Use of methods of fuzzy logic in vegetation classification

1 author:

Igor V. Goncharenko
National Academy of Sciences of Ukraine

УДК 58.08+519.237

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В КЛАСИФІКАЦІЇ РОСЛИННОСТІ

І.В.Гончаренко,
Сумський державний педагогічний університет

Вступ

Рослинний покрив являє одну з динамічних складових біосфери, яка формує зовнішність і створює специфіку сухопутних біоценозів. Недетермінований характер організації підсистем рослинності не одного разу ставав приводом до абсолютизації ідеї континуума, пріоритету прагматизму в класифікації, можливості створення лише штучних класифікацій.

Синтаксон як номенклатурна одиниця певного екологічного типу фітоценозів за будь-якого підходу лишається абстракцією і предметом неодноразових ревізій в міру накопичення геоботанічних матеріалів. Якщо в плані оперування фітоценонами, доки дослідник обробляє власні польові матеріали, використовуються хоча б не загальновживані, але все ж певною мірою обґрунтовані кількісні критерії, то макросинтаксономія лишається виключно якісною, де домінуючу роль відіграють традиції та популярність.

В даній публікації ми покажемо, що синтаксон являє собою множину, яку можна описати в рамках теорії нечітких множин. Нечітка логіка або теорія нечітких множин (ТНМ) спеціально розроблялася для дослідження об'єктів, де неможлива абсолютна істинність чи неістинність тверджень. Таких ситуацій у навколишньому нашому житті велика кількість. Справді, чи можна, наприклад, сказати про чоловіка якому 50 років, що він «старий»? Чи можна стверджувати про воду, що вона «гаряча», якщо нагріта до 60 градусів? Перелік прикладів можна нескінченно продовжувати. Рослинність через специфіку своєї організації є якраз тим об'єктом, де ми весь час користуємося «нечіткими» поняттями. Що таке «волога» лука»? Де межа між «лучним степом» та «остепненою лукою»? Чи є *Fragaria viridis* лучним видом? А може степовим чи узлісним?

З півсторіччя тому дискусії навколо «нечітких» понять ботанічної науки були настільки гострими, що викликали полеміку на рівні цілих наукових шкіл, але, як виявилося, були й такими ж безплідними. Континуалізм, градієнтні підходи нівелюють гостроту цієї проблеми постулатом про відсутність меж між «нечіткими» поняттями і штучність будь-яких класифікацій. Але незастосування методів класифікації рослинності не є вирішенням проблеми і логіка людського пізнання однак поверне нас до класифікаційний підходів у вивченні рослинності. Отже, якщо природну «нечіткість» рослинного покриву перебороти не можливо, нею треба скористатися, взяти її за саму основу класифікації. І тут на допомогу приходить апарат ТНМ.

Світ нечіткої логіки

Як відомо, класична (модальна) логіка оперує тільки з двома поняттями: істина і неістина (хибність). В класичній теорії множин, заснованій на модальній логіці, непуста множина **A** із універсальної множини U однозначно визначається характеристичним функціоналом, що приймає значення 1 для всіх елементів, що мають певну спільну властивість, та 0, якщо вони її не мають (рис. 1).

Однак мі ж цими двома значеннями лежить безліч ситуацій, коли не можна чітко сказати ні про істинність судження, ні про його хибність. Розглянемо класичний приклад – вік людини. Нехай маємо універсальну множину U, до якої належать окремі індивіди, і параметр визначення підмножини X – вік. Тоді нечітка підмножина «старий» однозначно визначена в інтервалі 80-100 років, але чи людина, котрій 55 років, належить до підмножини X «старий»? Вочевидь, що з'ясувати це, користуючись двома поняттями істина і неістина, неможливо. Тому кожній людині ми повинні призначити ступінь членства в нечіткій підмножині «старий» і найпростіший спосіб це зробити – скористатися функцією, заснованій на віці людини. Нехай математично ця функція членства має наступний вираз: $\mu_{A(\text{старий},\, x)} =$ {0, x<=50; (1+((x-50)/5)^-2)^-1, 50<x<=100}, де $\mu_{A(x)}$ – функція належності елемента (людини) віку x до множини «старий», котра приймає значення 0, доки вік людини не перевищує 50, та від 0 до 1 у віці від 51 до 100 років. Підставляючи значення віку людини, одержимо наступний розподіл $\mu_{A(x)}$ (табл. 1).

Таблиця 1. Розподіл функції членства у множині «молодий» в залежності від віку

Ім'я	Вік (x)	Ступінь молодості $\mu_{A(x)}$
Микола	51	0.04
Євген	52	0.14
Сергій	55	0.50
Ганна	56	0.59
Віктор	59	0.76

Продовження таблиці 1

Роман	60	0.80
Ігор	63	0.87
Геннадій	65	0.90
Вікторія	66	0.91

Таким чином можна стверджувати, що ступінь істинності твердження «Євген – старий» становить 0,14. Це класичні підходи ТНМ [1-5].

Різницю чіткої та нечіткої логіки показано на рис. 1

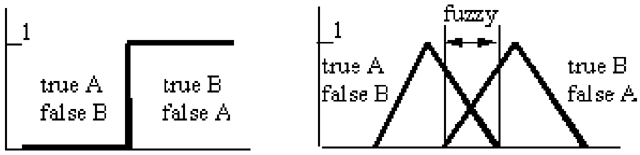

Рис. 1. Розподіл функцій членства у моделях модальної (зліва) і нечітко-логічної множин (справа)

Як бачимо на рис. 1 зліва, значення функції належності різко змінює значення з 0 (неістина) на 1 (істина). Це приклад прийняття рішень у чіткій модальній логіці. Але набагато частіше трапляються у житті випадки, де в межах певного діапазону значень ми не можемо застосувати ні поняття «істина» і «неістина», що демонструє ситуація на рис. 1 справа. В діапазоні «fuzzy» не можна дати чіткої відповіді про належність елемента множині А чи В.

Вперше термін «нечітка логіка» (fuzzy logic) був введений професором Каліфорнійського університету Лотфі Заде (Lotfi A. Zadeh) в 1965 році в роботі «Нечіткі множини» (Fuzzy Sets), яка була опублікована вперше в журналі «Інформатика і управління», а в подальшому перекладена на російську мову [4].

