

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Конспект лекцій

Житомир 2022

УДК 574
М 74

*Рекомендовано до друку вченою радою Житомирського державного університету
імені Івана Франка
(протокол № 10 від 24. 06. 2022 р.)*

Рецензенти:

Бордюг Наталія, професор, доктор педагогічних наук, директор Комунального закладу позашкільної освіти "Обласний еколого-натуралістичний центр" Житомирської обласної ради;

Житова Олена, професор, доктор біологічних наук, професор кафедри лісництва, лісових культур та таксації лісу Поліського національного університету

Гарбар Діана, доцент, кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка.

М 74 Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій. / уклад.
І.В. Хом'як – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. – 72 с.

Запропонований конспект лекцій містить основні теми, необхідні для опрацювання матеріалу необхідного для проведення робіт із моделювання та прогнозування стану довкілля в практичній діяльності інженера еколога чи теоретичних розвідках еколога-дослідника.

Призначений для студентів, що здобувають освіту за освітньою програмою «Екологія»

УДК 574

© Хом'як І.В.. 2022
© Житомирський державний
університет імені Івана Франка, 2022

ЗМІСТ

Вступ

Лекція № 1

Лекція № 2

Лекція № 3

Лекція № 4

Лекція № 5

Лекція № 6

Лекція № 7

Лекція № 8

Лекція № 9

Лекція № 10

Лекція № 11

Лекція № 12

Питання, тести для самоконтролю

Обов'язкові та додаткові задачі

Список літератури

Додатки

ВСТУП

Усвідомлення глибокої кризи відносин людства із довкіллям прийшло наприкінці 60-их років ХХ століття. Першими хто досить голосно заявили про це були члени «Римського клубу». Вони поставили дуже важливі питання, що стосувалися співвідношення між розвитком цивілізації та небезпечними змінами в навколишньому середовищі, що його супроводжують. Виникла незаперечна ідея, що відповідь можна отримати за допомогою прогнозу побудованого на основі моделі, яка включає в себе важливі компоненти системи відносин між людиною та її довкіллям. Численні спроби створити такий прогноз зазнавали невдач але екологи аналітики не здавалися, адже це був єдиний шлях о виживання як людства так і високоорганізованого життя в цьому секторі Галактики.

На сьогодні, завдяки розвитку обчислювальної техніки та величезному обсягу накопичених даних ми маємо набагато кращі можливості для прогнозування змін довкілля. Такі моделі і прогнози регулярно застосовуються під час прийняття рішень від глобального до локального рівня. Наприклад, такий прогноз є основою для міжнародних рішень щодо запобігання наслідків глобальних змін клімату. Однак, набагато частіше моделювання та прогнозування застосовується на локальному рівні. Фахівець еколог постійно використовує його в своїй практиці під час аналізу наслідків охорони чи експлуатації конкретних екосистем. Наприклад при обґрунтуванні об'єктів природно-заповідного фонду чи при розробці Оцінки впливу на довкілля (ОВД)

Освітня компонента «Моделювання та прогнозування стану довкілля» завершує курс підготовки фахівця з екологічної аналітики першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Він дає необхідні знання та компетентності для майбутньої професійної діяльності здобувачів.

У пропонований конспект увійшли 12 лекцій, в яких у вигляді тез, викладено основні положення сучасного екологічного моделювання та прогнозування необхідні в практиці еколога аналітика. Основна увага зосереджена на моделюванні та прогнозуванні змін в природних екосистемах.

Лекція № 1

Тема: Вступ.

Мета: Розкрити особливості дисципліни моделювання та прогнозування стану довкілля .

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями дисципліни моделювання та прогнозування стану довкілля.

План

1. Передумови виникнення аналітичної екології
2. Історія зародження і розвитку моделювання екосистем.
3. Об'єкт і предмет моделювання та прогнозування стану довкілля.

Текст

1. Передумови виникнення аналітичної екології

Перші людські популяції (соціоекосистеми людей) сучасного типу з'явилися приблизно 0,2 млн. років тому. Людина (*Homo sapiens sapiens*) почала швидко розселятися поверхнею планети. Це привело її до конфлікту між існуючими соціальними і класичними біологічними адаптаціями та умовами середовища в яких вона опинилася. В результаті цього численні групи зникали але завдяки високій інформаційній незалежності багато із них виживали утворюючи нові системи екосоціумів. Зміни в умовах середовища та різноманітні підходи реалізації способів пристосування до них привели до утворення великої різноманітності соціоекосистем. Асиміляція та культурна ізоляція а також реакція на енде- й екзогенні зміни довкілля спричинили еволюційний процес, результатом якого стала сьгоднішня екосоціальна структура.

В стародавню кам'яна добу або палеоліт окремі родові групи людей займалися мисливством і збиральництвом. Це найдавніший та найдовший період в історії людства. Назва походить від грецьких слів *palaios* — стародавній та *lithos* — камінь. В цей час відбувається поява кремнієвих знарядь праці, які поступово ускладнюються. Це приводить до зростання потенціалу людини щодо використання природних ресурсів. Виникає можливість отримувати більше здобичі захищатися від хижаків і ворогів. Таким чином чисельність і ареал люди зростає. Боротьба за ресурси і проти конкурентів спричиняє пригнічений стан деяких видів і можливо навіть їхнє зникнення. Ландшафт ще не зазнав помітних антропогенних трансформацій але його рівновага похитнулася.

В добу раннього палеоліту (2,4 млн. — 600000 до н. е.) сучасна людина не відмічалася. В цій групі панують *Homo habilis* і (*Homo erectus*). Але як тільки на арену еволюційної боротьби з'являється *Homo sapiens* інші представники роду витісняють, винищуються або вимушені переміститися в місця бідні на ресурси.

Зона розселення людини в той час це майже вся вільна від льодовика територія Європи. Соціальні об'єднання, на думку сучасних антропологів: нестійке первісне стадо, яке здебільшого формувалося з метою полювання, для захисту від ворогів, тварин, стихій. Але це твердження може бути всього лише спробою науковців підігнати історію людини під постдекартові теорії прогресу. Адже навіть більш примітивно організовані групи сучасних приматів уже мають чітку ієрархію та відносно постійну структуру і склад побудовану на юродстві особин.

Цій епосі приписують такі знаряддя праці: найпримітивніші кам'яні, дерев'яні, кістяні інструменти. Екосоціуми ймовірноше ведуть кочовий спосіб життя так як знаходяться в неврівноваженому стані із довкіллям (виснажують необхідні ресурси) і при низькій густоті населення не мають стимулу для вдосконалення. Найдавніші відомі стоянки в Україні це с. Королеве, Закарпаття, м. Амвросіївка на Донбасі, с Лука-Врублівецька на Житомирщині, всього понад 30 стоянок.

Початок повного панування *Homo sapiens* припадає на середній палеоліт 600.000 — 35.000 до н. е. Він характеризується відносно теплим інтергляціальним кліматом міжльодовикової епохи (Рисс-Вюрм). Це період панування теплої й сухої повітряної маси, коли в Європі ще зберігалася субтропічна фауна: давній слон, гіпопотам, носоріг Мірка. На території сучасних Альп переважали хвойні й листяні ліси, а клімат був тепліше сучасного: середня температура зими - не нижче 0°. У попередню льодовикову епоху температура січня впала до -10-15°, а температура липня - до +10°. З'явилися серйозні безлісні простори. Потім клімат зм'якшився й потеплішав. Це сприяло

широкому розселенню людини у результаті якої палеоантроп (людина середнього палеоліту) зайняв майже на всю вільну від льодовика територію Європи. Значно зросла кількість археологічних пам'яток приписуваних цій добі. Центральній і Східній Європі їх у 70 разів більше, ніж раннього палеоліту. Одночасно з'являються місцеві групи й культури, що стає основою для народження нових рас і народів. Археологи вважають, що європейське мустье розвилось у двох основних зонах - у Західній Європі й на Кавказі - і звідти поширилося на іншу Європу. Прямий зв'язок між середнім і раннім палеолітом установлюється в рідких випадках.

Ми можемо спостерігати і територіальну диференціацію екосоціумів. Наприклад, населення Лаціо полювало на найрізноманітнішу дичину. Місця для стоянок обиралися там, де була висока біотична різноманітність промислових видів. Полювали на як слона, гіпопотама, носорога. Лише після зникнення вологих лісів й боліт структура здобичі змінилася. Зростання біотичних запасів (кількість кліматичних ресурсів на пряму пов'язана із кількістю необхідної для мисливця біоти) привело до збільшення ступеня осіlosti, що ймовірно сприяло консолідації людських колективів та вело до виникнення перших природоохоронних правил. Крім цього зростання густоти населення перешкоджало кочовому способу життя. Адже перехід через чужі мисливські володіння був значною загрозою для життя кочівників. Тому людина стала вимушена пристосовуватися до умов довкілля через вдосконалення знарядь праці та бережливе ставлення до природи. Змінилась і сама структура та мораль соціуму. В попередню епоху було загальноприйнятим залишати «лишніх малят старих та інвалідів на місці старої стоянки обриваючи їх на смерть (А.П. Назаретян Насилие и терпимость: антропологическая ретроспектива). В епоху середнього палеоліту є приклад, коли людина, що втратилася руки, жила ще довгий час після втрати працездатності, але ж таку можливість міг дати йому колектив.

Неподалік від вищеописаного екосоціуму, в печері Монте Чірчео (Лаціо) знаходилась дещо відмінна група. Вона вела полювання на тварин, які жили на їхній мисливській території (зона радіусом 10 км навколо стоянки), що включала відкриті місцевості, де паслися коні; рідку паркову рослинність і сухі світлі ліси на вододілах, де жили олені й дикі бики; густі вологі ліси, у яких жили кабани й козулі. Зміни природних умов привели деяких стадних травоядних до міграцій: улітку - в Апенніни, на рясні пасовища, узимку - назад, у низинні райони. Але судячи з розташування пам'яток середнього палеоліту, людина не рухалася за чередами в гірські місцевості, залишаючись в основному в низинних районах, де зберігалися слони, бегемоти, носороги. Це говорить що густота населення за умов що склалася не стала поштовхом для еволюції соціоекосистем.

Групи людей що поширилися Європою пристосовувалися до різних ресурсних систем але все одно в їхньому житті було багато спільного. Так на північній Італії базові табори розташовуються між морськими ресурсами й горами. Тут полюють на сарн й оленів. Інша картина в печері Морії (Іспанія): близько 50% кісткових залишків тут належить великому бикові, інші - шляхетному оленеві й коневі. У Криму полювали майже винятково на дикого осла (Староселье) і сайгу (Заскельна). На Кавказі у Воронцовській печері 98,8% залишків фауни належать печерному ведмедеві, на ільській стоянці до 87% становлять кістки бізона. Населення Молодова в середньому палеоліті полювало на мамонта, а також на коня, бізона й північного оленя. В Ерде (Угорщина) об'єктом навесні полювали на печерного ведмеда (залишки близько 500 осіб), а влітку - на коня й гіпопотама. У Кенігсхауе біля Гарцських гір в Німеччині близько 30 чоловік - жили із квітня по жовтень на березі озера, у досить відкритій місцевості, в оточенні очеретяних боліт і лісів з вільхи, берези, тополі. Основним заняттям було полювання на мамонта, носорога, дикого коня й бика. Поселення Лебенштедт у Зальцгиттера в Німеччині існувало в умовах тундрової рослинності 55 тис. років тому. Основним заняттям населення було полювання на північного оленя, бізона, коня, шерстистого носорога. Всі кам'яні знаряддя - знаряддя полювання й оброблення туш. Це літній табір групи мисливців (40-50 чоловік), що зупинялись можливо тут на декілька тижнів. У гроті Ортюс (Франція) мисливці на пантеру, рись, вовка приносили в табір тільки шкіри, зняті на місці полювання. Аналогічна картина спостерігалася в Ерде, де на печерну гієну, вовка й бурого ведмеда полювали через їхні шкіри. Рибний лов був основним джерелом їжі в Кударо на Кавказі (із вільної енциклопедії Вікіпедія).

Зміни в способі життя привели до удосконалення мисливської зброї. Існувало полювання зі списом, у тому числі й металевим, оснащеним кремінним наконечником. Мустьєрські знаряддя були багатofункціональні: вони служили для обробки дерева й шкір, для стругання, різання й навіть свердління. Була освоєна й облавне полювання на пересіченій місцевості, можливо, з використанням ловчих ям. Такі досконалі способи добування їжі могли привести до швидкого виснаження ресурсів тому вважаємо що на той час уже існували чіткі мисливські табу які є аналогом нашої екологічної етики. Подібні табу є і в сучасних народів, які живуть давнім (пост мустьєрським) способом життя. Відголоски цих табу до цих пір існують на території Європи. Наприклад у деяких поліщуків не дозволяється убивати лебедя, лелеку, сойку чи павука, розорювати гнізда ластівочок та знижувати ропух.

Житло тієї епохи досить чітко розділяється на базові табори (залишки яких часто знаходять у великих й добре вкритих печерах, де утворилися потужні культурні шари з досить різноманітною фауною), і на тимчасові мисливські табори (бідна індустрія). Ще зустрічаються й майстерні для видобутку й первісної обробки каменю. Так наприклад у кантоні Берн (Швейцарія) знайдені Мустьєрські місця видобутку кременя у вигляді вертикальних ям глибиною 60 см, викопаних роговим знаряддям. Тут вироблялася первинна обробка кременя; у Балатенловаше (Угорщина) були шахти по видобуванню барвників; у південно-західній Франції мустьєрські стоянки знайдені під скельними навісами й у малих печерах, що рідко перевищують 20-25 м завширшки й глибину; печери в Комб Гренаді й Ле Пейраре (Південна Франція) були доукомплектовані; житла з костей мамонта із залишками вогнищ усередині під відкритим небом знайдені на стоянці Молодово I на Дністрі.

Наприкінці цього періоду з'являється житло великі з багатьма вогнищами житла, знайдені у Франції (Ле Пейрар, Во-Де-Л'Обезье, Эскишо-Грано). Залишки десяти невеликих жител виявлені в низов'ях р. Дюране (Франція). Це вказує на складну сімейно ієрархічну структуру суспільства.

Культура цього часу зробила значний скачок до ускладнення. Присутні перші ритуальні поховання (можливо зароджувався тотемізм), і застосування орнаментации - ритмічні повторення нарізок на кістках або каменях, використання фарби (переважно червоної вохри). Більшість мустьєрських поховань перебуває в межах поселень, в основному в печерах. Могильні ями - неглибокі, неправильних обрисів, але часто вириті або видовбані спеціально для поховання. Основний поховальний обряд - трупоположення на боці, зі злегка підігнутими в колінах ногами. Зверху поховання засипалося землею або каменями. Там, де можна встановити, похований звернений головою на захід або схід. Зв'язок померлих з родовою громадою зберігалася й після смерті. Можливо вони вірили в життя після смерті (це не було анімістичне вірування).

Відбувалось зародження тотемізму. Таким тотемом для багатьох був ведмідь – печерний або бурий. Зустрічаються випадки особливого обігу із черепами й кістками ведмедів: черепа складають у спеціальні ніші в печерах або ящики з кам'яних плит (Драхенлох, Швейцарія; Петерсхеле, ФРН), кістки ховають у спеціальних кам'яних спорудженнях (Регурду, Південно-Західна Франція).

Утворення масштабного льодовикового покриву на півночі Європи 20-23 тисячі років до н.е. привело до порушення системи зв'язків між елементами біосфери. Глобальна цивілізаційна катастрофа та наступна за нею зміна клімату привела з одного боку до руйнування ряду соціоекосистем а з другого стала прискорювачем еволюції інших.

Епоха пізнього палеоліту (35000 — 10000 до н. е) це давня кам'яна доба — час життя класичного неандертальця. Але паралельно із цим видом уже існували групи сучасних людей та кроманьйонців. Місцями поширення неандертальця були Європа, Передня Азія і Африка. Але кроманьйонці та сучасні люди витіснили його в складні для проживання місця і після 27,000 року до н. е зустрічається тільки сучасна людина.

В нових природних умовах спостерігався якісний скачок реструктуризації соціоекосистем. Сформувався матриархально-родовий лад, що набув дальшого розвитку за наступних історичних часів — мезоліту і неоліту. Панували матрилокальні (чоловік переходив для створення сім'ї до роду жінки) та матрилинійні (родовід вівся по жіночій лінії) зв'язки. Палеоліт характеризувався поширенням примітивних знарядь праці з дерева, каменю і кістки, пануванням мисливства та збиральництва.

Більшість дослідників вважають, що в добу пізнього палеоліту неабияку роль у формуванні екосоціумів відіграло мистецтво. Воно зміцнювало соціальні зв'язки, допомагало формуванню первісної общини, ставало засобом передачі досвіду від покоління до покоління. Коло творів образотворчого мистецтва палеоліту досить широке: що зображають тварин і людей, виконані на камені (петрогліфи), гравюри на кістках і рогах, рельєфи, малюнки, глиняні і кам'яні скульптури. Всесвітньо відомі печери Франції (Лясько, Фон-де-Гом) і Іспанії (Альтаміра) зберегли всесвітньо відомі палеолітичні картини.

Пояснюють потребу людини передати навколишній світ художніми засобами релігійними магічними уявленнями, виникнення яких відноситься до того ж часу. Але релігія дуже часто для більшості членів соціуму є одночасно наукою, законодавством і морально-етичним кодексом. В умовах критичних відносин із довкіллям (обмеження ресурсів або загроза життю та здоров'ю), коли внаслідок стресу відбувається масове звуження свідомості, такий релігійний гіперболізований універсалізм посилюється. Саме тому, початок епох так званих «темних часів», минулого тисячоліття пов'язують із малими льодовиковими періодами (1311-1315, 1560-1604, 1621-1669, 1784). Сучасна етнографія наводить приклади, коли заклинання, танці довкола зображень сприймаються засобом впливу на справжніх тваринах. Так, австралійські туземці вірять, що якщо чоловіки вималюють або «освіжать» новим розфарбуванням зображення тварин або рослин на стінах присвяченої ним печери, то ці тварини і рослини будуть множитися в справжньому житті. Серед малюнків рідко, але зустрічаються зображення людей в масках. Широко відомий так званий «Чаклун» з печери Трьох братів у Франції — напіволень-напівлюдина. Мистецтво танцю, ймовірно, також розвивається з імітації поведінки тварин. мисливських і військових вправ.

Скульптура широко представлена жіночими статуетками невеликого розміру. Вони виконані завжди за одним загальним принципом: кінцівки ледве намічені, риси обличчя не позначена, але зате різко підкреслені ознаки жінки-матері. Такі статуетки образно називають «палеолітичними Венерами». Очевидно, що основна ідея таких зображень — ідея плодючості, продовження роду. Вчені зв'язують їх з культом жінки-прародительки в материнській родовій общині (де рахунок спорідненості вівся по материнській лінії). В Україні досліджено багато палеолітичних пам'яток. Один з них — стоянка Мезіно на Яснах, поблизу Чернігова. Там знайдені фігурки, що зображають птахів, а також кістяний браслет, покритий складним геометричним орнаментом.

Художники палеоліту зображували в основному тварин — зубрів, коней, оленів, мамонтів. Перші малюнки недосконалі, але згодом майстерність досягає разючого рівня. Фігура тварини малюється упевненою лінією, дотримуються пропорції. Шедеври печерного живопису з Альтаміри, Лясько, Фон-де-Гом передають тварин майже в натуральний зріст з великою життєвою переконливістю. Особливістю цих розписів є те, що реалістичні зображення окремих тварин композиційно між собою не пов'язані, іноді навіть «нашаровуються» один на одну. Тому напрошується гіпотеза про зародження в межах групи мисливців (племені) особливих екосоціумів носіїв сакральних знань, які керували ритуалами та могли вдосконалюватися в образотворчому мистецтві. Таким чином ми вважаємо що крім звичайної маси населення розділеної за віковим і статевим принципом (чоловіки, жінки, діти) виділялася група вождів (або вождя) як лідера і самого кращого менеджера полювання та група «інтелігенції», яка займалася передачею над побутових знань.

Танення льодовика відбувалось в супроводі катастрофічних кліматичних явищ. Для багатьох видів (в тому числі і тих що являють промислову цінність для людини) ці зміни стали трагічними. Це послужило стартом для ланцюга подій які прискорили еволюцію соціоекосистем. Зміна мисливської здобичі стала головним чинником який привів до деградації та асиміляції кроманьйонських груп. Відбувались гігантські перетворення в способі життя (полювання, побут...), які привели за собою зміни в культурі та релігії. А отже змінились самі принципи екологічної етики.

Середня кам'яна доба (мезоліт від грецького μέσος - середній і λίθος - камінь) – епоха кам'яної доби (12,000-7,000 до н.е.), що була перехідною між палеолітом і неолітом. Основними ознаками епохи було поширення лука і стріли. Суспільство ще зберігало матріархальні устої але

для окремих груп вони почали здавати свої позиції. Знайдені у мезолітичних стоянках Криму кістки собаки та свині є доказами того, що їх приручали. З'явилися перші навички у виготовленні глиняного посуду. Для поховань часів мезоліту характерним був обряд трупопокладення у стані випростаному на спині або в скорченому на боці. Виникла криза мисливського господарства, постала необхідність пошуку та впровадження відтворювальних форм господарства – скотарства та землеробства.

Ця епоха є яскравою ілюстрацією впливу географічного середовища на життя й еволюцію соціуму. Закінчується льодовиковий період: тепліє клімат, оновлюється рослинність, міняється фауна. Стали непотрібними великі громадські об'єднання, їх змінюють невеликі колективи мисливців. До цього часу відноситься чудовий технічний винахід - лук і стріли. Велика кількість водних просторів після танення льодовиків привела до широкого поширення рибальства. Міняється і характер збиральництва, його основою стає збір диких злаків. Як матеріал для виготовлення знарядь широко використовується кістка. З'являється нова, більш ефективна, так звана мікролітична техніка обробки каменю: виготовлення кременевих пластин-вкладишів невеликого розміру - мікролітів. Наприклад, основу серпа робили з кістки, а лезо складали мікроліти. Ймовірно, в мезоліті люди освоїли плавання на колодах і плотах. Починається приручення тварин: першою прирученою твариною була собака (Гайдай, 2000).

Загальний характер образотворчого мистецтва порівняно з попереднім етапом зберігається, однак на відміну від палеоліту в мезолітичних розписах центральне положення починає займати людина, її дії. Тепер художник прагне передати не стільки зовнішню сторону, скільки внутрішнє значення того, що відбувається. Зображення менш реалістичне, що говорить про нові задачі, які вирішувало мистецтво. Головна увага тепер зосереджена на сюжеті, динаміці що відбувається (полювання, танець).

Зміни в післяльодовикову епоху запустили ланцюг змін у відносинах між соціумом і довкіллям. Ці зміни привели так званої неолітичної еволюції. Реакцією на погіршення умов середовища (обмеження ресурсів, зростання конкуренції) тепер було не автоматичне зниження чисельності а удосконалення способів експлуатації ресурсів. Розширилось число видів які використовувались у їжу. Це відбувалось за рахунок отриманої можливості споживати раніше недоступну їжу (молоти і варити зерна) а також зберігати їжу відносно тривалий час (коптіння та варіння з подальшим триманням в керамічному посуді). Це стало причиною того що об'єми споживаних ресурсів зростали паралельно із збільшенням числа населення та його потреб. Час від часу такий процес приводив до ресурсних криз. Тому що в ці моменти наступав дефіцит ресурсів які добувались старим способом. Людина реагувала в двох напрямках. Вона розпочинала масове зниження числа населення через війни (за володіння ресурсами чи внаслідок спроби переміщення народів від неродючих земель) або винаходила нові способи отримання потрібних джерел їжі, енергії та інше.

Інформацію про дописемні екологічні знання ми можемо отримати із спілкування з сучасними народностями, які ведуть давній спосіб життя. У лісах Ітурі (Центральна Африка) існують три первісних племені:ака, ефе, мбуті. Вони до нашого часу знаходяться на рівні кам'яного віку, і живуть як збирачі і мисливці. Їхнім середовищем життя є вологий тропічний ліс (Батько-ліс), вони йому «моляться» і приносять свої жертви (під час їжі загортають в листок шматок і кладуть між гіллям). Жан-П'єр Алле, який провів із ними багато років, говорить, що принципом їхнього життя є «відноситись до природи так як хочеш, щоб вона відносилась до тебе, що дуже сильно нагадує етичну концепцію А. Швейцера. Усі моральні (і певною мірою юридичні в тому числі) закони їхніх общин зводяться до 18 табу:

1. Жорстоке поводження із дітьми;
2. Убивство;
3. Нерозумне знищення тварин;
4. Неповага до батьків та старших;
5. Відмова в допомозі пораненому чи заблукалому;
6. Зіпсування їжі;
7. Забруднення води;

8. Магія;
9. Перелюб;
10. Боягузтво на полюванні;
11. Побиття чоловіка;
12. Побиття дружини;
13. Вирубування великих дерев;
14. Богохульство;
15. Використання для полювання капканів;
16. Крадіжки;
17. Поїдання яєць;
18. Обмова.

У багатьох сучасних племен до цього часу існували заборони щодо полювання на окремих видів тварин. Наприклад, у банту під заборону потрапляли крокодил, лев, бик і блакитна антилопа. Їх не можна було не то що вбивати а навіть роздивлятися. Під час антиколоніального повстання в Кенії (1952-1956 роки) було зірвано великий наступ повстанців загону «лісових бійців». Вони вважали, що якщо дорогу перейде олень чи газель то нею не варто йти і задуману роботу не слід робити. Тому, коли на шляху «лісових бійців» з'явилися ці тварини, вони повернули назад, не вийшовши на свої позиції.

Відносини між людством та довкіллям розвивалися досить бурхливо і на середину ХХ століття криза цих відносин стала очевидною. Все більше і більше вчених, політиків та підприємців почали задаватися запитанням – що буде далі? Одними із перших, хто публічно почав говорити про це в глобальному масштабі були члени Римського клубу. Римський клуб був заснований у квітні 1968 року Ауреліо Печчеї, італійським промисловцем, та Олександром Кінгом, генеральним директором з наукових питань ОЕСР. Він був утворений, коли невелика міжнародна група людей із сфер науки, громадянського суспільства, дипломатії та промисловості зустрілася на віллі Фарнезіна в Римі, звідси й назва. Центральною у формуванні клубу була концепція проблематики Печчеї. На його думку, розглядати проблеми людства — погіршення довкілля, бідність, ендемічне погане здоров'я, міську гниль, злочинність — окремо, ізольовано або як «проблеми, які можна вирішити за власних умов», було приречено на провал. Всі взаємопов'язані. «Саме цю узагальнену мета-проблему (або метасистему проблем), яку ми називали і будемо називати «проблемною», яка притаманна нашій ситуації». У 1970 році бачення Печчеї було викладено в документі, написаному Хасаном Озбехан, Еріхом Янчем і Олександром Христакісом. Він називався «The Predicament of Mankind; Quest for Structured Responses to Growing Worldwide Complexities and Uncertainties: A PROPOSAL». Документ буде слугувати дорожньою картою для проекту LTG.

Римський клуб привернув значну увагу громадськості з першим звітом для клубу «Межі зростання». Його комп'ютерне моделювання, опубліковане в 1972 році, показало, що економічне зростання не може тривати безкінечно через виснаження ресурсів. Нафтова криза 1973 року посилила стурбованість громадськості цією проблемою. Звіт розійшовся накладом у 30 мільйонів примірників більш ніж 30 мовами, що зробило його найбільш продаваною екологічною книгою в історії.

Ще до того, як «Межі зростання» були опубліковані, Едуард Пестель і Михайло Месарович з Університету Кейс Вестерн Резерв розпочали роботу над набагато складнішою моделлю (вона розрізняла десять регіонів світу та включала 200 000 рівнянь у порівнянні з 1 000 у моделі Медоуза). Дослідження отримало повну підтримку клубу, і його остаточна публікація «Людство на переломному етапі» була прийнята як офіційний «другий звіт» до Римського клубу в 1974 році. Окрім надання більш витонченої регіональної розбивки, Пестель і Месарович зробили вдалося інтегрувати соціальні та технічні дані. У другій доповіді було переглянуто сценарії початкових обмежень зростання та дано більш оптимістичний прогноз щодо майбутнього довкілля, зазначивши, що багато факторів, які беруть участь, знаходяться під контролем людини, а отже, екологічну та економічну катастрофу можна запобігти або уникнути.

2. Історія зародження і розвитку моделювання екосистем.

Провали моделей Медоуза не вибили ґрунту із під ніг дослідників. Навпаки викликало гарячий інтерес до моделювання екосистем і стимулювало його стрімкий розвиток. Глобальний ривок в екологічному моделюванні відбувся зокрема завдяки старанням Sven Erik Jørgensen. У 1958 році він отримав ступінь магістра хімічної інженерії Технічного університету Данії, потім доктора інженерів навколишнього середовища (Технологічний інститут Карлсруе) і доктора наук з екологічного моделювання (Університет Копенгагена). Викладав курси екологічного моделювання в 32 країнах. Після виходу на пенсію він став почесним професором хімії навколишнього середовища в Копенгагенському університеті.

