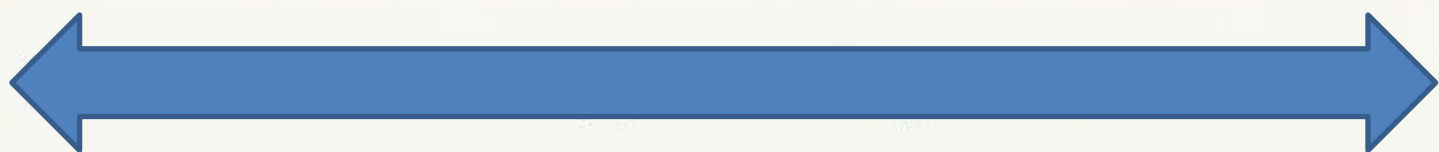
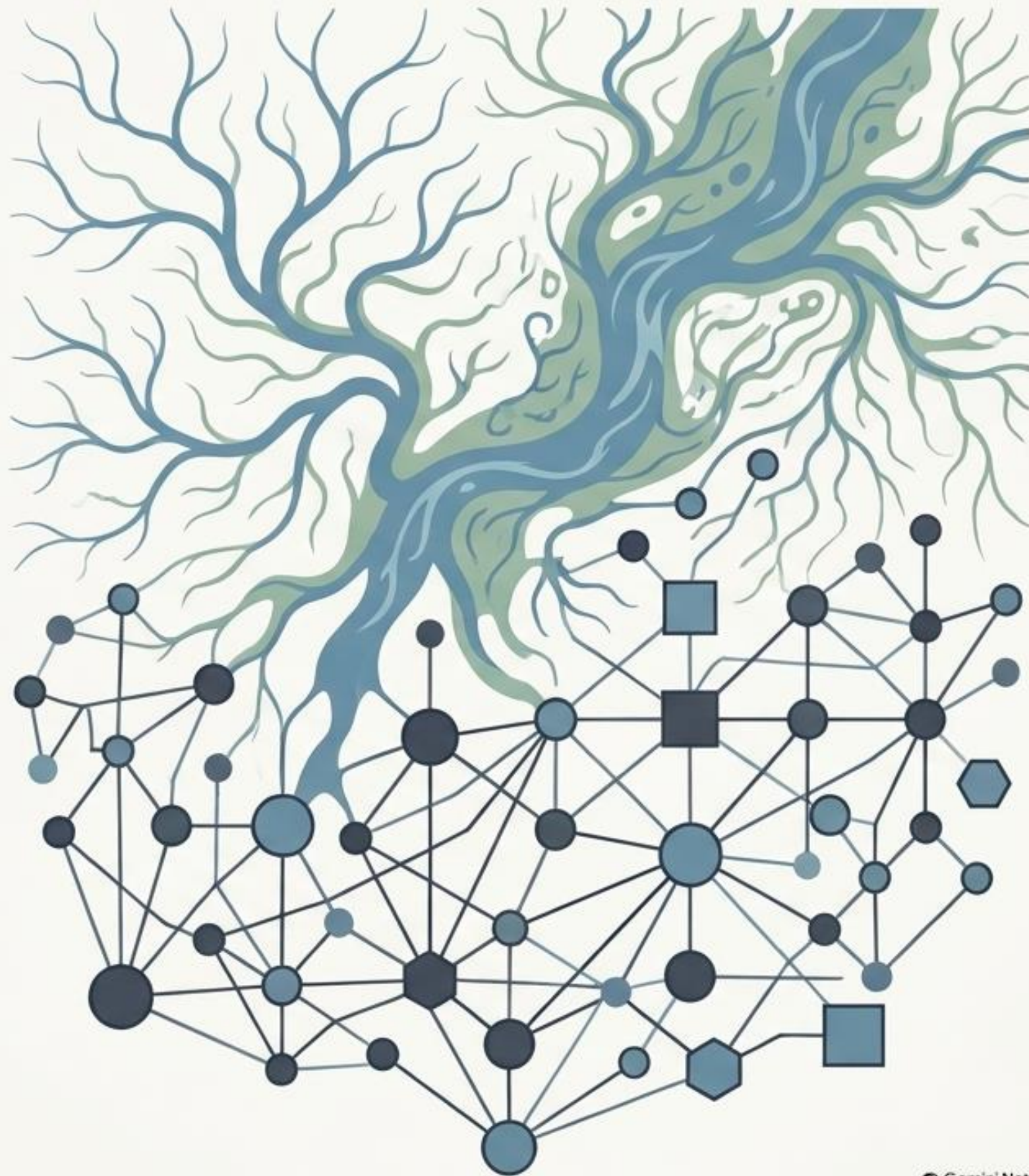


Екологічні проблеми як складні системи [Ecological Problems as Complex Systems]

Взаємозв'язки, конфлікти,
компроміси та точки впливу.



Автор: к.вет.н., доцент Фещенко Д.В.



Зміна парадигми: Від лінійного до системного

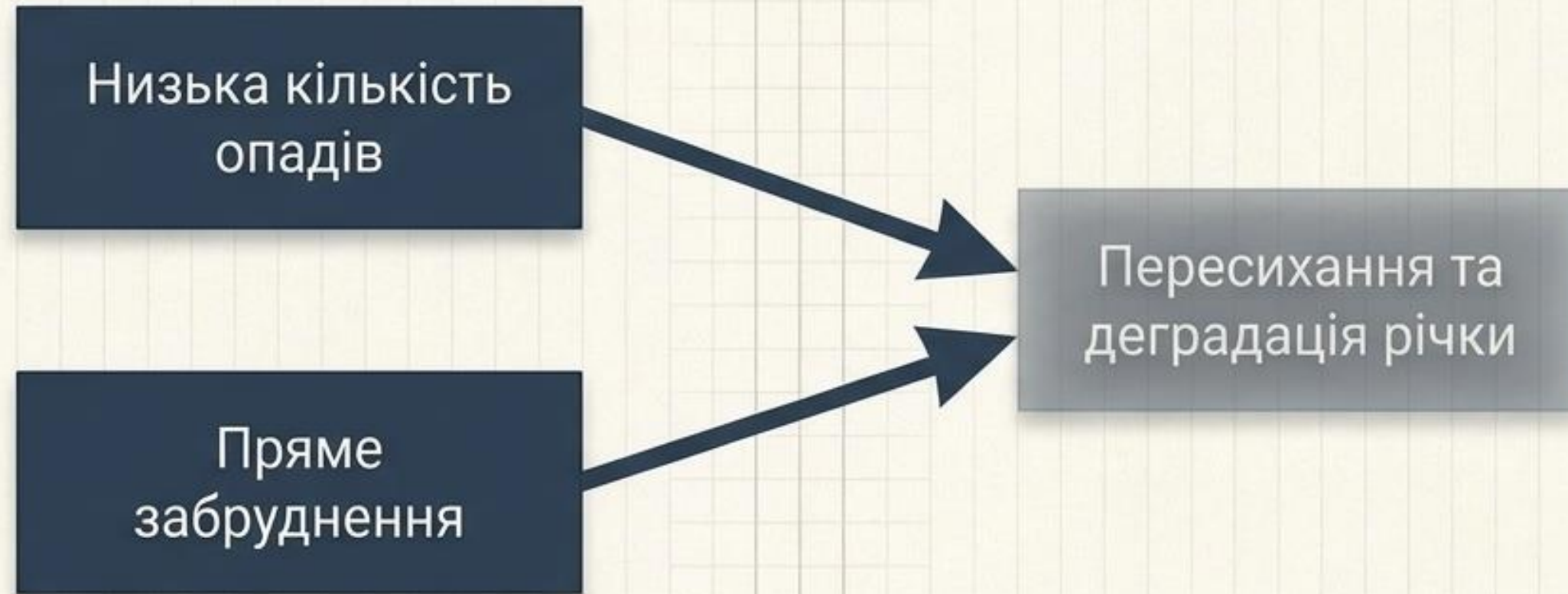


Складна система [Complex system] — мережа взаємопов'язаних елементів, де ціле є більшим за суму частин (емерджентність).

