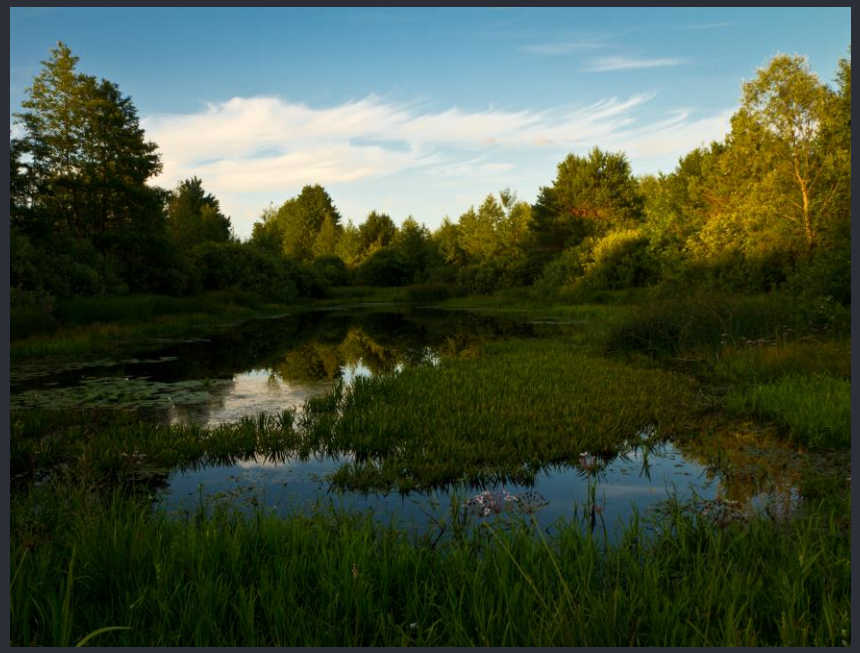
Мета – встановити та обґрунтувати теоретичні та методологічні аспекти застосування ландшафтного підходу та продукційного потенціалу (видооблікових та морфогенетичних показників стабільності розвитку макрофітів) для здійснення екологічної оцінки сталого розвитку водних екосистем на території Полісся України

Ідея досліджень. Структура ландшафтів та індикатори продукційного потенціалу (видооблікові та морфогенетичні параметри розвитку угруповань водних макрофітів) можуть бути використані як критерії сталого розвитку водних екосистем, вони є інформативними тест-об'єктами, які придатні до застосування на території Полісся України.

Для цього вирішувались такі основні завдання:

- визначення основних чинників антропогенних змін водних екосистем у межах Тетерівського екологічного коридору та оцінка масштабів і наслідків їх впливу на якість води;
- проведення ретроспективного аналізу процесів формування якості води в межах Тетерівського екологічного коридору за останні 70 років, оцінка основних напрямків динаміки за трьома блоками показників та визначення інтегрованих екологічних індексів якості води у точках спостережень;
- визначення основних параметрів та масштабів впливу структури ландшафтів на формування екологічної якості води в межах Тетерівського екологічного коридору;
- визначення структурно-функціональних ознак видового різноманіття в межах Тетерівського екологічного коридору у ділянках з різним ступенем освоєності заплави річкового ландшафту, виявлення критичних екогруп та біоморф по відношенню до різних екологічних факторів;
- встановлення флористичного складу, чисельності видів та їх проективного покриття в межах гідрологічних екологічних зон на ділянках з різним антропогенним тиском в межах Тетерівського екологічного коридору за основними блоковими індексами якості води та вмістом токсичних речовин у донних відкладах та прибережних ґрунтах;
- здійснення аналізу динаміки видового складу фітоценозів Тетерівського екологічного коридору за показниками екологічної стабільності й пластичності з використанням наступних критеріїв: індексу видового багатства Маргалефа, індексу видового різноманіття Шеннона, індексу домінування Сімпсона, індексу вирівняності Пієлу, індексу подібності Сьйоренсена;
- встановлення параметрів застосування системи короткотермінового (миттєвого) біомоніторингу на основі морфогенетичних змін у деяких видів рослин, що ростуть у межах Тетерівського екологічного коридору та визначення закономірностей розподілу інтегральних індексів флуктуаційної асиметрії залежно від якості води для території Полісся України;
- визначення закономірності розподілу інтегральних індексів флуктуаційної асиметрії водних макрофітів залежно від наявності токсичних сполук у донних відкладах і прибережних ґрунтах;
- встановлення кореляційних залежностей між розрахованими критеріями видового різноманіття та здійснення порівняльної оцінки найбільш інформативних методів оцінки якості водного середовища.





Розподіл точок обліку вищої водної рослинності на території Полісся України
Джерело: Google Earth 6.2.2.6613, аерофотознімок з авторськими мітками

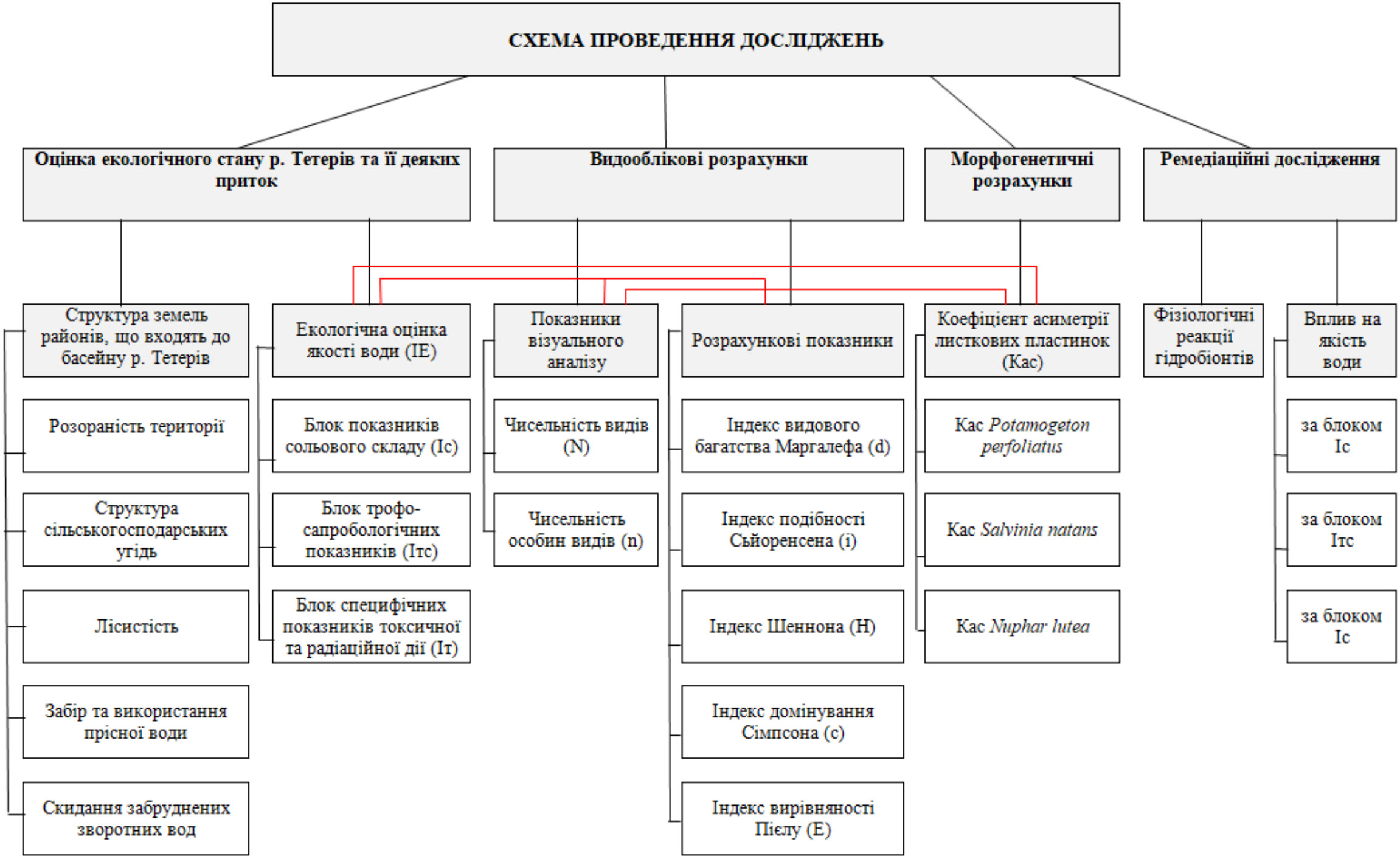
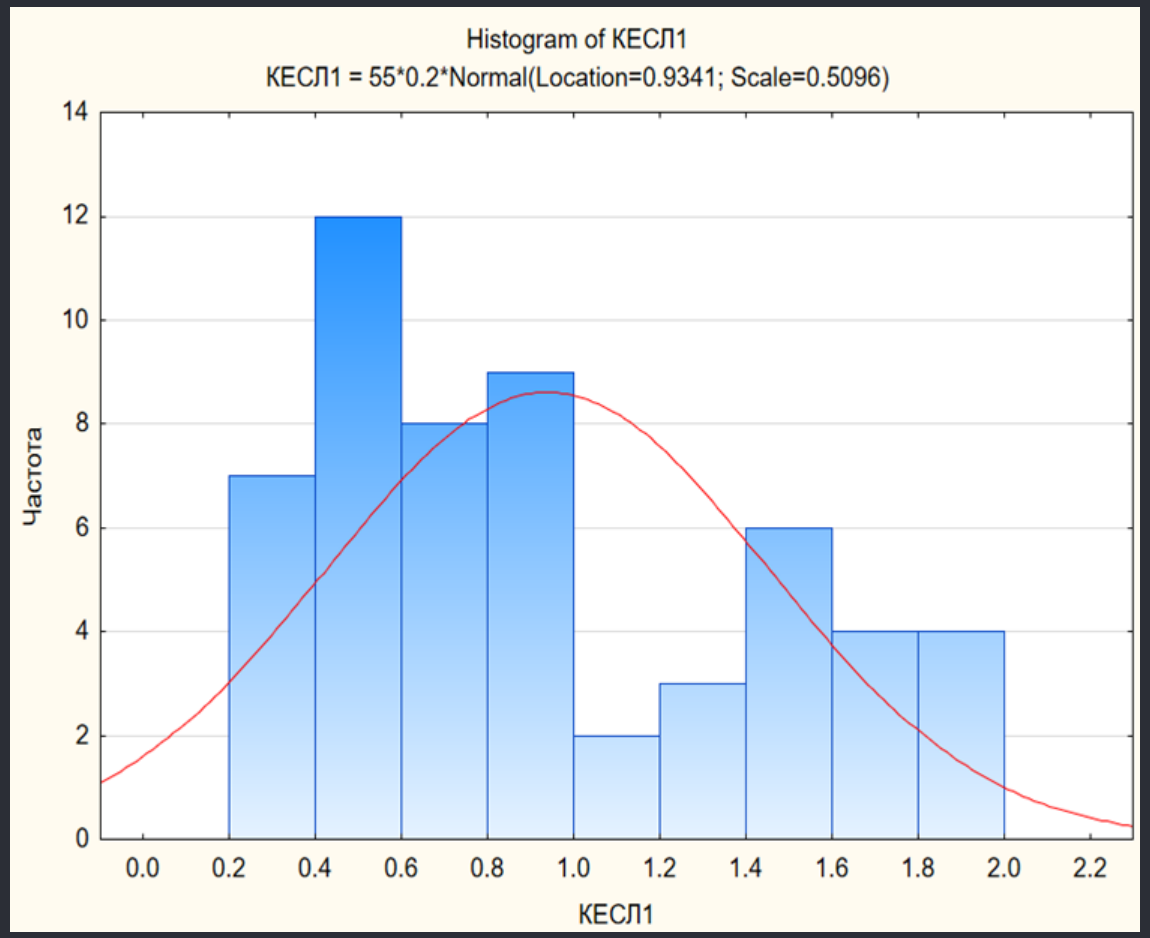
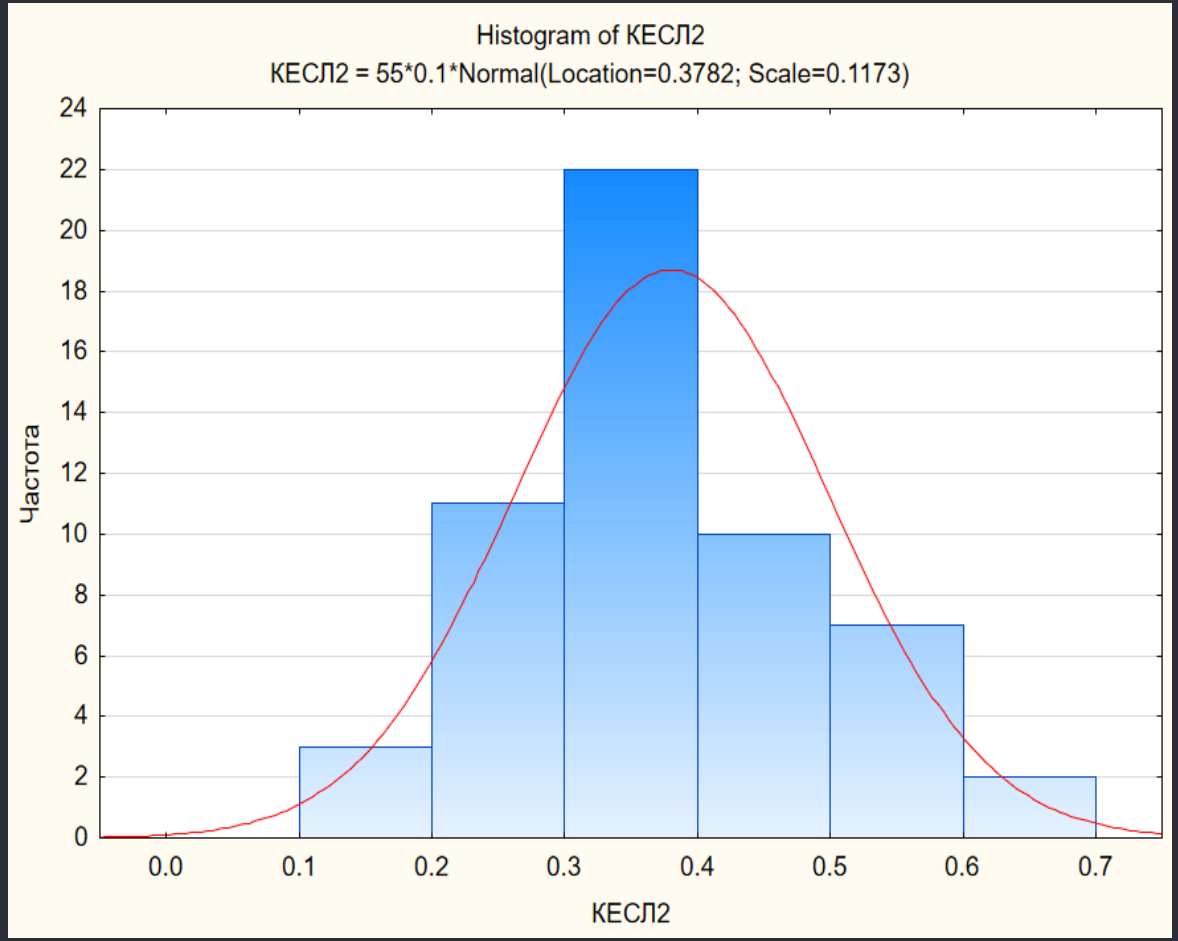


СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ
Оцінка екологічного стану р. Тетерів та її деяких приток
Видооблікові розрахунки
Морфогенетичні розрахунки
Ремедіаційні дослідження
Структура земель районів, що входять до басейну р. Тетерів
Розораність території
Структура сільськогосподарських угідь
Лісистість
Забір та використання прісної води
Скидання забруднених зворотних вод
Екологічна оцінка якості води (ІЕ)
Блок показників сольового складу (Іс)
Блок трофо-сапробологічних показників (Ітс)
Блок специфічних показників токсичної та радіаційної дії (Іт)
Показники візуального аналізу
Чисельність видів (N)
Чисельність особин видів (n)
Розрахункові показники
Індекс видового багатства Маргалефа (d)
Індекс подібності Сьйоренсена (i)
Індекс Шеннона (H)
Індекс домінування Сімпсона (c)
Індекс вирівняності Пієлу (E)
Коефіцієнт асиметрії листкових пластинок (Кас)
Кас Potamogeton perfoliatus
Кас Salvinia natans
Кас Nuphar lutea
Фізіологічні реакції гідробіонтів
Вплив на якість води
за блоком Іс
за блоком Ітс
за блоком Іс

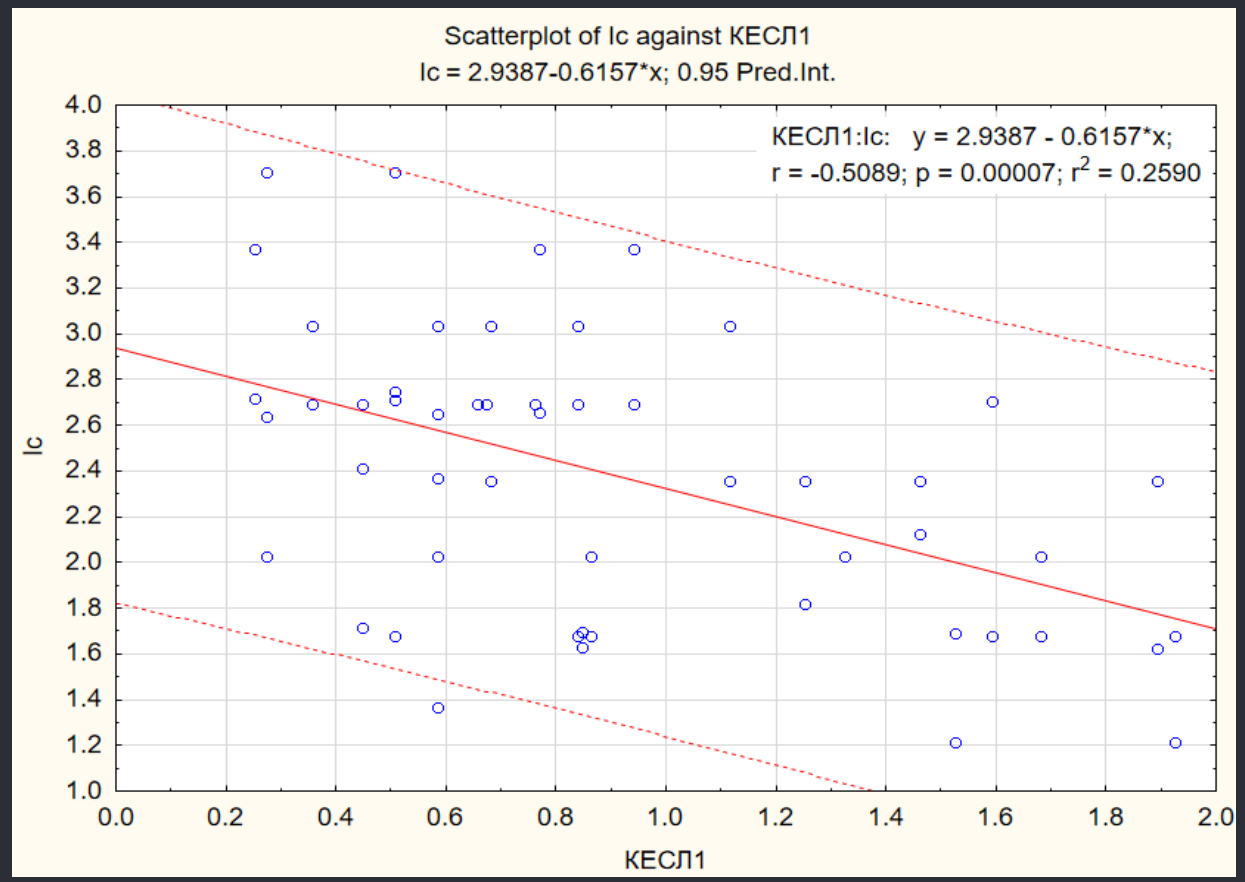


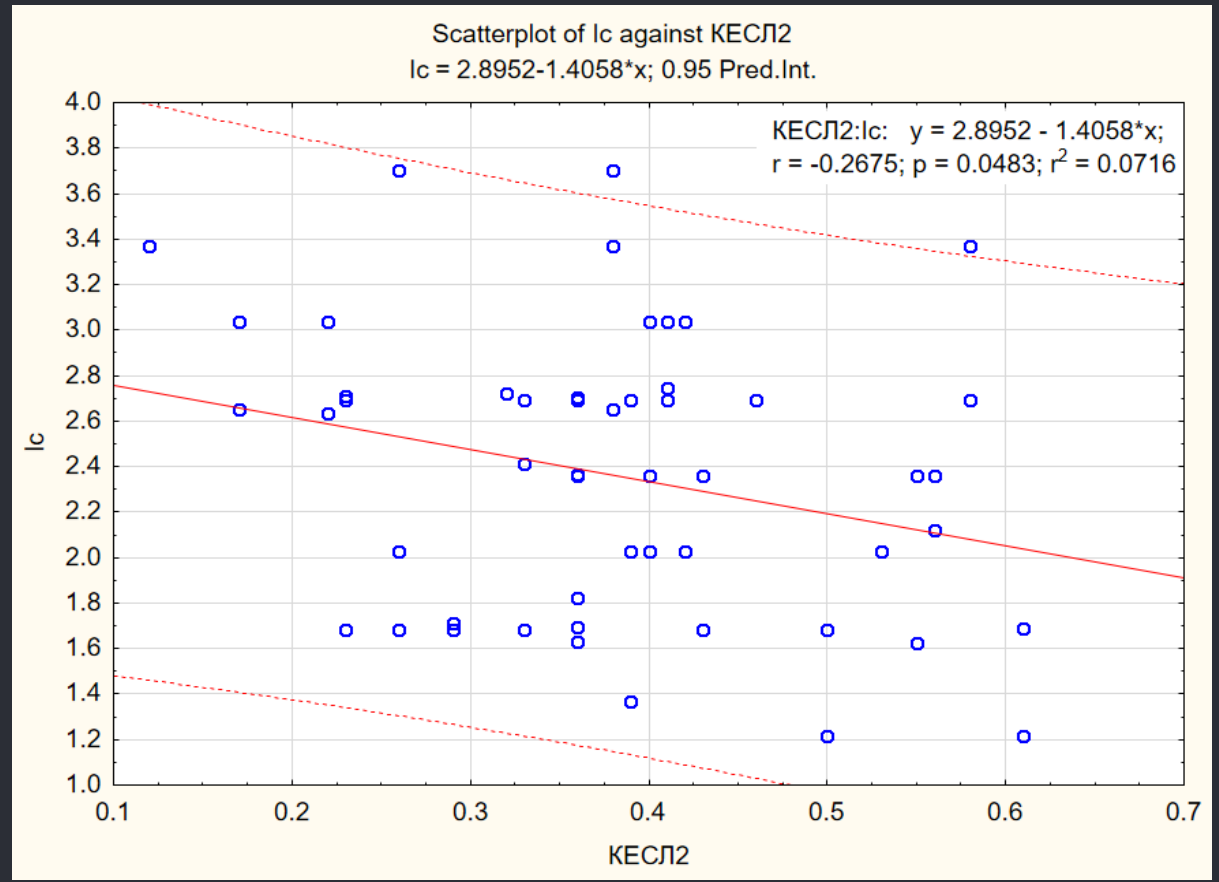
Гістограма розподілу об’єктів досліджень за показниками стабілізації та дестабілізації ландшафту (КЕСЛ1)