Нечітка логіка – це модифікація стандартної (Булевої) логіки, що була розширена для обробки понять часткової правди, тобто значень між «цілком вірний» і «цілком помилковий». Назва вказує, що логіка оперує наближеними міркуваннями. Більшість явищ, що нас оточують, носять наближений характер і тому важливість нечіткої логіки не викликає сумніву.

Основними принципами Л. Заде є наступні:

- Точне міркування – окремий випадок приблизного міркування.
- Будь-яка логічна система може бути фазифікована, тобто зведена до нечіткої.
- В нечіткій логіці знання – сукупність нечітких правил.
- Логічний висновок розглядається як процес узгодження (композиції) нечітких правил.

З появою нечіткої логіки з'явилися поняття «нечіткі системи», «нечіткі рішення», «м'які обчислення», «нечітке управління», «нечіткий дескриптор», «нечітка класифікація» і т.п. Останнього часу особливо інтенсивно цей напрямок розвивається в Японії і США.

Нечітка логіка має переваги над класичною, коли:

- досліджуються складні, багатофакторні процеси;
- вихідна інформація є неточною або неповною;
- наявні експертні дані для випадків чіткого «так» і чіткого «ні», але між ними є переходи.

Основні поняття теорії нечітких множин (ТНМ)

Нечітка множина – будь-яка множина, елементи якої мають ступені належності в інтервалі [0,1]. При цьому 0 і 1 являють відповідно нижчий і вищий ступінь належності елемента до множини. *Одноелементною* нечіткою множиною називають нечітку множину, що складається всього з одного елементу.

Нечітку множину можна записати у вигляді: $A = \{\mu_{A(x)}/x\}$, де $x_1, x_2 \ldots x_n$ – елементи множини, $\mu_{A(x)}$ – функція належності для кожного елемента. Наприклад, $A = \{0{,}3/x_1 + 0{,}21/x_2 + 1/x_3 + 0{,}5/x_4 + 0/x_5\}$, де знак «+» означає не додавання, а об'єднання.

Висота нечіткої множини – верхня межа функції належності. В більшості випадків вона дорівнює 1, і тоді говоримо про нормальну нечітку множину. Будь-яку субнормальну нечітку множину можна нормалізувати одиницею, тобто привести до нормальної множини.

Непустою множиною називається нечітка множина, якщо хоча б для одного її елемента справджується $\mu_{A(x)}>0$.

Носієм нечіткої множини – називають множину із елементів з ненульовою функцією належності $A = \{\mu_{A(x)}/x,\ \mu_{A(x)}>0,\ x \in E\}$.

Чіткою множиною α-рівня називають підмножину, функція належності елементів якої більша порогового рівня α: $A_\alpha = \{\mu_{A(x)}/x,\ \mu_{A(x)}> \alpha,\ x \in E,\ \alpha<=1\}$.

Як бачимо, центральним поняттям ТНМ є функція належності. Найбільш розповсюдженими є трикутні, трапецієподібні, гауссовські і дзвіноподібні функції належності. На рис. 1 справа фактично було показано приклад трикутних функцій належності для двох нечітких множин.

Існує також значна кількість опосередкованих методів визначення функцій належності. Зокрема, якщо множина не має параметрів, котрі піддаються прямим вимірам, наприклад, тип темпераменту чи рівень інтелекту і т.п., можливе застосування методу попарних порівнянь, при цьому експерт формує матрицю відношень чи подібності $A = \{a_{ij}\}$. Можливе використання відносних частот безпосередньо в якості функцій належності. Головне при цьому, що функція належності повинна відображати реальну сутність явища і найкраще підходити для даної предметної галузі, маючи свої значення в діапазоні [0;1].

<u>Логічні операції над нечіткими множинами</u>

Над нечіткими множинами можна здійснювати логічні операції подібні, до операцій класичної логіки. Якщо A і B – дві нечітких множини, то:

- *включення* множини A в B з функціями належності $\mu_{A(x)}$ і $\mu_{B(x)}$ відповідно спостерігається лише за умови $\mu_{A(x)} <= \mu_{B(x)}$ для всіх елементів множини A, позначається $A \subset B$;
- *рівність* множин A і B з функціями належності $\mu_{A(x)}$ і $\mu_{B(x)}$ відповідно справджується за умови, якщо для всіх елементів множин A і B $\mu_{A(x)} = \mu_{B(x)}$;
- *об'єднання*: функція належності для об'єднання двох нечітких множин A і B з функціями належності $\mu_{A(x)}$ і $\mu_{B(x)}$ відповідно визначається як максимум із двох індивідуальних функцій належності (критерій максимуму): $\mu_{A \cup B(x)} = \max (\mu_{A(x);}\ \mu_{B(x)})$, позначається $A \cup B$. Операція об'єднання в теорії нечітких множин – еквівалент операції OR у Булевій алгебрі;
- *перетинання*: функція належності перетинання двох нечітких множин A і B з функціями належності $\mu_{A(x)}$ і $\mu_{B(x)}$ відповідно визначається як мінімум із двох індивідуальних функцій належності (критерій мінімуму): $\mu_{A \cap B(x)} = \min (\mu_{A(x);}\ \mu_{B(x)})$, позначається $A \cap B$. Операція перетинання в теорії нечітких множин – еквівалент операції AND у Булевій алгебрі;
- *доповнення*: функція належності доповнення нечіткої множини A з функцією належності $\mu_{A(x)}$, визначається як $\mu_{B(x)} = 1 - \mu_{A(x)}$ (критерій заперечення), позначається $B = \bar{A}$. Операція доповнення в теорії нечітких множин – еквівалент операції NOT у Булевій алгебрі;
- *різниця*: функція належності різниці двох нечітких множин A і B з функціями належності $\mu_{A(x)}$ і $\mu_{B(x)}$ відповідно визначається як $\mu_{B-A(x)} = \min (\mu_{B(x)\,;}\ 1 - \mu_{A(x)})$, позначається B – A. Неважко здогадатися, що $B - A = B \cap \bar{A}$;
- *диз'юнктивна сума*: функція належності диз'юнктивної суми двох нечітких множин A і B з функціями належності $\mu_{A(x)}$ і $\mu_{B(x)}$ відповідно визначається як $\mu_{B \oplus A(x)} = \max (\min (1 - \mu_{A(x)};\ \mu_{B(x)});\ \min (\mu_{A(x)};\ 1 - \mu_{B(x)}))$, позначається $A \oplus B$.