Він був почесним доктором Університету Коїмбра, Португалія та Університету Дар-ес-Салама, Танзанія. Він отримав кілька нагород: премію Руджера Бошковича, премію Прігожина, медаль Блеза Паскаля, професора Ейнштейна в Китайській академії наук і премію Санта-К'яра за багатодисциплінарну викладання. У 2004 році разом з Вільямом Дж. Мітшем він був нагороджений Стокгольмською водною премією.

У 1975 році він заснував журнал Ecological Modelling, а в 1978 році заснував ISEM, Міжнародне товариство екологічного моделювання. Він опублікував 366 статей, з яких 275 були в рецензованих міжнародних журналах, а також відредагував або став автором 76 книг, кілька з яких було перекладено іншими мовами (китайською, російською, іспанською та португальською).

У 2011 році він став автором підручника з екологічного моделювання «Основи екологічного моделювання», який був опублікований четвертим виданням разом з Брайаном Д. Фатом з Департаменту біологічних наук Університету Тоусона. Перекладено китайською та російською мовами (третє видання). Був співредактором «Енциклопедії екології», виданої у 2008 р., та «Енциклопедії екологічного менеджменту», виданої у грудні 2012 р. Був співавтором підручника «Вступ до системної екології», виданого англійською мовою в 2012 р. китайською мовою в 2013 році. Був членом редколегії 18 міжнародних журналів у галузі екології та екологічного менеджменту. Він був президентом ISEM і був обраний до Європейської академії наук і мистецтв, де він був головою секції наук про навколишнє середовище.

Ecological Modeling — щомісячний рецензований науковий журнал, який висвітлює використання екосистемних моделей у галузі екології. Він був заснований у 1975 році Свенном Еріком Йоргенсенем і видається Elsevier. Нинішній головний редактор – Браян Д. Фат (Університет Тоусона). Згідно з Journal Citation Reports, імпакт-фактор журналу в 2016 році становив 2,363

Сьогодні у світі існує міжнародна організація International Society of Ecological Modelling. Вона об'єднує фахівців із усього світу на регулярні симпозиуми, де обговорюються питання, що були задані ще в 70-их роках минулого століття. В наш час еколог має три основних напрямки діяльності: еколог-лаборант, інженер-еколог та еколог-аналітик. Еколог аналітик це найбільш складний та високооплачуваний фах. Еколог лаборант лише вимірює певні параметри середовища і порівнює їх із наперед визначеними стандартами. Еколог-інженер, що працює із техногенним навантаженням на довкілля використовує елементи моделювання. Запровадження обов'язкового оформлення ОВД, де чільне місце тримає прогноз наслідків впливу на природні екосистеми, виявило дефіцит підготовлених кадрів. Інженери не завжди справлялися із поставленими задачами адже неможливо втиснути в систему нормативних документів усю різноманітність поведінки природних екосистем. Саме тому виникла потреба в більшому числі екологів аналітиків, які могли б більш вільно і досконало впроваджувати моделювання та прогнозування стану довкілля.

3. Об'єкт і предмет моделювання та прогнозування стану довкілля.

Моделювання та прогнозування стану довкілля це розділ прикладної екології, який досліджує системні зміни в природних екосистемах на основі їхніх математичних моделей. Об'єктом цього розділу є природні екосистеми або окремі їхні компоненти. Предметом моделювання та прогнозування стану довкілля є методологія та процедура створення моделей природних екосистем та прогностичних алгоритмів.

Лекція № 2

Тема: Понятійний апарат та загальні принципи моделювання і прогнозування стану довкілля.

Мета: Розкрити особливості понятійного апарату та загальні принципи моделювання і прогнозування стану довкілля.

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями понятійного апарату та загальні принципи моделювання і прогнозування стану довкілля.

План

1. Задачі навчальної дисципліни та зв'язок з іншими дисциплінами.
2. Понятійний апарат. Поняття «модель».
3. Класифікація моделей.
4. Поняття «прогноз» і «прогнозування».
5. Основні засади математичного моделювання і прогнозування в екології.

Текст

1. Задачі навчальної дисципліни та зв'язок з іншими дисциплінами.

Мета вивчення освітньої компоненти: формування здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми у сфері екології, охорони довкілля і збалансованого природокористування, або у процесі навчання, що передбачає застосування основних теорій та методів наук про довкілля, та характеризуються комплексністю і невизначеністю умов, до адаптації та дії в новій ситуації, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт, до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю, до участі в управлінні природоохоронними діями та екологічними проектами; вироблення навичок використання інформаційних і комунікаційних технологій, формування розуміння основних теоретичних положень, концепцій та принципів математичних та соціально-економічних наук.

Основними завданнями вивчення освітньої компоненти є:

- формування здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми у сфері екології, охорони довкілля і збалансованого природокористування
- формування здатності до адаптації та дії в новій ситуації
- оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт
- до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків
- до участі в управлінні природоохоронними діями та екологічними проектами
- вироблення навичок використання інформаційних і комунікаційних технологій
- формування розуміння основних теоретичних положень, концепцій та принципів математичних та соціально-економічних наук

2. Понятійний апарат. Поняття «модель».

Модель – засіб заміщення реального об'єкта, використовуваний для його дослідження, коли натуральний експеримент неможливий, дорогий, небезпечний, довготривалий. В моделі відображені основні значимі властивості реального об'єкта.

Моделювання — метод дослідження та пояснення явищ, процесів та систем (об'єктів—оригіналів) на основі нових об'єктів — математичних моделей.

Інтерпретація – це встановлення відповідності між деякою формальною та змістовною системами. У випадку, коли встановлена взаємно однозначна відповідність між елементами формальної та змістовної систем, формальна система виявляється придатною до застосування (інтерпретованою) в змістовній системі.

Інтерпретація вважається повною, якщо кожному елементу формальної системи відповідає деякий елемент (інтерпретант) змістовної системи. Якщо ця умова порушується — має місце часткова інтерпретація

4. Класифікація моделей.

Концептуальна модель (інформатика), виявлення сутностей та їх взаємозв'язків

Математична модель, опис системи з використанням математичних понять і мови

Економічна модель, теоретична конструкція, що представляє економічні процеси

Статистична модель, математична модель, яка зазвичай визначає зв'язок між однією або кількома випадковими величинами та іншими не випадковими величинами

Модель (CGI), математичне представлення будь-якої поверхні об'єкта в трьох вимірах за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення

Модель (логіка), набір разом із набором фінітарних операцій і визначених на ньому відношень, що задовольняють заданій колекції аксіом

Модель (MVC), центральний компонент шаблону програмного забезпечення модель-погляд-контролер

Стандартна модель (неоднозначність)

Медична модель — це запропонований «набір процедур, яким навчені всі лікарі»

Поняття «прогноз» і «прогнозування».

5. Основні засади математичного моделювання і прогнозування в екології.

Задачі моделювання:

– розпізнавання образів (передбачення для об'єкта значення деякої його цільової ознаки, вираженого в шкалі найменувань);

– регресія (передбачення значення числової ознаки для об'єкта);

– динамічне прогнозування значення числової ознаки об'єкта, що використовує часові вимірювання значень цієї ж ознаки (аналіз часових рядів);

– автоматичне групування об'єктів (кластерний аналіз).

Розпізнавання образів

Як відзначалося вище, реальні гідробіологічні об'єкти відрізняються один від одного якими-небудь властивостями, але в той же час, багато хто з них володіють і деякою спільністю, що дозволяє поєднувати об'єкти в класи. У математичній літературі часто використовується тотожне «класові» поняття «образа» і багато задач класифікації об'єднані за назвою "проблеми розпізнавання образів". Найбільше вдало зміст цього терміна сформульований Н.Г. Загоруйко [1972]:

«Під образом будемо розуміти найменування області в просторі ознак, у якій відображається множина об'єктів або явищ реального світу».

Класи еквівалентності з тою або іншою мірою обґрунтованості задаються самим дослідником, тобто розглядається задача "розпізнавання з учителем", що відрізняє її від описаного вище кластерного аналізу. При цьому виділяються самостійні одиниці ("екземпляри") образів та групуються на основі деяких змістовних представлень або використовується зовнішня додаткова інформація про подібність і розходження об'єктів у контексті розв'язуваної задачі.

Множина алгоритмів розпізнавання образів, при всій їхній несхожості, методично основані на одній гіпотезі:

– у використовуваному просторі ознаки вимірювання належать одному класу та близькі між собою,

– вимірювання, що належать різним класам добре відрізняються одне від одного

Ідентифікація рівнянь регресії

Процедури багатомірного статистичного аналізу зводяться до ідентифікації математичних моделей, що відображають стан об'єкта.

Ідентифікація – це:

1. Процес відновлення функції умовного математичного чекання змодельованої функції об'єкта Y на основі її передбачуваної стохастичного зв'язку з набором ознак (для задачі множинної регресії);

2. Формування основних правил або порівняння образа об'єкта з набором образів, що вже мають в системі ідентифікації (для задачі розпізнавання образів).

Задача ідентифікації рівнянь регресії в прикладному змісті зводиться до розрахунку і наступного аналізу моделі (2.5), тобто до визначення комплексу інформативних змінних, що найкраще пояснюють існуючі закономірності (структурна ідентифікація), підбору оптимальних коефіцієнтів рівняння або окремих виразів для складових компонент (чисельна і функціональна ідентифікація).

$$Y = \beta - \left(\sum_{i=1} \lambda_{vi} x_{vi} + \sum_{j=1} \lambda_{ij} x_{ij} \right),$$

де: λ_{vi} и λ_{ij} – знайдені коефіцієнти статистичної моделі, β – вільний член.

Будь-яке гідробіологічне середовище являє собою великий, складний, слабо детермінований об'єкт дослідження, що еволюціонує. Тому, як показує практика, припущення про лінійність апроксимуючої функції (2.5), як правило, позбавлені підґрунтя. Теорія самоорганізації моделей показує, що величезна більшість процесів у природі може бути описана, наприклад, у вигляді поліномів високого ступеня, що є часткою випадково узагальненого полінома Колмогорова–Габора:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_i a_j a_k x_i x_j x_k + \dots$$

Число членів повного полінома дорівнює C_{m+q}^q , де m – число змінних, q – ступінь полінома, і вже при $n=q=7$ досягає 3600. Тому основна задача моделювання складних систем з використанням регресійних рівнянь полягає в тому, щоб виключити в поліномі підмножину "зайвих" неінформативних коефіцієнтів і зберегти необхідне і достатнє сполучення "пояснюючих членів". Складність синтезованої моделі буде оптимальною, якщо необхідна адекватність забезпечується при мінімальній кількості складових її елементів [Эшби, 1959].

Для реалізації цих умов необхідний набір алгоритмів і методів побудови різних емпіричних моделей прогнозування (2.5), який би задовольняв наступним умовам:

- досить висока обчислювальна ефективність, що дозволяє одержати працездатні моделі при розумних ресурсних витратах;
- відсутність визначальних обмежень на функцію розподілу даних;
- забезпечення можливості обробки різнотипних експериментальних даних (без зведення всіх ознак до однієї шкали) і інваріантність до припустимих перетворень шкал ознак;
- робастність і технологічність при наявності пропусків у таблиці, а також у випадку, якщо число вимірюваних ознак n значно перевищує число об'єктів m ;
- простота одержання результату й інваріантність до конкретної проблемної області.

У цих умовах методи традиційної параметричної статистики не завжди можуть бути працездатні, оскільки вимагають або відчутного обсягу вихідних даних, або деяких припущень про вигляд функцій розподілу. Визначену альтернативу їм складають алгоритми розпізнавання образів.

Лекція № 3

Тема: Статистичні методи моделювання і прогнозування стану довкілля

Мета: Розкрити особливості статистичних методів моделювання і прогнозування стану довкілля

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями статистичних методів моделювання і прогнозування стану довкілля

План

1. Змінна величина і функція. Елементарні функції.
2. Лінійна функціональна залежність. Пряма і обернена пропорціональні залежності.
3. Дробово-лінійна функція
4. Степенева функція.
5. Показникова і логарифмічна функції.
6. Тригонометричні функції
7. Побудова емпіричних формул, метод найменших квадратів.

Текст

1. Змінна величина і функція. Елементарні функції.

У математиці елементарна функція – це функція однієї змінної (як правило, дійсної або комплексної), яка визначається як отримання сум, добутків і композиції скінченної кількості поліномів, раціональних, тригонометричних, гіперболічних і експоненційних функцій, включаючи, можливо, їх обернені функції. (наприклад, \arcsin , \log або $x^{1/n}$).

Джозеф Ліувіль ввів елементарні функції в серії статей з 1833 по 1841 рік. Джозеф Фелс Рітт почав алгебраїчну обробку елементарних функцій у 1930-х роках

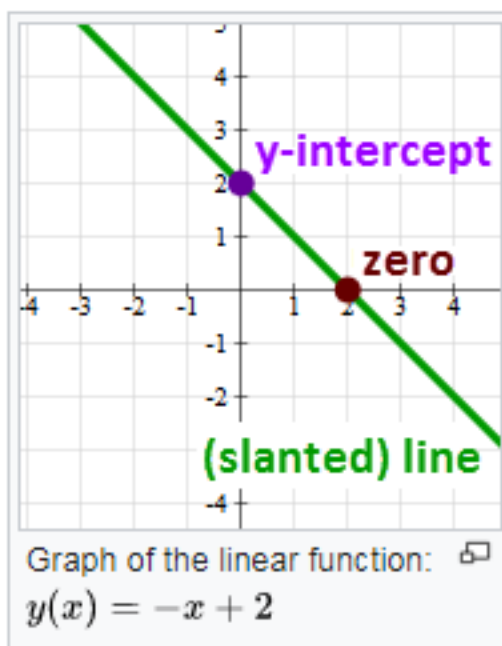
Будь-яка елементарна функція є неперервною і диференційованою у своїй області визначення. Похідна елементарної функції також є елементарною функцією. З іншого боку, обернена функція та первісна елементарної функції може не бути елементарною функцією.

2. Лінійна функціональна залежність. Пряма і обернена пропорціональні залежності.

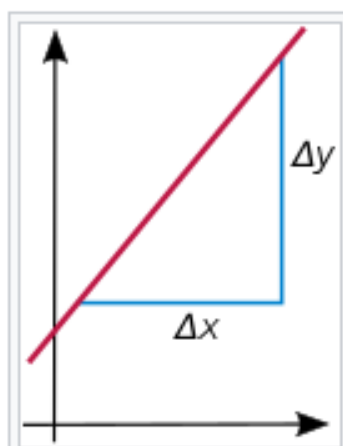
У обчисленні та суміжних областях математики лінійна функція від дійсних чисел до дійсних — це функція, графіком якої (у декартових координатах) є невертикальна лінія на площині. Характерна властивість лінійних функцій полягає в тому, що при зміні вхідної змінної зміна на виході пропорційна зміні вхідних даних.

$$f(x) = ax + b.$$

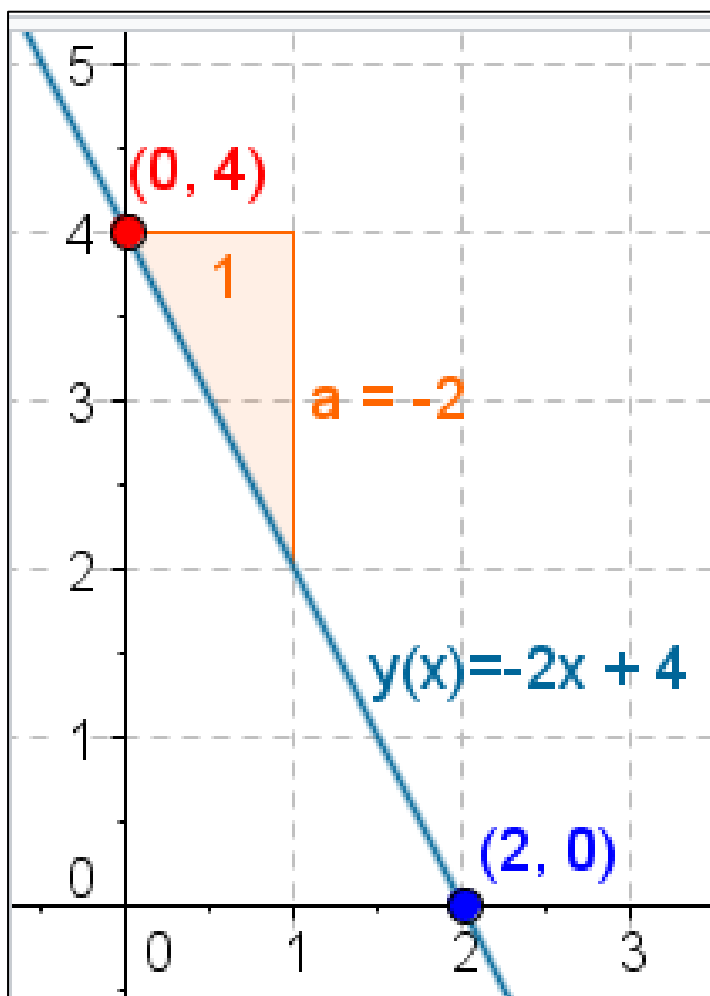
Лінійні функції пов'язані з лінійними рівняннями.



За допомогою лінійної функції ми можемо визначати як міняється показник одного із факторів системи із зміною іншого



Якщо показник залежного фактора знижується а коефіцієнт $a < 0$, то така залежність називається оберненою лінійною. Якщо показник зростає, при цьому $a > 0$, то це пряма лінійна залежність



3. Дробово-лінійна функція.

Дробово-лінійна функція - це числова функція, яка може бути представлена у вигляді дроби, чисельником і знаменником якого є лінійні функції.

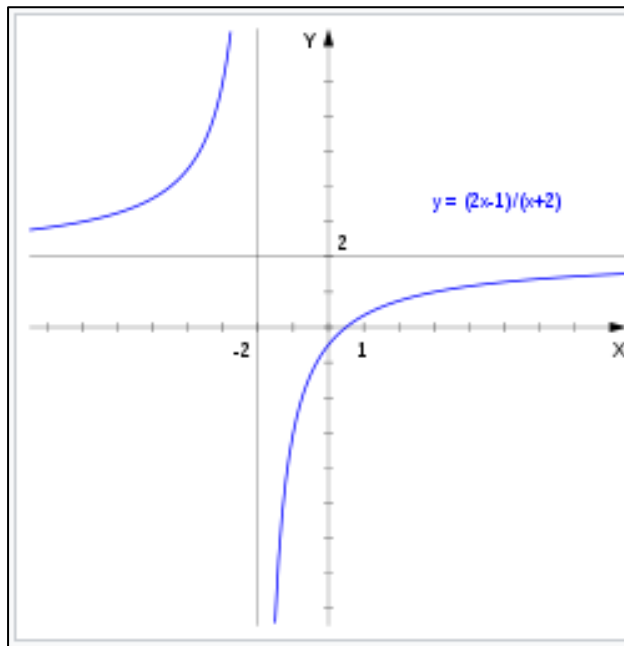
$$f(z_1, z_2, \dots, z_n) = \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_n z_n + b}{c_1 z_1 + c_2 z_2 + \dots + c_n z_n + d}$$

Дробово-лінійна функція, що відображає в загальному випадку багатовимірне числове простір в одновимірне числове, є важливим окремим випадком:

при $n = 1$ як в речовинному, так і комплексному просторі - раціональної функції, що відображає в загальному випадку одновимірне числове простір саме за допомогою багаточленів одного змінного довільного ступеня;

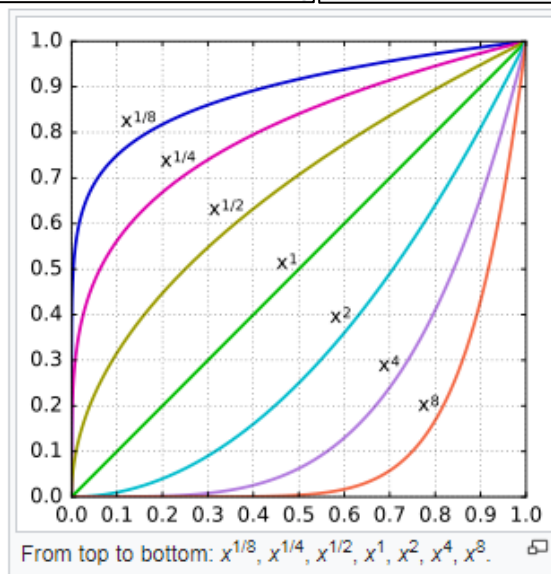
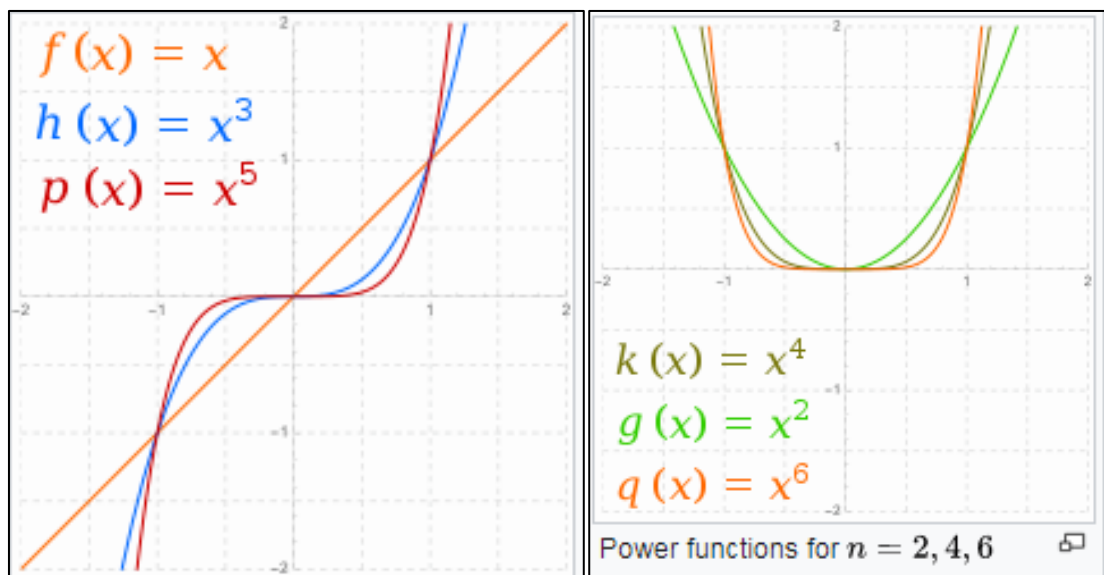
при $n = 1$ в комплексному просторі - дробно-лінійного перетворення, що відображає в загальному випадку багатовимірне комплексне простір саме в собі;

при $n = 1$ у комплексному і при $\{ \displaystyle n=2 \} n = 2$ у речовинному просторі, інвертуючи щодо кіл, - перетворення Мебіуса.



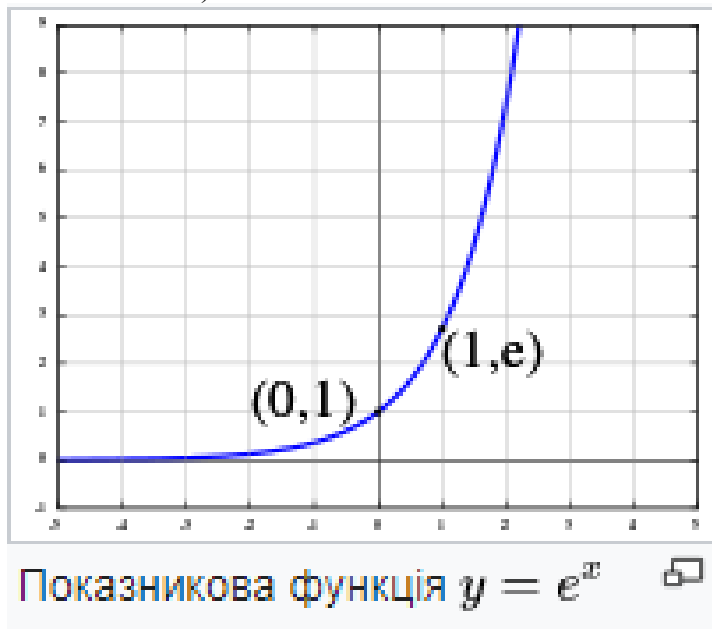
4. Степенева функція

Степенева функція — функція вигляду $f(x)=x^a$, де a — показник степеню, дійсне число.



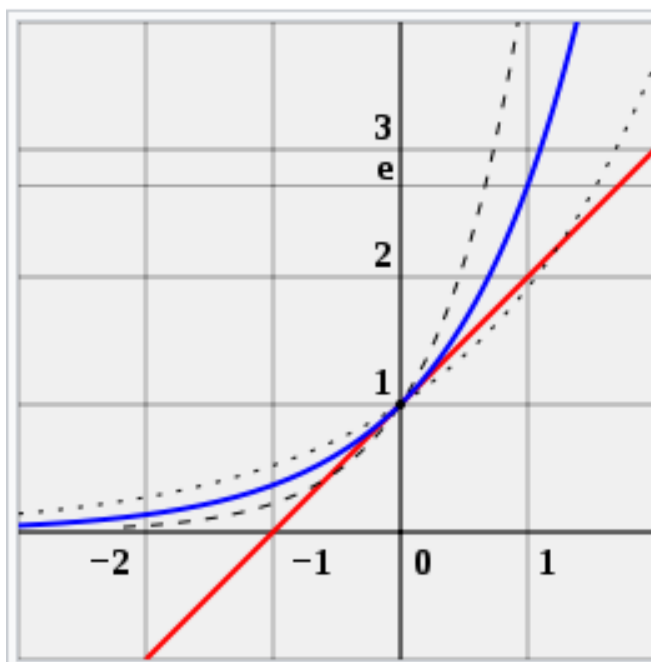
5. Показникова і логарифмічна функції.

Показникова, або експоненційна функція – функція виду $f(x) = a^x$, де a – стале число (додатне, але відмінне від одиниці). У дійсному випадку основа степеня – деяке додатне дійсне число, а аргументом функції є дійсний показник степеня. Показникова функція узагальнюється в теорії комплексних функцій, де аргумент і показник степеня можуть бути довільними комплексними числами. У найзагальнішому вигляді u^v , введена Лейбніцем 1695 року. Особливо виділяється випадок, коли як основа степеня виступає число e . Така функція називається експонентою (дійсною або комплексною).



Експонента функція $\exp(x) = e^x$, де e — основа натурального логарифма ($e = 2.718281828459$ число Ейлера).

Експонента є визначеною на всій дійсній осі. Вона усюди зростає й є більшою за нуль. Звратною функцією до неї є натуральний логарифм. Експонента є нескінченно диференційованою. Її похідна в точці нуль дорівнює «1», тому дотична в цій точці проходить під кутом 45° . Основна функціональна властивість експоненти: $\exp(a+b) = \exp(a)\exp(b)$. Неперервна функція з такою властивістю або тотожно дорівнює 0, або має вид — деяка стала.



Логарифм, або логаритм, (від грец. λόγος — «слово», і грец. ἀριθμός — «число») — число x (показник степеня, степiнь), яке показує, до якого степеня слід піднести число a (основу), щоб одержати число b .

$$\text{Log}_a b = x$$

Основна логарифмічна тотожність: $a^x = b$ або $a^{\log_a b} = b$, де $a > 0$, $b > 0$, $a \neq 1$.

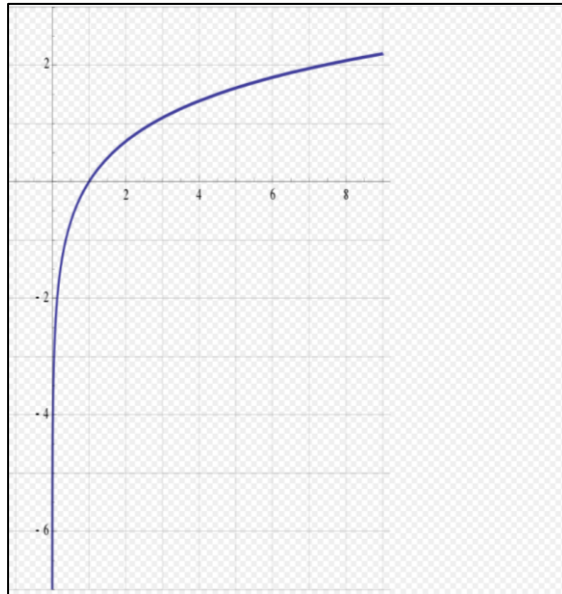
Логарифми ввів Джон Непер на початку XVII століття як засіб спрощення розрахунків. Їх швидко почали застосовувати науковці та інженери для пришвидшення виконання обчислень із застосуванням логарифмічних лінійок і таблиць логарифмів. Логарифм дозволяє прискорити множення багатозначних чисел шляхом складання їхніх логарифмів.