Соціо-екологічна система [Social-ecological system, SES] — нерозривне сплетіння людських суспільств та природних екосистем.

Підступна проблема [Wicked problem] — унікальна криза без єдиного 'правильного' рішення, з багатьма стейкхолдерами та непередбачуваною поведінкою (напр., зміна клімату).

Наскрізний кейс: Поверхневий погляд на малу річку



Традиційний підхід бачить лише прямі причини. На наступних кроках ми розкриємо справжню анатомію цієї екосистеми.

Анатомія складності: Властивості екологічних систем

Емерджентність [Emergence]

Нові властивості виникають лише на рівні цілої системи.

Кейс: Цвітіння води — це не властивість окремої молекули фосфору, а емерджентний результат взаємодії стоків, нагрівання та бактерій.

Взаємозалежність [Interdependence]

Зміна одного елемента впливає на всі інші.

Кейс: Вирубка лісу у верхів'ї безповоротно змінює мікроклімат і гідрорежим нижче за течією.

Нелінійність [Nonlinearity]

Малі зміни можуть викликати непропорційно великі наслідки.

Невизначеність [Uncertainty]

Неможливість ідеального прогнозування.
Неможливість ідеального прогнозування через множинність динамічних змінних.



Межі та моделі: Як ми "окреслюємо" проблему

Межа системи [System boundary]

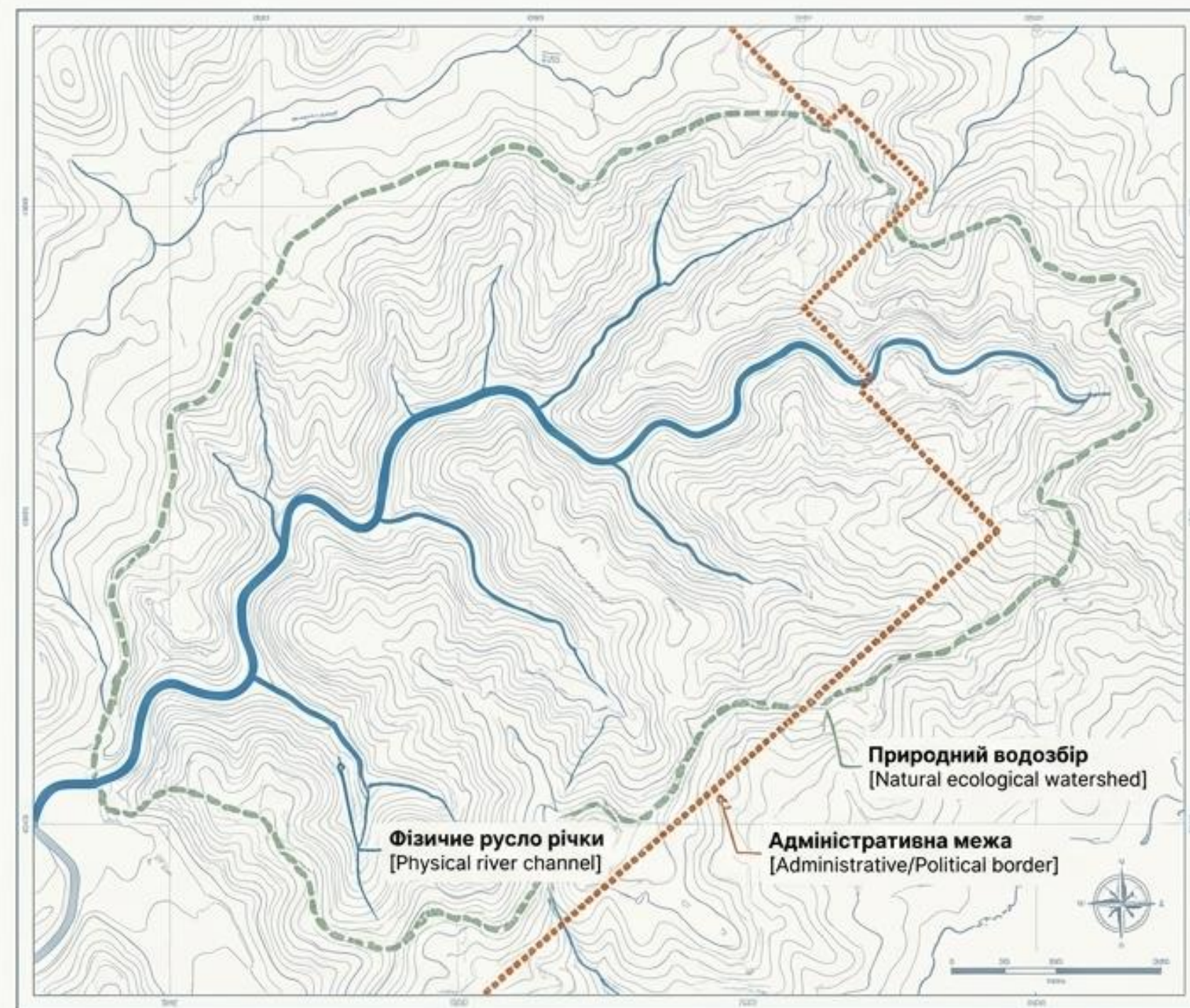
Те, що ми включаємо в аналіз, і те, що залишаємо "за кадром". Часто виникає руйнівний конфлікт між екологічними та адміністративними межами.

Концептуальна модель [Conceptual model]

Описова схема головних компонентів екосистеми.

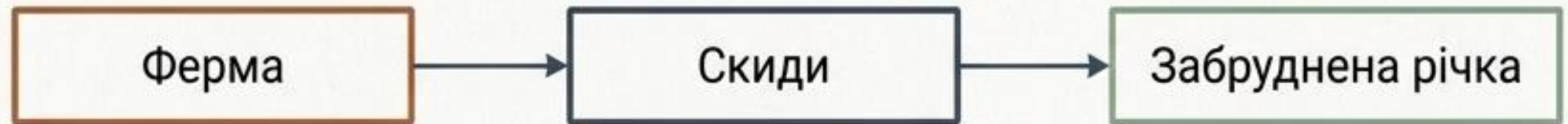
Причинно-наслідкова модель [Causal model]

Схема, що показує напрямок, силу та характер впливів між цими компонентами.