Логічні операції над нечіткими множинами можна відобразити графічно (рис. 2). Такий їх запис дозволяє чітко уявити сутність логічних операцій над нечіткими множинами.

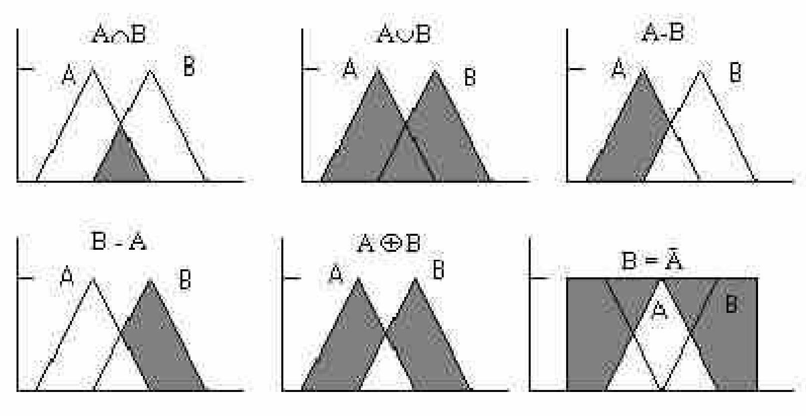

Рис. 2. Графічне відображення логічних операцій над нечіткими множинами

Якщо A, B, C – нечіткі множини, то логічні операції над ними мають наступні властивості:

- $A \cup B = B \cup A$, $A \cap B = B \cap A$ – *комутативність*;
- $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$, $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$ – *асоціативність*;
- $A \cup A = A$, $A \cap A = A$ – *ідемпотентність*;
- $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$, $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ – *дистрибутивність.*

<u>Арифметичні операції над нечіткими множинами</u>

Над нечіткими множинами можна здійснювати арифметичні операції, подібні до звичайних арифметичних операцій додавання, суми і т.п. Арифметичні операції над нечіткими множинами зводяться до операцій з їх функціями належності. До основних операцій належать:

- *добуток* множин A і B, позначається як A*B визначається як добуток їх функцій належності $\mu_{A*B(x)} = \mu_{A(x)} * \mu_{B(x)}$;

ü алгебраїчна *сума* множин A і B, позначається A + B, визначається $\mu_{A+B(x)} = \mu_{A(x)} + \mu_{B(x)} - \mu_{A(x)} * \mu_{B(x)}$;
ü операція *концентрування* множини A рівнозначна зведенню до степені функції належності елементів CON A = A^2;
ü операція *розтягування* множини A рівнозначна знаходженню кореня DIL A = $A^{0,5}$.

Лінгвістична змінна

Поняття «лінгвістичної змінної» використовується при характеристиці процесів та явищ за допомогою теорії нечітких множин. По Л. Заде значення лінгвістичної змінної – це фрази або речення у простій, природній мові, котрі є символами нечітких підмножин. Інакше кажучи, лінгвістична змінна – це нечітка характеристика чи властивість, котра є об’єктом аналізу, а її значення (терми) – позначають підмножини, що виділяються. Наприклад, лінгвістична змінна вік може приймати терми – «молодий», «немолодий», «старий», «не дуже старий» і т.п. При семантичному аналізі нечітких множин Л. Заде пропонує розрізняти наступні категорії:

ü первинні терми (молодий, старий);
ü заперечення «не»;
ü союзи «і» та «або»;
ü модифікатори «дуже», «багато», «більш», «менш»;
ü маркери, що полегшують семантичний аналіз тексту.

Кожен складний терм можна розкласти на ряд простіших. Можливий також процес утворення нових термів. Наприклад, нехай відомо, що лінгвістична змінна вік для терму «старий « є нечіткою множиною $A = \{0,1/x_1 + 0,4/x_2 + 0,6/x_3 + 0,7/x_4 + 1/x_5\}$.

Розглянемо логіку утворення терму «не дуже великий і не дуже малий». Для чіткості синтаксичного аналізу терму запишемо його наступним чином:

«не дуже великий і не дуже малий» = «(не(дуже(великий)) Ç (не (дуже (1-великий))» = «(не (великий)^2) Ç (не (1-великий)^2)» = «(1 – (великий)^2) Ç (1 – (1-великий)^2)»,

оскільки модифікатори «дуже» еквівалентні операції концентрування нечіткої множини, заперечення «не» описує нечітку множину, що утворюється в результаті логічної операції доповнення із вихідної, а союз «і» позначає перетинання двох множин. Тоді:

$A_{»великий»}$: $A = \{0,1/x_1 + 0,4/x_2 + 0,6/x_3 + 0,7/x_4 + 1/x_5\}$
$A_{»не\ великий»} = A_{»малий»}$: $A = \{0,9/x_1 + 0,6/x_2 + 0,4/x_3 + 0,3/x_4 + 0/x_5\}$
$A_{»дуже\ великий»}$: $A = \{0,01/x_1 + 0,16/x_2 + 0,36/x_3 + 0,49/x_4 + 1/x_5\}$
$A_{»не\ дуже\ великий»}$: $A = \{0,99/x_1 + 0,84\ /x_2 + 0,64/x_3 + 0,51/x_4 + 0/x_5\}$
$A_{»дуже\ малий»}$: $A = \{0,81/x_1 + 0,36/x_2 + 0,16/x_3 + 0,09/x_4 + 0/x_5\}$
$A_{»не\ дуже\ малий»}$: $A = \{0,19/x_1 + 0,64\ /x_2 + 0,84/x_3 + 0,91/x_4 + 1/x_5\}$
$A_{»не\ дуже\ великий\ і\ не\ дуже\ малий»}$: $A = \{0,19/x_1 + 0,64\ /x_2 + 0,64/x_3 + 0,51/x_4 + 0/x_5\}$

Якщо розглянути розподіл функцій належності на графіках для згаданих множин (рис. 3), то помітно, що функція належності підмножини $A_{»великий»}$ збільшується, приймаючи значення 1 при максимальному значенні 5, навпаки для множини $A_{»малий»}$ зменшується, а терм $A_{»не\ дуже\ великий\ і\ не\ дуже\ малий»}$, одержаний в результаті сукупності синтаксичних перетворень вихідних термів «великий» і «малий» з використанням ТНМ, має максимум в середній частині графіка, зменшуючись до обох кінців.