Властивості логарифмів

	Формула	Приклад
Добуток	$\log_a(xy) = \log_a x + \log_a y$	$\log_3 243 = \log_3(9 \cdot 27) = \log_3 9 + \log_3 27 = 2 + 3 = 5$
Частка	$\log_a\left(\frac{x}{y}\right) = \log_a x - \log_a y$	$\lg\left(\frac{1}{1000}\right) = \lg 1 - \lg 1000 = 0 - 3 = -3$
Степiнь	$\log_a x^p = p \log_a x$	$\log_2 64 = \log_2 2^6 = 6 \log_2 2 = 6$
Корiнь	$\log_a \sqrt[p]{x} = \frac{1}{p} \log_a x$	$\lg \sqrt{1000} = \frac{1}{2} \lg 1000 = \frac{3}{2} = 1,5$

Натуральний логарифм – це логарифм із основою у вигляді експоненти.



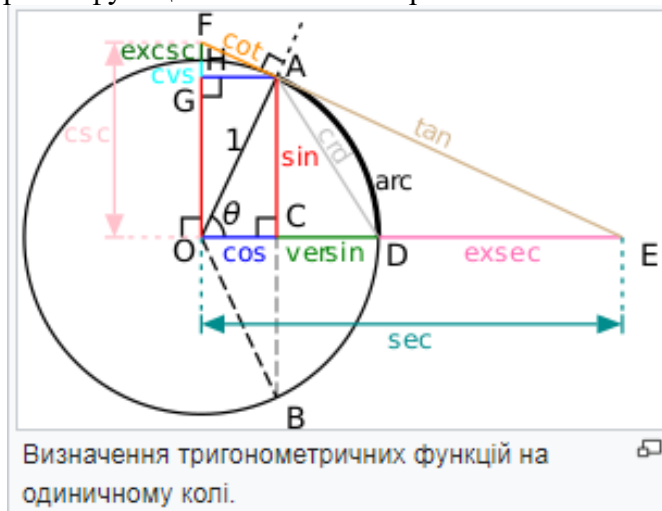
6. Тригонометричні функції.

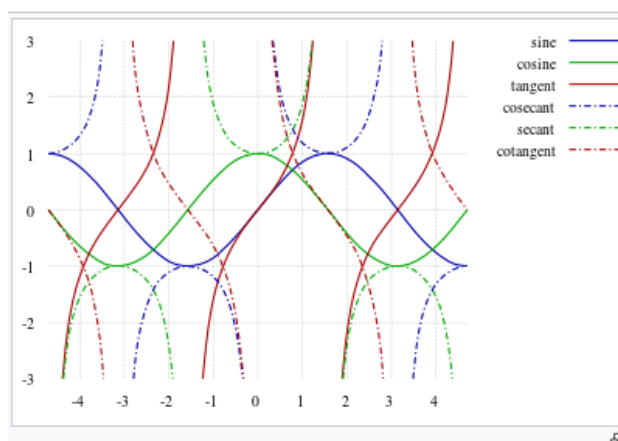
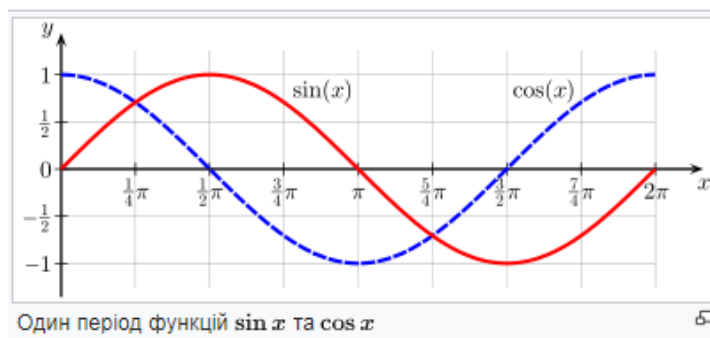
Тригонометричні функції — функції кута. Вони можуть бути визначені як відношення двох сторін та кута трикутника або як відношення координат точок колу. Відіграють важливу роль при дослідженні періодичних функцій та багатьох об'єктів. Наприклад, при дослідженні рядів, диференціальних рівнянь.

Наведемо шість базових тригонометричних функцій. Останні чотири визначаються через перші дві. Інакше кажучи, вони є означеннями, а чи не самостійними сутностями.

- синус ($\sin \alpha$);
- косинус ($\cos \alpha$);
- тангенс ($\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$);
- котангенс ($\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$);
- секанс ($\operatorname{sec} \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}$);
- косеканс ($\operatorname{cosec} \alpha = \frac{1}{\sin \alpha}$);

Графічно тригонометричні функції пов'язані із обертанням кола





7. Побудова емпіричних формул, метод найменших квадратів.

Метод найменших квадратів — метод знаходження наближеного розв'язку надлишково-визначеної системи. Часто застосовується у регресійному аналізі. На практиці найчастіше використовується лінійний метод найменших квадратів, що використовується у разі системи лінійних рівнянь. Зокрема важливим застосуванням у цьому випадку є оцінка параметрів у лінійній регресії, що широко застосовується у математичній статистиці та економетриці.

Лекція № 4

Тема: Математична статистика.

Мета: Розкрити особливості математичної статистика в моделюванні та прогнозуванні стану довкілля.

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями математичної статистика в моделюванні та прогнозуванні стану довкілля.

План

1. Регресійні моделі.
2. Аналіз і моделювання часових рядків.
3. Прогнозування на основі регресійної моделі та моделі часового ряду

Текст

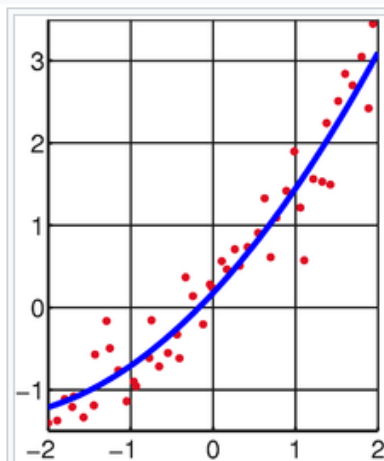
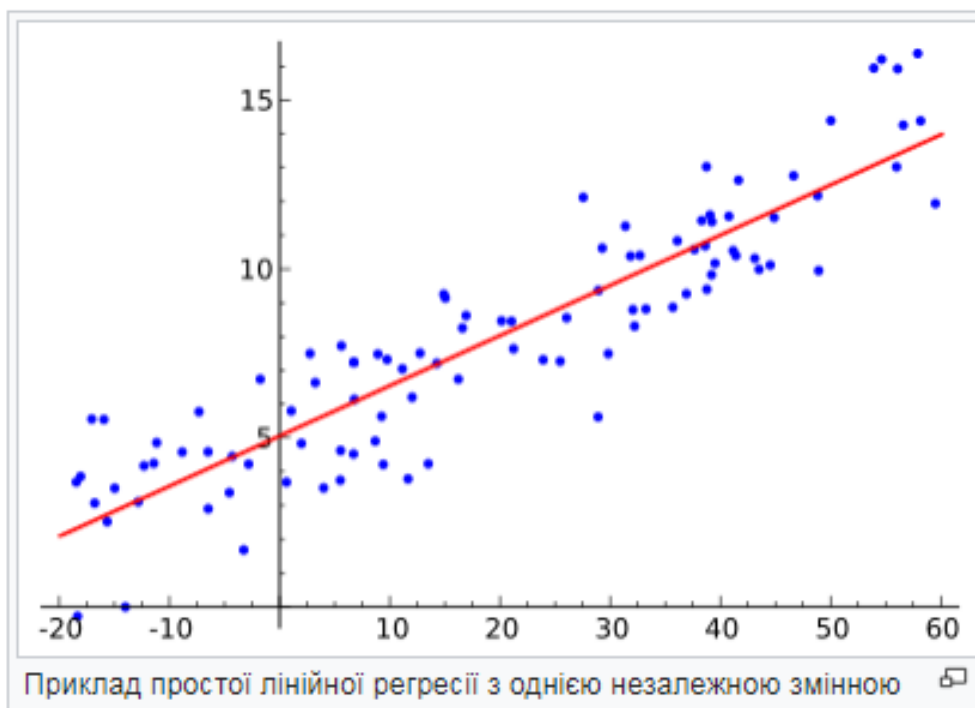
1. Регресійні моделі.

У статистиці лінійна регресія — це метод моделювання залежності між скалярною змінною y та векторною (у загальному випадку) змінною X . У разі, якщо змінна X також є скаляром, регресію називають простою.

При використанні лінійної регресії взаємозв'язок між даними моделюється за допомогою лінійних функцій, а невідомі параметри моделі оцінюються за вхідними даними. Подібно до інших методів регресійного аналізу лінійна регресія повертає розподіл умовної імовірності у в залежності від X , а не розподіл спільної імовірності y та X , що стосується області мультиваріативного аналізу.

При розрахунках параметрів моделі лінійної регресії зазвичай застосовується метод найменших квадратів (МНК), але також можуть бути використані інші методи. Але метод найменших

квадратів може бути використаний і для нелінійних моделей, тому МНК та лінійна регресія, хоч і є тісно пов'язаними, але не є синонімами.



2. Аналіз і моделювання часових рядків.

Аналіз часових рядів — сукупність математико-статистичних методів аналізу, призначених для виявлення структури часових рядів і для їх прогнозування. Сюди належать, зокрема, методи регресійного аналізу. Виявлення структури часового ряду необхідно для того, щоб побудувати математичну модель того явища, яке є джерелом аналізованого часового ряду. Прогноз майбутніх значень часового ряду використовується для ефективного прийняття рішень.

Існують дві основні мети аналізу часових рядів: (1) визначення природи ряду і (2) прогнозування (прококування майбутніх значень часового ряду по теперішнім і минулим значенням). Обидві ці цілі вимагають, щоб модель ряду була ідентифікована і, більш-менш, формально описана. Як тільки модель визначена, ви можете з її допомогою інтерпретувати представлені дані (наприклад, використовувати у вашій теорії для розуміння сезонної зміни цін на товари, якщо займаєтеся економікою). Не звертаючи уваги на глибину розуміння і справедливості теорії, ви можете екстраполювати потім ряд на основі знайденої моделі, тобто передбачити його майбутні значення.

Часові ряди досліджуються з різними цілями. В одному ряді випадках буває достатньо отримати опис характерних особливостей ряду, а в іншому ряді випадків потрібне не тільки передбачити майбутні значення часового ряду, а й управляти його поведінкою. Метод аналізу

часового ряду визначається, з одного боку, цілями аналізу, а з іншого боку, ймовірнісною природою формування його значень.

Найпоширеніші методи аналізу часових рядів:

Спектральний аналіз — дозволяє знаходити періодичні складові часового ряду.

Кореляційний аналіз — дозволяє знаходити суттєві періодичні залежності і відповідні їм затримки (лаги) як всередині одного ряду (автокореляція), так і між кількома рядами. (Кроскореляції).

Моделі авторегресії і ковзного середнього — моделі орієнтовані на опис процесів, що виявляють однорідні коливання, порушувані випадковими впливами. Дозволяють передбачати майбутні значення ряду.

Багатоканальні моделі авторегресії і ковзного середнього — моделі застосовуються в тих випадках, коли є кілька корельованих між собою часових рядів. У них є коливання, порушувані однією причиною. Дозволяють передбачати майбутні значення ряду.

Сезонна модель Бокса-Дженкінса — застосовується, коли часовий ряд містить явно виражений лінійний тренд і сезонні складові. Дозволяє передбачати майбутні значення ряду. Модель була запропонована у зв'язку з аналізом авіаперевезень.

Прогноз експоненціально зваженим ковзаючим середнім — найпростіша модель прогнозування часового ряду. Застосовна в багатьох випадках. У тому числі, охоплює модель ціноутворення на основі випадкових блукань.

Зазвичай при практичному аналізі часових рядів послідовно проходять такі етапи:

Графічне подання і опис поведінки часового ряду.

- Виділення та видалення закономірних складових часового ряду, що залежать від часу: тренда, сезонних і циклічних складових.
- Виділення та видалення низько- або високочастотних складових процесу (фільтрація).
- Дослідження випадкової складової часового ряду, що залишилася після видалення перерахованих вище складових.
- Побудова (підбір) математичної моделі для опису випадкової складової і перевірка її адекватності.

3. Прогнозування на основі регресійної моделі та моделі часового ряду

Прогнозування майбутнього розвитку процесу, представленого часовим рядом.

Як і більшість інших видів аналізу, аналіз часових рядів передбачає, що дані містять систематичну складову (зазвичай включає кілька компонент) і випадковий шум (помилку), який ускладнює виявлення регулярних компонент. Більшість методів дослідження часових рядів включає різні способи фільтрації шуму, що дозволяють побачити регулярну складову більш чітко.

Часовий ряд — це послідовність впорядкованих у часі числових показників, що характеризують рівень стану і зміни досліджуваного явища.

Всякий часовий ряд включає два обов'язкових елемента: по-перше, час і, по-друге, конкретне значення показника, або рівень ряду.

Часові ряди розрізняються за такими ознаками: 1) за часом — моментні та інтервальні. Інтервальний ряд — послідовність, в якій рівень явища відносять до результату, накопиченому або знову виробленому за певний інтервал часу. Такі, наприклад, такі ряди показників обсягу продукції підприємства по місяцях року, кількості відпрацьованих людиною днів по окремих періодах (місяцях, кварталах, півріччях, роках, тощо) і т. д. Якщо ж рівень ряду характеризує досліджуване явище в конкретний момент часу, то сукупність рівнів формує моментний ряд.

Найважливішою умовою правильного формування часових рядів є порівнянність рівнів, що утворюють ряд. Рівні ряду, що підлягають вивченню, повинні бути однорідні за економічним змістом і враховувати сутність досліджуваного явища і його мету.

Статистичні дані, представлені у вигляді часових рядів, повинні бути порівняні по території, колу охоплених об'єктів, одиницях вимірювання, моменту реєстрації, методикою розрахунку, цінами, достовірності.

Лекція № 5

Тема: Математичні моделі різних рівнів організації живих систем

Мета: Розкрити особливості математичних моделей для різних рівнів організації живих систем.

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями математичних моделей для різних рівнів організації живих систем

План

1. Рівні організації життя.

Текст

1. Рівні організації життя.

Ми можемо побудувати кілька ієрархічних ліній, які з'єднують більшість рівнів організації Всесвіту із тими, які є об'єктом вивчення екосистемології. Ця ієрархія матиме такий вигляд:

- 1) кварки, лептони, бозони, фотони, глюони;
- 2) субатомні часточки;
- 3) ядра атомів;
- 4) атоми;
- 5) молекули;
- 6) молекулярні комплекси;
- 7) клітини (самостійні та несамостійні) або неклітинні організми (віруси);
- 8) тканини, колонії самостійних клітин;
- 9) органи, колонії клітин із диференціацією функцій;
- 10) системи органів;
- 11) організми;
- 12) популяції;
- 13) угруповання (ценози);
- 14) екосистеми;
- 15) уніпланетарна біосфера;
- 16) мультипланетарна біосфера;
- 17) однопросторова біосфера;
- 18) всепросторова біосфера.

Це пов'язано із ієрархічністю природних екосистем. Вже з кінця ХХ століття екосистемна концепція базується на двох основах – теорія систем та термодинаміка. Для того, щоб мати первинні уявлення про екосистему потрібно орієнтуватися в ключових положеннях теорії систем. Згідно із нею, системою ми називаємо скінченну множину взаємно пов'язаних елементів, виокремлених із її середовища, відповідно до певної мети в межах певного часового інтервалу. Чи усяка множина буде системою? Ні, тому що множиною може бути будь яка сукупність елементів, незалежно від наявності зв'язків між ними. Отже, кожна система є множиною, але не кожна множина є системою.

Елемент системи – це умовно неподільна найпростіша складова частина системи. Поняття неподільності окремого елемента обмежується лише його існуванням в межах конкретної системи. В ієрархічних системах кожен елемент може стати окремою системою, при опусканні на нижні ієрархічні рівні організації (рис. 1). В цьому випадку він стає підсистемою відносно розміщеної вище в ієрархії системи. Отже, підсистемою називають складову частину системи, яка сама є системою. Системи об'єднуючись між собою створюють надсистеми. Поділ системи на елементи й підсистеми, а також побудова ієрархій визначаються метою, завданнями, цілями дослідження та теоретичними моделями, на основі яких проводиться її вивчення чи опис. Між елементами та підсистемами є зв'язки, які перетворюють їх на системи. Цими зв'язками можуть бути будь які визначені потребою дослідження їхні впливи одне на одного. Також, ці зв'язки визначають обмеження кількості ступенів вільності компонентів системи. Якщо якийсь елемент має властивості, завдяки яким він не може мати зв'язки із іншими, то він перестає бути частиною цієї системи.

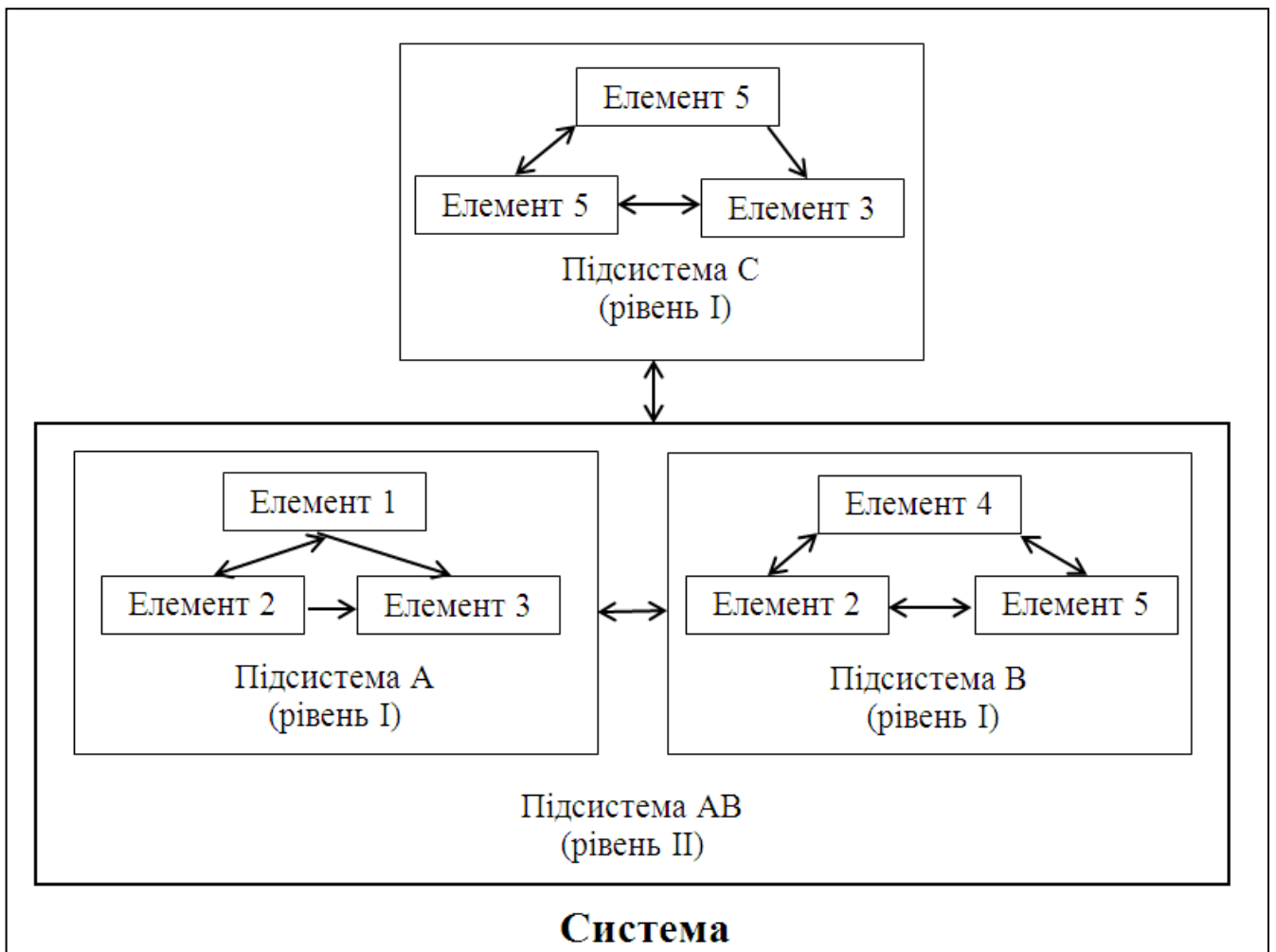


Рис. 1 Загальна схема побудови системи.

Природні системи є нескінченними ієрархіями. Окремі галузі науки вивчають визначені частини ієрархії природних систем. Природні системи, насправді, складаються із нескінченного числа зв'язків та елементів. Це відбувається тому, що природні системи є відкритими – тими, які постійно обмінюються речовиною, енергією та інформацією із навколишнім середовищем. (за Л. фон Берталанфі). Оскільки, на сьогодні не відомо про якісь просторові, часові чи ієрархічні обмеження у Всесвіті, то можемо припустити, що кожен елемент природної системи з'єднаний із нескінченим числом інших елементів. Отже, вона стає нескінченною за кількістю зв'язків та елементів. Намагання дослідити нескінченну систему повністю приречені на провал. Для цієї задачі дослідник повинен мати можливість «демона Лапласа»*. Виходом із ситуації є процедура моделювання. Це перехід від вивчення природної системи до її моделі. Модель – це спрощена система, в якій включаються лише найбільш впливові елементи та зв'язки системи або ті які є найбільш актуальними для конкретного дослідження. Модель системи не є її копією а лише подібна до неї за певними ознаками. Ступінь подібності моделі та природного об'єкту визначається потребами дослідника або точністю прогнозів поведінки системи, зробленого на її основі. Моделювання є не лише єдиним можливим методом дослідження природних систем, а й досить ефективним та виправданим. Це обумовлено принципом ізоморфізму, згідно із яким подібні поєднання елементів та зв'язків створюють системи із подібними властивостями, незалежно від їх походження. Отже, модель, яка складається із абстрактних об'єктів подібних їхнім природним аналогам, буде проявляти подібні властивості із природною системою. Однак, при переході із одного рівня організації на інший, як абстрактні системи, так і природні, можуть набувати нові властивості або втрачати попередні. Це явище емерджентності. Ігнорування явища емерджентності є однією першопричиною конфлікту між континуалістами (прихильники Л. Г. Раменського, Г. А. Глізона, Р. Віттекера) та огнізістами (прихильники Ф. Клементса).

Останні намагалися перенести на біоценози і екосистеми властивості організму чи виду, що було помилкою із позиції теорії систем.

Лекція № 6

Тема: Математичні моделі в екосистемології.

Мета: Розкрити особливості математичних моделей в екосистемології

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями математичних моделей в екосистемології

План

1. Динаміка екосистем як наслідок міжвидових відносин.
2. Моделювання трофічного ланцюга. Моделювання трофічних ланцюгів в різних середовищах тощо.
3. Загальні принципи моделювання екологічних систем за допомогою диференціальних рівнянь, стаціонарні розв'язки та їх стійкість

Текст

1. Динаміка екосистем як наслідок міжвидових відносин.

Сингенез пов'язаний із проростанням рослин, насіння чи вегетативні частини яких вже знаходилися в ґрунті або проникають зовні. В окремих випадках темп зростання фітомаси може мінятися в залежності від їхнього видового складу. Це може здійснюватися як через активний ендоекогенез спричинений цими видами так і через їхні алелопатичні властивості. Наприклад, поява на четвертій ділянці *Hieracium pilosella* L. разом із *Pinus sylvestris* призвела до активного пригнічування лучної рослинності та до формування флористичного блоку близького до класу *Koelerio-Corynephoretea* Klika in Klika et Novák 1941.

Таким чином, на поступове зростання дисперсії впливає як антропогенний тиск так і трансформація едафотопу через появу тут певних видів едифікаторів.

У першому наближенні динаміку величини фітомаси апроксимовані логарифмічною кривою, достовірність апроксимації якої найвища (0,59). Показник кореляції за цією закономірністю досить високий – 0,77. Незважаючи на відмінності в часі та умовах середовища, ці результати дуже близькі до отриманих Г.О. Хаурдіною для перелогів Київського Полісся.

Рівнянням для нашої моделі є логарифмічна функція:

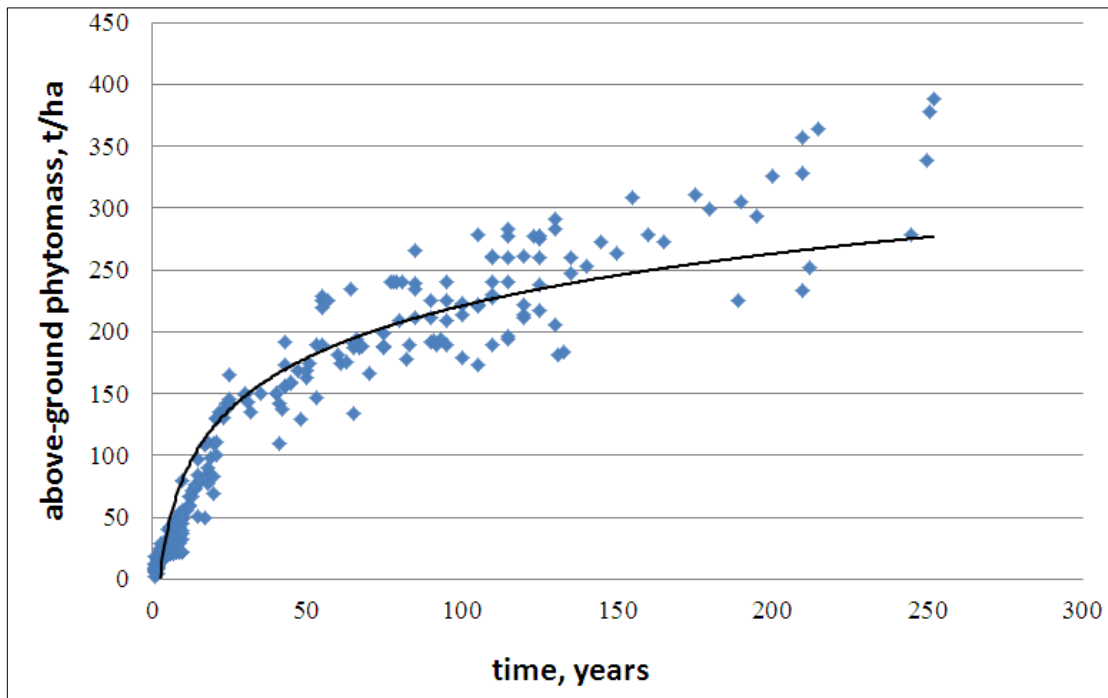
$$y = 4,1159 + 14,645 \ln x$$

де y – запас надземної фітомаси, т/га

x – час від початку заростання перелогів, років.

Слід відмітити, що існує схожість коефіцієнта «а». У нашому випадку $a=4,1159$ а в дослідженнях Г. О. Хаурдіною $a=3,8$. Незважаючи на дев'яносторічну різницю тривалості заростання перелогів, цей показник дуже близький, що може вказувати на ймовірну можливість створення універсальної математичної моделі прогнозування динаміки.

Вісімдесяти описів зроблених на стаціонарах за перші десять років заростання перелогів недостатньо для створення повноцінної моделі динаміки екосистем. Для розширення обраного масиву даних усього масиву в 835 описів ми обрали 251, які близькі за едафічними показниками до умов в межах стаціонарів (рис. 14).



Зміна наземної фітомаси з часом в аналогічних умовах аналогічних стаціонарам.

У результаті апроксимації логарифмічною кривою, ми отримуємо рівняння:

$$y = 58,785 + 60,718 \ln x$$

Значна відмінність в показниках обумовлена різницею в віці насаджень, їхньому типі. Дослідження на стаціонарах охоплюють періоди заростання перелогів протягом перших десяти років, дослідження Г.О. Хаурдінової соснові лісові насадження на перелогах протягом 100 років, а наше узагальнююче дослідження включає усі типи насаджень різних за походженням в подібних едафічних умовах. Крім того насаджень віком старших 120-130 років описано дуже мало. Тому точне положення множини точок в цій зоні нам невідоме. Велика частина вікових насаджень піддається антропогенному впливу різного типу (рекреації, санітарні рубки, тощо). Для виключення із нашої моделі випадків алогенних сукцесій, ми застосували фільтр, який виключив усі екосистеми старші за 10 років з рівнем антропогенної трансформації вище 9 балів за шкалою Дідуха-Хом'яка (еугемеробні за Blume Н.Р. та Sukopp Н.).

Теорія термодинаміки, яка зароджувалася в 18-19 століттях намагалася описати фізико-хімічні процеси. Наприклад, класичне рівняння Р. Клаузіуса (1850) вказує на зростання температури системи під час надходження у неї енергії чи зростання ентропії, якщо цього не відбувається (Пригожин, 1960; Гельфер, 1981):

$$dS = \frac{\Delta Q}{T}$$

де dS – ентропія фізико-хімічної системи, ΔQ – теплота системи, T – температура системи.

Отже на рівні атомному чи молекулярному рівні організації надлишок енергії перетворюється на температуру. У біосистемах ми цього не спостерігаємо. Оскільки, живі системи є комплексом упорядкованих хімічних реакцій, ключову роль в яких відіграють високомолекулярні ферментні реакції у водних розчинах, то вони можуть існувати лише в вузькому температурному діапазоні. Отже зниження ентропії не супроводжується змінами температури. За словами Раймонда Ліндемана енергія витрачається не лише на виконання роботи живими організмами і на утримання балансу їхньої температури, а й на деякий час консервується у біомасі (Lindeman, 1942).