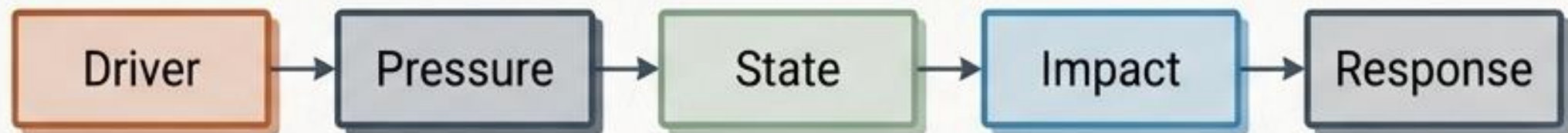


Еволюція розуміння: Три погляди на деградацію малої річки

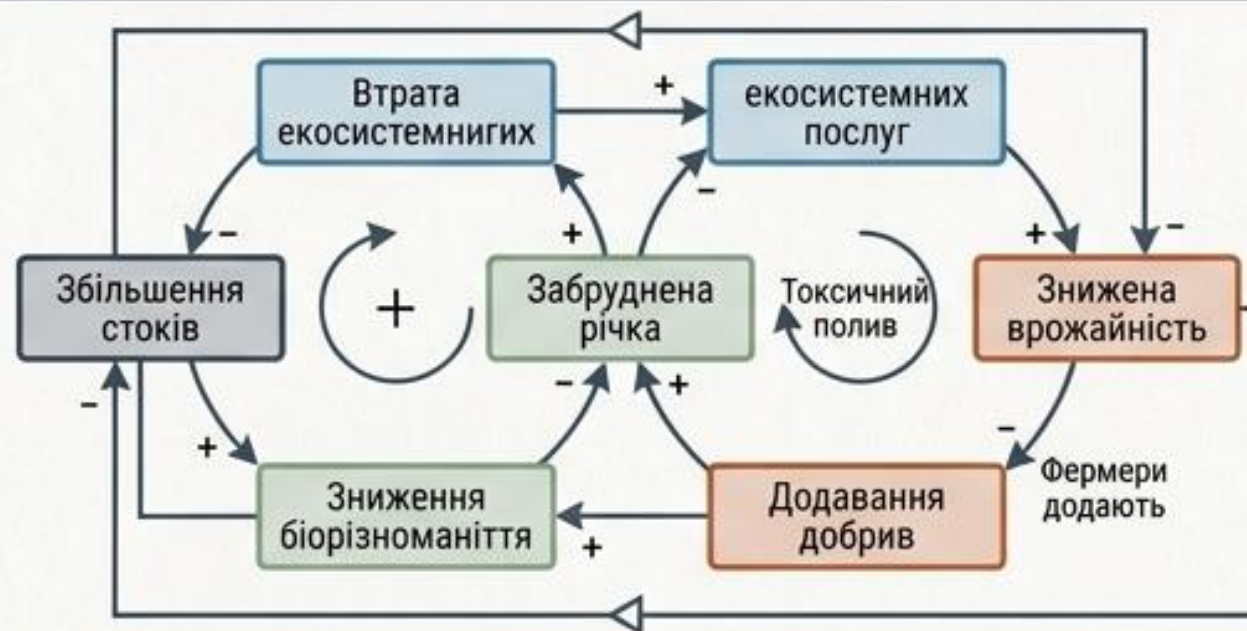
- 1 **Лінійна схема.**
Пошук одного "винного".
Ігнорує контекст.



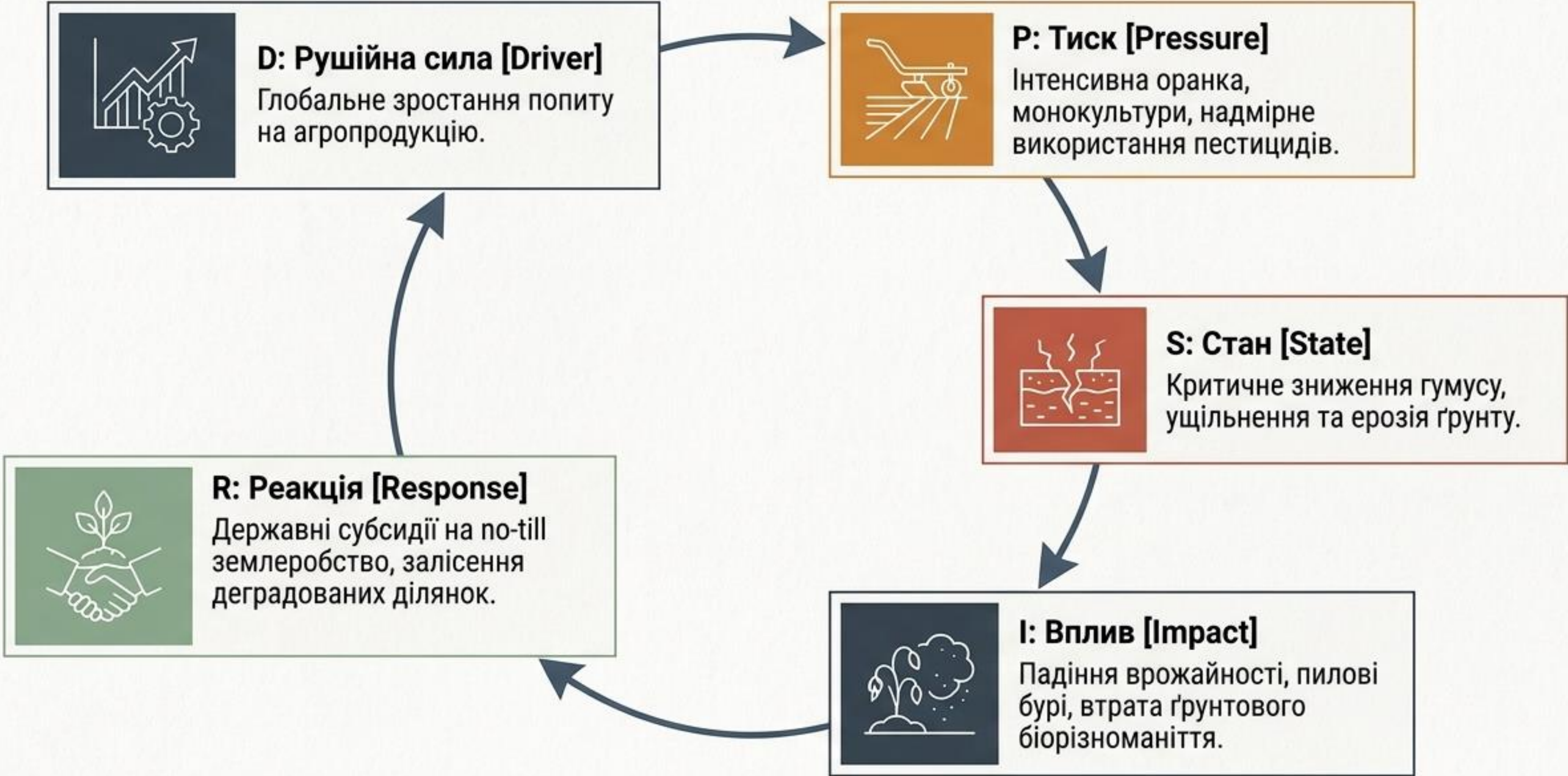
- 2 **Модель DPSIR.**
Структурування
антропогенного тиску та
реакції суспільства.



- 3 **Системна карта [Causal loop diagram, CLD].** Розуміння системних пасток: забруднена річка знижує врожайність (через токсичний полив), фермери додають ще більше добрив, що остаточно вбиває річку.



Розпакування фреймворку DPSIR (Кейс: Деградація земель)



Типологія впливів: Від прямого до каскадного



Динаміка системи: Зворотні зв'язки та затримки



Підсилювальний зв'язок [Reinforcing feedback, R]
Ефект 'снігової грудки', що дестабілізує систему. Приклад: Танення вічної мерзлоти -> викид метану -> потепління клімату -> ще інтенсивніше танення.