Отже, семантичне значення цілком співвідноситься із одержаним формально розподілом функції належності для похідного терму $A_{»не\ дуже\ великий\ і\ не\ дуже\ малий»}$: номінальні значення 2 і 3 із 5 максимально можливих дійсно вкладаються в поняття «не дуже великий і не дуже малий» і мають максимум функції належності (рис. 3). Якщо так, то обґрунтованість термоутворення доведено.

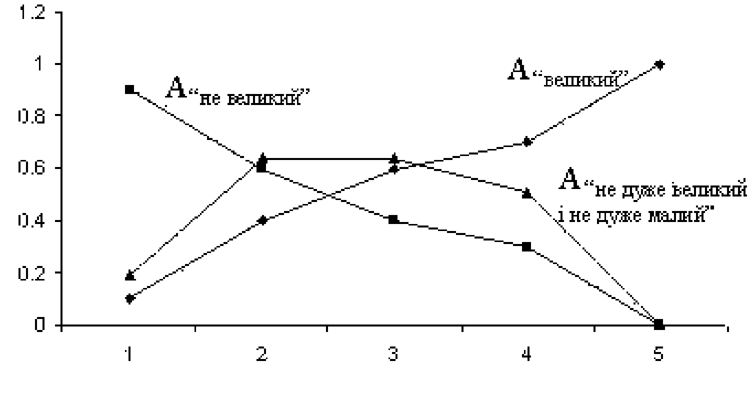

Рис. 3. Розподіл значень ценотичної належності для трьох термів лінгвістичної змінної

Нечіткі рішення, фазифікація, дефазифікація

Нечіткі рішення – це рішення, що приймаються на основі нечіткої логіки.

Саме цей аспект має велике практичне значення для побудови автоматизованих систем, що приймають рішення відповідно до значень вхідних сигналів із урахуванням сукупності правил «if … then…». Таких задач величезна кількість, зокрема, дослідження в сфері фінансів, психології, медицини, біології – всюди, де зустрічаємо недетерміновані системи і працюємо з поняттями «випадковості, можливості, імовірності, очікування».

Нечіткість – невід'ємна властивість таких систем, тому можливо створення лише нечіткого класифікатора, на основі якого приймаються нечіткі рішення. Вони в найбільшій мірі природні і відповідають ходу міркувань людини, оскільки ми найчастіше користуємося твердженнями типу «скоріш за все знизиться…», «ймовірно буде…» і т.п., а нечітка логіка до процесу прийняття таких рішень додає формалізований алгоритм.

Процес прийняття рішень в нечітких умовах має 3 етапи:

- Фазифікація. Згідно Л. Заде, будь-яка система може бути фазифікована, тобто описана через функції належності, де відсутність властивості – частковий випадок з функцією належності 0. На цьому етапі функції належності використовуються до номінальних значень вхідних змінних для визначення ступеня істинності кожного правила. Нехай маємо сукупність із 5 індивідів, причому їх вік I = {10/x_1; 80/x_2; 25/x_3; 41/x_4; 15/x_5}. Нас цікавить проблема: «чи можна дану групу людей назвати молоддю»? Вочевидь, таку задачу стандартними методами вирішити неможливо. Застосуємо функції належності для лінгвістичної змінної вік, запропоновані Л. Заде у його класичній роботі:
  - для терму «молодий» у вигляді $\mu_{A(\text{молодий},\ x)}$ ={1, x<=25; (1+((x-25)/5)^2)^-1, 25<x<=100};
  - для терму «старий» $\mu_{A(\text{старий},\ x)}$ ={0, x<=50; (1+((x-50)/5)^-2)^-1, 50<x<=100};
  - терм «середнього віку» не взятий до уваги, тому для створення нечіткої множини «середнього віку» = «не молодий і не старий» = «не (молодий) ∩ не (старий)».

  На рис. 3 показано розподіл функцій належності для кожної з трьох нечітких множин, позначених термами «молодий», «середнього віку», «старий».

  Визначаємо за номінальними значеннями віку для кожного з індивідів: $A_{\text{»молодий»}}$ = {1/x_1; 0,01/x_2; 1/x_3; 0,1/x_4; 1/x_5}; $A_{\text{«старий «}}$ = {0/x_1; 0,97/x_2; 0/x_3; 0/x_4; 0/x_5}; $A_{\text{»середнього віку»}}$ = {0/x_1; 0,03/x_2; 0/x_3; 0,9/x_4; 0/x_5}.
- Логічний вивід – метод, за яким розраховується істинність судження для кожного із правил: яка ймовірність, що довільно взятий із генеральної сукупності I індивід буде належати до підмножин «молодий», «старий», «середнього віку»? Звичайно, що чим більші функції належності кожного із індивідів до відповідної підмножини, тим істинність судження про належність довільно взятого індивіда до цієї групи вища. В нашому випадку маємо три групи правил: $I_{(x)}$ → «молодий», $I_{(x)}$ → «старий», $I_{(x)}$ → «середнього віку». Традиційно для логічного виводу використовуються операції min (мінімум) і prod (добутку). Згідно зі стратегією «min»: $I_{(x)}$ = {0,01/$_{\text{молодий}}$; 0/$_{\text{середнього віку}}$; 0/$_{\text{старий}}$}; за стратегією «prod»: $I_{(x)}$ = {0,001/$_{\text{молодий}}$; 0/$_{\text{середнього віку}}$; 0/$_{\text{старий}}$}.
- Чіткий вивід або фазифікація здійснюється здебільшого як розрахунок центру тяжіння геометричної фігури, одержаної відсіканням за мінімальним рівнем належності $I_{(x)}$ для кожної з груп. Існує декілька евристичних алгоритмів, зокрема центроїдний метод, за якого ступені істинності кожного з правил використовуються в якості вагових коефіцієнтів при номінальних значеннях.

На рис. 4 показано логіку етапів прийняття нечітких рішень.