Гістограма розподілу об’єктів досліджень за показниками екологічної стабілізації біотехнічних елементів ландшафту (КЕСЛ2))

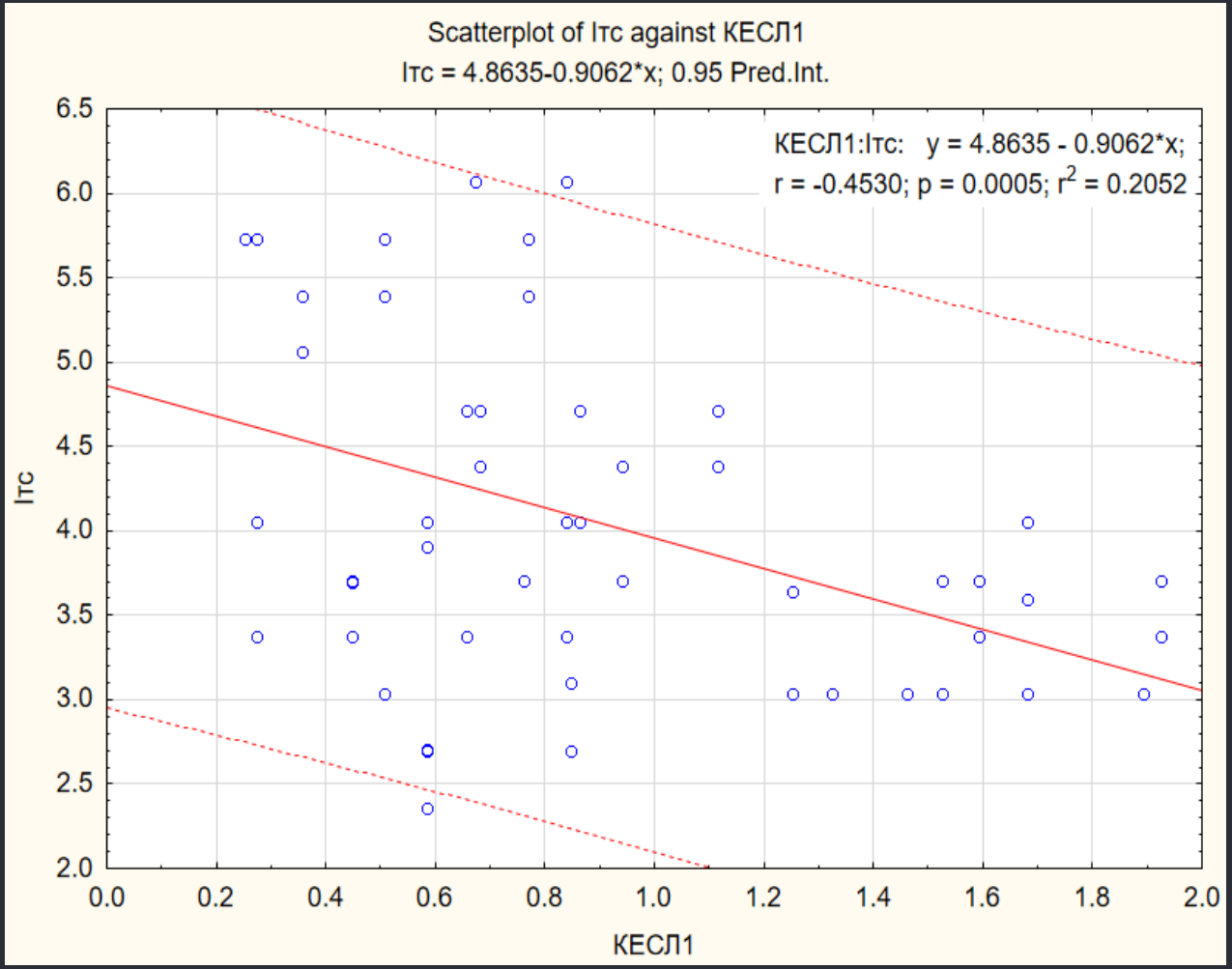
Антропогенне навантаження на водні екосистеми Полісся здійснюється внаслідок надходження полютантів з водозбірної площі, яка значною мірою розорана та недостатньо заліснена, а також впливає густа мережа населених пунктів, дія яких проявляється у вигляді скидання недостатньо очищених стічних вод. Майже 66 % досліджуваних ландшафтів характеризуються значеннями КЕСЛ1 нижче 1,0 та визначені як «нестабільні», серед них майже 35 % з яскраво вираженими ознаками дестабілізації. Відповідно до КЕСЛ2 найбільшу частку досліджуваних об’єктів склали малостабільні – 58 % та нестабільні ландшафти – 25 %. Причому найбільша частка точок належала до діапазону значень КЕСЛ2 = 0,3 … 0,4, тобто «перехідну категорію» з «малостабільних» у «нестабільні», що також підтверджує необхідність посилення стабілізуючої складової в межах Тетерівського екологічного коридору.

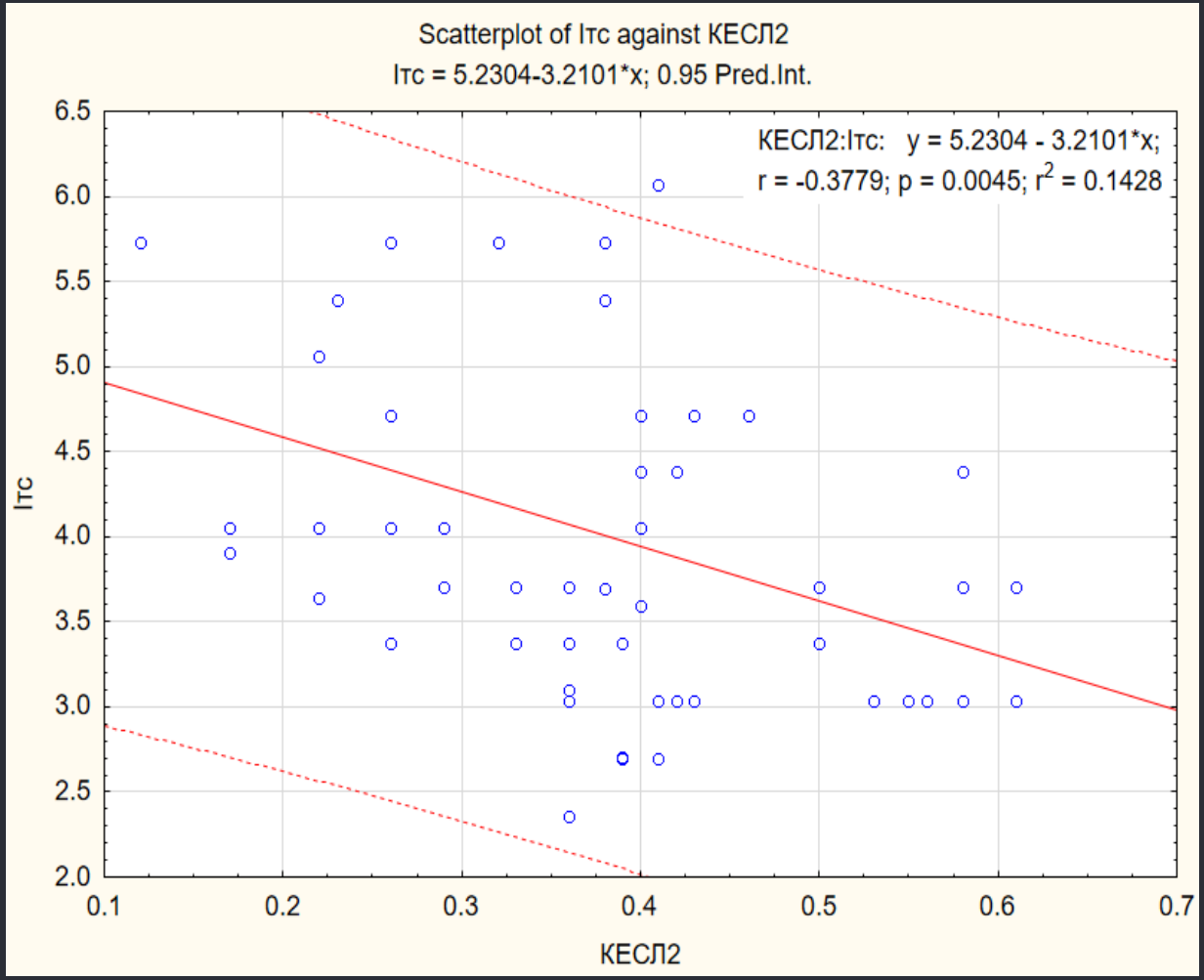




Розподіл індексів сольового забруднення води в залежності від ступеню стабілізації та дестабілізації ландшафту за показника КЕСЛ1 (зліва) та КЕСЛ2 (справа)

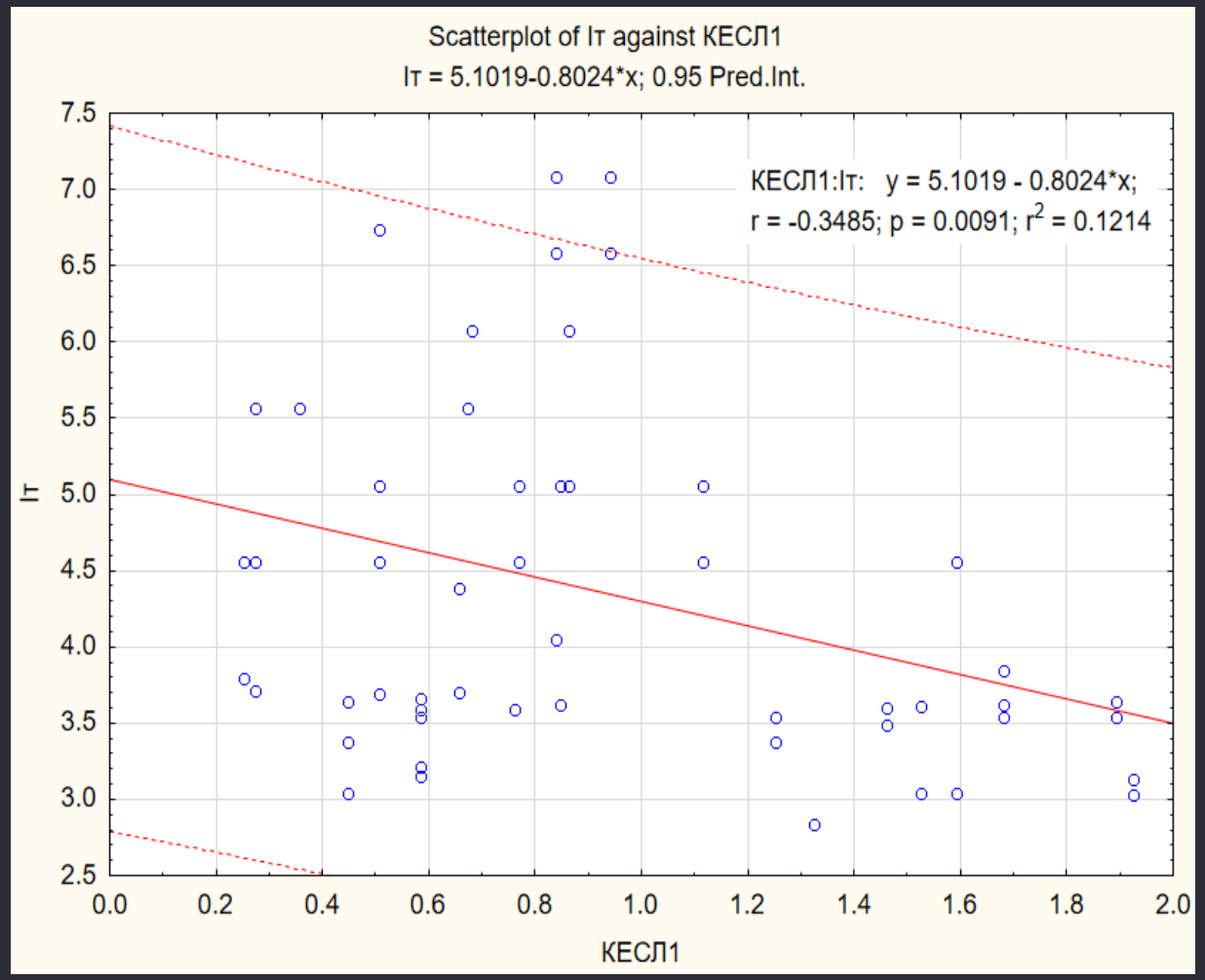
Ретроспективний аналіз динаміки екологічного стану води дозволяє зазначити, що загалом за усередненими показниками індексу сольового складу, вода була охарактеризована як «добра» та «дуже добра». За максимальними значеннями індексу вода була визначена «добра» і «задовільна».