Балансуючий зв'язок [Balancing feedback, B]
Саморегуляція системи. Приклад: Зростання популяції хижака -> зменшення кількості жертв -> голод хижаків -> відновлення рівноваги.



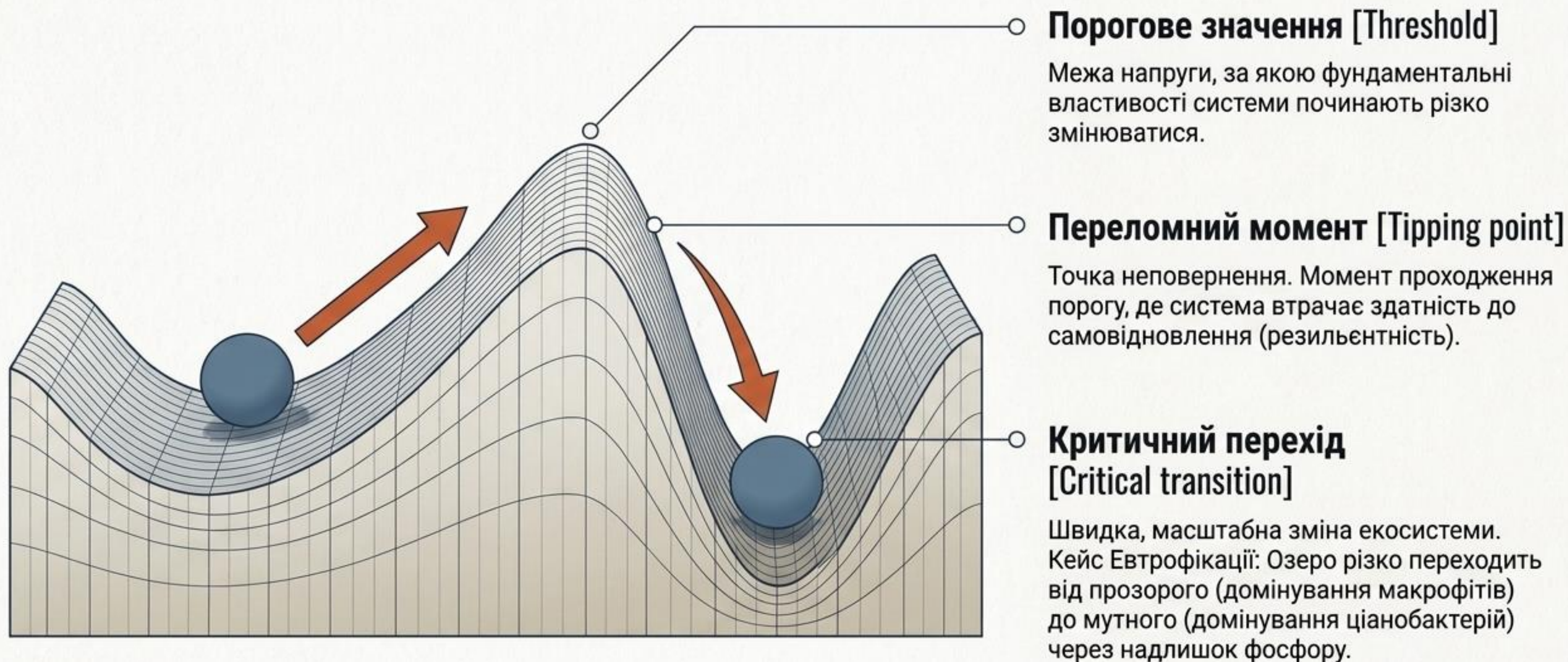
Часова затримка [Time lag]
Політика обмеження скидів діє сьогодні, але водойма очиститься лише через десятиліття. Затримка маскує справжній стан екосистеми, створюючи ілюзію безпеки.

Нелінійність та Часові затримки



Причини та наслідки розведені в часі. Короткострокові політичні цикли часто конфліктують із довгостроковими екологічними затримками.

Пороги та критичні переходи (Tipping Points)

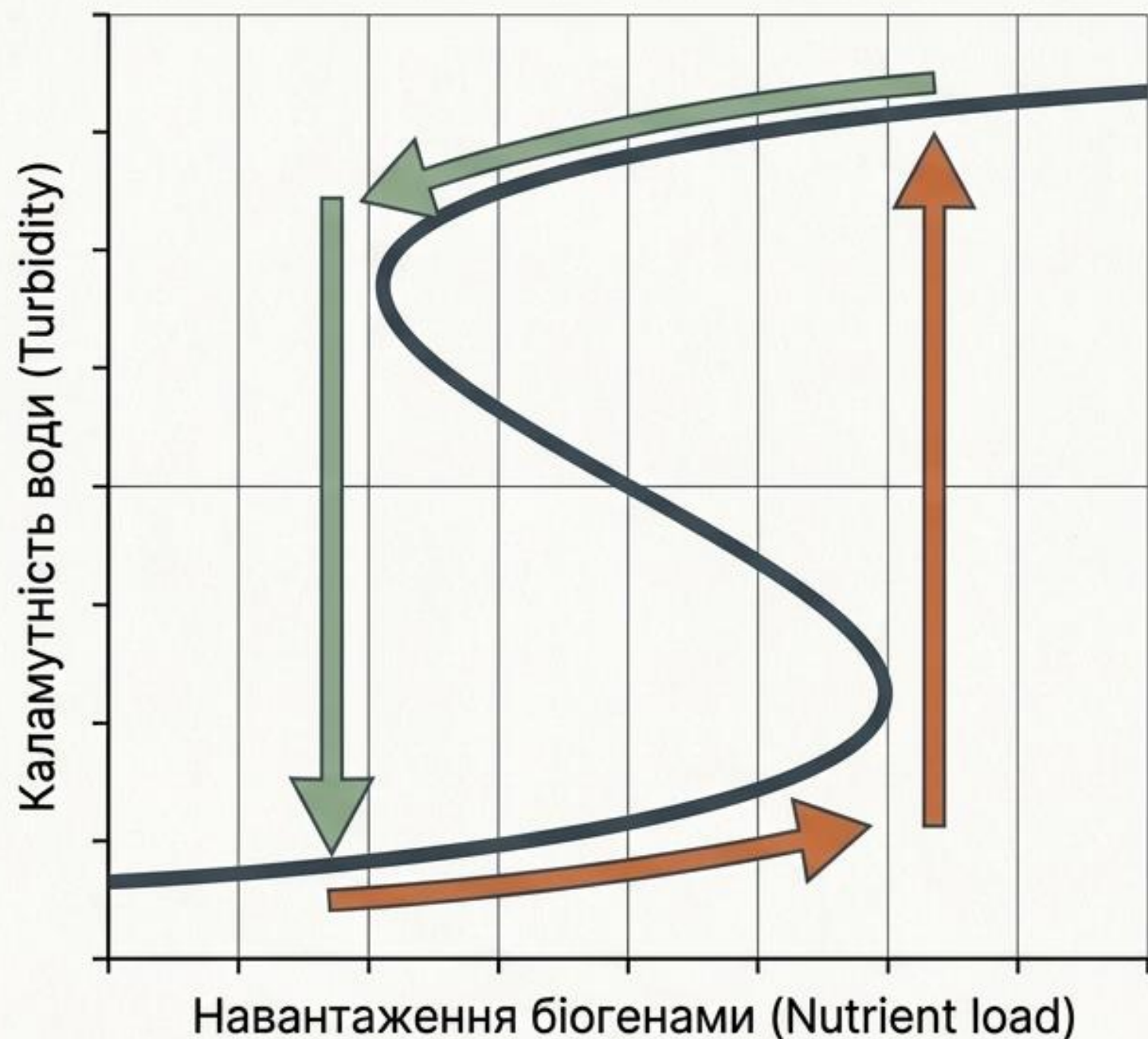


Порогові зміни: Раптові колапси



Екосистеми можуть поглинати тиск без видимих змін роками. Перетин порогу призводить до раптового та часто незворотного переходу в новий стан (regime shift).