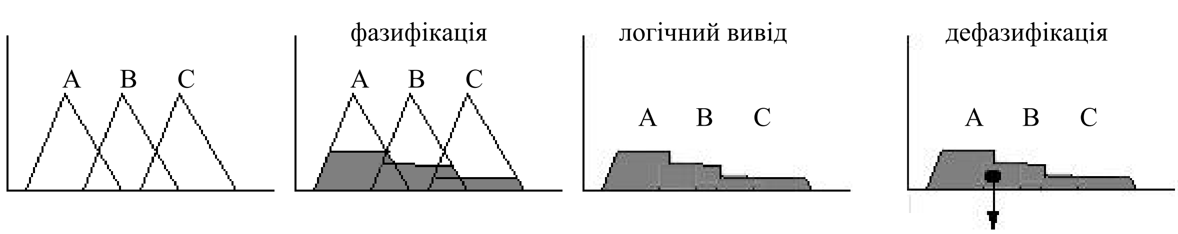

Рис.4. Етапи прийняття рішень із застосуванням нечіткої логіки

Таким чином, маємо fuzzy-систему множин A, B, C з відповідними трикутними функціями належності (рис. 4). Етап фазифікації полягає у перетворенні номінальних значень у значення функції належності. Оскільки номінальні значення утворюють вісь абсцис, а належності – вісь ординат, задача полягає у знаходженні ординат для кожної із множин. Логічний вивід проводиться через відсікання за критерієм «min» (рис. 4). Дефазифікація, власне процес прийняття рішення, проводиться через знаходження центру тяжіння відповідної фігури. В нашому випадку можемо стверджувати про найбільшу належність явища до множини А, найменшу – до С. Фактично в такій формі можна виразити всі нечіткі рішення. Як бачимо, стверджувати про належність тільки до А чи В проблематично («належить» чи «не належать»), мова може йти лише про «часткову» або «переважну» належність.

Отже, нечітка логіка – досить стрункий апарат, спеціально пристосований до обробки явищ часткової істини, з якими ми постійно стикаємося при вивченні складних і багатофакторних систем і процесів. Вона дозволяє математично описати нечіткі множини і визначити імовірність відношення до них елементів через функцію належності. Важливо, що процес утворення нових термів та логічних операцій із нечіткими множинами є обґрунтованим в ТНМ і мінімізує суб'єктивність. Нечіткі рішення, як варіант задачі розпізнавання образів, дозволяє проектувати системи для вирішення складних завдань за сукупністю правил, при цьому процес логічного умовиводу максимально моделює людські міркування.

Аналогії нечітких множин у фітоценології

Не важко помітити, що розглянуті в попередньому розділі переваги ТНМ для описання складних, багатофакторних процесів, цілком співвідносні з проблемами в класифікації рослинності. Головною причиною того, що створити досконалу і стабільну класифікаційну систему рослинності не можливо, вважають континуальність, тобто поступову зміну параметрів рослинного покриву і наявність всього спектру переходів між «типовими» станами рослинності. Але що вважати за «типовість»? Чому один фітоценоз вважається «типовим», а інший – ні? І що таке «перехідне угруповання»? А можливо саме воно є «типовим»? І хіба рослинність – єдиний об'єкт, якому притаманна континуальність в широкому розумінні?

Якщо говорити про можливості виділення фітоценонів всередині окремої вибірки первинних геоботанічних матеріалів, дійсно, головна проблема – континуальність. Саме ця проблема ускладнює проведення межі між одним фітоценоном і сусіднім та вносить в цей процес певну долю суб'єктивізму. Але після оформлення фітоценону ми намагаємося віднести його до певного синтаксону, і тут, з переходом на макросинтаксономічний рівень, змінюється вся логіка процесу класифікації, відбувається перехід від індукції до дедукції, від континуальності до нечіткості. Фактично ця частина загальної процедури класифікації ніяк не уніфікована, бо не існує загальновживаних критеріїв, котрі б визначали співвідносність виділеного фітоценону із певним синтаксоном. Головна проблема полягає в тому, що на цьому рівні визначальною є не континуальність реального градієнту, не умовність меж між виділеними фітоценонами, а нечіткість самих синтаксонів, тобто того об'єкту до якого ми намагаємося віднести ці фітоценони. Як наслідок, виявляється неможливим однозначно вирішити задачу розпізнавання фітоценон «належить – не належить».

Повернемося до прикладу, згаданого на початку публіакції. Як правильно дати екологоценотичну характеристику *Fragaria viridis* – «лучний», «узлісний», «степовий», «лісовий»? Якщо така невизначеність супроводжується до того ж відсутністю формальних правил прийняття рішень: «чи є даний фітоценон частиною певного синтаксону», то чи можна сподіватися на стабілізацію синтаксономії? Вочевидь, що в умовах нечіткості можна прийняти лише нечіткі рішення, нечіткість не можна здолати – нею можна лише скористатися. Все це свідчить про неможливість досягти стабілізації макросинтаксономічної системи традиційним шляхом, навіть після повного обстеження рослинності. Необхідні нові підходи: яким би не був фітоценон – «перехідним» чи «типовим», значущість його однакова; будь-який фітоценоз чи фітоценон частково належить до всіх синтаксонів одночасно, а належність з характеристичною функцією 0 – лише окремий випадок належності. Отже, ми стикаємося з класичною проблемою нечіткої логіки – існування нечітких множин, нечітких рішень і часткової істини.

Мовою нечіткої логіки синтаксон являє терм лінгвістичної змінної «ценотична належність». Пригадаємо, що лінгвістична змінна «вік» має терми «молодий», «старий» і т.п., що є символами відповідних нечітких множин. Аналогічно синтаксон – це символ, що позначає нечітку множину, представлену видами з певним ступенем сумісного трапляння. Власне нечітка множина – ценофлора відповідного синтаксону. Інакше кажучи, ценофлора – нечітка множина елементів-видів, кожен з яких має часткову ступінь членства в її складі (функція належності) в інтервалі [0; 1]. Кожна ценофлора має відповідний терм, що являє звичну синтаксономічну назву. Недарма, синтаксономічні назви деколи вважають умовним «ярликом» до певного типу фітоценозів, терм, як символ нечіткої множини, ідеально співвідноситься з таким прототипом «ярлика». На ценофлори і синтаксони, що їх позначають, поширюються принципи нечіткості, а задача розпізнавання образів, тобто віднесення фітоценону до певного синтаксону, нагадує процес нечітко-логічного умовиводу.