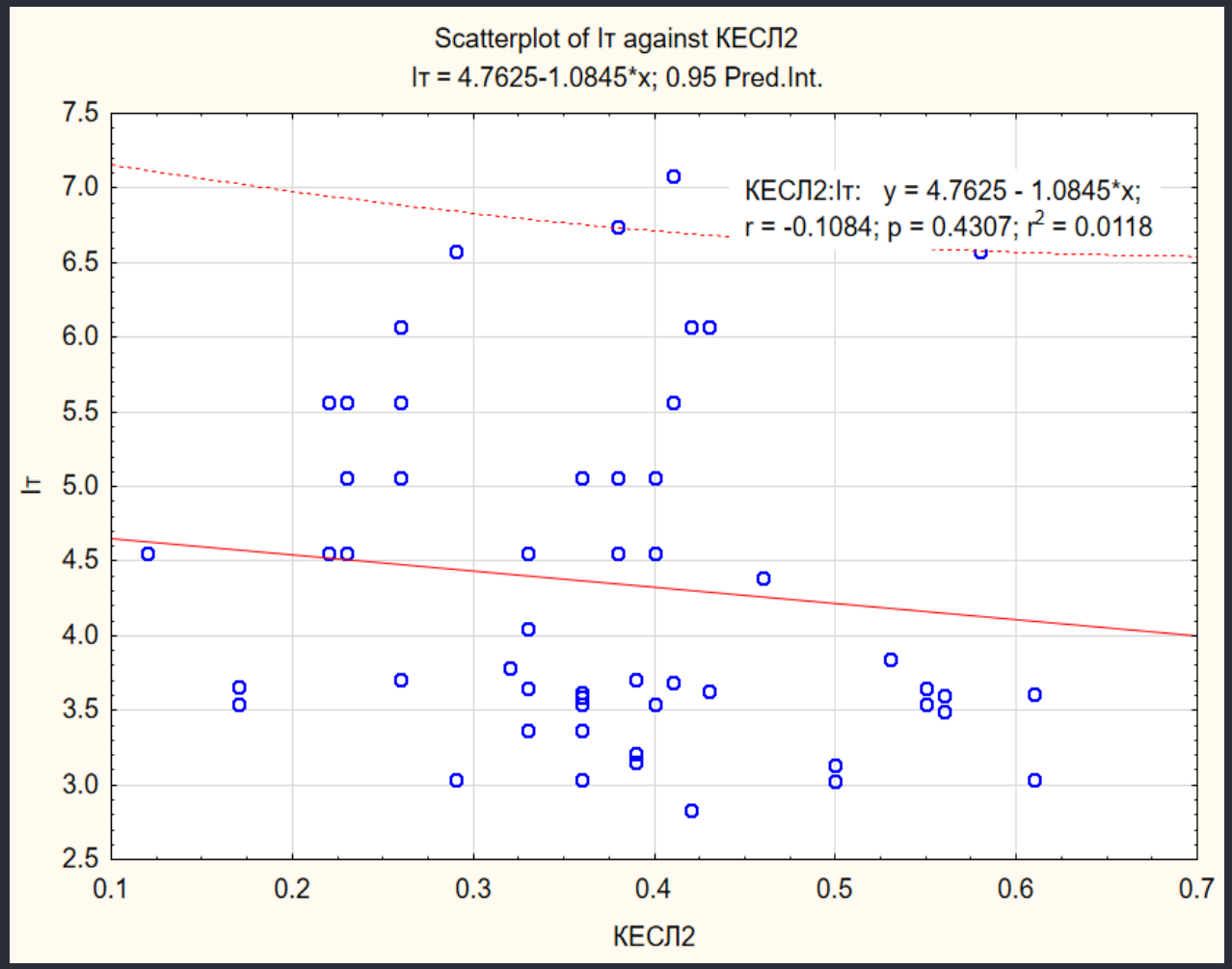




Розподіл індексів трофо-сапробологічних показників води в залежності від ступеню стабілізації та дестабілізації ландшафту за показника КЕСЛ1 (зліва) та КЕСЛ2 (справа)

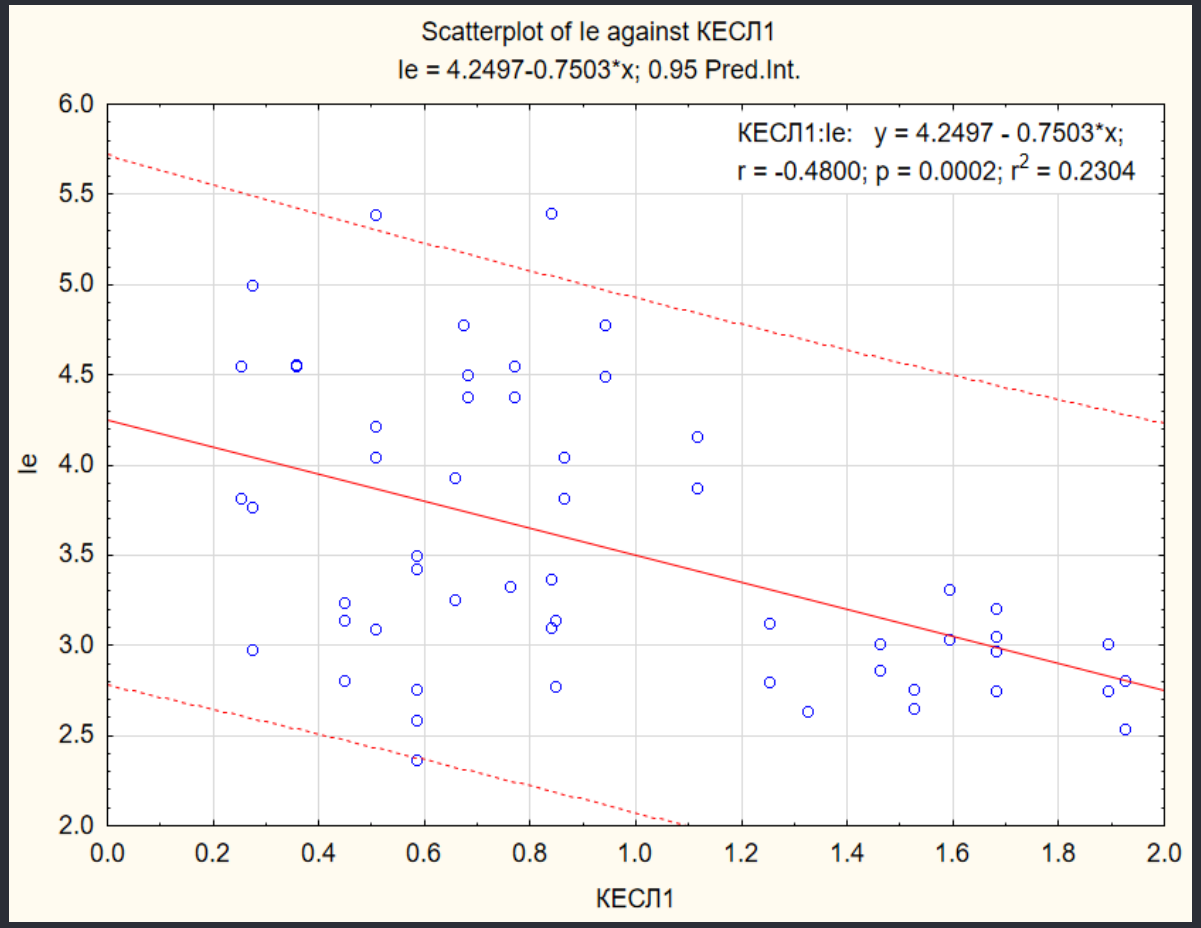
Для природного стану р. Тетерів характерні величини трофо-сапробологічних показників (за винятком прозорості, pH і біхроматної окиснюваності), що відповідають категорії 3 («досить чисті») із зміщенням у бік 4 категорії («слабозабруднені»), що дозволяє визначати їх як β´-мезосапробні, мезо-евтрофні води.

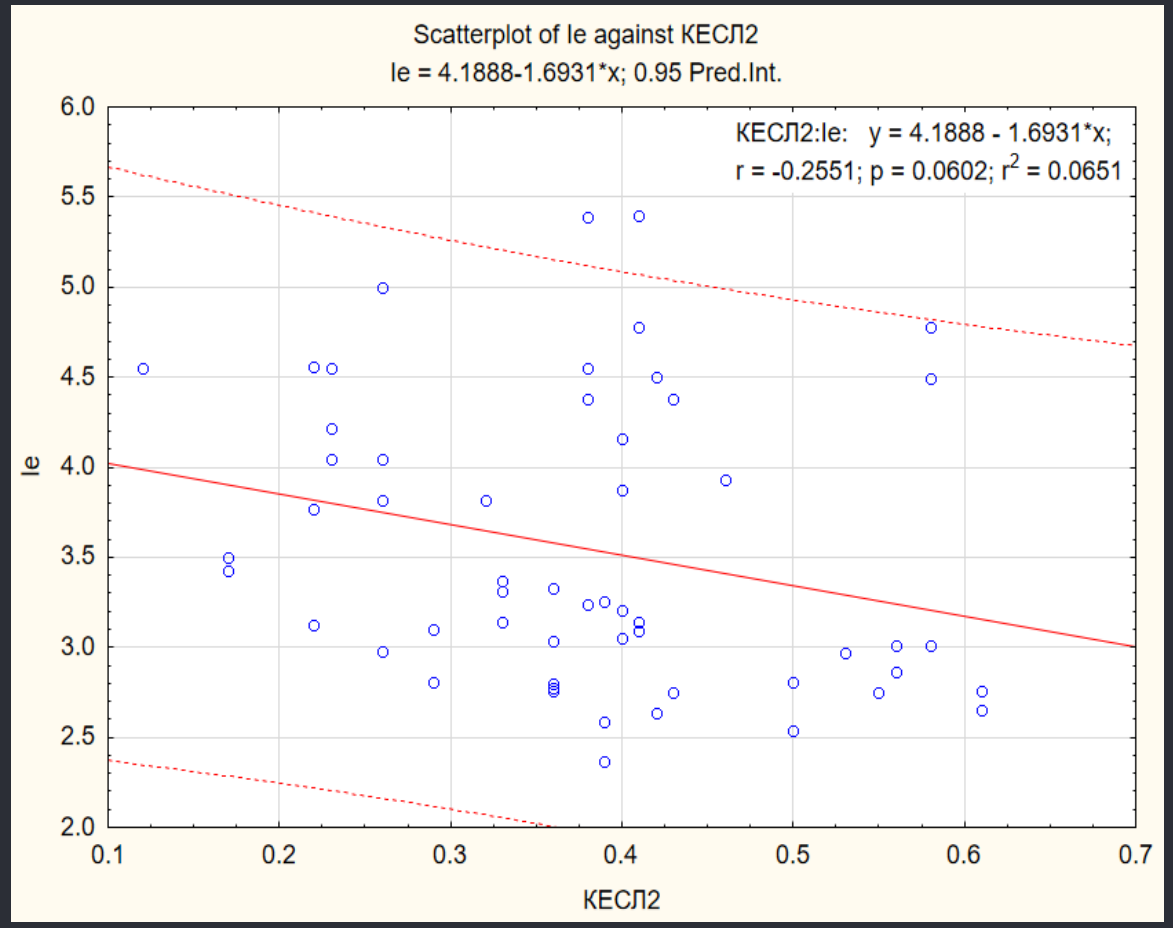




Розподіл індексів вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії у воді в залежності від ступеню стабілізації та дестабілізації ландшафту за показника КЕСЛ1 (зліва) та КЕСЛ2 (справа)