Гістерезис та альтернативні стабільні стани



1

Альтернативний стабільний стан [Alternative stable state]

Новий режим існування екосистеми, що активно самопідтримується (напр., мутне озеро, яке блокує світло для донних рослин).

2

Гістерезис [Hysteresis]

Асиметрія деградації та відновлення.

Щоб повернути озеро до прозорого стану, недостатньо просто зменшити скиди фосфору до того рівня, на якому відбулася деградація. Їх треба зменшити значно сильніше, оскільки нова вироджена система вже чинить активний опір змінам.

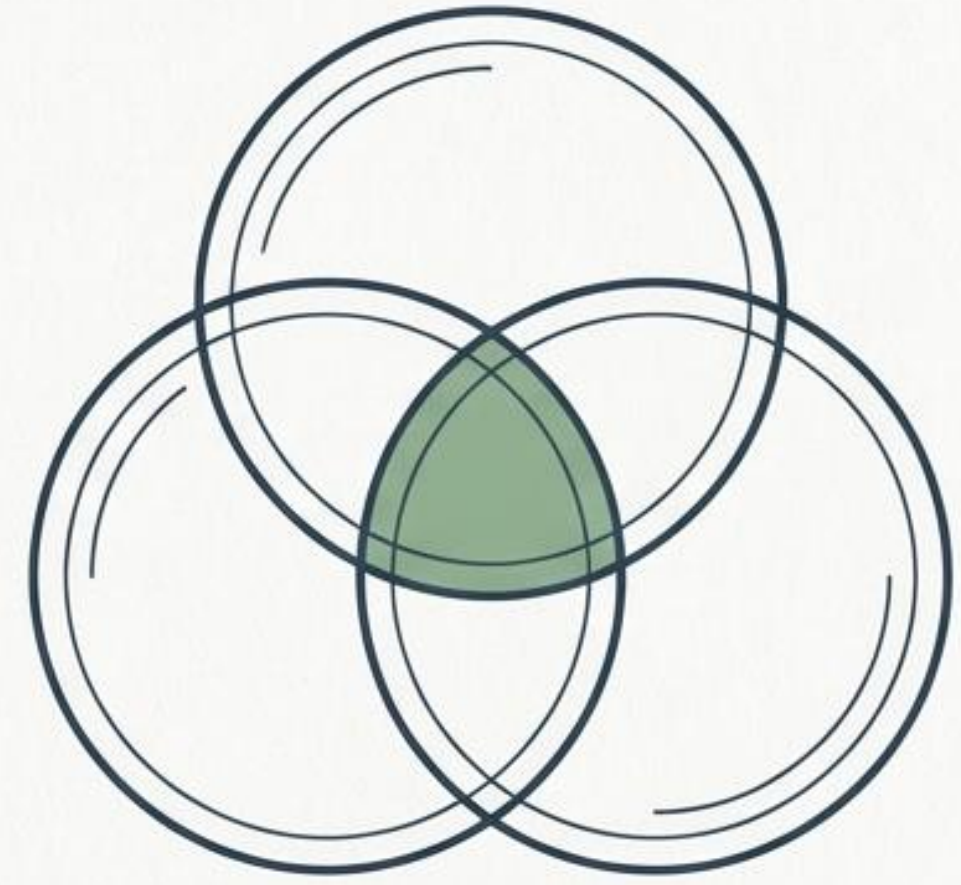
Конфлікти, синергії та компроміси



Компроміс [Trade-off]

Виграш в одному екологічному параметрі означає втрату в іншому.

Кейс міського середовища: Ущільнення міської забудови зберігає приміські природні землі (плюс), але призводить до втрати міських зелених зон і погіршення якості повітря (мінус).



Синергія та Додаткова вигода [Synergy & Co-benefit]

Інтегроване рішення, що вирішує кілька проблем одночасно.

Кейс: Створення 'дощових садків' (rain gardens) зменшує повінь (вода), охолоджує вулиці (клімат) і створює мікро-оселища для комах (біорізноманіття).

Конфлікти інтересів: Нексус 'Вода-Енергія-Земля'