Ентропія надогранізової біосистеми пов'язана із балансом між трьома потоками енергії: вхідного, вихідного і законсервованого. В межах цього переліку добре прогнозованому упорядкуванню й переміщенню у межах екосистеми підкоряється лише та, яка фіксується продуцентами. Одна частина такої енергії одразу ж розсіюється. Решта протягом певного часу

рухається через ланцюги живлення (трофічною мережею). Кожна екосистема протягом тривалого часу зберігає певну кількість енергії, що не полишає першого енергетичного рівня (консервується продуцентами). Кількість законсервованої енергії екосистемою енергії буде оберненою до рівня її ентропії, тому що вона таким чином уникає прямого чи не надовго відтермінованого розсіювання. Оскільки, реакція екосистеми є пролонгованою, то другим важливим показником є час збереження цієї маси в продуцентах. Для хімічних чи фізичних реакцій час, протягом якого енергія зберігається в цих системах без трансформації чи розсіювання, буде настільки малим, що ним логічно ігнорувати.

Таким чином, ми можемо виразити ентропію через співвідношення енергії зафіксованої автотрофами до тієї, яку вони затримують протягом певного часу:

$$S_e = \frac{\Delta E_a}{\sum E_k t}$$

де S_e – екосистемна ентропія; ΔE_a – енергія поглинута автотрофами; E_k – енергія, яка утримується видом автотрофів; t – час, протягом якого енергії утримується певним видом автотрофів.

Поглинута енергія накопичується у вигляді спеціальних органічних речовин, тому основним показником ентропії буде величина її фітомаси:

$$E_k = \sum m_a k_m$$

де m_a – маса особин виду автотрофів в описі; k_m – коефіцієнт співвідношення фітомаси та поглинутої енергії.

Встановлення точних показників фітомаси буде складною емпіричною проблемою. Часто точні дані можна буде отримати лише через повне знищення продуцентів досліджуваної ділянки. Це у багатьох випадках є неприпустимим. Наприклад, коли досліджуються раритетні оселища, або ті, які містять раритетні компоненти біоти чи знаходяться на території об'єктів природно-заповідного фонду. Слід зважати на те, що енергоефективність маси різних частин рослини в різні періоди життя продуцентів та в різних умовах середовища відрізняються. Тому слід замінити абсолютні показники фітомаси на відносні. Дослідження показують, що кількість фітомаси буде прямо пропорційна проективному покриттю фототрофів або площі контактної із середовищем поверхні для хемотрофів. Однак, під час обрахунків маси окремих особин ми отримуємо значну похибку. Особливо це стосуватиметься крупних видів. Для великих масивів даних похибка вимірювання знизиться до практично допустимих величин. Це можна виразити за допомогою формули щодо енергії, яка утримується певним видом автотрофів у межах опису:

$$E_k = \sum P k_p k_m$$

де E_k – енергія, яка утримується видом автотрофів; k_p – коефіцієнт перерахунку зв'язку проективного покриття з масою; P – проективне покриття.

При цьому, ми можемо використовувати лише надземну фітомасу. Існують певні співвідношення між проективним покриттям підземної та наземної частини рослин. Це призводить до пропорційних відмінностей між їхніми масами. Наприклад, в умовах оптимальної зволоженості вони часто співвідносяться як один до одного. Коли зволоженість росте, то співвідношення між покриттям підземної і надземної частин змінюється обернено пропорційно. Отже, формула ентропії екосистем після спрощення набуває такого вигляду:

$$dS_e = \frac{\Delta E}{\sum m_{apn} t_n}$$

де S_e – ентропія, ΔE – різниця між енергією, що потрапляє в екосистему і залишається в ній, m_{apn} – надземна фітомаса виду n , t_n – вік виду n .

Оскільки, ентропія закономірно знижується під час автогенних сукцесій, то із неї можна вивести універсальний показник природної динаміки. Його абсолютне значення буде встановлюватися виключно для території однієї природної зони. Саме тут, різниця між енергією, яка потрапляє на поверхню і, тією яка стає доступною автотрофам для перетворення у первинну продукцію, буде приблизно сталою. Отже, в межах такої території її можна знехтувати величиною. В такому разі рівняння умовної ентропії екосистем конкретної природної зони набуває такого вигляду:

$$dS_{ez} = \frac{1}{\sum m_{apn} t_n}$$

Оскільки, ентропія екосистем під час автогенних сукцесій знижується, а показник природної динаміки зростає, то він буде оберненою величиною до неї величиною але лише в межах конкретної природної зони. Таке рівняння матиме вигляд:

$$S_a = \sum m_{apn} t_n$$

де S_a – абсолютне значення показника динаміки

Я.П. Дідух і П.Г. Плюта у своїй роботі « Фітоіндикація екологічних факторів» (1994) пропонують виділяти для оцінки зміни структури екосистем тільки ті фактори, що пов'язані із глибинною суттю екосистеми за її визначенням. Іншими словами, виділяти ті індикаторні ознаки, які породжені життям та відсутні у абіотичних умовах. Вони, підтримуючи ідею В.М.Шмідта, пропонують зіставляти певні кількісні співвідношення для різних показників (1984).

Використавши просту умовну шкалу порушеності, ми можемо спостерігати різницю у співвідношенні представників із різних родин рослин під час різних етапів сукцесії. Ними було доведено, що найкраще відображає степінь порушеності (величина протилежна показнику природної динаміки) співвідношення між представниками родин *Asteraceae* + *Brassicaceae* із одного боку та *Rosaceae* із іншого. У рудеральних та сегетальних екосистемах цей показник коливається від 6,3 до 15,9; для стадії злаковників (болота і луки) від 2,5 до 5,1; в лісових екосистемах від 0,5 (дубові) до 1,1 (соснові). Однак, цей метод містить кілька слабких місць. Наприклад, рід *Potentilla*. Види, які належать до цього роду, такі як *Potentilla erecta* (L.) Hampe і *Potentilla alba* L. частіше за все зустрічаються у соснових і дубових лісах. Їхня присутність в таких екосистемах збільшує похибку результатів в порівнянні із реальністю.

Також, можна отримати непогані результати через співвідношення між біоморфами (відношення кількості фанерофітів + хамефітів до терофітів). Показники, визначені у такий спосіб, рівні 0,1 щодо сегетальних екосистем та 10,3 для сосново-дубових лісів. Водночас, хамефіти можуть домінувати, також в чагарничкових екосистемах і в лісових. Однак, в малопорушених дубових пралісах, що найбільше наближені до кліматичного клімаксу, вони зустрічаються рідше. В порушених соснових або сосново-дубових лісах присутність хамефітів помітніша (наприклад, верес звичайний *Caluna vulgaris* (L.) Hill.). Отже, в першому випадку, ми отримуємо показник 8 одиниць, а в другому між 9 та 10,3.

Аналогічні результати ми можемо отримати через порівняння співвідношень представників видів із різними листковими пластинками (склероморфні / гігроморфні), ті що належать до різних стратегій (патієнти / експлеренти), або за допомогою тих, які належать до інших родин (*Fabaceae* + *Coryopheraceae* / *Cyperaceae*).

Однак, за цією методикою було проаналізовано групи екосистем дуже високого порядку. Наприклад, злакова стадія включала, як луки, так і болота. Природно, виникає запитання: чи працюватиме один із підходів на нижчих рівнях. Особливо, якщо оцінювати їхню порушеність за кожним конкретним описом.

Розмістимо усі основні компоненти призначені для обрахунку природного показника динаміки на осі «Х». На осі «У» розмістимо шкалу життєвості за якимось із параметрів. Це створить умови для перевірки відповідності таких показників закону оптимуму. За вищеназваними параметрами не завжди можна не лише спостерігати за утворенням кривої Гауса*, а й у деяких описів та на певних відрізках сукцесії взагалі не можливо визначити такий показник.

Наприклад, в перші роки заростання перелогів часто взагалі не вдається визначити показник динаміки для жодного опису. Лише із другого року, на одній з ділянок для стаціонарних досліджень (№8) відмічено одного представника родини *Rosacea* – гравілат міський (*Geum urbanum* L.) Лише на восьмому році спостережень зникають описи, де застосування цієї методики неможливе. Крім цього показники коливаються не через відповідність реальному перебігу сукцесії, а із інших причин. У деяких випадках (другий рік на ділянці № 8) встановлене співвідношення рівнялося 2, що відповідно до таблиці 12 в монографії «Фітоіндикації екологічних факторів» (1994) зазначене для лісових екосистем. В окремих випадках максимальні значення з'являються на 3-6 рік. Після цього спостерігається закономірне зниження цього показника. Те саме відбувається не лише із співвідношенням в межах родин, а і для усіх інших підходів. Так, на дослідницькому стаціонарі із вивчення заростання перелогів перший аерофіт з'явився тільки на четвертий рік (поодинокі молода особина *Pyrus communis* L. ділянка №6,).

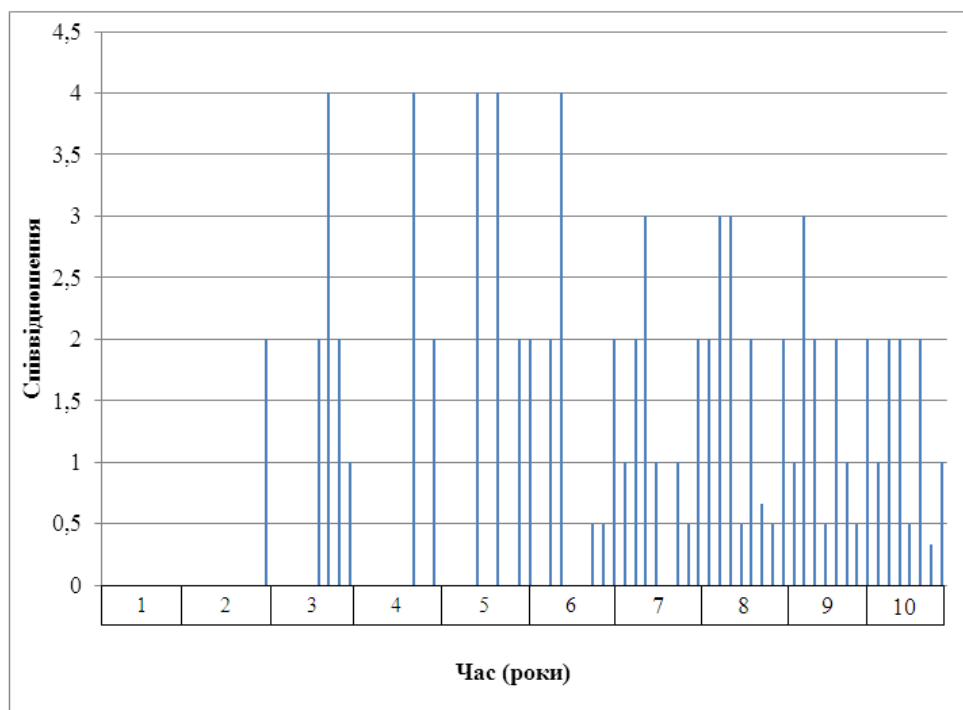


Рис. Показник динаміки (порушеності) визначений за співвідношенням між представниками родини *Asteraceae* + *Brasicaceae* до *Rosacea* у стаціонарних дослідженнях заростання перелогів.

Відсутність в описах представників окремих груп флори не дозволяє використовувати вищеназваний метод, для встановлення показника динаміки із практичною метою чи для побудови допустимо точних моделей екосистем.

Розподіл проєктивних або контактних покриттів автотрофів демонструють класичний розподіл описаний законом оптимуму чи правилом толерантності Шелфорда (рис. 18). Це дозволяє застосовувати класичні фітоіндикаційні методи. При цьому похибка вимірювання буде коливатися від 3% до 10% залежно від кількості видів в описі і наявності їх у використовуваних базах даних. Ця величина співрозмірна з похибкою, яку ми отримуємо, вимірюючи показник динаміки контактним або інвазійним шляхом (5-10%).



Рис. Зміна проєктивного покриття відносно зміни показника природної динаміки для *Echinochloa crusgalli*.

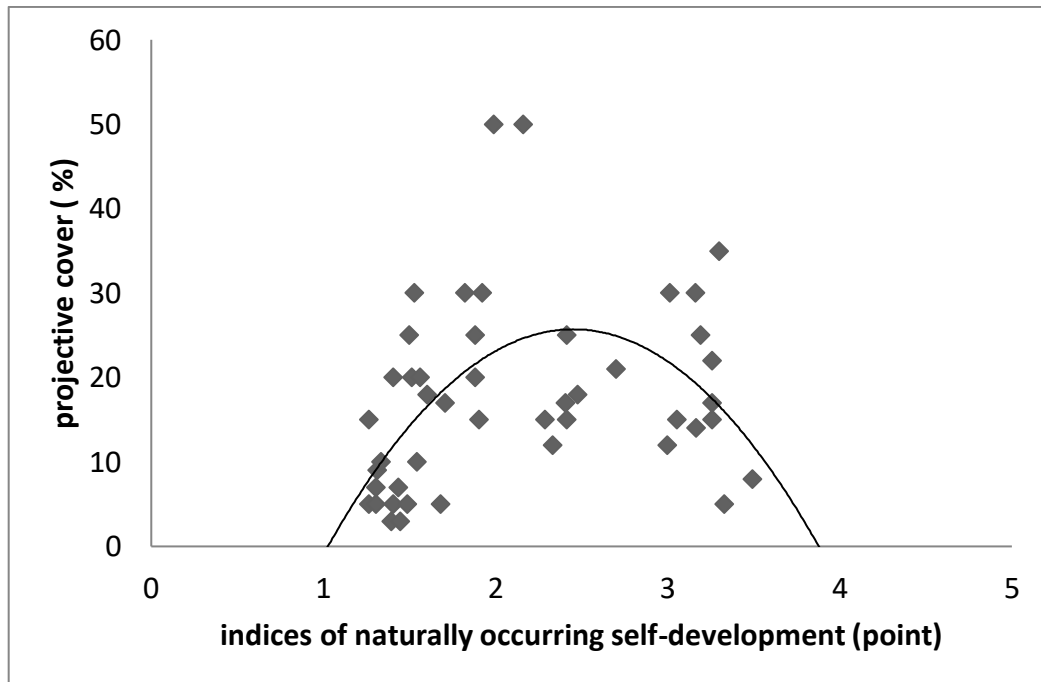


Рис. Зміна проєктивного покриття відносно зміни показника природної динаміки для *Poa prantense*.

На основі емпіричних даних побудовано математичну модель співвідношення абсолютного показника природної динаміки 21-бальній шкалі (рис. 20).

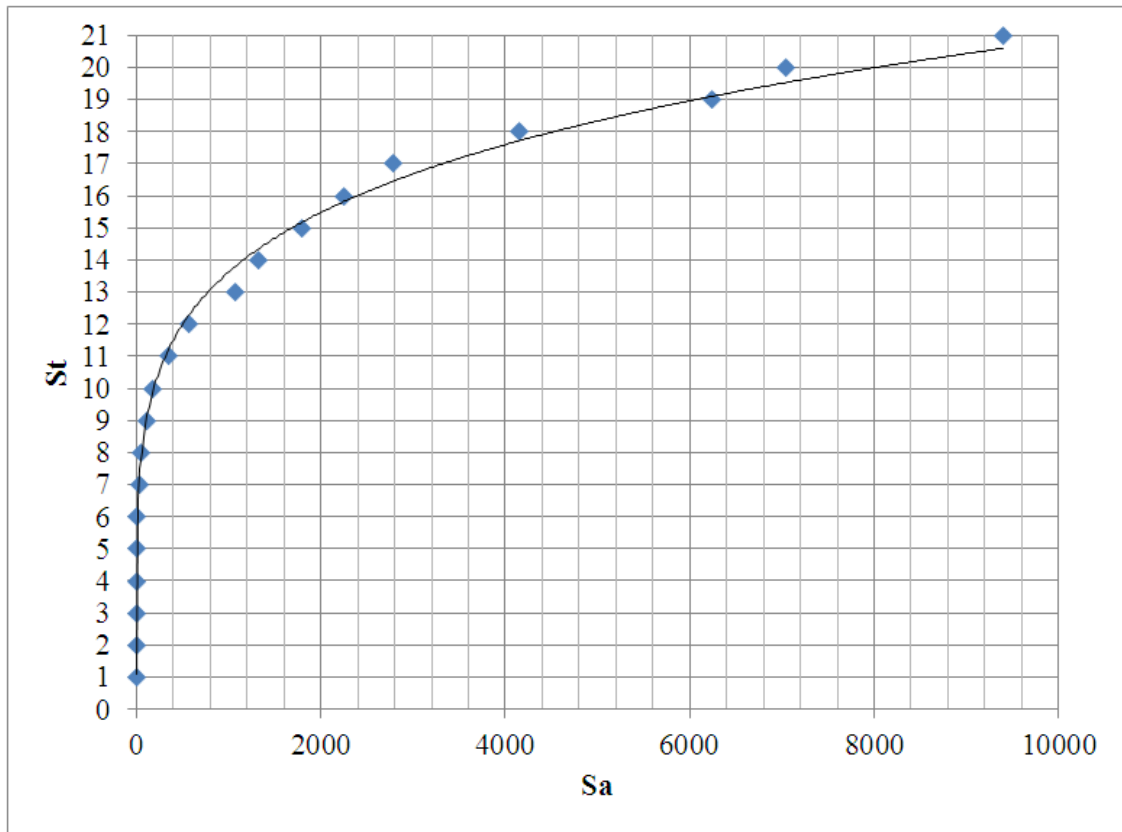


Рис. Апроксимація максимальних значень абсолютного показника природної динаміки. Ця закономірність можна описати у вигляді математичної моделі:

$$S_t = 3.81 * S_a^{0.17} \quad (3.10)$$

де S_t – інтегрований показник динаміки, S_a – абсолютне значення показника природної динаміки.

Модель характеризується високою достовірністю апроксимації* – 0,976. У різних умовах середовища, особливо при відхиленні від оптимальних чи створених під антропогенним тиском показники регресії та ступенів змінюються. Наприклад, в болотних екосистемах вони дорівнюють 3,97 та 0,18 за показника достовірності апроксимації 0,996.

На основі бази даних про амплітуди толерантності видів до зміни показника природної динаміки можна застосовувати класичну формулу, що застосовується в синфітоіндикації*. В межах конкретної ділянки, на якій створюється стандартний геоботанічний опис*, показник природної динаміки дорівнює сумі усіх добутоків визначених проективних покриттів видів на їхнє середнє значення амплітуди толерантності і поділене суму їхніх проективних покриттів.

$$ST = \frac{k_1 s_{t1} + k_2 s_{t2} \dots + k_n s_{tn}}{k_1 + k_2 \dots + k_n} \quad (3.11)$$

або

$$ST = \frac{\sum k_n s_{tn}}{\sum k_n} \quad (3.12)$$

де ST – синфітоіндикаційний показник природної динаміки, k_n – проективне покриття для виду «n», s_{tn} – середина діапазону толерантності до величини показника природної динаміки для виду «n».

2. Моделювання трофічного ланцюга. Моделювання трофічних ланцюгів в різних середовищах тощо.

Трофічний (харчовий) ланцюг – це система, в межах якої між ценопопуляціями відбувається перехід енергії у вигляді біомаси. Починається він із автотрофів (продуцентів) які

перетворюють різні види абіотичної енергії на хімічну біогенного походження. Згідно із законами термодинаміки більшість енергії витрачається і розсіюється, виходячи за межі біотопу. Відмічається, що кількість розсіяної енергії залежить від довжини трофічного ланцюга. Чим він коротший, тим більше енергії доступне для кожної його ланки. В екосистемах ми можемо об'єднати групи організмів за подібністю їхнього положення в трофічних ланцюгах

Спрощена схема, з якою знайомлять нас в школі, відсутня в реальних екосистемах. Ланцюги рослини→травоїдні→хижаки→мікроорганізми-редуценти не відображають усієї повноти картини міграції біомаси ланцюгами живлення (табл. 1). По перше, консументами першого, як і будь якого іншого порядку, є паразитичні організми. Сюди входять організми, що належать до різних царств. Це протисти*, хромисти*, рослини*, тварини*, гриби*, бактерії* та археї*. Незважаючи на те, що серед архей є паразити для яких живителями є лише інші археї, їх також потрібно відносити до консументів I порядку. Мова іде про відкритих у 2002 році *Nanoarchaeota*. На сьогодні відомо лише два види цього типу *Nanoarchaeum equitans* та *Nanobsidianus stetteri*.(Munson-McGee, 2015). Те, що вони можуть розвиватися лише в угрупованнях спільно із хемотрофними археями роду *Ignicoccus*, певний час сприймали за симбіоз. Однак, на сьогодні вважають ці відносини паразитичними.

Виникає запитання чи є логічним і семантично вірним називати організми, які споживають таких консументів, хижаками. За класичним визначенням хижацтво – це використання в їжу інших тварин. Однак, паразитичні рослини, гриби та мікроорганізми такими не є.

Ще одним проблемним питанням є завершення трофічного ланцюга редуцентами. Відомо, що ці ж редуценти згодом поїдаються іншими організмами, які є консументами. Це створює в кінці кожного трофічного ланцюга певну петлю. Можливо проблема в самому визначенні поняття редуцентів. Ми до них відносимо детритофагів, сапрофагів, копрофагів. З одного боку, виніс речовини за межі біотопу відбувається на усіх рівнях усіма організмами. З другого боку редуценти поїдаються консументами першого порядку, запускаючи нові ланцюги. У зв'язку із цим Ю.Одум виділяє два типи ланцюгів – пасовищний та детритний (Одум, 1986. С. 142).

Таблиця. Розділення популяцій на групи відповідних ланок і рівнів трофічних ланцюгів.

Ланка трофічного ланцюга	Продуценти	Консументи I порядку	Консументи II порядку	Консументи N-го порядку	Редуценти
Характеристика ланки трофічного ланцюга	Автотрофи, які перетворюють енергію електромагнітного випромінювання або хімічних сполук на біомасу	Травоїдні тварини та різноманітні паразитичні організми, які отримують енергію від продуцентів.	Хижаки та пожирачі детритофагів, які живляться консументами I порядку.	Хижаки в раціон яких входять інші хижаки.	Організми, які перетворюють біомасу в мінеральні речовини.
Приклади	<i>Betula pendula</i> , <i>Nostoc commune</i> , <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Lepus europaeus</i> , <i>Nanoarchaeum equitans</i> , <i>Erysiphe cichoracearum</i> , <i>Lathraea squamaria</i> , <i>Phytophthora infestans</i> , <i>Streptomyces scabies</i> , <i>Pythium debaryanum</i>	<i>Vulpes lagopus</i> , <i>Drosera rotundifolia</i> L., <i>Daphnia atkinsoni</i> .	<i>Canis lupus</i>	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Nicrophorus antennatus</i> , <i>Athyreus acuticornis</i>

На цьому схожість із ланцюгом системи передачі енергії закінчується. Проблема не лише в тому, що «детритний» тип перетворює лінійну модель на серію петель за участі редуцентів та консументів першого порядку. Більшість видів мають більш гнучку стратегію живлення. Деякі

рослини здатні бути консументами різних порядків. Наприклад, комар роду *Anopheles* може бути консументом 2, 3 і вищих порядків. Водночас *Drosera*, яка спіймала його могла б бути консументом на один порядок вище, незважаючи на свою здатність для фотосинтезу та належність до рослин. Насправді комахоїдних рослин цікавить не стільки вуглеводні, як джерело енергії, скільки мінеральні речовини із тіла комахи. Тож їх не можна назвати консументами в прямому смислі слова. Разом із тим, багато хижаків включають в свій раціон рослинну їжу. Крім того, видів пристосованих до споживання лише одного якогось іншого виду дуже мало. Більшість віддають перевагу високому видовому різноманіттю раціону, що підвищує їхні шанси на виживання. Отже, ми маємо в реальних екосистемах не трофічні ланцюги, а трофічні мережі (рис. 9)

Рух енергії через екосистему дозволяє нам розділяти її популяції на групи за участю в ньому. Ці дозволяє краще розуміти їхню роль в екосистемах та особливості еволюційних пристосувань. З іншого боку, визначення місця виду в трофічній мережі, дозволяє перейти до визначення кількісних показників. Багато видатних екологів другої половини ХХ століття стверджували, що енергія екосистем – це екологічна валюта. Таке справедливе твердження визначає важливість визначення кількісних показників енергії в процесі або при плануванні охорони і експлуатації екосистем.

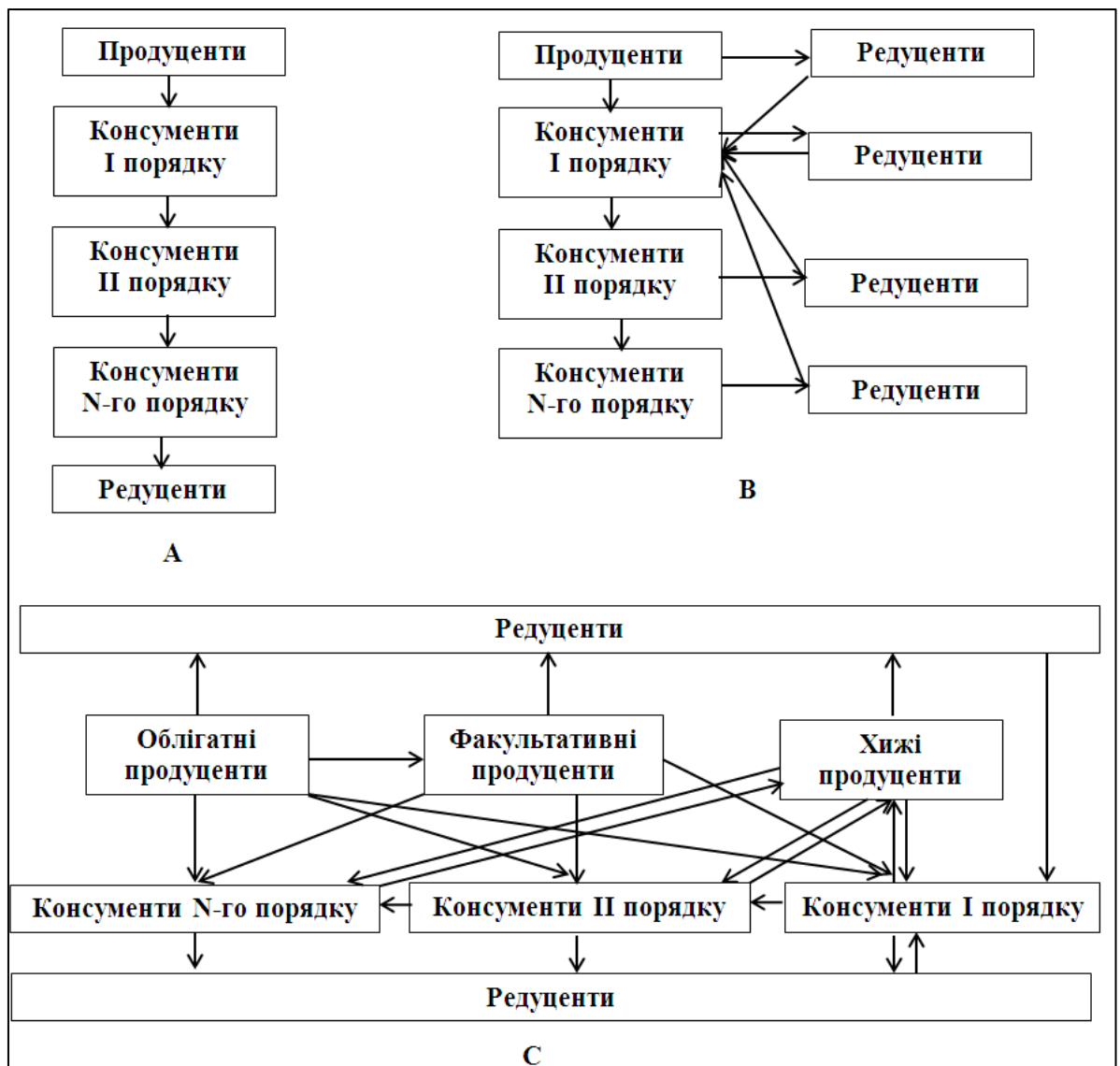


Рис. Три моделі трофічних зв'язків різної складності. А – популярна спрощена модель трофічного ланцюга. В – модель за участі двох типів трофічних ланцюгів: «пасовищного» і «детритного», С – трофічна мережа із врахуванням більшості ймовірних потоків енергії між елементами екосистеми.

Одним із перших встановив закономірність переходу енергії між окремими ланками трофічної мережі Раймонд Ліндеман. Цей англійський мікробіолог в 1942 році стверджував, що перехід енергії на вищий трофічний рівень призводить до її втрати в середньому 10%. Ця ідея виникла в багатьох дослідників цієї епохи. Весь час виникають суперечки про, те хто був першовідкривачем закону переходу енергії між рівнями. Відомо, що таке правило ще в 1931 році сформулював радянський еколог і орнітолог, професор Харківського університету В.В. Стачинський. Однак, доля талановитого дослідника та природоохоронця склалася трагічно. Виступи на захист природоохоронних об'єктів, зокрема заповідної Асканії Нової, привернули увагу радянських каральних органів. Була відкрита справа про контрреволюційну асканійську організацію, на чолі якої нібито був В.В. Стачинський разом із професорами А.С. Серебровським та М.М. Завадовським. Під тортурами вони зізналися в змові і були засуджені на п'ять років виправних робіт. Через чотири роки після звільнення (1940) справа була поновлена. Володимир Володимирович був знову заарештований і помер 29 березня 1942 в Вологодській тюрмі.