Води р. Тетерів характеризувалися високим вмістом специфічних речовин токсичної дії, що відповідало загалом по басейну 4 категорії («слабозабруднені») при цьому, екстремуми були на рівні 5 категорії («помірно забруднені»). Величина індексу специфічних показників підвищувалася у створах, що прилягають до населених пунктів





Розподіл інтегрованих екологічних індексів якості води (I_E) в межах Тетерівського екологічного коридору в залежності від ступеню стабілізації та дестабілізації ландшафту за показника КЕСЛ1 (зліва) та КЕСЛ2 (справа)

Дестабілізація ландшафтів впливала на усі складові якості води: значення показників сольового складу зміщувалися за межі 3 категорії («добрі») до стану «забруднені». Майже 90 % точок з індексами трофосапробологічного стану нижче 4 категорії сформувалися в умовах нестабільних об’єктів, що може свідчити про те, що формування III класу якості води відбувається під впливом антропогенного порушення ландшафту. А також дестабілізація ландшафтів та перехід їх до категорії «нестабільних» обумовлює погіршення стану води за Іт з діапазону 3–4 категорії («досить чисті» – «слабозабруднені») у діапазон 3–7 категорій («досить чисті» – «дуже брудні»). Погіршення якості води нижче 3,5 за Іе обумовлювалося дестабілізацією структури ландшафту за КЕСЛ1 та нижче 3 категорії за КЕСЛ2.

Значення коефіцієнтів кореляції між концентрацією важких металів у прибережному ґрунті і біоіндикаційними показниками

Критерій біоіндикації	Co^{2+}		Cr^{2+}		Cu^{2+}		Ni^{2+}		Zn^{2+}	
	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента
Індекс видового багатства Маргалефа (d)	-0.136	-1.010	**-0.275**	**-2.099**	**-0.290**	**-2.223**	-0.194	-1.452	**-0.598**	**-5.486**
Індекс домінування Сімпсона (c)	0.020	0.148	**0.305**	**2.352**	**0.376**	**2.980**	0.057	0.418	**0.550**	**4.838**
Індекс подібності Сьйоренсена (i)	-0.248	-1.882	-0.118	0.872	0.206	1.548	**-0.292**	**2.246**	-0.035	0.256
Індекс загального різноманіття Шеннона (H)	0.018	0.129	-0.237	-1.790	**-0.292**	**-2.247**	0.018	0.133	**-0.439**	**-3.595**
Індекс вирівняності Пієлу (E)	0.010	0.073	-0.143	-1.062	-0.171	-1.277	0.105	0.777	**-0.410**	**-3.298**

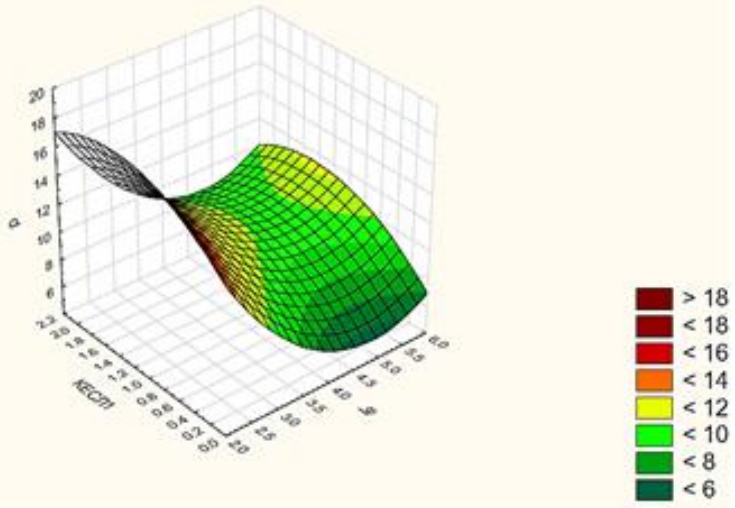
Видове різноманіття трансформується за наявності концентрацій цинку, кадмію та купруму, що становлять 0,87 ГДК, 0,29 ГДК та 1 ГДК відповідно, а відтак можна стверджувати, що, з точки зору стабільності розвитку фітоценозів, відповідні ГДК потребують перегляду та уточнення. Достовірних кореляційних залежностей між вмістом рухомих форм хрому та кобальту з основними показниками біорізноманіття не виявлено. Очевидно це пов’язано з тим, що у жодній точці досліджень не зафіксовано перевищення ГДК за відповідними групами полютантів, а відтак можна стверджувати, що концентрації рухомих форм катіонів хрому та кобальту нижче ГДК на видове різноманіття не впливають.

Значення коефіцієнтів кореляції між концентрацією важких металів у донних відкладах і біоіндикаційними показниками

Критерій біоіндикації	Cd^{2+}		Co^{2+}		Cr^{2+}		Cu^{2+}		Ni^{2+}		Zn^{2+}	
	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента
Індекс видового багатства Маргалефа (d)	**-0.404**	**-3.246**	**-0.340**	**-2.654**	-0.093	-0.688	**-0.290**	**-2.229**	**-0.396**	**-3.166**	**-0.497**	**-4.207**
Індекс домінування Сімпсона (c)	**0.490**	**4.126**	0.198	1.482	0.182	1.359	**0.403**	**3.240**	**0.283**	**2.169**	**0.456**	**3.769**
Індекс подібності Сьйоренсена (i)	-0.105	-0.775	**-0.342**	**-2.677**	-0.117	-0.862	**0.297**	**2.287**	**-0.330**	**-2.567**	0.127	0.940
Індекс загального різном. Шеннона (H)	**-0.409**	**-3.297**	-0.114	-0.843	-0.104	-0.765	**-0.306**	**-2.360**	-0.193	-1.448	**-0.395**	**-3.163**
Індекс вирівняності Пієлу (E)	**-0.291**	**-2.233**	-0.055	-0.405	-0.031	-0.229	-0.265	-2.018	-0.083	-0.609	**-0.295**	**-2.266**

Залежність індексу видового багатства Маргалефа (d)
від загального екологічного індексу якості води (I_E)
та рівня стабілізації ландшафту (КЕСЛ1)

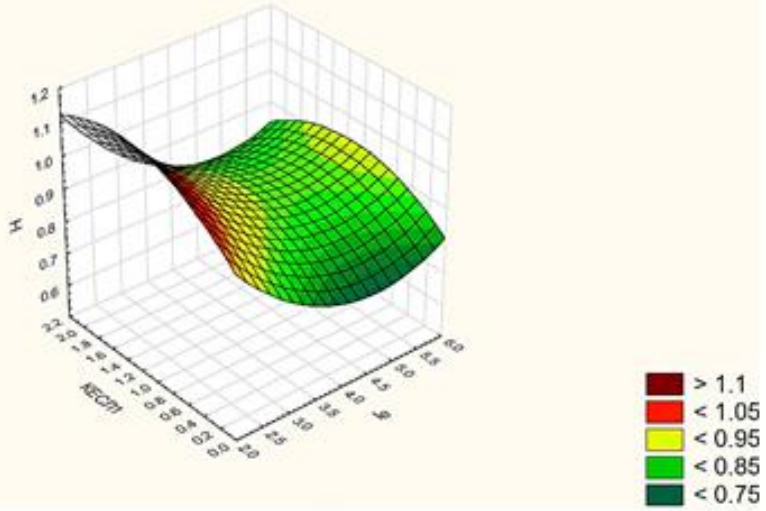
$d = 31.2346-10.5881*x+5.7058*y+1.0904*x*x+0.0568*x*y-2.11*y*y$



а

Залежність індексу загального різноманіття Шеннона (H)
від загального екологічного індексу якості води (I_E)
та рівня стабілізації ландшафту (КЕСЛ1)

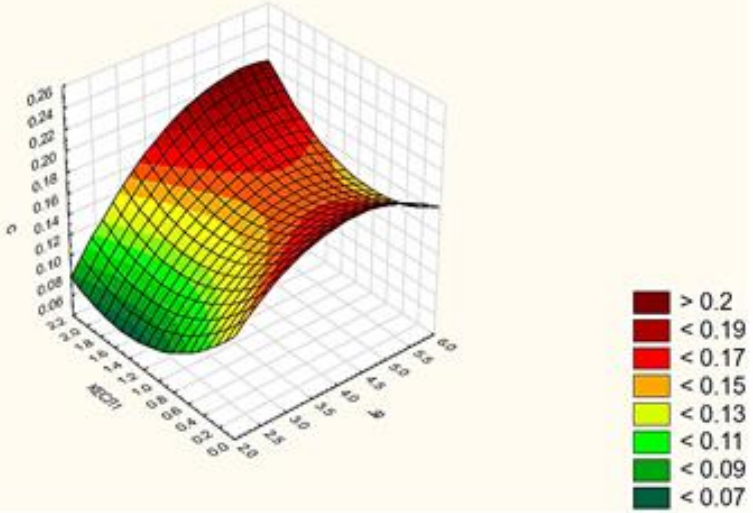
$H = 1.5346-0.342*x+0.2754*y+0.0368*x*x-0.0106*x*y-0.0902*y*y$



б

Залежність індексу домінування Сімпсона (c)
від загального екологічного індексу якості води (I_E)
та рівня стабілізації ландшафту (КЕСЛ1)