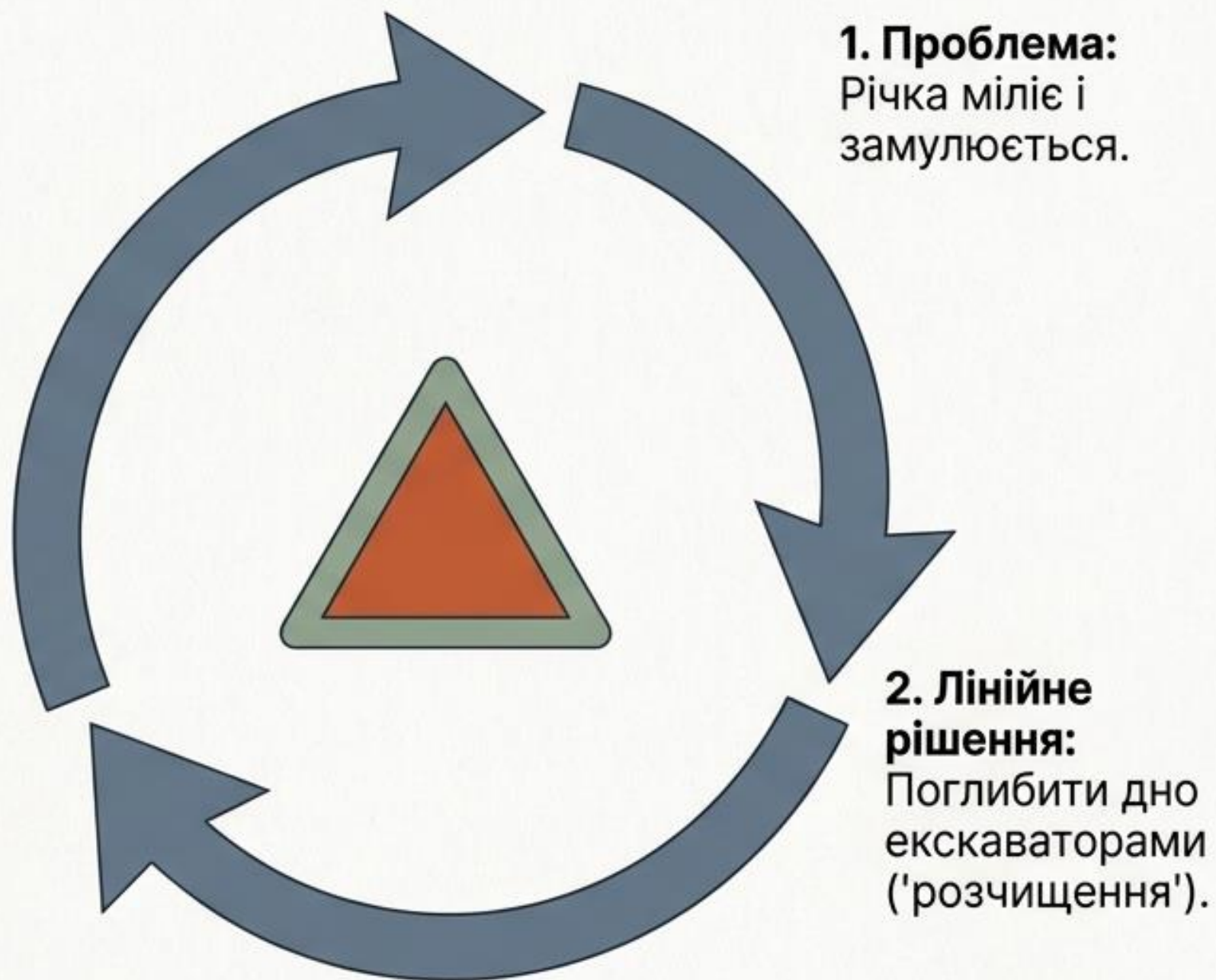


Складні системи не мають ідеальних рішень, існують лише компроміси (trade-offs).
Оптимізація одного параметра часто руйнує інші.

Пастки рішень: Непередбачені наслідки

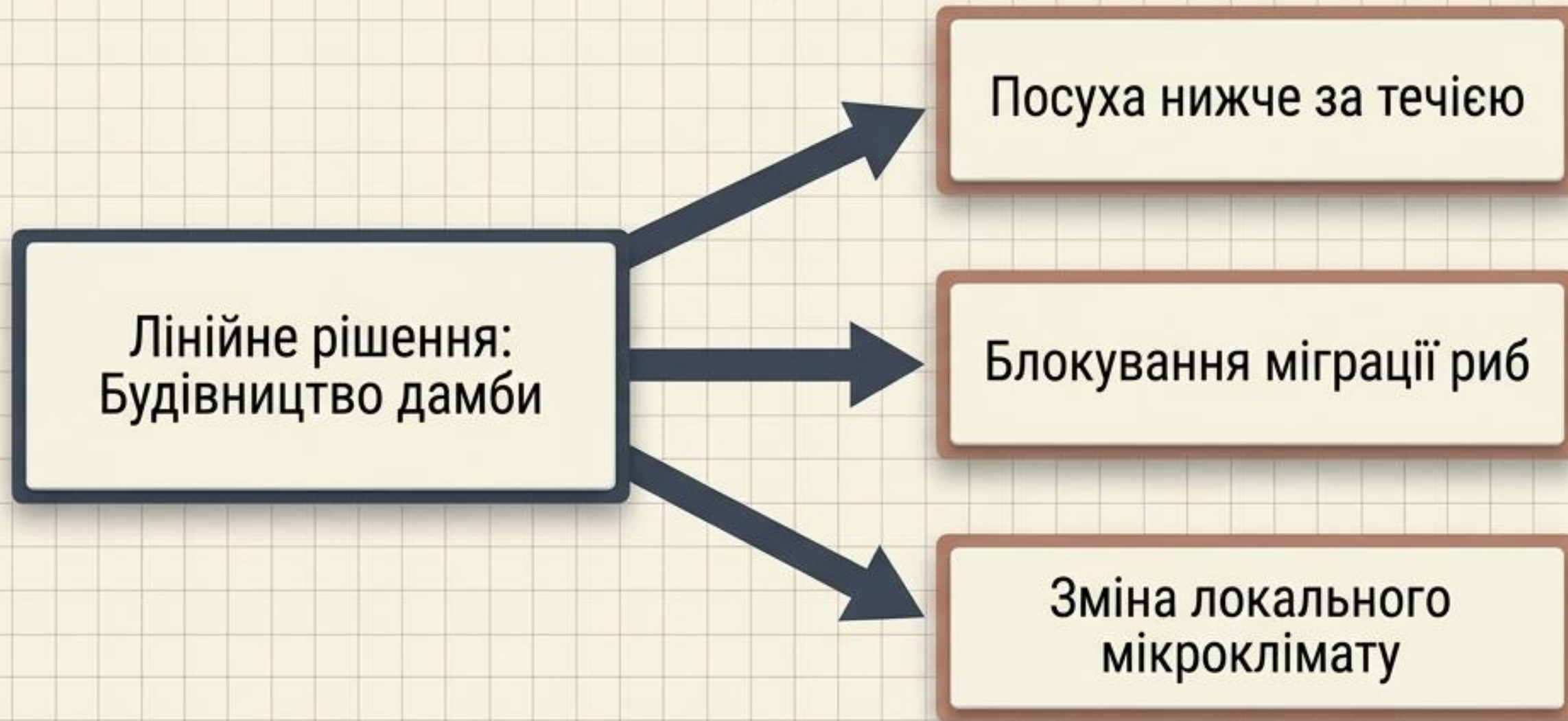
Непередбачений наслідок [Unintended consequence] — Ситуація, коли лінійне природоохоронне втручання погіршує загальний стан системи через ігнорування емерджентності та зворотних зв'язків.

3. Катастрофічний наслідок:
Знищення донних екосистем -> прискорення течії -> різке падіння рівня ґрунтових вод на прилеглих територіях -> повне пересихання річки влітку.



Мораль: Лікування симптомів часто вбиває пацієнта.

Непередбачувані наслідки (Unintended Consequences)



Спроба відрегулювати лише один параметр системи неминуче призводить до ефекту доміно.
Радикальна невизначеність вимагає системної діагностики перед втручанням.

Пошук точок докладання зусиль (Leverage Points)

Точка докладання зусиль [Leverage point] — Місце в складній системі, де відносно невелике управлінське втручання може призвести до фундаментальних змін її поведінки (Д. Медоуз).