Саме створення теорії нечітких множин, її популярність та широкий практичний вжиток доводять, що нечіткість перебороти неможливо, можна лише її використати. Отже від розуміння випадку утрудненого розпізнавання синтаксономічної належності фітоценону як породженого його перехідним характером – до бачення цієї ситуації як звичної, як наслідку належності до декількох нечітких множин одночасно. Це означатиме перехід від парадигми континуальності до розуміння цих явищ як нечітко-логічних, до оперування ймовірностями і побудови макросинтаксономічної системи на основі функцій часткової належності.

Функція ценотичної належності

Згідно Л. Заде, в нечіткій логіці – все питання ступеня, тобто ступеня належності, членства. Нечітка логіка накладає на функцію належності наступні обмеження:

- функція належності приймає значення від 0 до 1;
- функції належності двох нечітких множин однієї лінгвістичної змінної повинні мати зворотну залежність;
- доцільність вибору тієї чи іншої функції належності визначається специфікою предметної галузі.

Якщо нечітка множина – ценофлора, а її елементи – види, то функція належності повинна відображати взаємозв'язок виду і ценофлори. *Ценотична належність* – це екологічно, ценотично і математично ґрунтовний критерій, що оцінює участь виду у флористичному складі певного типу угруповань (синтаксоні), характеризує його фітосоціологічну «типовість» і пропорційний ступеню взаємоперекривання амплітуди виду і синтаксону.

Для розрахунку ступеня фітосоціологічної «типовості» ми скористалися коефіцієнтом, розрахованим на основі константності і характерності виду. Детально обговорення техніки розрахунку ценотичної належності буде висвітлено в іншій статті.

Враховуючи сказане, розрахунок константності будь-якого виду у флористичному складі синтаксону здійснюємо по відношенню до константності найбільш константного виду (вид максимального трапляння). У кожного синтаксону цей вид виявиться відмінним, але величина макросинтаксономічної константності завжди лежить в межах від 0 до 1. Цим досягається нормалізація макросинтаксономічної матриці по горизонталі – різні синтаксони відрізняються за багатством свого флористичного складу, але максимум k дорівнює 1. Максимальна амплітуда синтаксону визначається за траплянням найбільш константного виду (максимальним траплянням), для якого k = 1.

$k = V_{Aa} / \max (V_{Aa}; V_{Ab}; V_{Ac}; V_{Ax})$. (формула 1)

Макросинтаксономічна характерність – це відношення частини амплітуди виду в даному синтаксоні до загальної амплітуди виду. *Амплітуда виду визначається за сумою «фрагментів» його амплітуди в усіх синтаксонах одного ієрархічного рівня*. Через характерність проводиться нормалізація макросинтаксономічної матриці по вертикалі: різні види відрізняються за величиною своєї екологічної амплітуди, але сума значень характерності в межах усіх синтаксонів для всіх видів складатиме 1.

$x = V_{Aa} / (V_{Aa} + V_{Ba} + V_{Ca} + V_{Xa})$. (формула 2)

Для розрахунку ценотичної належності виду щодо синтаксону пропонуємо три можливі математичні реалізації:

$p = (k*x)^{0,5}$, (формула 3.1)
$p = (k+x)/2$, (формула 3.2)
$p = x*k + k*x/(k+x) = 2*k*x/(k+x)$, (формула 3.3)

Ми віддаємо перевагу розрахунку ценотичної належності за середнім геометричним константності і характерності (формула 3.1).

Наприклад 12, 10, 24 – умовна «широта» трьох синтаксонів, а 6, 2 та 12 – частини амплітуди виду *a* в межах кожного із синтаксонів. Тоді найбільше значення належності тут: $p = (0.5*0.6)^{0,5} = 0,55$.

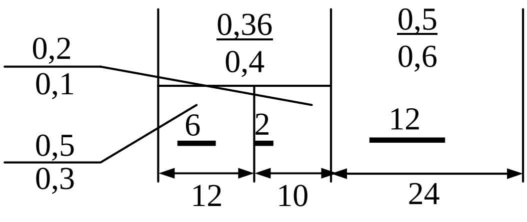

Рис. 5. Розрахунок ценотичної належності (приклад)

Належність приймає значення від 0 до 1 із дзвіноподібним розподілом значень. Вона відображає ступінь взаємозв'язку «вид-синтаксон», при цьому кожен вид характеризується набором значень належності щодо кожного із синтаксонів. Відповідно фітоценоз, як сукупність таких видів, також має певну належність щодо кожного синтаксону і лише в ідеальному випадку, коли значення належності 1 лише для одного синтаксону, а для всіх інших – 0, макросинтаксономічна система буде модальною, в інших випадках – нечітко-логічною.

Синтаксон як «нечітка» флористична множина

Покажемо застосування теорії нечітких множин у фітоценології. Якщо синтаксон – нечітка множина елементів-видів, відношення кожного з яких щодо синтаксону описується функцією ценотичної належності, то яким же чином оцінити ступінь подібності одного синтаксона відносно іншого?

Без оцінки ступеня подібності двох синтаксонів побудувати міцне «синтаксономічне дерево» не можливо, бо його гілки повинні зв'язувати материнський і дочірній вузол за принципом максимальної спорідненості. Але коефіцієнти Жакара, Кульчинського, Соренсена [7], що враховують кількість співпадань наявності виду чи його відсутності у фітоценозах, можуть бути застосовані лише для фітоценозів з їх конкретними флористичними списками. А як бути з синтаксонами, де вид притаманний декільком або всім синтаксонам одночасно? Отже застосувати прямо традиційний підхід, заснований на кількості спільних і відмінних видів у фітоценозах, неможливо. Тому параметром, що показує зв'язок виду і синтаксону, стає ценотична належність і саме на її основі необхідно проводити розрахунок коефіцієнтів флористичної подібності.