У своєму зізнанні, вибитому сталінським катами В.В. Стачинський писав: «Поставлені ж мною теоретичні проблеми екології та біоценології були абсолютно відірвані від господарських вимог.» (Архів СБУ). Насправді, його відкриття були надзвичайно важливими для господарської діяльності, але комуністичних ідеологів та їхніх посіпак це не цікавило.

Дехто із екологів, які розглядали історію своєї рідної науки вважали відкривачем цього закону Л.Б. Слободкіна (McIntosh, 1985; Маргалєф, 1992; Slobodkin, 1962). Однак, американський еколог Лоуренс Слободкін народився за три роки до формулювання цього закону В.В. Стачинським в кількох своїх публікаціях.

Сам Раймонд Ліндеман відкрити ним закономірність не вважав законом. Більш того, нам цей закон відомий також під назвою «правило 10%». Р.Ліндеман вказував на діапазон 0,1%-37,5% втрат при переході із рівня на рівень. 10% це усереднене значення для більшості екосистем, зокрема для агроекосистем пасовищного типу. Ю.Одум, приділяючи заслужено багато уваги обігу енергії в екосистемах, не згадував цього вченого, хоч і вніс його роботу в список літератури. Він багато цитує В.Одума, Г.Одума, Сіднея Хольта та Чарлі Елтона, демонструючи різні варіанти показників ефективності. У той же час, він сам часто згадує усереднене значення «10%» або «зниження на один порядок» (Одум, 1986, с. 143).

Для найпростішої лінійної моделі трофічного ланцюга із використанням узагальнення Р.Ліндемана ми отримуємо таку закономірність:

$$E_p = 10nE_{k_n} = 10(m + 1)E_r$$

де E_p – енергія групи продуцентів, n – рівень консументів, E_{k_n} – енергія консументів n -ного рівня, m – число рівнів консументів, E_r – енергія редуцентів.

Якщо ми розглядаємо складніші моделі трофічних зв'язків, то кожен перехід ми маємо оцінювати як фрагмент лінійної схеми. Складніше із розгалуженнями трофічних мереж. В такому випадку ми мусимо експериментальним шляхом встановлювати коефіцієнти переходу енергії із рівня на рівень.

3. Загальні принципи моделювання екологічних систем за допомогою диференціальних рівнянь, стаціонарні розв'язки та їх стійкість.

Поява лінійної моделі в поєднанні із кратним зниженням енергії призвів до формулювання закону односпрямованості потоку енергії. Насправді, цей закон не можна трактувати в абсолютному розумінні. Звичайно, через детритні ланцюги і хижих рослин рухається в зворотному напрямі незначна кількість енергії – 0,25%. Така величина не говорить про кругообіг енергії. Однак, в екологічному аналізі потрібно уникати лінійності і поверхневості мислення. А ще необхідно завжди остерігатися прямого трактування метафор. На мою думку із цим законом відбувається саме така історія. Г. Одум говорить, що цей закон обмежує прямі аналогії із «екологічною валютою». Адже, реальна валюта рухається постійно від споживача до виробника. Якщо простежити рух окремих квантів енергії через екосистему, то ми помітимо, що вони рано чи

пізно зникають в трофічних ланцюгах. Окрема гривня чи долар можуть існувати доти, доки ними користується певна спільнота. Тоді, коли конкретні кванти енергії зникають, їхні потоки продовжують існувати. Тобто, цей закон описує не усі потоки енергії в екосистемах, а лише основну їхню частину. Більш важливою є закономірність, яка описує існування окремих квантів енергії отриманих біотою. Ми можемо говорити, що ймовірність існування окремих квантів енергії доступних для біоти знижується під час руху трофічними ланцюгами незалежно від їхнього напрямку. Так мухоловка строката (*Ficedula hypoleuca*) і росичка круглолиста (*Drosera rotundifolia* L) отримують від звичайного комара (*Culex pipiens*) лише певний відсоток квантів, які він має від крові своїх жертв. При цьому, остання, отримує лише економію енергії на видобування мінеральних речовин в своєму оліготрофному екоотопі.

Класичне трактування закону односпрямованості енергії призвело до побудови кількох просторових моделей – екологічних пірамід. Серед них найбільш популярними є три: піраміда біомас, енергій та чисел. Ці моделі придатні для загальної характеристики екосистем, але створюють проблеми під час роботи із конкретними екосистемами і навіть окремими їхніми типами.

Юджин Одум, за особливості енергозабезпечення, поділив усі екосистеми світу на кілька груп. Уже із аналізу закону односпрямованості енергії ми розуміємо що екосистема є не просто відкритою системою. Її біота отримує енергію із зовнішніх джерел. Існування замкнених енергетичних циклів рано чи пізно призводить до виснаження ресурсів і загибелі. Це може бути одним із додаткових пояснень парадоксу Фермі* (Великого мовчання). Якими б не великими були хімічні джерела енергії але вони все рівно обмежені. Без переходу до більш довговічної електромагнітної енергії зірок вони не лише вичерпують необхідні ресурси, зводячи їх до кількох обмежених місць пов'язаних із діяльністю надр, а й забруднюють середовище своїми відходами. Можна припустити, на основі спостереження за ізольованими або напівізольованими екосистемами, що вони здатні подібно до фототрофів спричинити аналог Кисневої катастрофи. Це може бути перенасичення окисленими формами різноманітних елементів. Вони спочатку об'єднуюватимуться із більш активними металами в солі. Нерозчинні солі осідатимуть на дно морів та океанів, а розчинні залишатимуться в ньому підвищуючи засоленість. З часом, коли можливість нейтралізувати утворені катіони гідрогену та кисневмісні аніони знизяться, почне зростати кислотність. Таким чином внутрішні джерела енергії рано чи пізно вичерпуються і на планетах, де не виникла біота, що користується позапланетною енергією, життя припиняє своє існування або сповільнює хід еволюції. На таких планетах будуть лише окремі локальні плямки найпростішого життя, навколо джерел живлення або в найменш «забруднених» місцях, замість багатокілометрової плівки життя, що її повністю охоплює.

Таким чином, ми матимемо на рівні продуцентів найбільшу кількість енергії, а на кожному наступному рівні їхня кількість зменшуватиметься. Згідно із лінійною моделлю, просторово це нагадуватиме піраміду.



Рис. Піраміда енергій. Умовні позначення: E_p – енергія продуцентів, E_k – енергія консументів, n – номер порядку консументів, E_r – енергія редуцентів, m – число рівнів консументів.

Лекція № 7

Тема: Моделювання динаміки чисельності окремих популяцій.

Мета: Розкрити особливості

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями

План

1. «Жорсткі» та «м'які» математичні моделі динаміки популяцій.

Текст

1. «Жорсткі» та «м'які» математичні моделі динаміки популяцій.

Рівняння Лотки — Волтєррі або рівняння хижаків — жертва — система двох звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, яка описує кінетику чисельності популяції з одним типом хижаків і одним типом жертв. Характерною особливістю рівнянь є те, що їх розв'язком є автоколіня. Рівняння запропонували незалежно Альфред Джеймс Лотка та Віто Вольтєрра, у 1925 та 1926 роках, відповідно.

$$\frac{dx}{dt} = x \cdot (\alpha - \beta \cdot y)$$
$$\frac{dy}{dt} = -y \cdot (\gamma - \delta \cdot x)$$

Де x — кількість жертв, наприклад, зайців, y — кількість хижаків, наприклад вовків, α , β , γ , δ — певні параметри.



Лекція № 8

Тема: Моделювання і прогнозування глобальних біосферних процесів.

Мета: Розкрити особливості моделювання і прогнозування глобальних біосферних процесів

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями моделювання і прогнозування глобальних біосферних процесів

План

1. Моделі Римського клубу: модель Форрестера.
2. Моделювання в процесі оцінки стратегій розвитку суспільства.
3. Моделювання в процесі вибору та оцінки стратегії сталого розвитку

Текст

1. Моделі Римського клубу: модель Форрестера.

У 1972 році у Массачусетському технологічному інституті – одному з найстаріших і найвідоміших навчальних закладів США – під керівництвом спеціаліста в галузі системної динаміки Денніса Медоуза була підготовлена перша доповідь для "Римського клубу" – "Межі зростання". Медоуз використовував у своєму дослідженні економіко-математичні моделі Джея Форрестера, професора прикладної математики цього ж інституту. Моделі давали грубу імітацію загальносвітового розвитку за допомогою декількох глобальних категорій та у їх взаємозв'язку – населення, капіталовкладення, використання невідновлюваних ресурсів, забруднення середовища, продовольчі виробництва. Результати дослідження давали найпохмуріші прогнози на майбутнє: через сімдесят п'ять років, свідчила доповідь, сировинні ресурси будуть вичерпані, а брак продовольства стане катастрофічним, якщо економічний розвиток не буде зведено до простого відтворення, а приріст населення Землі не буде поставлений під жорсткий контроль. Висновки доповіді одержали назву концепції "нульового росту". Так, за оцінками групи Д.Форрестера, кам'яного вугілля мало вистачити на 110 років, хрому - на 96, нафти - на 36, природного газу - на 24. Подібних же висновків дійшли в 1976 р. експерти ЮНЕСКО. Саме з цього часу такі вичерпні копалини, як мідь, олово, срібло отримали позначку "стратегічні" і стали предметом особливої уваги розвинених країн в країнах "третього світу".

За висновком авторів доповіді, за умови збереження існуючих тенденцій науково-технічного прогресу, неконтрольованих демографічних процесів, забруднення середовища на людство в першій половині ХХІ ст. чекає глобальна катастрофа. Висновок викликав шок і розгубленість у одних, недовіру - у інших. Як шлях запобігання глобальній екологічній катастрофі Д.Медоуз і Дж.Форрестер запропонували ідеї, що стали основою концепції встановлення глобальної рівноваги між природою і людством. Такого стану можна досягнути і підтримати, якщо не нарощувати виробництво і звести приріст народонаселення до нуля. Ця концепція отримала назву концепції нульового приросту. Отже, концептуальні засади уявлень Римського клубу орієнтують на певні соціоекономічні зміни в існуванні людства, що дозволило б зберегти природу такою, якою вона є.

2. Моделювання в процесі оцінки стратегій розвитку суспільства.

Модель Месаровича-Пестеля описує світ не просто як однорідне ціле, а як систему взаємозалежних 10 регіонів, взаємодія між якими здійснюється через експорт — імпорт і міграцію населення Регіон — це вже соціокультурний параметр, підсистема в глобальній суспільній системі. І хоча він виділяється за економічними і географічними критеріями, але з врахуванням деяких соціальних і культурних характеристик: цінностей і норм співтовариства. У моделі Месаровича-Пестеля передбачена можливість управління розвитком. Тут можна зафіксувати такі елементи соціологічного підходу, як мети організації, суб'єкт управління, що приймає рішення на основі визначених цінностей і норм. Автори цієї моделі прийшли до висновку, що світу загрожує не глобальна катастрофа, а ціла серія регіональних катастроф, що почнуться значно раніше, ніж пророкували Форрестер і Медоуз. Концепції "глобальної рівноваги" автори моделі "Світ-3" протиставили концепцію "органічного зростання" чи диференційованого розвитку різних елементів системи, коли в окремі періоди інтенсивне зростання одних параметрів у визначених регіонах супроводжується органічним ростом в інші. Однак ніякі глобальні моделі не змогли передбачити тих колосальних змін, що відбулися в другій половині 80-х - початку 90-х у Східній Європі і на території СРСР. Ці зміни істотно модифікували характер плину глобальних процесів, оскільки вони означали припинення "холодної війни", інтенсифікацію процесу роззброєння, істотно вплинули на економічну і культурну взаємодію.

У 1970 році Дж. Форрестер був запрошений на зустріч Римського клубу у Берні, Швейцарія. Римський клуб - це організація, створена для вирішення проблем, які члени клубу називають «кризами людства», тобто глобальних проблем, які можуть коли-небудь виникнути в майбутньому через зростання населення і споживання обмежених природних можливостей. На зустрічі в Берні Форрестера запитали, чи може бути застосована системна динаміка для передбачення такого роду проблем. І звичайно, він відповів, що може. Повертаючись на літаку з

Берна, вчений створив перший чорновий варіант моделі системної динаміки світової соціально-економічної системи. Він назвав цю модель «World 1» (Світ 1). Після повернення до США, Форрестер переробив модель для підготовки візиту членів Римського клубу в МТІ. Нову модель він назвав «World 2», яку він опублікував у своїй книзі. Після виходу книги «Світова динаміка», вона привернула величезну увагу аудиторії. Модель «World 2» відображала важливі взаємозв'язки між населенням, промисловістю, забрудненням, ресурсами і їжею. Модель показувала колапс світової соціально-економічної системи в 21 столітті, якщо не будуть прийняті певні кроки щодо зниження споживання природних ресурсів. Модель була також використана для визначення змін в політиці, здатних стабілізувати розвиток світової економіки в майбутньому.

Форрестер створив перші моделі «Світ-1» і «Світ-2», які відбивали тенденції та взаємозв'язок 5 головних змінних: населення, капіталу, ресурсів, забруднення навколишнього середовища і виробництва продовольства. Модель Форрестера мала попередній характер і давала лише загальні висновки. У відповідь на популярність «Світової динаміки» Римський клуб запропонував організувати поглиблене вивчення проблем людства за допомогою системної динаміки. Хоча Форрестер тоді був запрошений, щоб продовжити свій проєкт «Динаміка розвитку міста», але він відмовився брати в ньому участь. Але запропонував своєму колишньому студенту Денису Медоуз провести це дослідження. Модель, створена Медоузом була названа «World 3» за аналогією з попередніми і була опублікована в його книзі «Межі зростання». Хоча модель «World 3» була більш складною, ніж «World 2», вона демонструвала таку ж фундаментальну поведінку і продовжувала основні ідеї свого попередника. Незважаючи на подібності, книга «Межі зростання» стала навіть більш популярна, ніж «Світова динаміка» Форрестера.

Загальні результати в цілому підтвердили попередні висновки Форрестера. «У кількох словах це можна виразити так, - пише Печчеї (засновник Римського клубу) - При збереженні нинішніх тенденцій до зростання в умовах кінцевої за своїми масштабами планети вже наступні покоління людства досягнуть меж демографічної та економічної експансії, що призведе систему в цілому до неконтрольованої кризи і краху». І для того, щоб уникнути майбутню глобальну катастрофу, на зміну традиційній парадигмі техніко-економічного зростання повинна прийти парадигма «сталого розвитку». У книзі «Межі зростання» Медоуз і його колеги висловлювали надію на те, що людство візьме попереджувальні заходи з обмеження та регулювання росту і переорієнтації його цілей, які дозволять уникнути надмірного навантаження на навколишнє середовище і виходу за межі самопідтримки Землі. Однак, на їхню думку, «чим далі, тим болючіше будуть ці зміни і тим менше шансів залишатиметься на кінцевий успіх». Однак радикальні ідеї, запропоновані в книзі «Межі зростання», викликали вкрай неоднозначну реакцію: одні її захоплювали, інші піддали «немилосердним прокляттям».

3. Моделювання в процесі вибору та оцінки стратегії сталого розвитку

Цілком передбачувано книга «Межі зростання» стала світовим бестселером (з часом його перевели більш ніж на 35 мов). Натхнені успіхом своєї першої книги, Денніс Медоуз і його соратники продовжили роботу над моделлю і через двадцять років, в 1992 році, опублікували її сіквел, що отримав більш ефектну назву, - «За межами зростання : глобальна катастрофа чи стабільне майбутнє ». Головний висновок другої книги був тривожним: вихід за межі самопідтримки Землі більше ігнорувати не можна, оскільки це вже доведений факт: у середині 1980- х «загальне навантаження на довкілля з боку людства перевищила підтримуючу здатність планети» Протягом останніх 20 років увагу Форрестера було сфокусовано переважно на двох напрямках: 1) створення моделі системної динаміки для економіки США і 2) розширення викладання системної динаміки, починаючи з дитячих садків до університетів. Форрестер розглядав свої минулі проєкти як провідні до створення нової економічної науки і новому фундаментальному розумінні принципів роботи макроекономічних систем. Він вважав останній проєкт як критично важливий не тільки для процвітання методу системної динаміки, але також для процвітання всього людського суспільства.

Роботи членів Римського клубу, створення організації МАВ ЮНЕСКО та організовані масштабні дослідження призвели до розробки стратегії сталого розвитку. Сталий розвиток (англ. sustainable development) — загальна концепція стосовно необхідності встановлення балансу між

задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їх потребу в безпечному і здоровому довкіллі. Як сформулювала визначення сталого розвитку у своїй доповіді Комісія Брундтланд, це «розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для можливості майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби»

Лекція № 9

Тема: Прикладні аспекти моделювання

Мета: Розкрити особливості

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями

План

1. Моделювання і прогнозування наслідків антропогенного впливу на довкілля.
2. Аналітичне моделювання фізичних й біотичних процесів у довкіллі під впливом антропогенних чинників і прогнозування наслідків цього впливу.

Текст

1. Моделювання і прогнозування наслідків антропогенного впливу на довкілля.

Одна з найскладніших проблем системи управління — передбачити майбутнє і віднайти ефективні рішення в умовах невизначеності.

Інструментом мінімізації невизначеності слугує *прогнозування*, а *прогнозом* називають науково обґрунтований висновок про майбутні події, про перспективи розвитку процесів, про можливі наслідки управлінських рішень.

Термін "прогноз" - грецького походження. Це слово означає судження про стан якогось об'єкта або явища в майбутньому.

Прогнозування передбачає систему наукових доведень, використання методів і прийомів з різним ступенем формалізації, узгодженість окремих висновків і оцінок щодо майбутнього розвитку процесу.

Під екологічним прогнозуванням розуміється передбачення стану такої системи, серед істотних елементів якої фігурує хоча б одна біотична компонента екосистеми (популяція, співтовариство, синюзія й ін.). Інструментом екологічного прогнозування є екологічний предиктор - модель (не обов'язково математична), яка служить для формування екологічного прогнозу.

Окремий екологічний предиктор, побудований модельєром (під модельєром тут розуміється людина, колектив, організація, що розробляють модель, або програма, що синтезує модель, і ін.), називається предиктором-індивідуумом.

Нехай прогноз зміни показника Y виробляється n окремими предикторами-індивідуумами, побудованими різними методами (або/і різними модельєрами) і призначеними для досягнення однієї мети. Організація їх у систему може бути здійснена або шляхом комплексації прогнозів, або шляхом комплексації самих предикторів. Під комплексацією прогнозів $Y(1), \dots, Y(n)$, отриманих за допомогою n предикторів-індивідуумів, будемо розуміти процес розробки оптимального в деякому змісті прогнозу Y^* показника Y , що служить тій же меті і є функцією вихідних прогнозів:

$$Y^* = F[Y(1), Y(2), \dots, Y(n), X].$$

Прогноз Y^* , отриманий у результаті комплексації окремих прогнозів $Y(1), Y(2), \dots, Y(n)$, будемо далі називати колективним прогнозом (колективом предикторів).

Система предикторів повинна бути організований так, щоб:

– по-перше, спрацьовував ефект системності типу "ціле більше суми своїх частин": надійність прогнозів колективу предикторів повинна бути вище надійності кращого з предикторів-індивідуумів - членів колективу;

– по-друге, прогнози системи предикторів повинні бути робастними: помилки передбачень малої частини предикторів-індивідуумів у колективі, якими значними вони б не були, повинні несуттєво позначатися на надійності комплексних прогнозів;

– по-третє, для елімінації омніпотентності факторів в систему повинні включатись самі "кращі" та самі "несхожі" між собою предиктори-індивідууми.

Однією з основних характеристик екологічного прогнозу необхідно вважати детальність формулювання прогнозу. Детальність прогнозу можливо розглядати в різних ракурсах: за структурою, параметрам і т.п. Далі більш детальним будемо вважати прогноз, сформульований у більш сильній шкалі. Прогноз, сформульований у кількісній шкалі, - найдужчий, прогноз у ранговій шкалі уступає йому, а прогноз у шкалі найменувань - самий слабкий із всіх існуючих (в останньому випадку говорять про прогноз макростанів системи).

Екологічний предиктор будується з використанням визначеної інформації про функціонування системи протягом деякого минулого відрізка часу. Величина цього відрізка називається періодом основи прогнозу.

Проміжок часу, на який розробляється прогноз, називається періодом (часом) попередження прогнозу (Там же, 1978). Поряд з часом попередження і детальністю формулювання іншою найважливішою характеристикою будь-якого прогнозу є його надійність (точність, вірогідність). Під надійністю прогнозу будемо розуміти деяку розумну міру відмінності передбачених станів екосистеми від реалізованих в дійсності.

Оцінювання надійності прогнозів називається верифікацією. Методика верифікації багато в чому визначається основними характеристиками прогнозу. Уніфікованої методики верифікації екологічних прогнозів не існує з тих же причин. Тому для кожного випадку передбачення, для кожної системи необхідно описувати порядок верифікації прогнозів.

Можна назвати ще і принцип економічності моделей екологічного прогнозування - вибір мінімально можливої кількості параметрів моделі за умови збереження її достатньої адекватності.

Час попередження, детальність формулювання і надійність - основні характеристики екологічного прогнозу.

Система екологічного прогнозування призначена для формування за всією доступною інформацією максимально надійних екологічних прогнозів. Вона містить у собі методи прогнозування і засоби їхньої реалізації. Систему екологічного прогнозування можна розглядати як підсистему екологічного моніторингу.

2. Аналітичне моделювання фізичних й біотичних процесів у довкіллі під впливом антропогенних чинників і прогнозування наслідків цього впливу.

Усі прогнозовані системи і явища можна розрізнити за шести основними ознаками.

1. Природа об'єкта моделювання і прогнозування задає специфічність підходів. Екосистеми - це об'єкти складної природи, і методологічною основою їхнього вивчення служить теорія складних систем (системологія).

2. За масштабністю розрізняють сублокальні (1-3 змінні), локальні (4-14), субглобальні (15-35), глобальні (36-100) і суперглобальні (більш 100 змінних). В екології для прогнозування використовують системи всіх масштабів, однак найбільший інтерес представляють різні варіанти глобальних екосистем (кількість змінних більш 15). Масштабність не має самостійного значення для вибору методу прогнозування.

3. За складністю обробки інформації про систему: надпрості системи (зв'язків змінних практично немає), прості (тільки парні взаємозв'язки), складні (враховується взаємовплив 3 і більш змінних) і надскладні (враховуються усі взаємозв'язки між змінними). Екосистеми належать до складних систем і якість прогнозу прямо зв'язано як з урахуванням великої кількості змінних, так і усіляких взаємозв'язків цих змінних.

4. За ступенем детермінантності систем (детерміновані, стохастичні і змішані системи) і

5. За характером розвитку систем у часі (дискретні, аперіодичні і циклічні системи). Екологічні системи мають істотну стохастичну складову і, практично, весь спектр характеру розвитку.

6. В залежності від величини періоду попередження, розрізняють прогнози короткострокові, середньострокові, довгострокові і дальнострокові. Однак у "кількісному визначенні" останніх панує плутанина - в економіці, метеорології, сільському господарстві (тобто тих областях знання, у яких проблема надійного прогнозування стає центральною) прийняті свої

стандарти "терміновості". Поняття "терміновості" екологічних прогнозів відносні і залежать насамперед від властивостей досліджуваної системи (процесу) і від детальності формулювання прогнозів по осі часу.

Критерієм "терміновості" екологічного прогнозу можна вважати детальність його формулювання по осі часу. Прогнози з періодом попередження до 2-3 кроків будемо називати короткостроковими, від 3 до 7 - середньостроковими, від 8 до 15 - довгостроковими. Однак така класифікація не враховує властивостей досліджуваного процесу.

Якщо формулювання екологічного прогнозу містить категоричні твердження про майбутній стан системи, без яких би то не було вказівок на ступінь непевності його здійснення, то такі прогнози, так само як і в метеорології, будемо називати категоричними. У протилежному випадку, тобто коли разом з формулюванням стану системи, що прогнозується, вказується і деяка міра невизначеності (непевності) його досягнення (наприклад, довірчий інтервал), будемо говорити про розмиті (інтервальні) прогнози. Так, прогноз типу "у майбутньому році відбудеться спалах чисельності полівки" є категоричним, а прогноз типу "у майбутньому році спалах чисельності полівки можлива з мірою приналежності 0,74" - розмитим.

Будемо поділяти екологічні прогнози на тривіальні і нетривіальні. Про перші говорять у ситуації, коли передбачення відносяться до ординарних проявів якоїсь інерційної, стійкої системи, а про другі - коли мова йде про зміни самої системи або про якісь неординарні події в ній. Як уже відзначалося, у залежності від типу шкали, у якій формуються прогнози (тобто за рівнем деталізації), розрізняють прогнози нормальні, рангові, кількісні. У системології виділяють структуру системи і її поведінку (Флейшман, 1982); відповідно до цього має сенс розрізняти прогнози структури екосистеми і прогнози її поведінки (Розенберг, 1984).

Прогнози, отримані за допомогою абстрактних моделей співтовариств, ґрунтуючись тільки на апіорних представленнях будемо називати апіорними, а отримані з використанням здобутої інформації – апостеріорними. Розрізняють прогнози позитивні і негативні. Останні формуються теорією потенційної ефективності складних систем і дають представлення про те, яких станів екосистема не може мати в принципі при заданих обмеженнях. Позитивні прогнози, навпаки, несуть інформацію тільки про можливі стани досліджуваної системи.

Крім того, виділяють прогнози точкові і розподілені, пошукові і нормативні. Якщо в процесі прогнозування досліджувана екосистема вважається однорідною, то говорять про точкові прогнози; у протилежному випадку, прогнози називаються розподіленими. Пошукові прогнози відповідають на запитання: що імовірніше всього відбудеться з екосистемою при збереженні існуючих тенденцій? На противагу пошуковим, нормативні прогнози служать для відповіді на питання: якими шляхами можна досягти бажаного стану? Нормативне прогнозування широко використовується в даний час при дослідженні біосфери.

Лекція № 10

Тема: Практичні аспекти моделювання

Мета: Розкрити особливості практичних аспектів моделювання

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями практичних аспектів моделювання

План

1. Процеси переносу забруднювальних речовин у водному середовищі.
2. Врахування осідання й розпаду речовини при моделюванні.
3. Математичні моделі водного і гідрохімічного режимів.
4. Математичні моделі динаміки РК і БСК.
5. Визначення невідомих параметрів моделі.
6. Модель динаміки органічної речовини і розчиненого кисню з урахуванням розбавлення і водообміну.

Текст

1. Процеси переносу забруднювальних речовин у водному середовищі.

При аналізі умов формування водного і гідрохімічного режиму водойм, визначаються основні фактори, що істотно впливають на зміну концентрації того чи іншого інгредієнта. До таких факторів відносяться:

- зміна річкового стоку;
- вплив підземного стоку;
- надходження дренажних вод з гідромеліоративних систем;
- надходження води і забруднюючих речовин з площі водозбору у вигляді промислових і побутових стоків;
- седиментація (*Сукупність процесів нагромадження відкладів у водному середовищі. С. є одним із важливих факторів самоочищення природних вод, що призводить до прояснення води, зменшення мінералізації, колірності, запахів, бактеріального забруднення*) завислих у воді частинок;
- безповоротне водоспоживання;
- трансформація речовин (інгредієнтів) внаслідок фізико-хімічних, радіоактивних і біологічних перетворень;
- випаровування води з поверхні водоймищ тощо.

Для вивчення впливу кожного з перелічених факторів на водно-сольовий та гідрохімічний режими водних об'єктів необхідно застосувати основні фізичні, хімічні і біологічні закони, які обумовлюють розповсюдження у воді різних домішок (речовин), і побудувати математичну модель міграції, трансформації та накопичення в окремих компонентах водної екосистеми речовин, що потрапляють у поверхневі води суші з площі водозбору та з атмосферними опадами.

2. Врахування осідання й розпаду речовини при моделюванні.

В теоретичному плані процеси переносу речовин і тепла (енергії) описуються так званим рівнянням конвективної дифузії (гідравлічної дисперсії або турбулентної дифузії).

Дифузією називається процес вирівнювання концентрацій речовин в різних областях термодинамічно однорідного середовища. У разі, коли дифузія обумовлена хаотичним рухом молекул, вона називається молекулярною, а в разі, коли дифузія обумовлена вихровими потоками в рідинах або газах – турбулентною.

Основними механізмами розповсюдження речовини в рухомому середовищі, зокрема в потоці поверхневих вод, є такі:

- 1) розчинення і перемішування речовини (домішки) в потоці води і на його границі;
- 2) захват потоком води частинок речовини, що розчинились або перемішались в цьому потоці;
- 3) молекулярна або турбулентна дифузія речовин, спрямована на вирівнювання концентрації даної речовини в стоячій або рухомій воді.