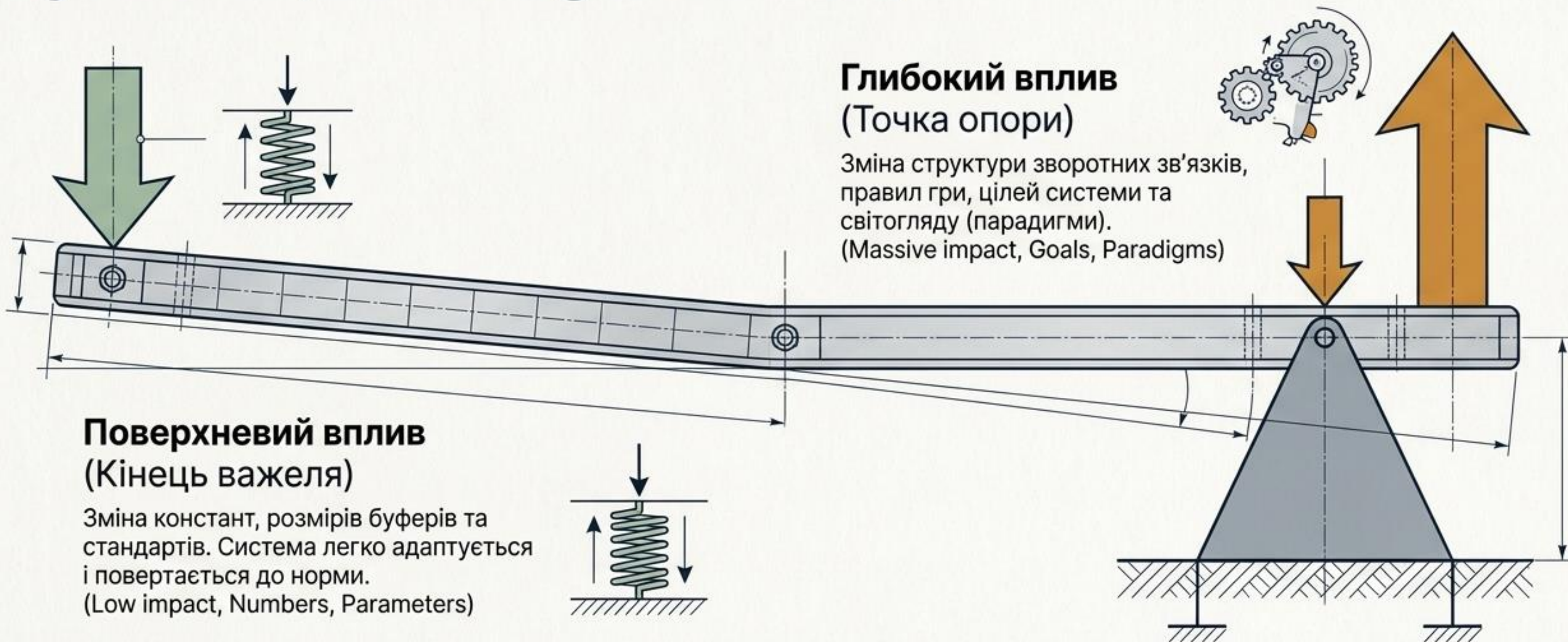
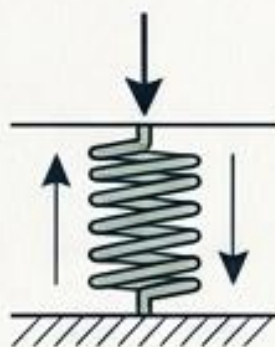
Глибокий вплив (Точка опори)

Зміна структури зворотних зв'язків, правил гри, цілей системи та світогляду (парадигми).
(Massive impact, Goals, Paradigms)

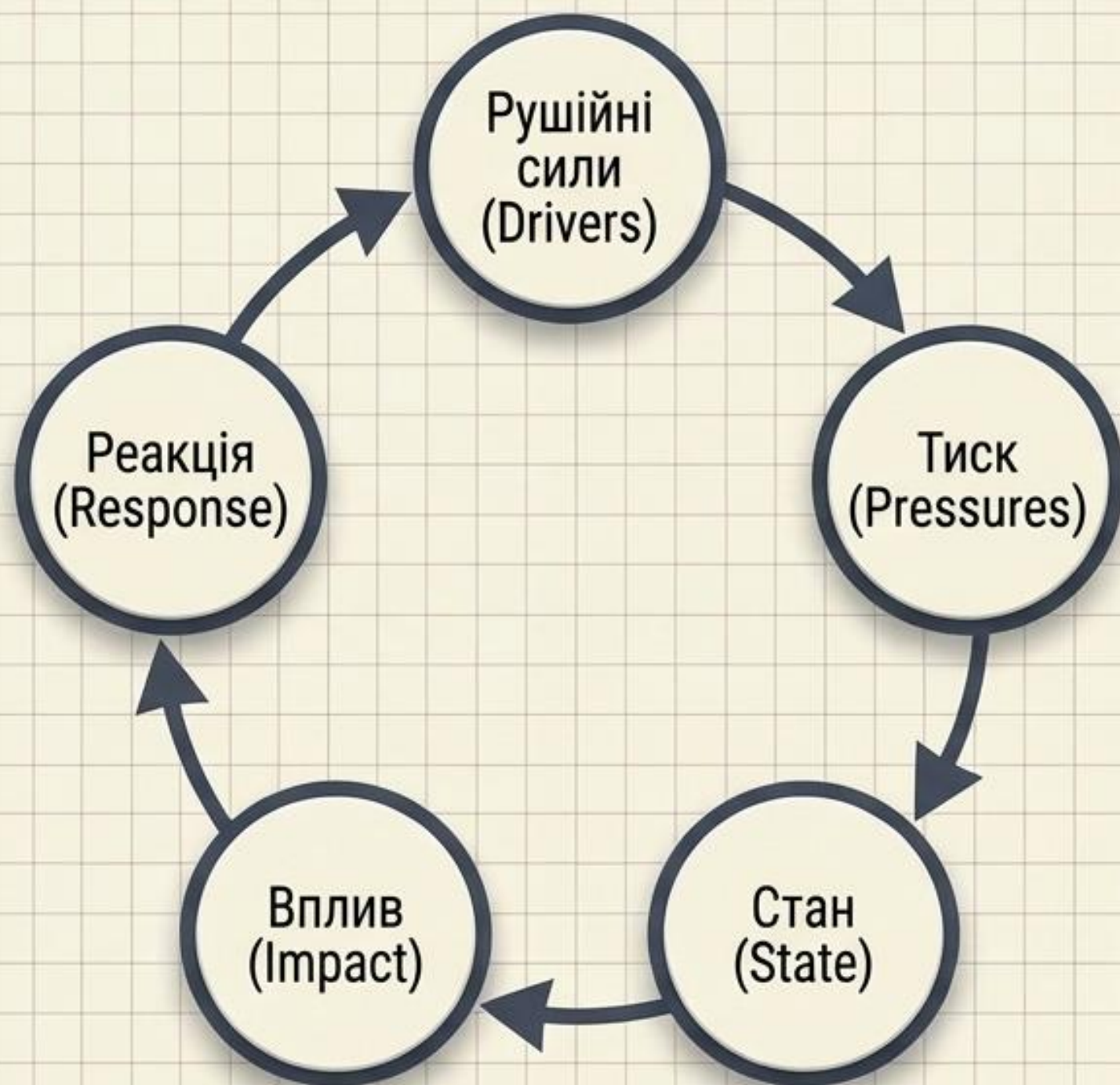


Поверхневий вплив (Кінець важеля)

Зміна констант, розмірів буферів та стандартів. Система легко адаптується і повертається до норми.
(Low impact, Numbers, Parameters)