Якщо обидва синтаксони мають однаковий ранг, наприклад «асоціація-асоціація», «союз-союз» і т.п., зв'язок між ними (*L – link*) позначимо L_{on},, якщо пара синтаксонів пов'язана родо-видовими відносинами і один з них є дочірнім по відношенню до іншого, використовуємо позначення L_{up}. L_{on} показує, наприклад, подібність (горизонтальну) двох асоціацій чи союзів і т.п. між собою і дозволяє з'ясувати ряд флористично споріднених одиниць, а L_{up} оцінює міцність родо-видових (вертикальних) відношень. В ідеальному випадку якщо синтаксон А є дочірнім вузлом по відношенню до B_1, то L_{up} для відношення А® B_1 повинно мати максимальне значення із ряду всіх можливих пар А-В. Яким же чином кількісно виразити величину L?

Спочатку розглянемо класичний варіант, котрий описується випадками вид присутній (1) чи відсутній (0). Візьмемо один із численних коефіцієнтів подібності [7] – це коефіцієнт Кульчинського, що визначається як середнє арифметичне коефіцієнтів включення множини А в В та В в А: $L = (c / a + c / b) / 2$, де c / a – включення В в А, c / b – включення А в В, c – кількість спільних видів для А і В, a – загальна кількість видів А, b – кількість видів В. Для даного випадку $L = (2 / 2 + 2 / 4) / 2 = 0{,}75$.

Але як оцінити подібність синтаксонів, якщо, на відміну від порівняння фітоценозів, тут не можна однозначно стверджувати про присутність чи відсутність виду, бо в цьому випадку належність виражається числами в діапазоні [0;1], а ценофлора синтаксону являє нечітку множину? Розглянемо задачу з точки зору ТНМ. Нехай дві нечітких множини – А і В, причому А – ценофлора синтаксону 1, а В – ценофлора синтаксону 2. Припустимо, що в кожній ценофлорі види характеризуються наступними ступенями належності: $A = \{0{,}3/x_1 + 0{,}21/x_2 + 0{,}5/x_4\}$ і $B = \{0{,}1/x_1 + 0{,}41/x_2 + 0{,}15/x_3 + 0{,}05/x_4 + 0{,}95/x_5\}$, де x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – види в складі множин (ценофлор) А і В відповідно (табл. 2).

Таблиця 2. Порівняння принципів розрахунку коефіцієнтів флористичної подібності для чіткої (модальної) та нечіткої множини

	modal system		
	a	b	c
x_1	1	1	1
x_2	0	1	0
x_3	0	1	0
x_4	0	0	0
x_5	1	1	1
Сума	2	4	2
L=(2/2 + 2/4)/2 = 0,75			

fuzzy system		
a	b	c
0,3	0,1	0,1
0,21	0,41	0,21
0	0,15	0
0,5	0,05	0,05
0	0,95	0
1,01	1,66	0.36
L = (0,36/1,01 + 0,36/1,66)/2 = 0,29		

Множина С = АÇВ, що є результатом перетинання множин А і В, визначається мінімальним із двох значень належності елемента *x* до множин *a і b*. Тоді спочатку визначимо належність видів x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 до множини С, що є аналогом значення *c* у формулі Кульчинського: $c = min\ (a, b)$ (табл. 2 справа) Після цього для оцінки подібності нечітких множин a і b рахуємо середнє значення відношення площ множин *c, a, b,* причому площа множини – сума значень належності всіх її елементів. Тоді $L = (0{,}36 / 1{,}01 + 0{,}36 / 1{,}66) / 2 = 0{,}29$. Можна бачити, що L приймає значення 1 у випадку повного співпадання множин А і В, тобто за умови С = АÇВ, С = А, С = В.

Для модальної системи, де при всіх значеннях функції належності відмінній від 0 умовно вважаємо її за 1, значення L лишиться тим же, бо min (1, 1) = 1, min (1, 0) = 0, min (0, 1) = 0. Отже показаний спосіб розрахунку коефіцієнту Кульчинського – окремий випадок розрахунку коефіцієнтів подібності двох нечітких множин, бо класичні множини – окремий випадок нечітких множин.

Покажемо сказане на конкретному прикладі. Припустимо нас цікавить показник, що оцінює в якій мірі союз *Lemnion minoris* належить до порядку *Lemnetalia*. Чи можна взагалі для відношення *Lemnion minoris* до *Lemnetalia* використовувати поняття «належить» чи «не належить»? Можливо це відношення нечітке («частково належить», «переважно належить»)? Якщо останнє, то до яких ще порядків «належить» союз *Lemnion minoris*? Вочевидь вирішити цю задачу традиційним порівняльно-флористичним підходом неможливо.

Ці питання не другорядного значення. Справа в тому, що в класичній синтаксономії приймається за очевидний факт належність одного союзу лише до одного порядку. Але це лише частковий і лише ідеальний випадок. Працюючи з синтаксонами, ми оперуємо нечіткими множинами, явищами і відношеннями. Відтак не повинно здаватися дивним твердження, що один союз належить до декількох порядків, один фітоценоз одночасно належить до декількох асоціацій, бо один вид одночасно належить декільком фітоценонам! Якщо останнє положення є цілком прийнятним для фітоценолога, то чому перших два повинні видаватися неправдивими? Отже нове бачення, нова парадигма полягає в тому, що не тільки вид і синтаксон, а вся макросинтаксономічна система, включаючи відношення між синтаксонами, є нечіткою. Вона не може засновуватися на дихотомії, бо в ній немає чітких «так» чи «ні», є лише «більше належить», аніж «не належить» і т.д.

Для того, щоб зрозуміти нечіткі відношення між синтаксонами, розрахунок коефіцієнтів зв'язку між ними і відчути «повнозв'язаність» макросинтаксономічної системи розглянемо вже згадуваний нами *Lemnion minoris*, але тепер з точки зору його відношення до всіх порядків. Для цього складемо таблицю в котрій по вертикалі – діагностичні види *Lemnion minoris*, по горизонталі – всі порядки, з котрими союз *Lemnion minoris* має хоча б один спільний вид. Їх виявилося 11 (табл. 3). У випадку модальних флор фітоценозів із значеннями належності видів 0 або 1, в таблицю слід би було внести значення 1 для всіх видів і порядків, де між *Lemnion minoris* і відповідним порядком є спільні види. Але ми оперуємо нечіткими ценофлорами, де аналог їх присутності – показник *p* (належність). Отже в таблицю заносимо значення p_1 – належність вказаних видів до Lemnion minoris і p_2 – належність цих же видів до кожного з 11 порядків (в нижній половині клітинок) (табл. 3).