Іншими словами, при потрапленні частинок речовини у водойму вони розсіюються в товщі води внаслідок молекулярної і турбулентної дифузії, як в напрямку течії, так і в перпендикулярному до руху напрямку. Крім цього, частинки речовини захоплюються течією і розповсюджуються зі швидкістю, що дорівнює середній швидкості течії. Тому, для точного математичного опису цього процесу необхідно знати швидкості течії та інтенсивність (коефіцієнт) турбулентної, а в стоячій воді — молекулярної дифузії.

3. Математичні моделі водного і гідрохімічного режимів.

Природні води можна розглядати як багатокомпонентні системи. Рівновага кожного водоймища визначається комплексом фізико-географічних, гідрологічних та метеорологічних умов і встановлюється протягом тривалого часу. За умови надходження до водоймища забруднюючих речовин природна рівновага водоймища порушується.

Якщо вплив хімічного забруднення незначний, то це призводить до локальних змін, тобто природна рівновага порушується на окремій ділянці річки або водоймища поблизу випуску стічних вод. Перевищення кількості забруднень рівня «самоочисної здатності» водоймища необоротно порушує біологічну рівновагу і, як наслідок, погіршує склад і властивості води.

Хімічні речовини, які надходять у водні екосистеми, - це не тільки викиди промислових підприємств, а й безпосереднє змивання з полів та фільтрація через дренажні й ґрунтові води

поживних речовин та добрив, що суттєво впливає на функціонування біоценозів у водному об'єкті. Крім того, погіршуються санітарно-екологічні показники, що характеризують якість води, а це завдає шкоди здоров'ю людини.

Моделювання й прогнозування стану водних екосистем, які зазнають антропогенного впливу, мають різні аспекти і передбачають різні цілі (суто наукові, гідробіологічні, санітарно-гігієнічні тощо). Найважливіші соціоекологічні задачі, які необхідно вирішувати за допомогою моделювання, зводяться до двох напрямів. Перший з них — необхідність моделювати поширення забруднюючих речовин у водному середовищі, аби локалізувати їхній вплив і запобігти негативним соціальним наслідкам. Це може бути захист джерел водопостачання, рекреаційних зон у лиманах або морях, збереження малих річок тощо. Другий напрям, що має важливе соціальне значення — це збереження водних джерел як цілісної екосистеми за умови стійкості її параметрів у певних межах. Саме системний підхід до вивчення водного об'єкта може забезпечити, на базі нормативно-пошукового прогнозування, вибір найраціональнішого проекту природокористування з дотриманням екологічних вимог.

Не менш важливим соціальним завданням є збереження унікальних природних об'єктів, заповідних зон тощо. В умовах України такими є, наприклад, національний парк «Шацькі озера» на Волині. Гідромеліорація на прилеглих територіях, господарська діяльність призвели до погіршення певних екологічних показників, за якими встановлено спостереження (локальний моніторинг). За цими спостереженнями і довгостроковим прогнозуванням мають визначитися шляхи зменшення антропогенного навантаження, забезпечення стійкості найважливіших параметрів. Розв'язання таких проблем ілюструється на прикладі моделювання і прогнозування екосистеми оз. Байкал.

Якщо розглядати водоймище як складну систему, де відбувається комплекс біо-фізико-хімічних процесів самоочищення, насамперед важливо знати, який характер має трансформація забруднювальних речовин, тобто одну з тенденцій: забруднення безперервно зростає (нестійкість системи)-, самоочищення й розведення компенсують надходження забруднювальних речовин (рівноважність системи).

В останньому випадку слід визначити, які навантаження на водоймище допустимі, тобто за яких умов ще зберігається стійка рівновага.

Трансформацію забруднювальних речовин можна розглядати як відображення

$$F_j(\vec{S}) = L(F_j(\vec{S}), F_{j-1}(\vec{S}), F_{j+1}(\vec{S}), \dots, F_{j+k}(\vec{S})), \quad (4.2.1)$$

де $F_j(\vec{S}), \dots, F_{j+k}(\vec{S})$ — деякі вектор-функції у відповідних створах; L — оператор трансформації якості води; \vec{S} — вектор вхідних змінних.

Характер перенесення й розщеплення речовин визначається оператором L . Отже, математичне моделювання якості води має два етапи:

- визначення адекватної структури оператора L (вигляду рівняння (3.1));
- розв'язування цього рівняння за різних початкових і граничних умов та змінної функції джерела.

Структуру оператора L звичайно визначають на підставі вивчення фізичних закономірностей екологічних процесів. Так, дифузю й розклад органічної речовини, що надходить у водоймище, можна описати рівнянням (3.1) або змоделювати методом Монте-Карло. При цьому натурні дані використовують для порівняння результатів моделювання і даних спостережень або для знаходження коефіцієнтів (ідентифікації) для заданої структури рівняння.

Проте в разі моделювання динаміки багаторічних змін у водоймищах під впливом стічних вод і скидів промислових підприємств простежити причинно-наслідковий зв'язок неможливо, оскільки ще треба враховувати різні фізичні, хімічні, біологічні процеси, які взагалі не піддаються детальному спостереженню і які можна виміряти хіба що на короткому інтервалі часу.

Отже, застосування зазначених методів, що описують функціональні закони, часто стає неможливим. У таких випадках застосовують прямі методи моделювання екологічних систем, які передбачають, що інформація про структуру оператора та його параметри міститься в експериментальних даних.

4. Математичні моделі динаміки РК і БСК.

При попаданні у водоймище речовина розсіюється у товщі води в результаті молекулярної та турбулентної дифузії, як за напрямком течії, так і перпендикулярно до неї. Крім того, вона захоплюється течією і поширюється вздовж течії зі швидкістю, яка дорівнює середній швидкості течії. Для математичного опису цього процесу необхідно знати швидкості течії води та інтенсивність (коефіцієнт) турбулентної, а в нерухомій воді – молекулярної дифузії. Знаходження середньої швидкості руху води не є складною проблемою, оскільки ця задача може бути вирішена або на основі безпосередніх натурних вимірювань, або за допомогою математичних методів гідродинаміки. Набагато складнішою задачею є визначення або оцінювання зміни коефіцієнта турбулентної дифузії. Однак, зміна коефіцієнта турбулентної дифузії в широкому діапазоні мало впливає на кінцеву характеристику поширення забруднюючої речовини, особливо, коли розглядається поширення речовини в потоці, що рухається, на великі відстані.

Позначимо складові (компоненти) вектора V – усередненої швидкості течії через V_x , V_y , V_z , а коефіцієнти турбулентної дифузії в поздовжньому (співпадає з віссю абсцис Ox), в поперечному (співпадає з віссю Oy) і вертикальному (співпадає з віссю Oz) напрямками відповідно D_x , D_y , D_z . Тоді відповідно до закону Фіка поздовжній потік речовини з концентрацією $c(x,y,z,t)$

визначається виразом $V_x c - D_x \frac{\partial c}{\partial x}$, поперечний потік – виразом $V_y c - D_y \frac{\partial c}{\partial y}$, а

вертикальний $V_z c - D_z \frac{\partial c}{\partial z}$. Скориставшись законом збереження маси речовини, одержуємо рівняння балансу неконсервативної речовини, що поширюється в рухомому потоці рідини (у воді), у вигляді диференціального рівняння в часткових похідних:

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial c}{\partial x} - V_x c \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial c}{\partial y} - V_y c \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial c}{\partial z} - V_z c \right) - \alpha^* c + f(x, y, z, t), \quad (4.4.1)$$

де α^* – стала швидкості седиментації, яка включає і сталу неконсервативності у випадку лінійного закону трансформації речовини; $f(x, y, z, t)$ – член, що враховує внутрішні джерела і стоки (самоочищувальна здатність, самопоглинання гідробіонтами та ін.)

Для розв'язання рівняння (4.4.1) необхідні ще значення початкових і граничних умов, які в розглядуваній задачі можна задати у вигляді:

$$c(x, y, z, t_0) = c_0(x, y, z) \quad (4.4.2)$$

$$c(x, y, z, t)|_{x=x_1} = c_1(y, z, t), \quad \left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=x_1} = 0, \quad \frac{\partial c}{\partial n} = 0 \quad (4.4.3)$$

де $x=x_1$ – абсциса вхідного поперечного перетину (верхній створ); $x=x_2$ – абсциса вихідного поперечного перетину (нижній або замикаючий створ) розглядуваного водоймища; n – зовнішня нормаль до поверхні ложа і до дзеркала водоймища (лиману, водосховища, ріки і т.п.).

При надходженні речовини з опадами замість рівності нулю нормальної похідної на дзеркалі водоймища необхідно задати потік речовини, який визначається рівністю:

$$\left[V_z c - D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right]_{z=0} = c_{\text{оп}} q_{\text{оп}}, \quad (4.4.4)$$

де через $q_{\text{оп}}$ позначимо кількість води, що надходить на одиницю площі дзеркала водоймища з атмосферними опадами за одиницю часу (потік), а через $c_{\text{оп}}$ – концентрацію забруднюючої речовини, що містилась в опадах.

Якщо забруднююча речовина (або сіль) надходить з дна в результаті вилуговування або при інфільтрації підземних вод, то на межі з дном необхідно також задати величину надходження солей з дна у вигляді однієї з таких рівностей:

$$\left[V_z c - D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right]_{z=h} = c_\phi v_\phi$$

$$c(x, y, h, t) = c_\phi, \quad (5.5)$$

де c_ϕ – концентрації солей у підземних водах; v_ϕ – вертикальна складова вектора швидкості фільтрації; h – глибина водоймища.

Таким чином, при відомих величинах $V_x, V_y, V_z, D_x, D_y, D_z, f(x, y, z, t)$ і α^* питання про просторове і часове розподілення у водоймищі забруднюючих речовин зводиться до розв'язання рівняння (5.1) при початкових і граничних умовах (5.2)-(5.5). Найбільш ефективними методами рішення цих задач є чисельно-аналітичні і чисельні методи.

Наведена математична модель процесу поширення речовини у водоймищі чи водотоці може бути базою для створення імітаційної моделі формування якості води у водній екосистемі як за гідрохімічними, так і за біологічними показниками.

5. Визначення невідомих параметрів моделі.

Процес забруднення води – це динамічний багатоскладовий нестационарний процес.

1. По-перше, забруднення води може відбуватися практично в усіх напрямках від місця випуску стоків. При скиданні стоків з берега забруднюючі речовини під тиском надходження з джерела все нових об'ємів стічних вод переносяться все далі від точки їх випуску в усіх можливих напрямках від місця випуску стоків за умови відсутності перешкоди на їх шляху. У випадку непроточної водойми процес поширення забруднення води може відбуватися в усіх напрямках без винятку на весь об'єм її води чи на якусь певну частину її об'єму залежно від чинників. Зона забруднення непроточної водойми на поверхні її води має вигляд півкола при скиданні стоків з берега або кола при скиданні стоків на деякій відстані від берега на дні водойми, на її поверхні чи на якійсь глибині. У випадку водотоку (ріки) чи проточної водойми процес поширення забруднення води може відбуватися лише у певному напрямку, обумовленому течією. При цьому зона забруднення на поверхні води має вигляд сектора, в центральному куті якого міститься джерело, тобто на початку системи координат ХОУ.

2. По-друге, процес розповсюдження домішок у воді характеризується їх перенесенням від місця випуску стоків у деякому напрямку на деяку відстань від місця скиду.

Фактор часу має при цьому безпосередній вплив на процес поширення забруднення та розміри зони забруднення.

Розглянемо схему, що ілюструє основні моменти процесу розповсюдження забруднюючих речовин у воді водного об'єкта в зоні джерела скидів у системи координат ХОУ.

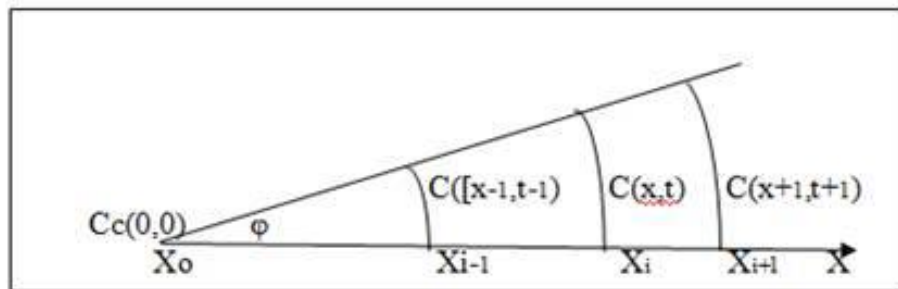


Рис. - Схема розповсюдження забруднюючих речовин у воді в зоні скидів стічних вод

Так, якщо розглядати вміст забруднюючої речовини в одиниці об'єму води (наприклад, г/куб.м), на певній відстані від місця випуску стоків X_0 на відрізку прямої X_0, X_n в точках із координатами $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{i-1}, X_i, X_{i+1}, \dots, X_n$, в певні моменти часу $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, \dots, t_n$, то концентрація C даної речовини в цих розрахункових точках буде характеризуватися значеннями $C_{x_1, t_1}; C_{x_2, t_2}; C_{x_3, t_3}; \dots; C_{x_{i-1}, t_{i-1}}; C_{x_i, t_i}; C_{x_{i+1}, t_{i+1}}; \dots; C_{x_n, t_n}$.

При цьому концентрація речовини зменшується із віддаленням точки виміру від джерела, тобто $C_{x_i, t_i} > C_{x_{i+1}, t_{i+1}}$ за умови $X_i < X_{i+1}$.

Певна річ, забруднення водойми відбувається звичайно по всьому її об'єму води в усіх напрямках, а не лише по одній лінії. Сектор поширення характеризується кутом φ . Кут φ (в радіанах) - це кут сектора, в якому поширюється забруднення. Цей сектор перш за все характеризує зону забруднення річок. У випадку непроточної водойми при випуску з берега $\varphi = 3,14(\pi)$, а коли точка випуску стічних вод віддалена від берега $\varphi = 6,28$.

Одновимірна модель перенесення забруднюючих речовин у водотоці (ріках) має вигляд:

$$(C_{k,n+1} - C_{k,n})/\tau = D(C_{k+1,n} - C_{k,n})/\Delta X^2 - W(C_{k+1,n} - C_{k,n})/2\Delta X + \lambda C_{k,n} + f(X_n, t_n) + \eta(X_n, t_n),$$

де C – концентрація забруднюючої речовини;

D – коефіцієнт турбулентної дифузії;

W – швидкість водотоку;

λ – показник швидкості розпаду речовини (самоочищення);

f – функція потужності джерела скидів, що лежить на початку координатної системи;

η – вихідна величина з крайовими умовами для даного водотоку;

k, n – координати у просторі і часі розрахункової величини концентрації $C_{k,n}$; в розрахунковій точці X_k створу;

τ – крок у часі для визначення дальності перенесення забруднюючих речовин у потоці від джерела до розрахункової точки (часовий крок);

t – інтервал часу, впродовж якого виконується дослідження процесу перенесення речовин за допомогою даної моделі (розрахункова концентрація $C_{k,n}$ забруднюючої речовини в точці з координатами у просторі k і часі n з кроком у просторі h і кроком у часі τ);

h – крок по відстані на досліджуваному відрізку X_0, X_n ;

Δx – довжина відрізка, на якому виконується дослідження процесу перенесення речовин.

Довжина відрізка, на якому виконується дослідження процесу перенесення речовин, у заданій системі координат дорівнює величині $\Delta x = X_n - X_0$, де X_0 - початкова і X_n - кінцева координати досліджуваного відрізка.

Відрізок відстані Δx розбивається на N рівних частин з кроком $h = (X_n - X_0) / N$. Відтак координата кожної k -ої розрахункової точки X_k на ньому (а при натурних дослідженнях – точки, де проводять заміри C) має значення $X_k = X_0 + k h$, де k – порядковий номер точки на цьому відрізку.

Аналогічно часовий інтервал $\Delta t = t_{\text{поч}} - t_{\text{кін}}$ розбивається на N рівних частин з кроком $\tau = \Delta t / N$. Відтак часова координата n кожної розрахункової точки X_k має значення $t_n = t_0 + n\tau$.

Отже, завдання рівняння полягає у знаходженні таких числових значень:

D – коефіцієнта турбулентної дифузії;

W – швидкості водотоку;

λ – швидкості розпаду забруднюючих речовин за рахунок механіко-біологічних процесів їх перетворення.

Зазначимо, що функція $\lambda(x, t)$ визначається у природних умовах дуже важко.

6. Модель динаміки органічної речовини і розчиненого кисню з урахуванням розбавлення і водообміну.

Прогноз стану поверхневих вод базується на математичному моделюванні процесів формування якості води з обліком існуючих і планованих зовнішніх впливів на водний об'єкт. Моделі якості води можуть бути різної складності. Чим складніші модельовані процеси, тим більшу кількість параметрів включають у модель. У цілому стан водного середовища S можна описати залежністю типу:

$$S = f(P, L, S_0, G, B, M),$$

де P — гідрологічні фактори; L — аллохтонне (наносные образования, происшедшие от скопления материала, принесенного из других мест, напр., отложения каменного угля среди морских осадков) й автохтонне надходження речовин; S_0 — початковий стан водного середовища; G — геометрія водного об'єкта; B — біохімічні і хімічні реакції, що відбуваються у водному об'єкті; M — кліматичні і гідрометеорологічні умови.

Для оперативного прогнозу звичайно використовують динамічні моделі, що дозволяють враховувати мінливість стану водного об'єкта в часі. При середньостроковому і

довгостроковому прогнозуванню використовуються статистичні й аналітичні моделі. Статистичні моделі засновані на аналізі і статистичній обробці експериментальних даних, отриманих безпосередньо на досліджуваному водному об'єкті. Аналітичні моделі дозволяють виконати прогноз якості води, використовуючи теоретичні представлення про природу й основні закономірності модельованих процесів. Цей клас моделей відрізняється більшою, у порівнянні із статистичними моделями, універсальністю й одержав широке поширення в прогнозних розрахунках.

За рівнем складності моделі якості води поділяють на 4 основні групи:

- балансові моделі, в основі яких лежить баланс між надходженням, обсягом і зміною в результаті внутріводних процесів маси речовини у водному об'єкті;
- однокомпонентні моделі, що описують трансформацію окремих речовин у водному середовищі;
- двухкомпонентні моделі, що описують взаємозалежну трансформацію БПК і розчиненого кисню в природних поверхневих водах;
- багатокомпонентні моделі, що описують взаємозалежну трансформацію речовин у водній масі.

Лекція № 11

Тема: Прогнозування наслідків людської діяльності.

Мета: Розкрити особливості прогнозування наслідків людської діяльності.

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями прогнозування наслідків людської діяльності.

План

1. Прогнозування наслідків людської діяльності.

Текст

Вибір методів прогнозування визначається наступними критеріями:

1. Специфіка об'єкта прогнозування:

- предметна область,
- характер прогнозованих процесів,
- характер вихідної інформації (кількісна, якісна),
- характер результуючої інформації.

2. Період попередження (горизонт прогнозування).

3. Цінність минулого досвіду (залежить від ступеня турбулентності середовища).

4. Новизна розв'язуваного завдання.

5. Можливість залучення аналогій.

6. Складність і вартість одержання необхідної вихідної інформації.

Кількісні методи прогнозування використовуються при співпаданні наступних умов:

1. Вирішується тривіальне завдання прогнозування (наприклад, прогноз характеристик популяції в період досягнутої рівноваги).

2. Аналітик має у своєму розпорядженні фактографічну інформацію кількісного характеру.

3. Середовище (прогнозний фон) стабільне або перетерпіло незначні зміни.

4. Динаміку зміни прогнозованої змінної можна описати простою функцією (лінійної, експонентною й т.д.).

5. Виявлено взаємозв'язки між факторами, які описуються простими кількісними залежностями.

6. Період попередження не занадто великий (оперативне або короткострокове прогнозування).

Якісні методи прогнозування використовуються при наступних умовах:

1. Немає даних про минулий розвиток прогнозованого явища.

2. Розвиток явища в минулому не дає можливості передбачити майбутні події (різко змінилося середовище).

3. Прогнозоване явище характеризується переважно якісною інформацією.
4. Не занадто великий ризик ухвалення невірної рішення у випадку помилки прогнозу.

У тому випадку, якщо ухвалення невірної рішення спричиняє серйозні наслідки, переважає якісна інформація й вирішується нестандартне прогнозне завдання, необхідно застосовувати комбіновані методи прогнозування.

. Для сучасного стану екологічного прогнозування характерні чотири основних принципи.

1. Принцип множинності моделей — для прогнозування конкретної екологічної ситуації можлива побудова кількох, однаково достовірних математичних моделей.

2. Принцип омніпотентності факторів. Існують фактори (вони зветься омніпотентними, тобто всемогутніми), які вчора і сьогодні значимо не впливали на динаміку екосистеми, але які можуть мати на неї визначальний вплив завтра. Класичним прикладом прояву омніпотентності можна вважати всі гідробіологічні прогнози розвитку водоймищ, що "не помітили" ефекту цвітіння водойм (жоден прогноз!), хоча до їх побудови залучалися кращі фахівці.

3. Принцип контрінтуїтивної поведінки складних систем. Складні системи (у тому числі й екологічні) поведуться зовсім не так, як підказує нам наша інтуїція, тобто поведуться контрінтуїтивно.

4. Принцип невідповідності точності і складності: поняття "точності" і "складності" при прогнозуванні структури і поведінки екосистем зв'язані зворотною залежністю - чим глибше аналізується реальна екосистема, тим менш певні наші судження про її поведінку.

Застосування результатів прогнозування передбачає:

1. Визначення сфери використання прогнозованої події або комплексу подій (створення, наприклад, навчальних закладів нового типу, орієнтованих на інноваційне утворення), кількісних і якісних зовнішніх зв'язків прогнозованої події з іншими процесами й системами, їхнього взаємовпливу й взаємодії.

2. Виявлення ймовірності настання самих ранніх і самих пізніх термінів прогнозованих подій, а також тих факторів і заходів, які можуть «прискорювати» або «загальмовувати» ці терміни.

3. Визначення основних тенденцій розвитку даної сфери й можливих подій, здатних вплинути на рішення прогнозованої проблеми, змінити заданий інтервал часу.

2.7.2 Способи вираження результатів прогнозу

Результати прогнозів можуть бути виражені в такий спосіб:

- Порівняння показників вітчизняних і закордонних досягнень у даній досліджуваній області.

- Показники ефективності соціального захисту, підтримки населення.

- Очікувані показники.

- Варіанти розподілу ресурсів, їхніх видів, адресність.

- Оцінка соціальних наслідків заходів, що вживаються урядом, асоціаціями, адміністративними організаціями й т.д.

- Оцінка ефективності вкладених засобів і інших фінансових заходів.

- Оцінка можливості застосування даних методів в інших регіонах і сферах соціальної практики.

- Можливі фінансові ресурси на рішення локальних соціальних проблем.

Лекція № 12

Тема: Прогнозування впливу режиму строгої заповідності на екосистеми об'єктів ПЗФ.

Мета: Розкрити особливості прогнозування впливу режиму строгої заповідності на екосистеми об'єктів ПЗФ.

Професійна спрямованість. Матеріал лекції знайомить майбутніх спеціалістів екологів із особливостями прогнозування впливу режиму строгої заповідності на екосистеми об'єктів ПЗФ.

План

1. Моделювання відновлення екосистем порушених сільськогосподарською та гірничою діяльністю.

Текст

У процесі класифікації рослинних угруповань, утворених в результаті відновлення природної рослинності, було виявлено, що їхня синтаксономічна схема складається із 13 класів, 24 порядків, 37 союзів, 90 асоціацій та без рангових угруповань відповідного рівня із п'ятьма варіантами та субасоціаціями.

Спостереження показують, що вона починається появою на звільненій ділянці ґрунту однолітніх трав'янистих рослин (це типові бур'яни: кульбаба, осот, мати-і-мачуха та інші). Їхня перевага в тому, що вони швидко розростаються і активно продукують насіння, пристосоване до поширення на далекі відстані. Однак уже через два-три роки їх витісняють конкуренти-багаторічні трави, а потім – чагарники і дерева. З часом ці дерева піднімаються і змінюють середовище існування. У такий спосіб утворюється ліс із певним видовим складом тварин і рослин, грибів і мікроорганізмів. Отриманий нами розподіл класів у відповідності до показників трансформації відповідає основним тенденціям протікання сукцесії.

У залежності від умов середовища сукцесійні серії можуть складатися із різних елементів. На це впливають вологість та загально сольовий режим ґрунту, його структура, вплив антропогенних та ряду інших факторів. На досліджуваній території ми виявили ряд закономірностей чергування угруповань. У класі *Vaccinio-Piceetea* нами виокремлено асоціацію через відносну оригінальність протікання її формування, яка значно відрізняється не лише від тенденцій її класу а й загальної закономірності для регіону.

Ми можемо серед багатьох можливих варіантів перебігу подій виділити три основних напрями (рис.2). Перший представлений рядом *Stellarietea mediae* → *Agropyretea intermedio-repentis* → *Koelerio-Corynepherea* → *Cladonio-Pinetum* (*Vaccinio-Piceetea*). Інколи сюди вклинюються *Artemisiete avulgaris* (за умов рудералізації – насамперед засмічування в поєднанні із рекреацією) або *Nardo-Callunetea* й *Epilobieteae angustifoliae* (на типових дерново-підзолистих ґрунтах). Другий напрям являє собою серію *Stellarietea mediae* → *Agropyreteae intermedio-repentis* → *Artemisiete avulgaris* → *Epilobieteae angustifoliae* → *Quercetea robori-petraeae*. Інколи між *Agropyreteae intermedio-repentis* та *Epilobieteae angustifoliae* вклинюється *Nardo-Callunetea* із заміною *Artemisiete avulgaris* або без неї. Заміна як і в попередньому випадку залежить від рівня і типу антропогенного впливу. Третя лінія, яка спостерігається на території району *Stellarieteae mediae* → *Agropyreteae intermedio-repentis* → *Artemisiete avulgaris* → *Molinio-Arrhenatheretea* → *Trifolio-Geraniete* → *Epilobieteae angustifoliae* → *Querceteae Fageteae*. У деяких випадках кінець цієї серії представляє угруповання класу *Querceteae robori-petraeae* (на бідніших ґрунтах) або *Robinieteae* (за умов інвазії *Robinia pseudoacacia* та надмірного накопичення нітратів у ґрунті). Перехід до класу *Plantageneteae majoris* можливий для будь-якої серії (найчастіше на стадії трав'янистої рослинності) за умов рекреаційного навантаження. Рослинність цього класу сформована із домінуючих у покриві видів стійких до витоптування та інколи до пасовищної дигресії. Всі три серії вказують на чітку залежність від родючості ґрунту, яка на пряму корелює із загальним сольовим режимом. Перша із них характерна для бідних дерново-підзолистих ґрунтів (переважно на перевіяних пісках), друга для середньо родючих дерново-підзолистих або збіднених сильною водною ерозією сірих лісових а третя для ясно-сірих лісових ґрунтів. Незалежно від приналежності до однієї із серій, спостерігається поступове зростання показників трансформації під час заміни одного угруповання на інше.