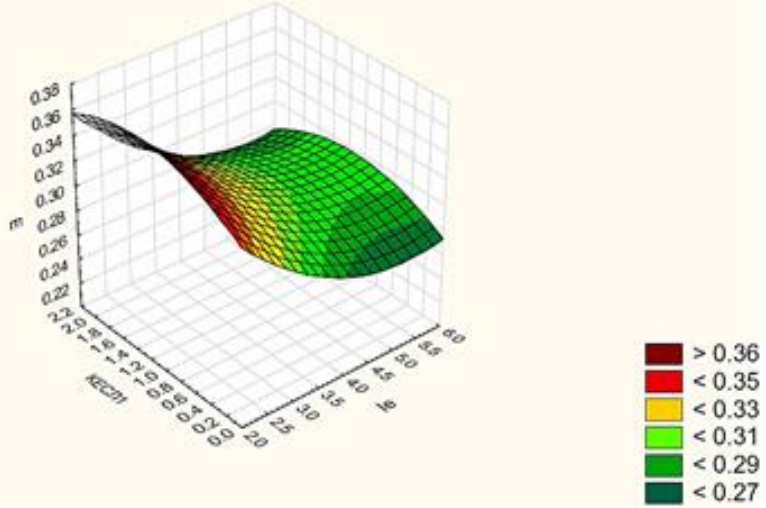
$c = -0.0015+0.0913*x-0.1252*y-0.0106*x*x+0.0114*x*y+0.0341*y*y$



в

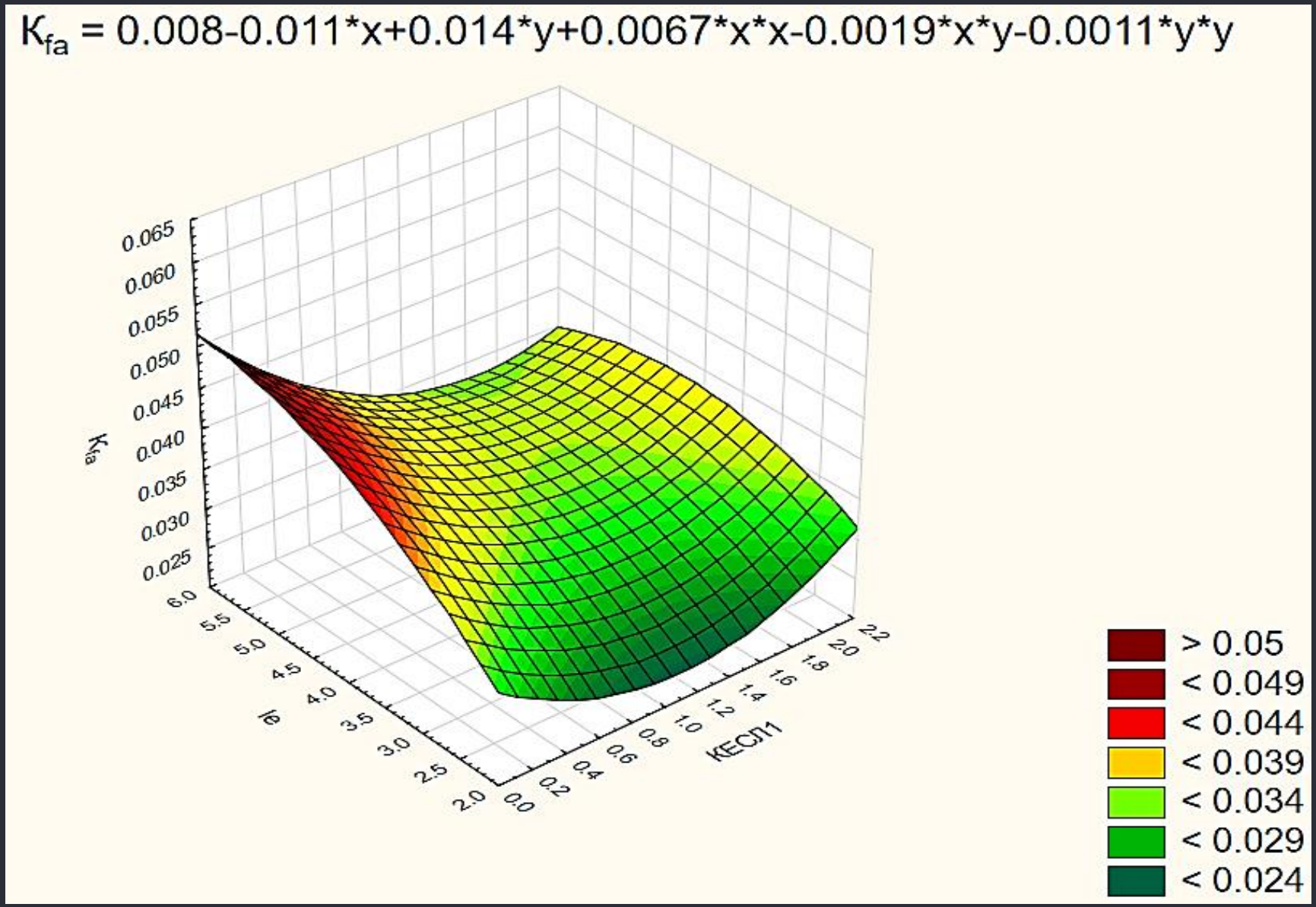
Залежність індексу вирівняності Пієлу (E)
від загального екологічного індексу якості води (I_E) та
рівня стабілізації ландшафту (КЕСЛ1)

$E = 0.4592-0.0724*x+0.0506*y+0.0069*x*x-0.0013*x*y-0.0186*y*y$



г

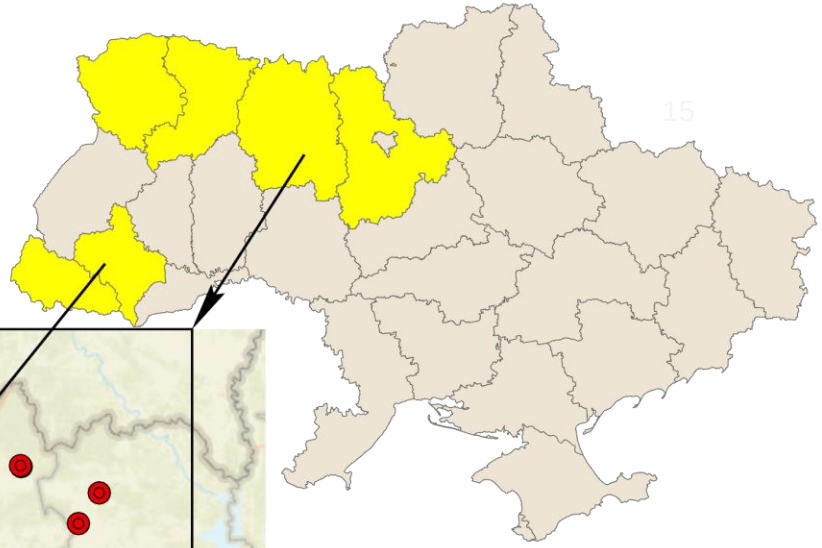
Екологічний фактор мав суттєвий вплив на видове різноманіття і чисельність вищих водних рослин, динаміка антропогенного чинника викликала зміни абсолютно усіх основних показників біорізноманіття, які полягають у флуктуаційних варіаціях критеріїв біорізноманіття та визначених статистичних показників: індекси видового багатства Маргалефа для ділянок позбавлених антропогенного впливу, були 4,6 раза нижчими, за ті ж показники для антропогенно трансформованих ландшафтів, різниця між величиною індексів домінування Сімпсона у позбавлених та тих, що зазнають антропогенного впливу, різнилася у майже 3,4 раза. Індекс загального біорізноманіття Шеннона для тих самих категорій ландшафтів відрізнявся у 1,87 раза, а індекси вирівняності Пієлу у антропогенно трансформованих ландшафтах відмічені у 1,5 раза нижчими за ландшафти, які позбавлені дії антропогенних чинників.

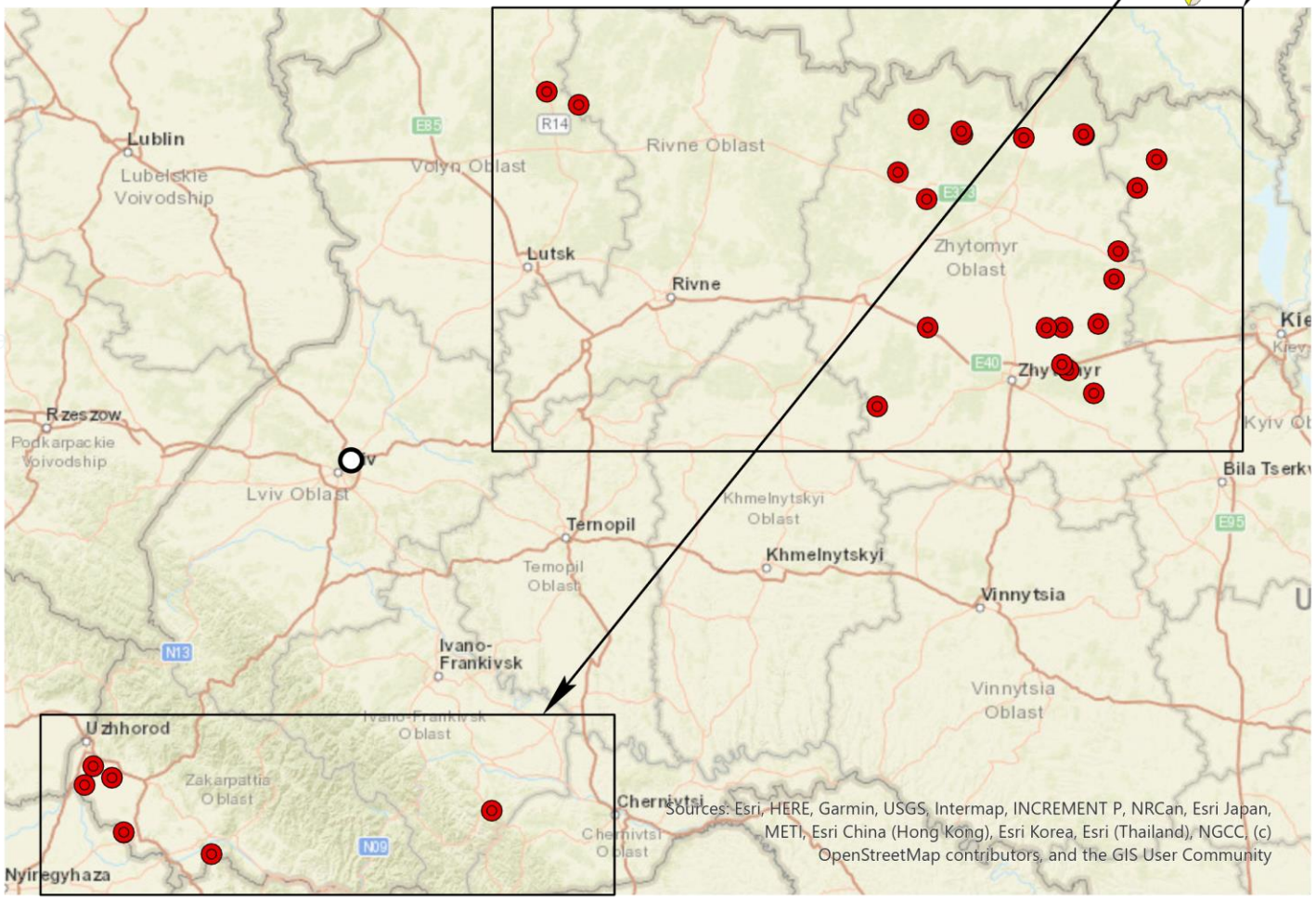


Модель розподілу коефіцієнтів асиметрії листя *Potamogeton perfoliatus L.* залежно від ступеня дестабілізації ландшафту (КЕСЛ1) та якості води (I_E)на території Полісся України