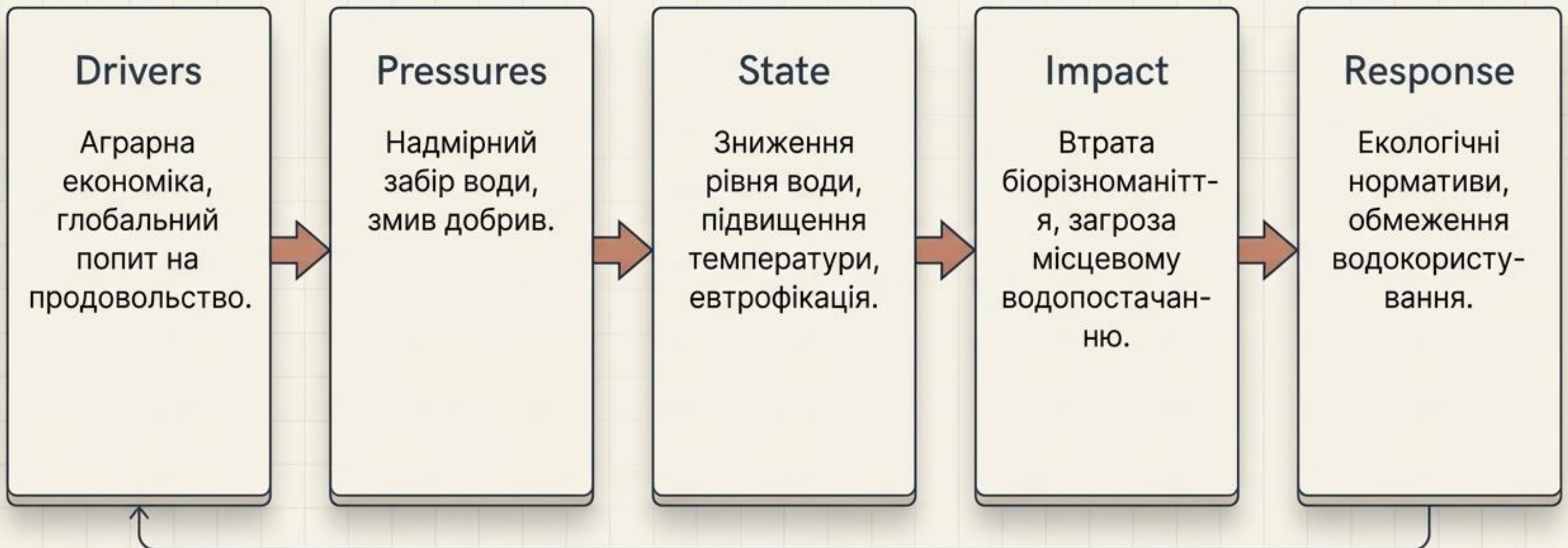
DPSIR: Структурування складності



- **Drivers**: Соціально-економічні потреби.
- **Pressures**: Антропогенне навантаження.
- **State**: Зміни у біофізичному середовищі.
- **Impact**: Наслідки для екосистем та людей.
- **Response**: Дії суспільства.

Картографування річки за системою DPSIR

Від хаотичного набору фактів до структурованої аналітичної моделі.



Системна реальність: Причинно-наслідкова карта (CLD)



Це вигляд реальної екосистеми. Вона складна, але тепер, розуміючи її структуру, ми можемо знайти найефективніші точки для втручання.

Карта точок втручання: Рятуємо малу річку



Рівень 1 (Парадигма):

Перехід від сприйняття річки як "каналу для стоків" до юридичного визнання річки "живою екосистемою з власними правами".

Результат: Фундаментальна трансформація відносин.

Рівень 2 (Структура/Дизайн):

Відновлення історичних меандрів річки та створення широких буферних зон.

Результат: Фізична зміна архітектури екосистеми, відновлення самоочищення.

Рівень 3 (Зворотні зв'язки):

Екологічний податок на хімічні добрива, кошти з якого йдуть на субсидії органічного фермерства.

Результат: Послаблення руйнівного циклу, зміна економічної мотивації.

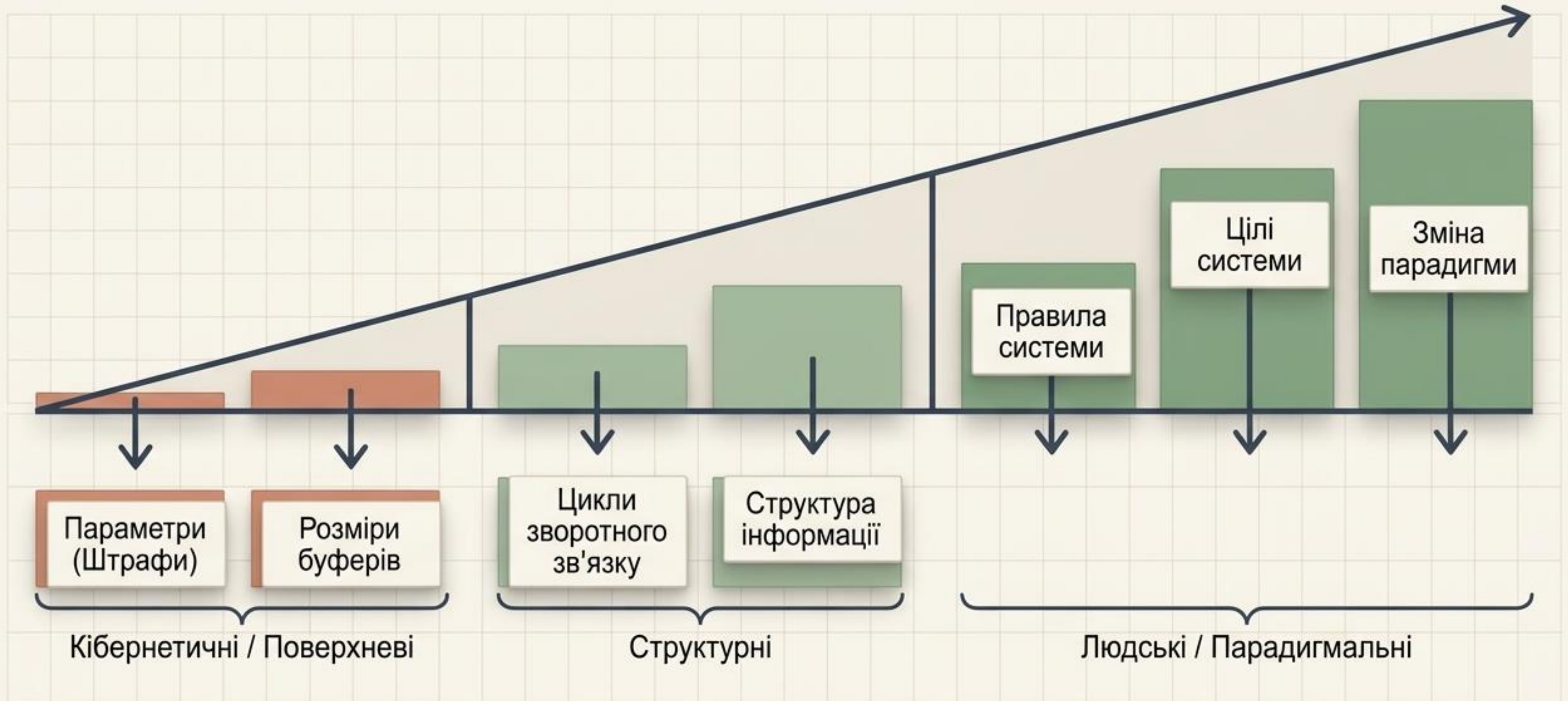
Рівень 4 (Параметри):

Збільшити штрафи за скид стоків.

Результат: Діє слабо, підприємства закладають штрафи у бюджет як витрати.

Результат: Послаблення руйнівного циклу, зміна економічної мотивації.

Пошук точок впливу (Leverage Points за Медоуз)



Зміна параметрів (напр., збільшення штрафу) має найслабший ефект. Найбільша сила — у зміні правил (заборони) та мети системи (річка як юридичний суб'єкт).

Стратегія втручання: Системна акупунктура



Висновок: Мислення еколога XXI століття

Замість [Instead of]	Шукаємо [We seek]
Ізольованих проблем	Взаємозв'язки та межі системи (SES)
Лінійних ланцюгів	Мережі, петлі зворотного зв'язку та затримки
Боротьби з симптомами	Глибинні рушії (DPSIR) та точки втручання (Leverage points)
Оптимізації одного параметру	Компроміси (Trade-offs), ко-вигоди та стійкість

Світ занадто складний для простих лінійних відповідей. Ваше завдання — проектувати системні втручання, які працюють разом з природою, а не проти неї.