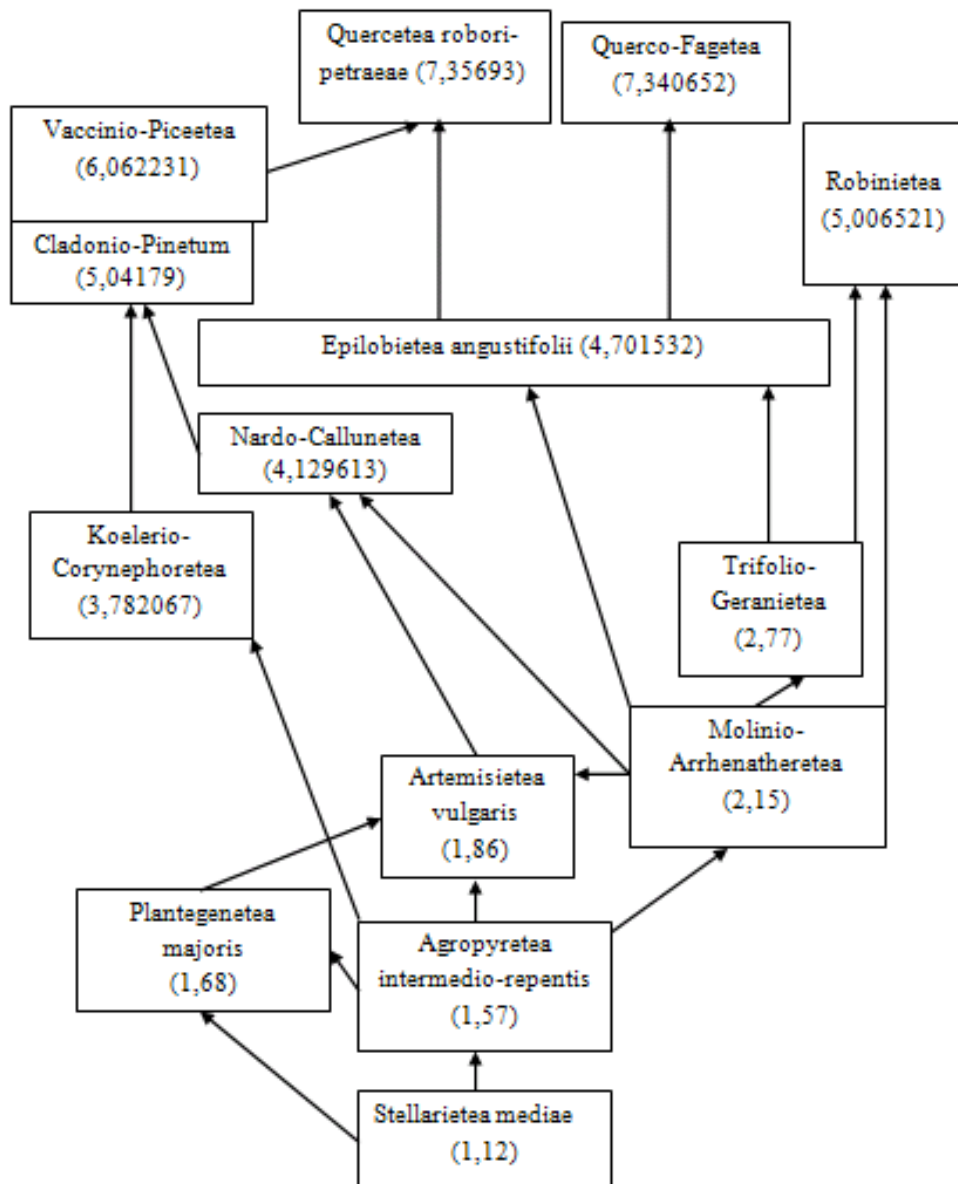


Рис. . Загальна схема сукцесійних серій зміни рослинних угруповань відновлюваної рослинності

На території пропонованій для розширення Поліського природного заповідника склалися типові соціально-економічні умови для північного прикордоння України. З початку дев'яностих років, дотовані державою сільськогосподарські підприємства перестали експлуатувати малоприсаєднані для рільництва землі. Це в свою чергу призвело до міграції працездатного населення в більш населені пункти. На сьогодні чисельність жителів деяких населених пунктів не перевищує 10 осіб (Червоносілка, Переброди, тощо) а деякі повністю безлюдні (Далета). Рілля та сінокоси під впливом автогенної сукцесії перетворюються на лісові оселища. Основним видом занять місцевого населення є робота в лісових підприємствах, а також сезонний збір чорниці, журавлини, брусниці та грибів. Продовжують в низьких обсягах діяти окремі галузі натурального сільськогосподарського виробництва.

Вікова структура населення деградуєного типу: великий відсоток осіб пост репродуктивного віку і дуже низька чисельність дітей та молоді. Іде постійне скорочення населення, що призводить до зниження тиску на природні екосистеми.

На цій території спостерігається надзвичайно високе багатство історико-культурної спадщини. Мова іде про численні історичні та археологічні пам'ятки, щодо більшості із них було проведено лише поверхневе обстеження. Також ми спостерігаємо залишки автентичних

культів(автентичної демонології, поховальних, весільних та інших ритуалів й обрядів) та промислів (бортництво, знахарство, правництво, вишивка, ткацтво тощо). Найбільшим елементом культурної спадщини регіону є носії унікального середньополіського діалекту української мови, який за словами професор М.В. Никончука є залишками праслов'янської мови. На кряжі частина території розширення вже знаходиться під охороною. Тут знаходяться 5 природоохоронних об'єктів загальною площею 8389,8 га. З них одна пам'ятка природи державного значення та чотири заказники місцевого значення. Першої була організована ботанічна пам'ятка природи «Корніїв» в 1975 році. останнім лісовий заказник «Словечансько-Овруцький кряж» організований у 1998 році

Ми виділяємо ландшафтні екосистеми за геоботанічним районуванням. Територія кряжу належить до Коростенсько-Житомирського округу фізико-географічної області Житомирського (Центрального) Полісся. Територія кряжу ділиться на два райони: Червонсько-Городецькому району ацидофільних скельно дубових лісів та Овруцькому району дубово-грабових лісів, які повністю корелюють із традиційним поділом кряжу на лесову та скелясту (кварцитну) частини

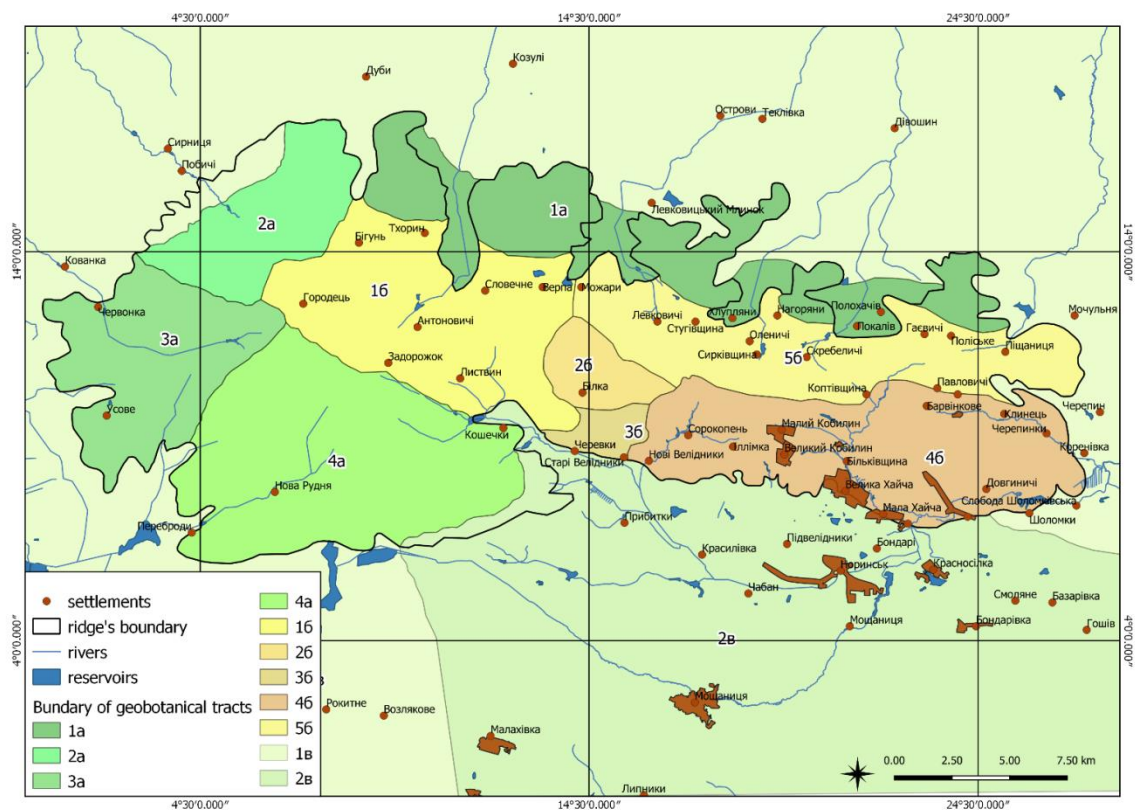


Рис. Карта-схема розміщення ландшафтних екосистем Словечансько-Овруцького кряжу.

Пояснення до рис: Умовні позначення: I – межі геоботанічних районів; II – межі геоботанічних урочищ; III – фізико-географічна межа кряжу; IV – річки й струмки; V- населені пункти. 1а – Тхоринсько-Піщаницьке урочище ацидофільних сосново-дубових лісів; 2а – Бігунсько-Городецьке урочище ацидофільних сосново-дубово-рододендронових лісів; 3а – Червонсько-Городецьке урочище типових ацидофільних скельно-дубових лісів; 4а – Листвинсько-Перебродське урочище ацидофільних сосново-дубових; 16 – Городецько-Словечанське урочище балок із типовими широколистяними лісами; 26 – Білківське урочище балок із сильно трансформованою рослинністю; 36 – Велідницьке урочище балок із частково трансформованою рослинністю; 46 – Ілімківсько-Клинецьке урочище балок із сильно трансформованою рослинністю; 56 – Левковицько-Коренівське урочище аграрних угідь і прибережних чагарників; 1v – Убортсько-Словечнянський район соснових лісів зелено-мохових і лишайникових, мезотрофних та оліготрофних лісів; 2v – Жеревський район соснових лісів зелено-мохових.

Опираючись на геоботанічні дані ми виділяємо такі ландшафтні екосистеми:

1) Тхоринсько-Піщаницьке урочище ацидофільних сосново-дубових лісів (розташоване на півночі кряжа, складається з п'яти скелястих масивів, зайнятих трансформованими лісовими угіддями, розділеними річками Словечна, Ясенець, Звонка, Полохачевка);

2) Бігунсько-Городецьке урочище ацидофільних сосново-дубово-рододендронових лісів (розташоване на північний захід від лінії Бігунь-Городець, зайняте трансформованими лісовими угіддями та реліктовими угрупованнями з *Hedera helix L*);

3) Червонсько-Городецьке урочище типових ацидофільних скельно-дубових лісів (розташоване в трикутнику Городець – Червонка – Усово, зайняте трансформованими та природними лісовими й болотними угіддями);

4) Листвинсько-Перебродське урочище ацидофільних сосново-дубових лісів (розташоване між населеними пунктами Переброди й Листвин на південь від плато з висотою 319 і на північ від висот 250 і 261, зайняте трансформованими та природними лісовими й болотними угіддями).

До Овруцького району дубово-грабових лісів належить:

1) Городецько-Словечанське урочище балок із типовими широколистяними лісами (включає в себе західну частину лесових масивів до лінії Верпа –Черевки);

2) Білківське урочище балок із сильно трансформованою рослинністю (включає в себе території з балками долини річки Білка);

3) Велідницьке урочище балок із частково трансформованою рослинністю (включає в себе території з балками на південному схилі кряжа між долинами річки Білка та річки Іллімка);

4) Іллімківсько-Клинецьке урочище балок із сильно трансформованою рослинністю (включає в себе території з балками на південному схилі кряжа від долини річка Іллімка до долини річки Клинець);

5) Левковицько-Коренівське урочище аграрних угідь і прибережних чагарників (розташоване на північному схилі лесової частини кряжа й простягається на схід від долини річки Ясенець).

На південь від села Черевки вздовж південного схилу кряжа вузькою стрічкою тягнуться типові соснові ліси. Довжина цієї смуги становить близько 8 км а ширина біля 700 м (від 300 м до 2200 м). Рослинність і показники факторів середовища відмінні від решти території кряжа. Вони подібні до сусіднього Жеревського району соснових лісів зелено-мохових, який прилягає до кряжа з південного сходу. Належність цієї території до Червонсько-Городецького району ацидофільних дубових і скельно-дубових лісів сумнівна. Аналогічна ситуація спостерігається на північно-західній околиці кряжа. Ця територія прилягає до Убортсько-Словечнянського геоботанічного району Північнополіської округи. Отже на територію кряжа (вище 200 м над рівнем моря з виходами овруцьких кварцитів) заходять окраїни Убортсько-Словечнянського району соснових лісів зелено-мохових і лишайникових, мезотрофних та оліготрофних боліт і Жеревського району соснових лісів зелено-мохових. У межах кожної із ландшафтних екосистем діє свій баланс між алогенними (в основному, прямими та опосередкованими антропогенними) та автогенними впливами. В результаті цього з часом відбувається зміщення положення ординаційного поля соції в межах едафо-динамічної моделі. Ми можемо спостерігати три складноорганізованих процеси: переважання автогенної сукцесії що веде до формування лісових ландшафтів із пралісами; рівновага між протилежними процесами що зупиняє динамічні зміни в ландшафтах; переважання алогенних процесів, що веде до тимчасової деградації рослинного покриву.

Виділені процеси аналізу територіальної диференціації екохори дев'ять ландшафтних екосистем дозволяють узагальнювати дані про властивості взаємопов'язаних екосистем, що є основою для прогнозування їхнього розвитку, вирішення проблем соціології та оптимізації природоохоронної мережі. Особливе практичне значення має потенціал розвитку ядер біорізноманітності регіонального значення в межах екомережі, для яких масштаб геоботанічного району часто незручний. Крім того за показниками чинників середовища екосистеми кряжа ближчі до Лісостепоного ніж Поліського типу, що підвищує наукову цінність інформації про нього. Провідними чинниками середовища є вологість, кислотність, вміст доступного Нітрогену та вплив людської діяльності, які визначають екологічну специфіку кряжа.

ПИТАННЯ, ТЕСТИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

Теоретичні питання

2. Понятійний апарат та загальні принципи моделювання і прогнозування стану довкілля.
3. Задачі навчальної дисципліни та зв'язок з іншими дисциплінами.
4. Понятійний апарат. Поняття «модель».
5. Класифікація моделей.
6. Поняття «прогноз» і «прогнозування»
7. Основні засади математичного моделювання і прогнозування в екології.
8. Статистичні методи моделювання і прогнозування стану довкілля
9. Змінна величина і функція.
10. Елементарні функції.
11. Лінійна функціональна залежність.
12. Пряма і обернена пропорціональні залежності.
13. Дробово-лінійна функція.
14. Степенева функція.
15. Показникова і логарифмічна функції.
16. Тригонометричні функції.
17. Побудова емпіричних формул, метод найменших квадратів.
18. Математична статистика.
19. Регресійні моделі.
20. Аналіз і моделювання часових рядків.
21. Прогнозування на основі регресійної моделі та моделі часового ряду
22. Математичні моделі різних рівнів організації живих систем
23. Математичні моделі різних рівнів організації живих систем
24. Математичні моделі в екосистемології.
25. Динаміка екосистем як наслідок міжвидових відносин.
26. Моделювання трофічного ланцюга.
27. Моделювання трофічних ланцюгів в різних середовищах тощо.
28. Загальні принципи моделювання екологічних систем за допомогою диференціальних рівнянь, стаціонарні розв'язки та їх стійкість.
29. Моделювання динаміки чисельності окремих популяцій.
30. «Жорсткі» та «м'які» математичні моделі динаміки популяцій.
31. Прогнозування наслідків людської діяльності.
32. Моделювання і прогнозування глобальних біосферних процесів.
33. Моделі Римського клубу: модель Форрестера.
34. Моделювання в процесі оцінки стратегій розвитку суспільства.
35. Моделювання в процесі вибору та оцінки стратегії сталого розвитку
36. Прикладні аспекти моделювання
37. Моделювання і прогнозування наслідків антропогенного впливу на довкілля.
38. Аналітичне моделювання фізичних й біотичних процесів у довкіллі під впливом антропогенних чинників і прогнозування наслідків цього впливу.
39. Процеси переносу забруднювальних речовин у водному середовищі.
40. Врахування осідання й розпаду речовини при моделюванні.
41. Математичні моделі водного і гідрохімічного режимів.
42. Математичні моделі динаміки РК і БСК.
43. Визначення невідомих параметрів моделі.
44. Модель динаміки органічної речовини і розчиненого кисню з урахуванням розбавлення і водообміну.
45. Прогнозування наслідків людської діяльності.
46. Прогнозування наслідків людської діяльності.

47. Прогнозування впливу режиму строгої заповідності на екосистеми об'єктів ПЗФ.
48. Моделювання відновлення екосистем порушених сільськогосподарською та гірничою діяльністю.

Тестові завдання

1 варіант

1. Матеріальне середовище, яке складається з природних, антропоприродних об'єктів і в якому існує людське суспільство:
- а) географічне середовище; б) техногенне середовище;
в) природне середовище; г) соціокультурне середовище.
2. Розділ екології, який досліджує екологічні особливості популяцій:
- а) аутокологія; б) синекологія; в) демекологія.
3. Найвищим рівнем організації живої матерії, який досліджує екологія, є:
- а) популяція; б) екосистема; в) біосфера.
4. Комплексна система спостережень, оцінювання і прогнозу змін навколишнього середовища:
- а) прогнозування; б) спостереження; в) моніторинг; г) моделювання.
5. Конкуренентоспроможність — це:
- а) нормальне існування і розвиток організму в характерному для нього середовищі; б) здатність організмів витримувати боротьбу за різні умови життя; в) здатність особин до нормального розмноження.
6. Деякі ссавці за несприятливих умов навколишнього середовища впадають у сплячку.
- Це:
- а) активний шлях пристосувань; б) пасивний шлях пристосувань;
в) уникнення несприятливих умов існування.
7. Квітка конюшини побудована таким чином, що її можуть запилювати лише джмелі.
- Це приклад адаптації:
- а) морфологічної; б) фізіологічної; в) отологічної.
8. Сукупність популяцій різних видів, які заселяють певну однорідну ділянку земної поверхні:
- а) біоценоз; б) біогеоценоз; в) екосистема; г) біосфера.

2 варіант

1. Розділ екології, який вивчає фактори неживої природи та їх вплив на окремі організми:
- а) аутокологія; б) синекологія; в) демекологія; г) геокологія.
2. Різниця в будові й функціях між особинами одного виду:
- а) мімікрія; б) конгруенція; в) внутрішньовидовий поліморфізм.
3. Метод пізнання, який передбачає вивчення не самого об'єкта, а його моделі:
- а) прогнозування; б) спостереження; в) моніторинг; г) моделювання.
4. Найнижчим рівнем живої матерії, який досліджує екологія, є:
- а) популяція; б) екосистема; в) біосфера; г) вид.
5. Життєздатність — це:
- а) нормальне існування і розвиток організму в характерному для нього середовищі; б) здатність організмів витримувати боротьбу за різні умови життя в) здатність особин до нормального розмноження.
6. Створений людством духовний світ, який впливає на людей, формує їхній світогляд і зумовлює поведінку:
- а) географічне середовище; б) техногенне середовище;
в) природне середовище; г) соціокультурне середовище.
7. Екологічний фактор — це:

а) усі умови живої і неживої природи, у яких існують організми; б) окремі властивості або елементи природного середовища, які впливають на стан і властивості організму; в) пристосування організмів до навколишнього середовища; г) фактор, який безпосередньо впливає на живий організм.

8. Насіння пустельних рослин витримує довготривалу високу температуру. Це:

- а) активний шлях пристосувань; б) пасивний шлях пристосувань;
- в) уникнення несприятливих умов існування.

3 варіант

1. Біоценоз — це:

а) сукупність фіто-, зоо- і мікроценозу; б) сукупність популяцій організмів, які живуть разом і зв'язані між собою обміном речовин та енергії; в) пристосованість організмів різних видів до спільного життя на певній території.

2. Де краще буде розвиватися рослинність у тундрі?

а) на горизонтальній площині; б) на площині з північною експозицією; в) на площині з південною експозицією.

3. Синекологічний і фізіологічний оптимуми завжди збігаються:

- а) так; б) ні.

4. Поширення одних видів іншими називають зв'язками:

- а) трофічними; б) топічними; в) форичними; г) фабричними.

5. Найбільш численні види в біоценозі:

- а) домінантні; б) едифікатори; в) асектатори.

6. В ялиновому лісі можна чітко визначити види-едифікатори:

- а) так; б) ні.

7. Системи різнорідних організмів, які пов'язані своєю життєдіяльністю з одним якимось видом в біоценозі:

- а) консорти; б) центри; в) консорції.

8. Вид, який утворює ядро консорції:

- а) домінант; б) едифікатор; в) асектатор; г) детермінант.

1. Взаємозумовлений комплекс живих і неживих компонентів, пов'язаних між собою обміном речовин та енергії:

- а) біоценоз; б) біотоп; в) екотоп; г) екосистема.

2. Вкажіть неправильне твердження:

а) екосистема хвойного лісу; б) біогеоценоз суходольної луки. в)
екосистема тропічного лісу; г) біогеоценоз тераріуму.

3. Консументи другого порядку — це:

- а) рослиноїдні тварини; б) хижаки.

4. У який із запропонованих ланцюгів потрібно вставити слово «циклоп»?

- а) водорості — ? — гідра;
- б) водорості — ? — карась — жук плавунець;
- в) водорості — ? — жаба — вуж;
- г) водорості — ? — карась — щука.

5. Первинна продукція — це:

а) кількість органічної речовини, утвореної автотрофами за одиницю часу; б) кількість органічної речовини, утвореної консументами за одиницю часу; в) кількість органічної речовини, утвореної редуцентами за одиницю часу.

6. Найбільш численні види в біоценозі:

- а) домінантні; б) едифікатори; в) асектатори; г) детермінанти.

7. Рослинна частина біоценозу:

- а) фітоценоз; б) зооценоз; в) мікроценоз.

8. Задача. Продуктивність планктону — 600 г/м^2 за рік (маса сухої речовини). Яка площа акваторії необхідна для існування одного орлана-біло-хвоста в харчовому ланцюгу: планктон — риба — рибоїдні птахи — орлан-білохвіст ($m=5 \text{ кг}$).

ОБОВ'ЯЗКОВІ ТА ДОДАТКОВІ ЗАДАЧІ

Задача 1. Визначити масу кожної ланки трофічного ланцюга відповідно до узагальнення Ліндемана, якщо маса лисиці 20 кг.

Vulpes vulpes (Лисиця звичайна). – 20 кг

Nicrophorus investigator (Могильник дослідник). – ?

Streptomyces avermitilis (Бактерія сапрофіт). – ?

Microtus arvalis (Полівка звичайна). – ?

Poa prantense (Тонконіг лучний). – ?

Розв'язання

1) Розміщуємо види в умовну послідовність в трофічному ланцюгу.

Poa prantense – *Microtus arvalis* – *Vulpes vulpes* – *Nicrophorus investigator* – *Streptomyces avermitilis*.

2) Будуємо математичну модель розміщення мас різних трофічних рівнів згідно із узагальненням Ліндемана.

$$m_p = 10m_{k1} = 100m_{k2} = 1000m_{k3} = 10000m_r$$

3) Визначаємо масу кожної ланки трофічного ланцюга за масою лисиці звичайної.

$$m_p = 100m_{k2} \text{ (маса } Poa \text{ prantense)}$$

$$m_{k1} = \frac{100m_{k2}}{10} \text{ (маса } Microtus \text{ arvalis)}$$

$$m_{k3} = \frac{100m_{k2}}{1000} \text{ (маса } Nicrophorus \text{ investigator)}$$

$$m_r = \frac{100m_{k2}}{10000} \text{ (маса } Streptomyces \text{ avermitilis)}$$

4) Підставляємо значення в формулу

$$m_p = 100 * 20 = 2000 \text{ (кг) (маса } Poa \text{ prantense)}$$

$$m_{k1} = \frac{100*20}{10} = 200 \text{ (кг) (маса } Microtus \text{ arvalis)}$$

$$m_{k3} = \frac{100*20}{1000} = 2 \text{ (кг) (маса } Nicrophorus \text{ investigator)}$$

$$m_r = \frac{100*20}{10000} = 0,2 \text{ (кг) (маса } Streptomyces \text{ avermitilis)}$$

5) **Відповідь:** 2000 кг *Poa prantense*, 200 кг *Microtus arvalis*, 2 кг *Nicrophorus investigator*, 0,2 кг *Streptomyces avermitilis*.

Задача 2. Встановити динаміку показників відносної ентропії екосистем за надземною фітомасою та віком видів які в неї входять:

Вид	Роки фіксації даних									
	2004		2005		2006		2008		2010	
	маса	вік	маса	вік	маса	вік	маса	вік	маса	вік
<i>Equisetum arvense</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Taraxacum officinalis</i>	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1
<i>Elytrigia repens</i>	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pyrus communis</i>	«-»	«-»	1	1	2	2	2	4	3	6

Розв'язання

1. Використовуємо формулу для визначення відносної ентропії за надземною фітомасою та її віком:

$$S_e = \frac{1}{\sum m_{pn} * t_{pn}}$$

2. Здійснюємо розрахунки

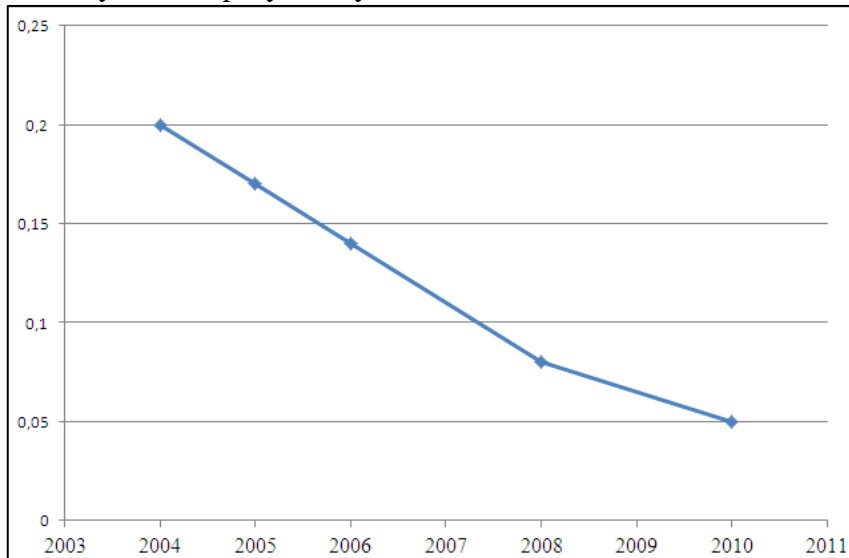
$$S_{2004} = \frac{1}{1 * 1 + 2 * 1 + 2 * 1 + 0 * 0}$$

Повторюємо для результатів кожного року досліджень

3. Після обрахунків отримуємо результат (заокруглено до сотих):

2004	2005	2006	2008	2010
0,2	0,17	0,14	0,08	0,05

4. Будуємо графік для візуалізації результату:



Відповідь: Спостерігається постійне зниження відносної ентропії, що є ознакою автогенної сукцесії.

Задача 3. Визначити показники динаміки за даними фітоценотичних таблиць.

Вид	Проективне покриття		Середнє значення показника динаміки для виду
Achillea submillefolium	1	1	3,97
Agrostis tenuis	2	1	8,86
Betula pendula	1	2	14,26
Chamaecytisus ruthenicus	1		8,54
Genista tinctoria	1	1	8,25

Розв'язання

1. Використовуємо формулу для визначення синфітоіндикаційного показника динаміки екосистем.

$$ST_e = \frac{ST_1 * k_1 + ST_2 * k_2 + \dots + ST_n * k_n}{k_1 + k_2 + \dots + k_n}$$

2. Здійснюємо розрахунки:

$$ST_e = \frac{3,97*1+8,86*2+14,26*1+8,54*1+8,25*1}{1+2+1+1+1} = 8,79$$

Повторюємо процедуру для другої екосистеми:

Відповідь: Синфітоіндикаційний показник динаміки екосистем рівний 8,79 балів для першої екосистеми та 9,92 балів для другої.

Задача 4. Визначити фітоценотичну структуру автотрофного блоку екосистем мезотрофних боліт. Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae: Caricetalia fuscae: Caricion fuscae: Calamagrostietum neglectae, Caricetum nigrae, Parnassio palustris-Caricetum fuscae; Scheuchzerietalia palustris: Stygio-Caricion limosae: Caricetum chordorrhizae, Caricetum diandrae, Caricetum heleonastes, Caricetum lasiocarpae, Sphagno recurvi-Eriophoretum angustifolii, Sphagno warnstorffii-Caricetum dioicae; Scheuchzerion palustris: Drepanoclado fluitantis-Caricetum limosae, Rhynchosporo albae-Sphagnetum tenelli, Drosero intermediae-Rhynchosporium albae, Polytricho communis-Molinietum caeruleae, Scheuchzerietum palustris, Sphagnetum fallaci-palustris, Sphagno fallacis-Calletum palustris, Sphagno fallacis-Phragmitetum australis, Carici canescentis-Agrostietum caninae, Sphagno recurvi-Caricetum rostratae, Carici echinatae-Sphagnetum, Menyantho trifoliatae-Sphagnetum teretis, Carici-Menyanthetum, Comarum palustre.

Розв'язання

1. Рахуємо угруповання, які належать до синтаксономічних одиниць різного рівня.

Порядки	Союзи	Асоціації
2	4	22

Відповідь: Угруповання автотрофного блоку екосистем мезотрофних боліт належать до класу Scheuchzerio palustris-Caricetea fuscae 2 порядків, 4 союзів, 22 асоціацій.

Задача 5. Визначити, які синтаксони автотрофних блоків належать до раритетних оселищ наведених в таблиці.

C1.3413	<i>Hottonia palustris</i> beds shallow water	Зарості <i>Hottonia palustris</i> на мілководдях
C1.4	Permanent dystrophic lakes, ponds and pools	Постійні дистрофні озера, ставки та водойми

Розв'язання

Використовуємо каталог оселищ України для встановлення автотрофних блоків раритетних оселищ

C1.3413	<i>Hottonia palustris</i> beds shallow water	Hottonietum palustris
C1.4	Permanent dystrophic lakes, ponds and pools	Littorelletea uniflorae . : Littorelletalia uniflorae . : Littorellion uniflorae . : Eleocharito-Littorelletum uniflorae, Ranunculo-Juncetum bulbosi, Isoëtetum lacustris; Sphagno-Utricularion: Scorpido-Utricularietum minoris, Sparganio minimi-Utricularietum intermediae

Відповідь: Для Оселища C1.3413 – Hottonietum palustris; для C1.4 – Littorelletea uniflorae, Littorelletalia uniflorae, Littorellion uniflorae, Eleocharito-Littorelletum uniflorae.