Перша знахідна Lemna aequinoctialis в Україні

Розповсюдження *Utricularia australis* в Україні

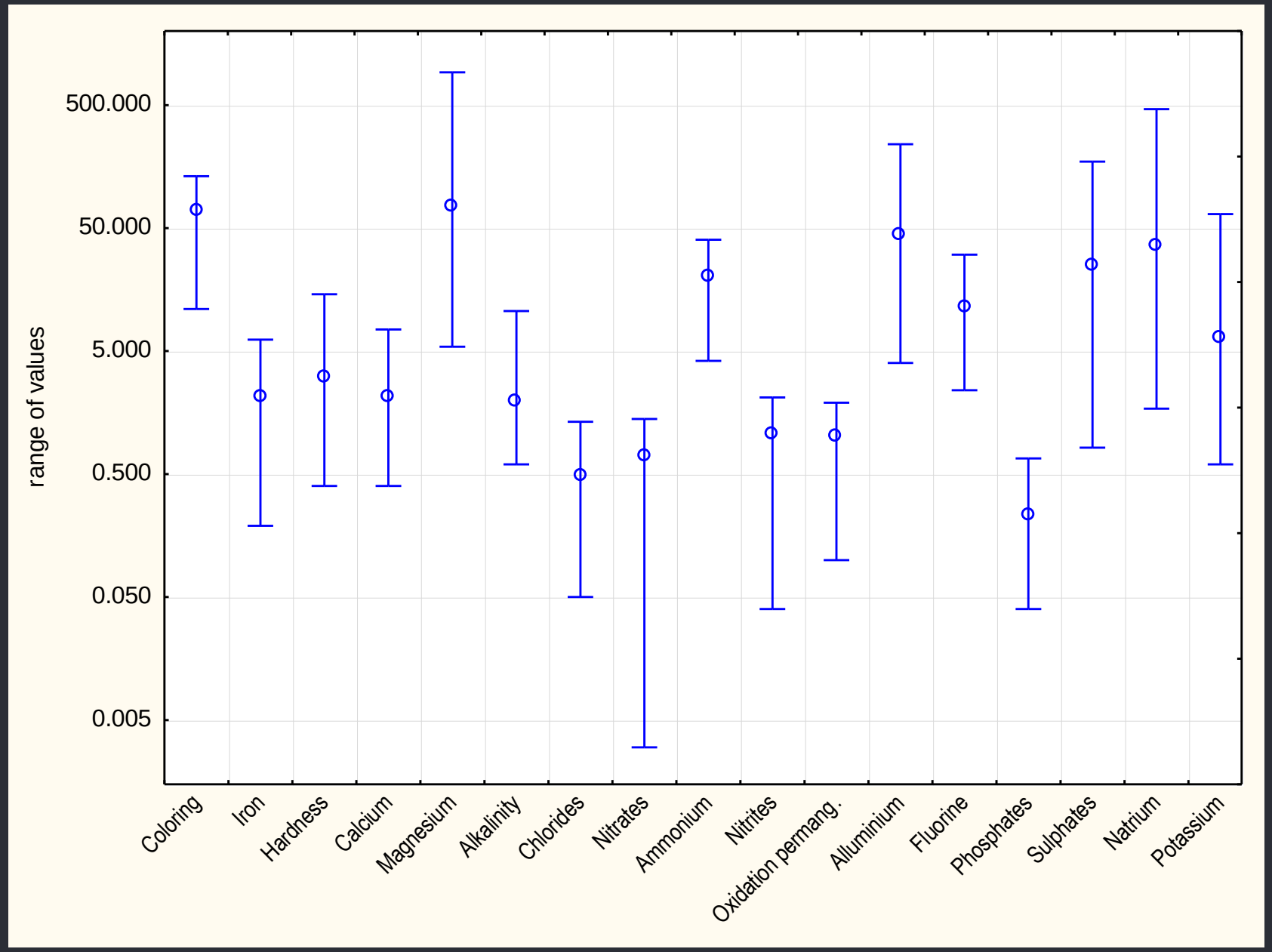


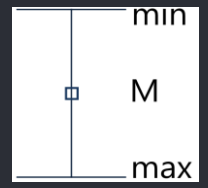


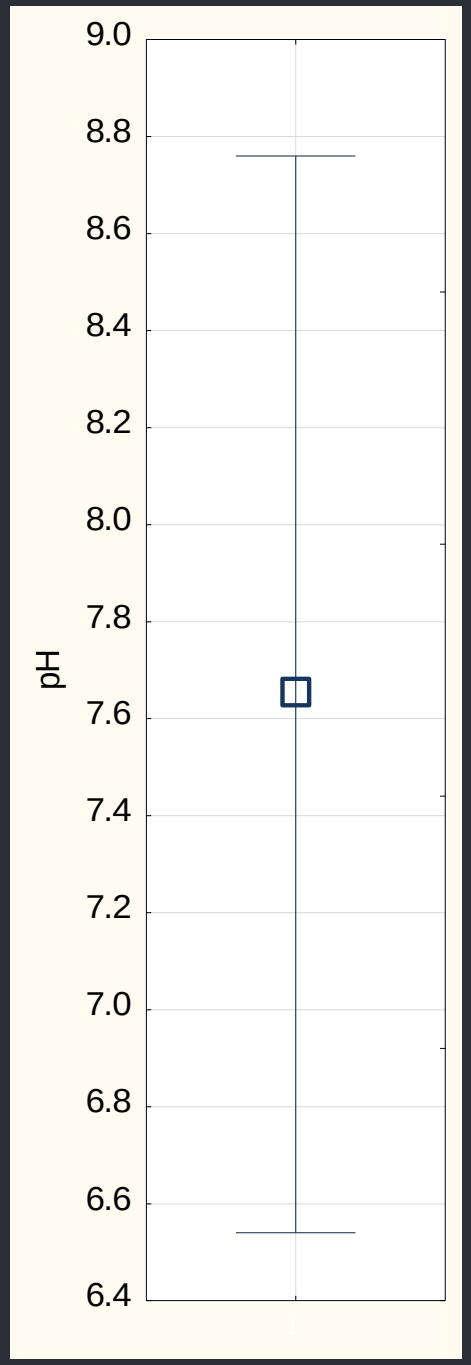
90 45 0 90 180 270 360 Kilometres

supposedly wrong point

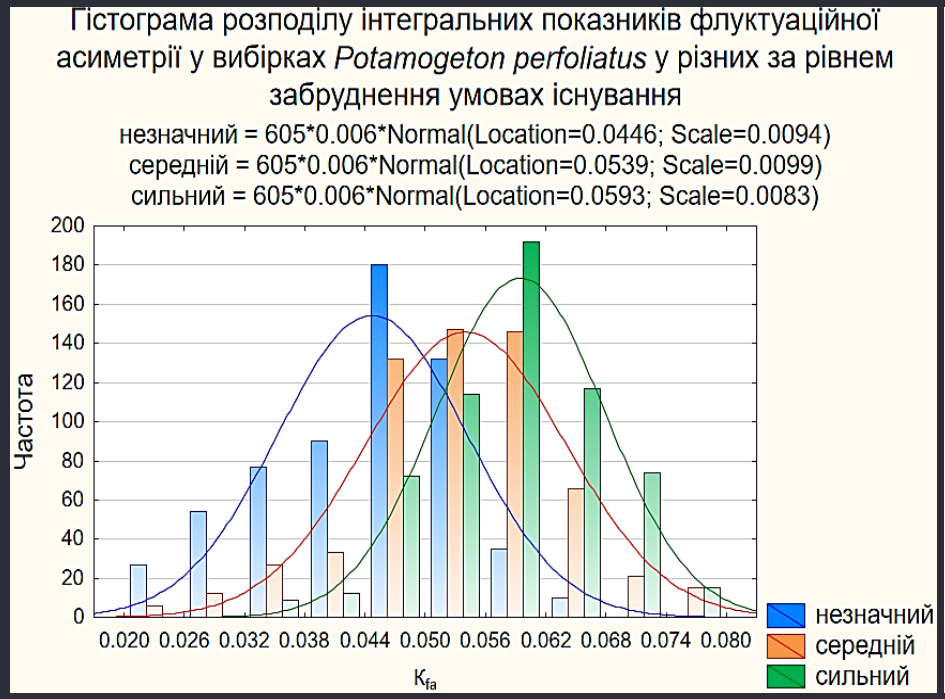
point of account

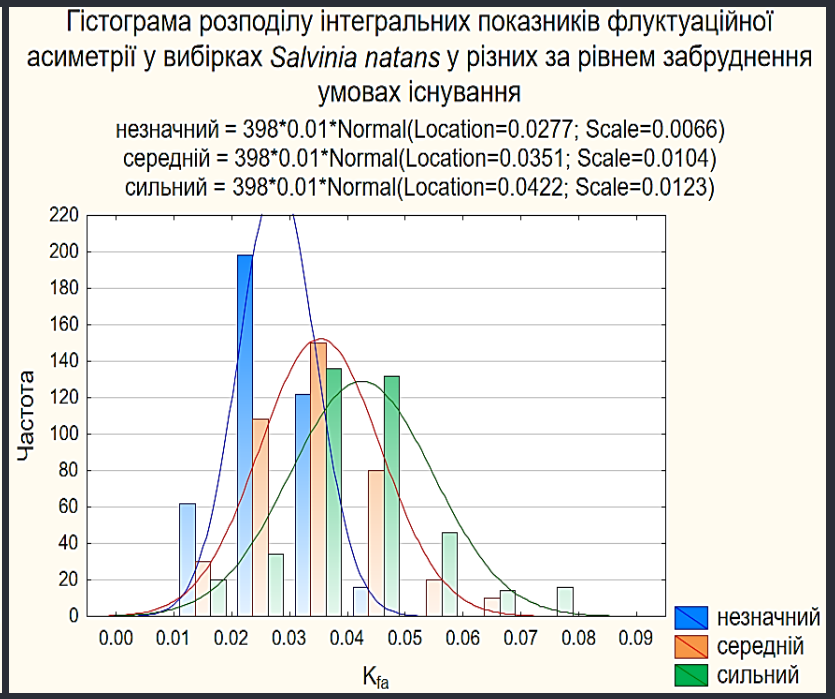


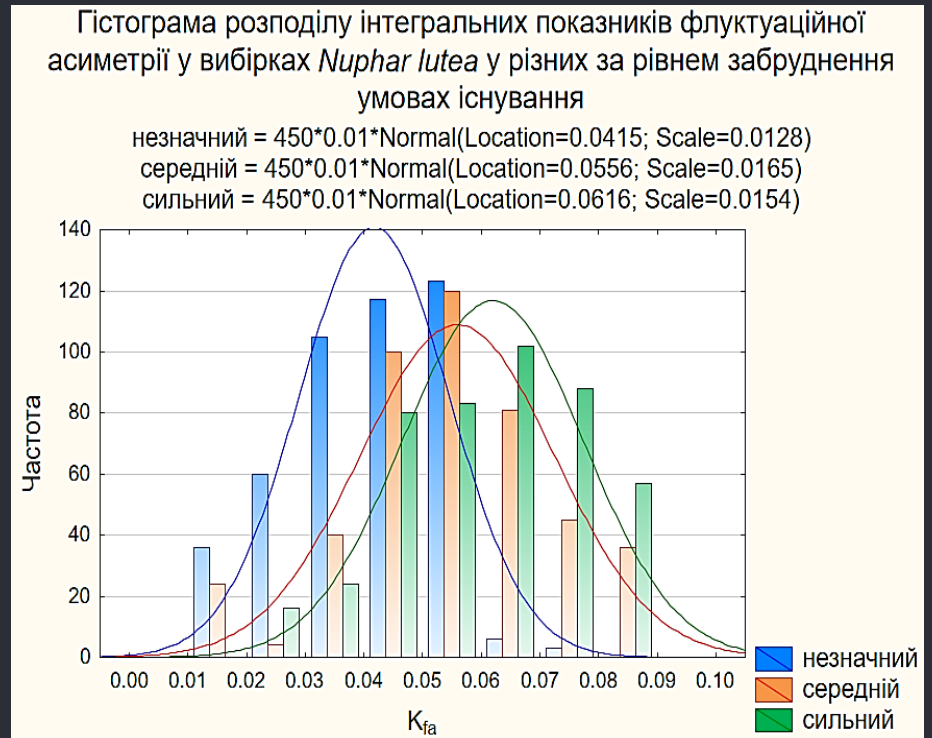




Фізико-хімічний стан води у локалітетах поширення
Utricularia australis







Розподіл інтегрального показника флуктуаційної асиметрії у вибірках *Potamogeton perfoliatus L., Salvinia natans (L.) All.* та *Nuphar luteum (L.) Smith* у різних за рівнем забруднення умовах існування.