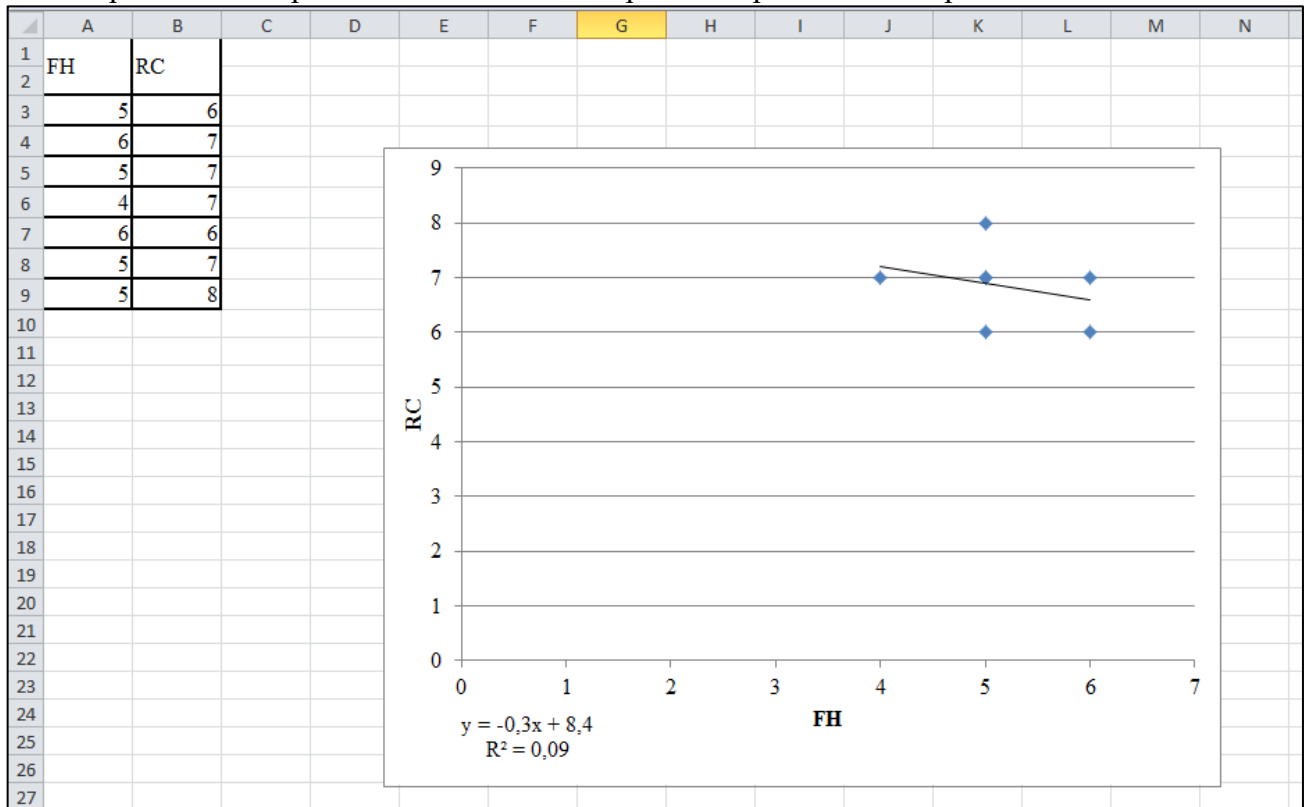
Задача 6. Побудувати модель лінійної залежності між показниками змінності зволоження та кислотності едафотопу

№ опису	HD	FH	SL	NT	RC
1	12	5	5	5	6
2	13	6	6	6	7
3	16	5	8	4	7
4	14	4	7	6	7
5	15	6	7	7	6

6	15	5	8	6	7
7	14	5	6	6	8

Розв'язання

1. Вибрати із запропонованої бази даних дані про змінність зволоження (FH) та режим кислотності (RC)
2. Внести в програму Excel.
3. Виділити діапазон даних і вставити точкову діаграму
4. Додати лінію тренду.
5. Обрати лінійну залежність
6. Обрати демонстрацію показника достовірності апроксимації та рівняння



Відповідь: рівняння що відображає цю модель $y = -0,3x + 8,4$, показник достовірності апроксимації $r^2 = 0,09$. Спостерігається обернено лінійна залежність.

Задача 7. Порівняти зв'язок між показником динаміки та рівнем антропогенної трансформації для двох типів екосистем

Екосистема 1		Екосистема 2	
ST	HE	ST	HE
5	7	12	4
6	8	11	5
7	7	10	6
8	8	13	4
2	9	12	6
4	9	11	5
5	9	14	4
6	6	13	5
4	8	12	4
5	8	14	5

Розв'язання

1. Вибрати із запропонованої бази даних дані для кожної із екосистем
2. Внести в програму Excel.

3. Виділити діапазон даних і вставити точкову діаграму
4. Додати лінію тренду.
5. Обрати лінійну залежність
6. Обрати демонстрацію показника достовірності апроксимації
7. Порівняти показники достовірності апроксимації

$$r^2_1=0,267; r^2_2=0,2422.$$

Відповідь: Зв'язок між показником динаміки та рівнем антропогенної трансформації в першій екосистемі сильніший, тому що її показник достовірності апроксимації більший.

Задача 8. Визначити тип найбільш ефективної моделі для опису взаємодії показників змінності зволоження та кислотності едафотопу

№ опису	HD	FH	SL	NT	RC
1	12	5	5	5	6
2	13	6	6	6	7
3	16	5	8	4	7
4	14	4	7	6	7
5	15	6	7	7	6
6	15	5	8	6	7
7	14	5	6	6	8

Розв'язання

1. Вибрати із запропонованої бази даних дані про змінність зволоження (FH) та режим кислотності (RC)
2. Внести в програму Excel.
3. Виділити діапазон даних і вставити точкову діаграму
4. Додати лінію тренду.
5. Почергово спробувати усі доступні моделі визначення залежностей між факторами
6. Порівняти показники достовірності апроксимації

$$r^2_{\text{лінійна}}=0,009; r^2_{\text{експоненційна}}=0,0958; r^2_{\text{логарифмічна}}=0,0811; r^2_{\text{поліноміальна}}=0,125; r^2_1=0,873$$

Відповідь: Найбільш ефективною є поліноміальна модель

Задача 9. До якої із трьох екосистем буде здійснено перехід за 10 років відновлення рослинності, якщо модель її динаміки описується формулою:

$$ST = 2t + \frac{5}{t}$$

Екосистеми	Показники динаміки
Calamagrostietum epigii	7
Cheledonio-Aceratum negundi	8
Galio veri-Aristolochietum cleidis	9

Навести графічні докази

Розв'язання

Підставляємо час від показники часу в формулу і отримаємо показник динаміки за цією формулою на десятій рік сукцесії.

Час (t)	Показник динаміки (ST)
10	20,50

Відповідь: Найближчі показники із переліку екосистем має Galio veri-Aristolochietum cleidis

Задача 10. Порівняти ефективність лінійної та логарифмічної моделі для взаємодії між фактором кислотності та багаторічного режиму зволоження

№ опису	HD	SL	FH	NT	RC
1	12	5	5	5	6
2	13	6	6	6	7
3	16	8	5	4	7
4	14	7	4	6	7
5	15	6	6	7	6
6	15	5	5	6	5
7	14	6	5	6	7

Розв'язання

1. Вибрати із запропованої бази даних дані про змінність зволоження (FH) та режим кислотності (RC)
2. Внести в програму Excel.
3. Виділити діапазон даних і вставити точкову діаграму
4. Додати лінію тренду.
5. Обрати по чергово лінійну та логарифмічну залежність
6. Порівняти показники достовірності апроксимації для обох залежностей

$r^2_{\text{лінійна}} = 0,0046$; $r^2_{\text{логарифмічна}} = 0,0038$;

Відповідь: Лінійна модель є більш ефективною, тому що її показник достовірності апроксимації вищий.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна:

1. Біляєв М. Моделювання і прогнозування стану довкілля : підручник для студентів вищих навчальних закладів / М. М. Біляєв, В. В. Біляєва, П. С. Кіріченко ; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна МОН України. - Кривий Ріг: Вид. Р. А. Козлов, 2016.- 207 с.
2. Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум. – Електронний навчальний посібник / Під ред. В.Б. Мокіна. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 84 с.
3. Моделювання та прогнозування стану довкілля: Курс лекцій. Для студентів денної форми навчання. Спеціальність 101 «Екологія» Освітньо кваліфікаційний ступінь «бакалавр». / Укладач: О.В. Рибалова. – Х: НУЦЗУ, 2016. - 221 с.
4. Системний аналіз та проектування ГІС. – Електронний навчальний посібник / Є. М. Крижановський, В.Б. Мокін, А.Р. Ящолт, Л.М. Скорина. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 127 с.
5. Теорія систем в екології : підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 330 с

Додаткова

1. Бех Х.О., Бовсунівська Т.М., Хом'як І.В. Відновлення трав'яного покриву лісових насаджень після дії пірогенного фактора // Матеріали ІІ всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку». Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 95-97.
2. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології. — К., 1993.
3. Божинська А.Б., Хом'як І.В. Відновлювана рослинність річки Тетерів в районі міста Радомишль. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 88
4. Бондар С.С., Хом'як І.В. Тератрансформаційні стратегії освоєння незаселених субстратів. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 16.
5. Голубець М. А. Екосистемологія. — Львів : Поллі, 2000. — 316 с.
6. Дідух Я.П. Популяційна екологія
7. Закон України про екологічну експертизу. — К., 1995.
8. Золенко І., Хом'як І.В. Перспективи використання *Tusilago farfara* L. з метою тератрансформації та рекультивації. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 32.
9. Ivan Khomiak, Oleksandr Harbar, Nataliia Demchuk, Iryna Kotsiuba, and Iryna Onyshchuk Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*, 2019, vol. 25, No 1 (57): 136–146.
10. Іванова Я., Хом'як І.В. Відновлювана рослинність на околицях кар'єрів Північнобрідського родовища габро . // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 100
11. Козин М.С., Хом'як І.В. Синтаксономічна та екозоологічна характеристика природного джерела «Кам'яний брід» . // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 104
12. Крисаченко В. С. Екологічна культура. — К., 1996.
13. Куліковська В.С., Хом'як І.В. Угрупування сегетальної рослинності центральної частини міста Житомир. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої

освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 93

14. Лаврик О.Д., Весельська Е.В., Хом'як І.В. Перспективи збереження ландшафтного біорізноманіття Словечансько-Овруцького кряжу шляхом створення національного природного парку. // Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку». Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 16-18.

15. Лещенко Д., Хом'як І.В. Рекультивацийний та тератрансформаційний потенціал *Carex hirta* L. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 54

16. Макарчук Н., Хом'як І.В. Відновлювана рослинність долини річки Жерев в районі села Білокоровичі. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 74

17. Макарчук Н.О. Хом'як І.В. Відновлювана природна рослинність долини річки Жерев. // Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку». Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 28-30.

18. Моделювання і прогнозування стану довкілля: Підручник / Лаврик В.І., Боголюбов В.М., Полетаєва Л.М., Юрасов С.М., Ільїна В.Г. / За ред. докт. техн. наук В.І.Лаврика. - К.: ВЦ «Академія», 2010. - 400с.

19. Мозговий Р., Хом'як І.В. Поширення далекосхідної гречки сахалінської *Falloria sachalinensis* (F.SCHMIDT) NAKAI. в місті Радомишль. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 57.

20. Підкаура Е., Хом'як І.В. Еколого-ценотичний профіль середньої течії річки Тетерів. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 35.

21. Соловійова А., Хом'як І.В. Поведінкові стратегії інвазійних видів рослин. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 44

22. Хижняк М. І., Нагорни А. М. Здоров'я людини та екологія. — К., 1995.

23. Хільчук В.В., Хом'як І.В. Оселища водних комахоїдних рослин околиць села білокоровичі. // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 21.

24. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Коцюба І.Ю., Ястребова Я.В. Еколого-ценотична характеристика популяції *Heraclеum sosnowskyi* Manden на території Центрального Полісся 2019. Екологічні науки № 1(24). Т. 2 . С. 126-129.

25. Хом'як І.В., Онищук І.П. Коцюба І.Ю., Брень А.Л., Шкилюк Ю.В. Рецензія на монографічне видання «Продромус рослинності України». 2020. Екологічні науки № 2(29). Т. 1 . С. 170-173.

26. Хом'як І.В. Адольф без бомби (чому математику важливо вчити усім). Світогляд.2020 № 6 (86)С. 69.

27. Хом'як І.В. Екологічні аспекти поширення бортництва на території Полісся / «Бортництво Полісся: архаїчна традиція у сучасному вимірі». Київ. Мистецтво. С. 135-139.

28. Хом'як І.В. Вплив інвазій видів-трансформерів на динаміку рослинності перелогів Українського Полісся. Біоресурси і природокористування. ТОМ 10, № 1-2 (2018). С. 29-35.

29. Хом'як І.В. Вплив умов середовища на напрям первинних сукцесій в районі виходів лесових порід Правобережного Полісся. Питання біоіндикації та екології. – 2015. – Вип. 20, № 1. - С. 35-46.

30. Хом'як І.В. Динаміка надземної фітомаси під час автогенних сукцесій на перелогах для території Правобережного Полісся. Екологічні науки. 2016. № 12-13. С. 33-39.
31. Хом'як І.В. Динаміка флори перелогів Українського Полісся. // ScienceRise:Biological Science – 2018, №1 (10). С 8-13.
32. Хом'як І.В. Нове місцезнаходження *Botrychium lunaria* (Ophioglossaceae) на території Центрального Полісся К. УБЖ №2. 2014. С. 206-208.
33. Хом'як І.В. Особливості антропогенного впливу на природну динаміку екосистем Українського Полісся. Екологічні науки. 2018. №1 (20) том 2. С. 69-73.
34. Хом'як І.В. Проблема екотону в класифікації екосистем. // Наукові записки НаУКМА. – 2011. Т119. С. 70-72.
35. Хом'як І.В. Фітоіндикаційна характеристика трансформації рослинних угруповань відновлюваної рослинності Центрального Полісся. // Екосистеми їх оптимізація та охорона. 2011. Вип. 5 (24). С. 58-65.
36. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз передклімаксичних стадій розвитку екосистем // Питання біоіндикації та екології – 2013. Вип. 18, №1. С. 20-29
37. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз ступеня трансформації екосистем Центрального Полісся. // Питання біоіндикації та екології – 2012. Вип. 17, №1. С. 3-11.
38. Хом'як І.В. Фітоіндикаційний аналіз трансформаційних процесів водно-болотних угідь. // Заповідна справа в Україні. – 2013. вип. 1. Т.19., С. 38-42.
39. Хом'як І.В. Характеристика асоціацій *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum carpeae* класу *Epilobietea angustifoliae* для Правобережного Полісся. УБЖ №4. 2016. С. 239-254.
40. Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. Екологічні науки. 2020, № 5 (32). Т. 1 . С. 136-141.
41. Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П. Динаміка відновлюваної рослинності піщаних кар'єрів Житомирського Полісся Екологічні науки. 2021, № 6 (39). С 204-207.
42. Хом'як І.В., Глобальні екологічні проблеми з точки зору астроекології. Екологічні науки. 2021, № 6 (39). С 154-157.
43. Хом'як І.В., Гринковська А.В., Весельська Е.В. Проблеми і перспективи синфітоіндикаційного аналізу меж та активності планетарних аномалій // Аномальні явища: методологія і практика досліджень: зб. наук. праць / під заг. ред. А.С. Білика. – К.: Знання, 2020
44. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Василенко О.М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. Екологічні науки. 2018. №3 (22). С. 113-118.
45. Хом'як І.В., Зарічна М.С., Демчук Н.С., Костюк В.С., Василенко О.М., Власенко Р.П., Гарбар Д.А. Вплив зарегулювання течії на динаміку екосистем річки Лісна (Житомирська область) Екологічні науки. 2021 № 2(35). С 45-48.
46. Хом'як І.В., Козин М.С., Коцюба І.Ю., Василенко О.М., Власенко Р.П. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. Екологічні науки. 2022. № 1 (40). С 28-32.
47. Хом'як І.В., Мшанецька В.В., Костюк В.С., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Андрійчук Т.В., Онищук І.П. Оцінка екоозологічного потенціалу території за допомогою аналізу синфітоіндикаційних моделей динаміки. Екологічні науки. 2020, № 6 (33). Т. 1 . С. 178-184.
48. Хом'як І.В., Онищук І. П. Поширення *Polystichum aculeatum* (L.) Roth. (*Dryopteridaceae*) на території Словечансько-Овруцького кряжу // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – 2018. – Том 1. – С. 48-51.
49. Хом'як І.В., Шамоніна М.І. Тераформативний потенціал представників роду осокові (*Carex*). // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і

молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 12.

50. Хом’як, І. В., Демчук, Н. С., Гарбар, Д. А. (2021) *Екосистемологія. Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт*. ЖДУ ім. І. Франка, Житомир. 62 с.

51. Хом’як, І. В., Костюк, В. С., Гарбар, О. В., Демчук, Н. С., Андрійчук, Т. В., Власенко, Р. П., Гарбар, Д. А., Онищук, І. П., Шпаковська, Л. В., Омельчук, М. О. (2021) Особливості розміщення оселищ із різним ступенем антропогенної трансформації. *Екологічні науки*. 2021, (7). pp. 67-71.

52. Хомяк І.В. Гарбар О.В. Никончук Є. Демчук Н.С. Гарбар Д.А. Еколого-ценотична характеристика популяції *Hedera helix* L. (Araliaceae) на території Словечансько-Овруцького краю. *Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin Series: Biological Sciences*, 2019, 3 (387). – С. 32-37.

53. Червона книга України: Рослинний світ. — К., 1996.

54. Червона книга України: Тваринний світ. – К.: 1994

55. Черняєва О.П., Золенко І.С., Лещенко Д.Є., Хом’як І.В., Відновлення природної рослинності на порушених екотопах – основа для тератрансформаційних моделей // *Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку»*. Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 56-59.

56. Черняєва О.П., Хом’як І.В. Тератрансформаційний потенціал *Elymus repens* (L.) GOULD. // *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 18.*

57. Юрковська О.М. Бовсунівська Т.М., Хом’як І.В. Цитостатичні властивості кореня борщівника сосновського // *Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку»*. Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 136-138.

58. Bren A., Khomiak I., Khomiak O. Application of a comprehensive analysis of renewable vegetation of sand quarries. // *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції” – Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 74*

59. Alexander King & Bertrand Schneider. *The First Global Revolution (The Club of Rome)*, 1993. p. 70

60. Bren A., Khomiak I., Khomiak O. Modern tendencies of changes of methodological approaches to studying of the restoration natural vegetation in post-mining areas // *Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку»*. Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 10-12.

61. History: 1968. Club of Rome. Retrieved 29 November 2017.

62. Kapets N. V. Barsukov O. O., Vynokurov D. S., Khomyak I. V. Pioneer lichen communities of the Teteriv River Basin (Ukraine). *Acta Botanica Hungarica* 2018. 60(3–4), pp. 331–355.

63. Khomiak I., Onishchuk I., Demchuk N. Phytoindicators of ecosystem dynamics in Ring-banc Ukrainian Polissia *ScienceRise:Biological Science*. – 2018 №4 (13) P. 25-30.

64. Khomyak I. V., Onischuk I. P., Kotsyuba I. Yu.. Ecological spectra of the most abundant Lumbricid (*Okigohaeta*, Lumbricidae) species of the Central Ukrainisn (Polissia) *Vestnik zoologii*, 50(6): 553–556, 2016

65. Meadows, Dennis. "30-Year Update of Limits to Growth finds global society in "Overshoot," Foresees social, economic, and environmental decline" (PDF). Club of Rome. Archived from the original (PDF) on 17 May 2008. Retrieved 30 September 2016.

66. Mesarovic, Mihajlo; Pestel, Eduard (1975). *Mankind at the Turning Point*. Hutchinson. ISBN 0-09-123471-9.

67. Oleksandr Harbar, Ivan Khomiak, Iryna Kotsiuba, Nataliia Demchuk and Iryna Onyshchuk. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Soc. ekol. Zagreb*, Vol. 30 (2021.), No. 3. P. 347-367.

68. Reviewed with summaries of chapters Mihram, Arthur. "Mankind at the Turning Point by Mihajlo Mesarovic and Eduard Pestel". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Jan. 1977, Pp.73-74, Author, P.O. Box 234, Haverford, PA 19041. doi:10.1109/TSMC.1977.4309596. S2CID 1032294. Retrieved 13 August 2019.
69. Simmons, Matthew R. (October 2000). "Revisiting The Limits to Growth: Could the Club of Rome Have Been Correct After All?" (PDF). Mud City Press. Retrieved 29 November 2017.
70. The First Global Revolution (Club of Rome) 1993 Edition. Scribd. 17 March 2008. Archived from the original on 26 October 2012. Retrieved 6 December 2012.
71. The First Global Revolution. The Green Agenda. 19 November 2005. Retrieved 6 December 2012.
72. The Predicament of Mankind (PDF). 1970. Archived from the original (PDF) on 3 February 2014. Retrieved 13 May 2016.
73. Vlasenko Ruslana, Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia (2020) Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa" (63 (1)). pp. 4-18.
74. Vlasenko Ruslana, Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia (2020) Lumbricides as a bio-indicators of the influence of electrical transmission line in the conditions of Ukrainian Polissia. Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa" (63 (1)). pp. 4-18.
75. Toni Camacho. "Professor Sven Erik Jørgensen". European Academy of Sciences. Retrieved May 1, 2020.
76. Einstein Professorship Program Chinese Academy of Sciences. Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences. Retrieved May 1, 2020.
77. Sven Erik Jørgensen and William J. Mitsc". Stockholm International Water Institute. Retrieved May 1, 2020.
78. About ISEM". International Society for Ecological Modelling. Retrieved May 1, 2020.
79. Sven Erik Jørgensen". Routledge & CRC Press. Retrieved May 1, 2020.
80. Brian D. Fath. "In Memoriam of Dr. Sven Erik Jørgensen". Retrieved May 1, 2020.
81. Ecological Models that Adapt", Denmark.dk, Retrieved May 4, 2009.

ДОДАТКИ

Фітоценотичні таблиці

Табл. А.1. Фітоценотична характеристика союзу *Lemnion minoris* (клас *Lemnetea*). Номери синтаксонів: *Lemnetum minoris* (1), *Lemnetum gibbae* (2), *Lemno-Spirodeletum polyrhizae* (3), *Spirodeletum polyrhizae* (4).

Номер опису	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Проективне покриття	85	90	95	80	95	90	80	80	80	75	75
Кількість видів	2	3	3	4	2	3	2	3	2	1	1
Номер синтаксону	1				2			3		4	
<i>Lemna minor</i>	5	5	5	4	4	1	1	2	.	.	.
<i>Lemna gibba</i>	.	.	1	.	.	5	4	.	1	.	.
<i>Spirodela polyrrhyza</i>	.	.	.	.	.	1	.	4	5	5	5
D.s. Cl. Lemnetea											
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Riccia fluitans</i>	.	2	1	.	.	.	.	1	.	.	.
D.s. Cl. Potametea											
<i>Ceratophyllum demersum</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton natans</i>	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Інші види											
<i>Polygonum amphibium</i>	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Equisetum fluviatile</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.

Табл. А.2. Фітоценотична характеристика союзів *Hydrocharition* та *Utricularion vulgaris* (клас *Lemnetea*). Номери синтаксонів: *Hydrocharitetum morsus-ranae* (1), *Lemno-Hydrocharitetum morsus-ranae* (2), *Lemno-Utricularietum* (3).

Номер опису	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проективне покриття	90	80	90	75	75	80	90	75	75
Кількість видів	3	2	1	2	3	2	3	2	1
Номер синтаксону	1			2		3			
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	5	5	5	4	4	.	.	.	.
<i>Utricularia vulgaris</i>	.	.	.			4	3	3	3
<i>Lemna minor</i>	.	.	.	2	1	1	1	.	.
D.s. Cl. Lemnetea									
<i>Spirodela polyrrhyza</i>	.	.	.			.	1	1	.
<i>Lemna gibba</i>	.	.	.		1	.	.	.	.
D.s. Cl. Potametea									
<i>Nuphar lutea</i>	2	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton natans</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Elodea canadensis</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.

Табл. А.3. Фітоценотична характеристика асоціацій класу *Potametea*
 Номери синтаксонів: *Potametum natantis* (1), *Nupharo lutei-Nymphaetum albae* (2),
Ceratophylletum demersi (3), *Potametum crispum* (4), *Potametum crispus* (5).

Номер опису	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Проективне покриття	75	75	70	75	70	80	70	85	90	75	90	70	75	70	85	90	70	60
Кількість видів	2	3	4	3	4	3	2	2	2	4	3	3	3	4	3	2	3	2
Номер синтаксону	1						2						3			4		5
<i>Potamogeton natans</i>	5	5	5	5	5	4	4	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.
<i>Nuphar lutea</i>	1	.	1	.	2	.	.	5	5	5	4	.	.	.	1	1	1	.
<i>Nymphaea alba</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	2	5	.	1	.	.	.	.
<i>Ceratophyllum demersum</i>	.	.	.	.	.	r	.	.	.	1	1	.	5	5	r	.	.	.
<i>Trapa natans</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	5	.	.
<i>Potamogeton crispus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	4
<i>Myriophyllum verticillati</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D.s. Cl. Lemnetae																		
<i>Lemna minor</i>	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Інші види	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Typha angustifolia</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.
<i>Carex vesicaria</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1
<i>Typha latifolia</i>	.	.	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Equisetum fluviatile</i>	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sparganium emersum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	.	r	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Табл. А.4. Фітоценотична характеристика асоціації *Scorpidio-Utricularietum minoris* (1) класу
Utricularietea intermedio-minoris.

Номер опису	1	2
Проективне покриття	90	95
Кількість видів	3	3
Номер синтаксону	1	
<i>Utricularia intermedia</i>	5	4
<i>Sphagnum sp.</i>	1	2
Інші види		
<i>Carex visicaria</i>	1	.
<i>Comarum palustre</i>	.	r

Табл. А.5. Фітоценотична характеристика асоціацій класу *Potametea* Номери синтаксонів: *Elodeetum canadensis* (1), *Hottonietum palustris* (2), *Batrachietum circinnati* (3), *Polygonetum amphibii* (4).

Номер опису	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Проективне покриття	75	75	80	70	85	75	75	90	80	95
Кількість видів	2	2	2	2	2	4	2	2	2	3
Номер синтаксону	1			2		3		4		
<i>Elodea canadensis</i>	5	5	5	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hottonia palustris</i>	.	.	.	5	4	.	.	.	.	.
<i>Batrachium aquatile</i>	.	.	.	.	.	5	4	.	.	.
<i>Polygonum amphibium</i>	.	.	.	.	.	.	.	5	5	4
D.s. Cl. Potametea										
<i>Nymphaea alba</i>	.	.	.	.	.	1	r	.	.	.
<i>Nuphar lutea</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
D.s. Cl. Lemnetea										
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lemna minor</i>	.	.	.	.	.	1	.	1	.	1
Інші види	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Typha latifolia</i>	.	1	.	.	.	1	.	.	1	.
<i>Carex vesicaria</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	+

Табл. А.6. Фітоценотична характеристика асоціації *Juncetum bufonii* (1) (клас *Isoëto-Nanojuncetea*)

Номер опису	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Проективне покриття	60	70	75	80	75	80	90	60	75	80	80
Кількість видів	3	3	3	3	5	8	6	2	2	3	5
Номер синтаксону	1										
D.s. Ass. Juncetum bufonii											
<i>Juncus bufonius</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
D.s. Cl. Bidentetea											
<i>Polygonum gydropiper</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	r	r
<i>Bidens tripartita</i>	1	1	1	1	1	r	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus sceleratus</i>	.	.	.	.	.	.	r	.	.	r	r
D.s. Cl. Plantagenetea											
<i>Plantago major</i>	.	.	.	2	2	2	1	.	.	.	.
<i>Poa annua</i>	.	.	.	2	2	.	1	.	.	.	.
<i>Ranunculus repens</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
Інші види											
<i>Juncus conglomeratus</i>	.	.	.	.	.	1	r	.	.	.	.
<i>Deschampsia caespitosa</i>	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Glyceria fluitans</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	r

Навчальне видання

ХОМ'ЯК Іван Владиславович

Моделювання та прогнозування стану довкілля

Конспект лекцій

Підп. до друку 30.06.2022.

Формат 60x84/16. Папір офсетний Гарнітура Times New Roman Суг. Друк різнографічний.

Ум. друк. арк. 4,5 Обл.-вид. арк. 15,8

Наклад 100 пр.

Зам. №

Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка

10008, м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 40

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ЖТ № 10 від 07.12.2004 р.

електронна пошта (E-mail): zu@zu.edu.ua