При порівнянні даних хімічного аналізу і коефіцієнта флуктуаційної асиметрії виявлено наступне: посилення антропогенного тиску на стан водного середовища призводить до зміщення поліному розподілу коефіцієнтів асиметрії на 0,093 одиниць для Potamogeton perfoliatus L., 0,0074 – для Salvinia natans (L.) All. та на 0,143 – для Nuphar luteum (L.) Smith. А в разі сильного антропогенного тиску основні показники поліноми можуть зміщуватися на 0,0145 одиниць для Potamogeton perfoliatus L. та Salvinia natans (L.) All. та на 0,0201 – для Nuphar Luteum.

Вплив чинників специфічної токсичної дії у донних відкладах на показники флуктуаційної асиметрії найбільш розповсюджених видів деяких макрофітів

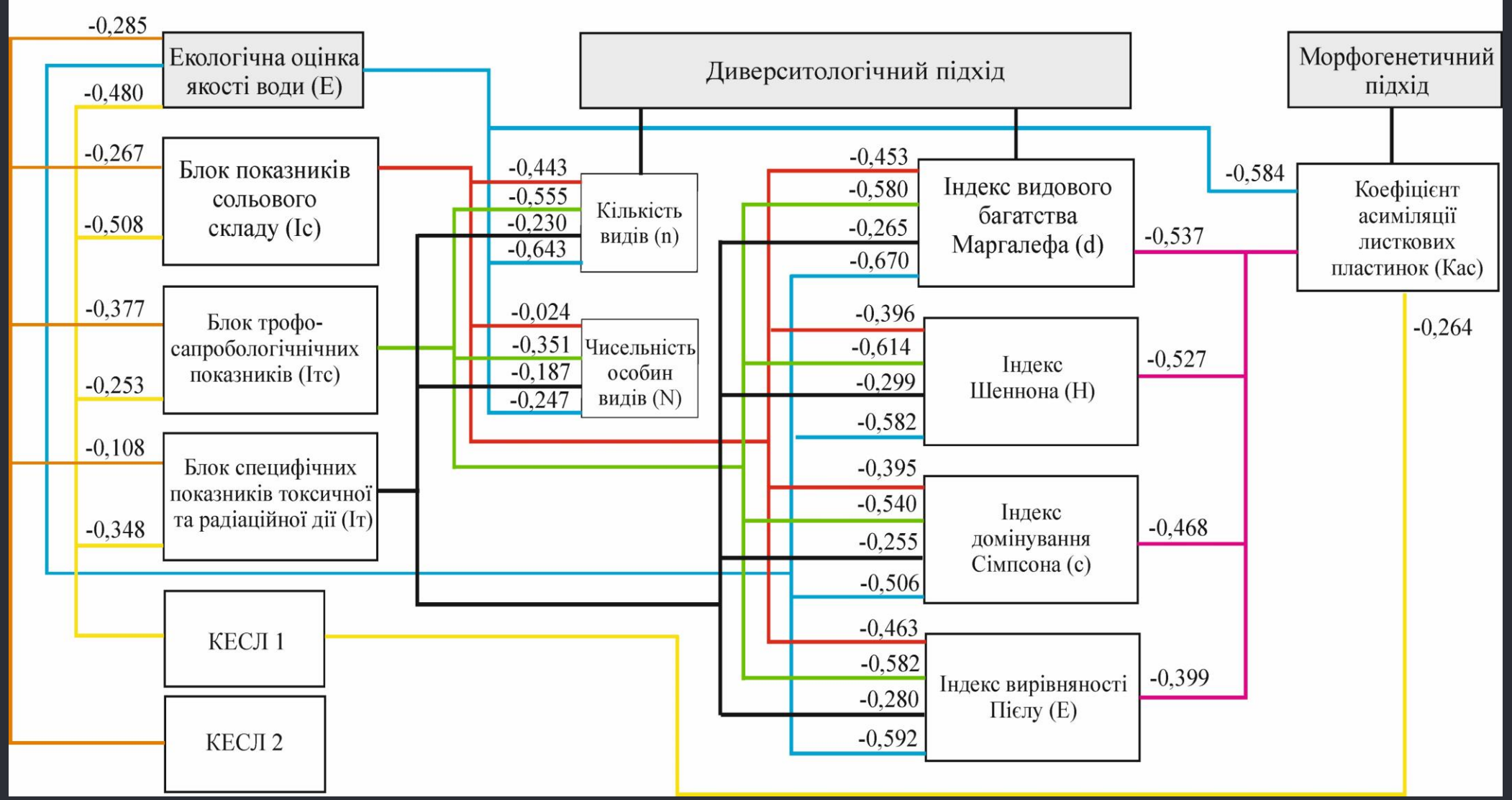
Показник	*Nuphar luteum (L.) Smith*		*Potamogeton perfoliatus L.*		*Salvinia natans (L.) All.*	
	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента
Cd^{2+}	0.5468	4.7991	0.4147	3.3490	0.5449	4.7754
Co^{2+}	0.4042	3.2473	0.3426	2.6798	0.3352	2.6145
Cr^{2+}	0.5218	4.4949	0.3017	2.3254	0.1613	1.2010
Cu^{2+}	0.6368	6.0692	0.5040	4.2881	0.4142	3.3441
Ni^{2+}	0.4855	4.0809	0.4111	3.3139	0.4287	3.4870
Zn^{2+}	0.6579	6.4195	0.5720	5.1244	0.4796	4.0164

Вплив чинників специфічної токсичної дії у прибережних ґрунтах на показники флуктуаційної асиметрії найбільш розповсюджених видів деяких макрофітів

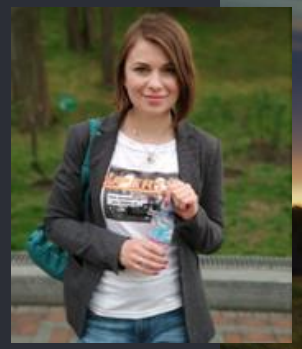
Показник	*Nuphar luteum (L.) Smith*		*Potamogeton perfoliatus L.*		*Salvinia natans (L.) All.*	
	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента	коефіцієнт кореляції	критерій Стьюдента
Ni^{2+}	0.3055	2.3577	0.3713	2.9386	0.3954	3.1634
Co^{2+}	0.3967	3.1757	0.3685	2.9129	0.2033	1.5258
Zn^{2+}	0.6075	5.6201	0.4484	3.6864	0.4837	4.0611
Cu^{2+}	0.5961	5.4557	0.5047	4.2961	0.4449	3.6505
Cr^{2+}	0.5301	4.5940	0.4187	3.3881	0.6743	6.7100

Оцінка якості водного середовища існування за показником стабільності розвитку у вигляді коефіцієнта флуктуаційної асиметрії листя рослин-індикаторів є обґрунтованою, оскільки це підтверджується низкою оцінюючих значень інших критеріїв. Індикаторні види реагували на підвищені концентрації у донних відкладах: Cu2+ – 0,6–1,3 ГДК або 3–4 категорію (II–III клас); Cd2+ – 0,29–0.57 ГДК або 3–4 категорії (II–III клас); Cr2+ – 0,13 ГДК, Ni2+ – 0,62 ГДК або 2 категорія (II клас), Co2+ – 0,16– 0,2 ГДК, Zn2+ – 0,65–0,87 ГДК або 3–4 категорію (II–III клас), у прибережних ґрунтах: Cu2+ – 0,6 ГДК, Cr2+ – більше 0,13 ГДК, Ni2+ – 0,62 ГДК, Co2+ – 0,1 ГДК, Zn2+ – 0,52 ГДК.

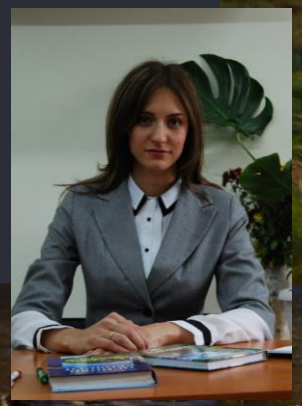
БЛОК-СХЕМА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ БІОІНДИКАЦІЙНИХ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ СТАБІЛЬНОСТІ РОЗВИТКУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ



Між встановленими критеріями відтермінованого та миттєвого біомоніторингових досліджень та блоковими інтегральними показниками якості води встановлені тісні кореляційні залежності, що підтверджує дієвість запропонованої системи здійснення біомоніторингу.



DR. TATIANA FEDONIUK
Professor & Head of Department of Ecology and Environment Protection
Polissia National University
Zhytomyr (Ukraine)
E-mail: tanyavasiluk2015@gmail.com,



PhD. ANASTASIIA ZYMAROIEVA
Associate Professor
Department of Forest Recourses Utilization
Polissia National University
Zhytomyr (Ukraine)
E-mail: nastya.zymaroieva@gmail.com

Авторами за темою роботи опубліковано 165 наукових праць, серед яких: 5 монографій, 20 статей у журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science; 7 статей у закордонних виданнях, 49 статей у фахових виданнях; 17 навчальних посібників, рекомендацій виробництву, 1 галузева програма, 68 статей і тез доповідей у матеріалах закордонних і вітчизняних конференцій.

Результати наукової роботи викладені у 8 рекомендаціях виробництву та упроваджені у виробничі процеси під час моніторингу якості води Поліського регіону Державним агентством водних ресурсів України (Басейнове управління якості води р. Прип’ять), Управлінням екології та природних ресурсів Житомирської ОДА. Основні положення і рекомендації автора щодо поліпшення гідрохімічного режиму р. Тетерів та її приток увійшли до Обласної комплексної програми охорони навколишнього природного середовища на 2014–2017 роки і запропоновано низку заходів, які надані Управлінню екології та природних ресурсів Житомирської ОДА для включення у Обласну комплексну програму охорони навколишнього середовища у Житомирській області на 2018–2022 роки. Методологія використання ландшафтного підходу та продукційного потенціалу використовується при обліках біорізноманіття макрофітів Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника. На основі побудованих претендентами на премію Президента України моделей використання ландшафтного, морфогенетичного та біоценотичного підходів здійснюється прогнозування змін якісного стану водних екосистем та їх рослинних угруповань.

У наукових положеннях роботи запропоновано нові підходи до оцінки якості водних екосистем шляхом використання комплексу показників продукційного потенціалу, які дозволяють чітко визначати зміни у екологічному стані водних екосистем та реагувати на них. Ландшафтний аналіз басейнової структури р. Тетерів дозволив отримати і проаналізувати основні складові антропогенного навантаження та розробити низку заходів щодо поліпшення екологічної ситуації на цій території.

За критеріями механізмів адаптивності удосконалено методики здійснення відтермінованого та миттєвого біомоніторингу, встановлено залежності між основними показниками продукційного потенціалу, а дані досліджень щодо визначення флуктуаційної асиметрії можуть слугувати матеріалом для наступних моніторингових спостережень відповідними службами при визначенні наявності антропогенного впливу на водні об’єкти у ретроспективі та на момент проведення досліджень.