Таблиця 3. Розподіл коефіцієнтів подібності союзу Lemnion minoris щодо порядків

Вид	p_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	c	%
Aldrovanda vesiculosa	0.15				0.13 0.13	0.15 0.18						0.15 0.64	0.43	4.5
Azolla caroliniana	0.13					0.13 0.35							0.13	1.4
Azolla filiculoides	0.31					0.31 0.45							0.31	3.2
Callitriche palustris	0.12	0.12 0.16		0.12 0.21		0.12 0.14	0.12 0.17	0.12 0.13			0.12 0.35		0.72	7.5
Lemna gibba	0.74		0.15 0.15			0.62 0.62							0.77	8.0
Lemna minor	0.57	0.11 0.11		0.15 0.15	0.3 0.3	0.55 0.55			0.1 0.1	0.12 0.12	0.3 0.3	0.24 0.24	1.87	19.5
Lemna trisulca	0.51	0.17 0.17			0.26 0.26	0.51 0.55						0.28 0.28	1.22	12.7
Riccia fluitans	0.65					0.64 0.64							0.64	6.7
Riccia rhenana	0.4					0.4 0.42							0.4	4.2
Ricciocarpos natans	0.61					0.6 0.6							0.6	6.2
Salvinia natans	0.58					0.58 0.63							0.58	6.0
Spirodela polyrhiza	0.7				0.28 0.28	0.68 0.68						0.19 0.19	1.15	12.0
Wolffia arrhiza	0.42				0.41 0.41	0.38 0.38							0.79	8.2
c		0.4	0.15	0.27	1.38	5.67	0.12	0.12	0.1	0.12	0.42	0.86	9.61	100
a	5.89													
b		18.20	6.59	13.78	3.70	6.24	18.18	43.60	17.30	20.91	30.38	12.88		
c/a		0.07	0.03	0.05	0.23	0.96	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.15		
c/b		0.02	0.02	0.02	0.37	0.91	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.07		
((c/a+c/b)/2)*100		4	2	3	30	94	1	1	1	1	4	11	154	
%		3	2	2	20	61	1	1	1	1	3	7	100	

Умовні позначення: Синтаксони $\{B_1\text{-}B_{11}\}$ рангу порядок (1 – Alnetalia glutinosae, 2 – Bolboschoenetalia maritimi, 3 – Callitricho-Batrachietalia, 4 – Hydrocharitetalia, 5 – Lemnetalia minoris, 6 – Littorelletalia uniflorae, 7 – Nanocyperetalia, 8 – Nasturtio-Glycerietalia, 9 – Phragmitetalia australis, 10 – Potametalia, 11 – Utricularietalia minoris), p_1 – належність видів до A, A = {Lemnion minoris}, min $(p_1, p_2)/p_2$ у вигляді дробу в таблиці, p_2 – належність видів до B, B є $\{B_1\text{-}B_{11}\}$, c = S min (p_1, p_2) для всіх x є C, C = AÇB, a = S p_1 для всіх x є A, A = {Lemnion minoris}, b = S p_2 для всіх x є B, B є $\{B_1\text{-}B_{11}\}$.

Нехай А – нечітка множина відповідна терму «Lemnion minoris», A = {Lemnion minoris}, B – нечітка множина відповідна одному із синтаксонів рангу порядок, позначимо B є $\{B_1\text{-}B_{11}\}$.

Для оцінки $L_{A® B}$ необхідна наступна послідовність дій:

¨ знаходимо площу множини перетину C = AÇB, c = S min (p_1, p_2) (в таблиці у верхній половині клітинок – значення min (p_1, p_2), тобто, мінімальне в парах «Lemnion minoris-поточний порядок»);

¨ знаходимо для всіх видів кожного із порядків B є $\{B_1\text{-}B_{11}\}$ b = S p_2 (враховуємо також види відсутні в А);

¨ знаходимо для всіх видів A = {Lemnion minoris}, a = S p_1;

¨ розраховуємо абсолютне значення $L_{A® B}$ = (c/a+c/b)/2;

¨ нормуємо ряд значень $L_{A® B}$ одиницею і знаходимо відносний вклад кожного взаємозв'язку.

Таким чином звичне відношення Lemnion minoris® Lemnetalia можна записати як 94^x61, де абсолютне значення $L_{A® B}$ становить 0,94, а відносне – 61%. Як бачимо, воно далеке від 100^x100 і інші 39% належності Lemnion minoris «розподілені» між іншими, крім Lemnetalia, порядками. Таким чином включенням *Lemnion minoris* виключно до порядку *Lemnetalia* втрачаємо 39% інформації (в інших типах рослинності модальність відношень «один союз-один порядок» буде ще більш умовною). Така інтерпретація з точки зору ТНМ проблем відношень між синтаксонами, їх включення один в один, флористичної подібності відкриває для нас зовсім нові аспекти цих питань, які не можна було побачити під кутом класичної синтаксономії.

Назвемо синтаксономічну систему, в якій приймається за догму належність на зразок «один союз-один порядок» однозв'язною, тоді макросинтаксономічна система, де кожен синтаксон належить одночасно до декількох синтаксонів вищого рівня і описується рядом значень L, назвемо повнозв'язною. Фактично класичний «продромальний» варіант макросинтаксономії є однозв'язним за своєю організацією, де ієрархічна підпорядкованість визначається методом максимального зв'язку. Це можливо робить його зручним для розуміння, бо сприймається як дихотомічний ключ, але абсолютно негнучким, приреченим на постійні ревізії. Така однозв'язність також визначає непридатність «продромального» варіанту макросинтаксономії для автоматизації процесу синтаксономічного розпізнавання і переведення на кількісні методи класифікації. Спроба автоматизації процесу компіляції фітоценону під синтаксони, навіть якщо комп'ютер буде «знати» значну кількість діагностичних видів останнього, буде невдалою, бо відношення в макросинтаксономічній системі нечіткі, тому обов'язково кожен вид повинен супроводжуватися значенням належності. Тільки в такому випадку можна перейти до автоматизованого розпізнавання синтаксонів і побудувати на цій основі експертну систему.

Розглянемо декілька типів відношень між синтаксонами. (рис. 6)

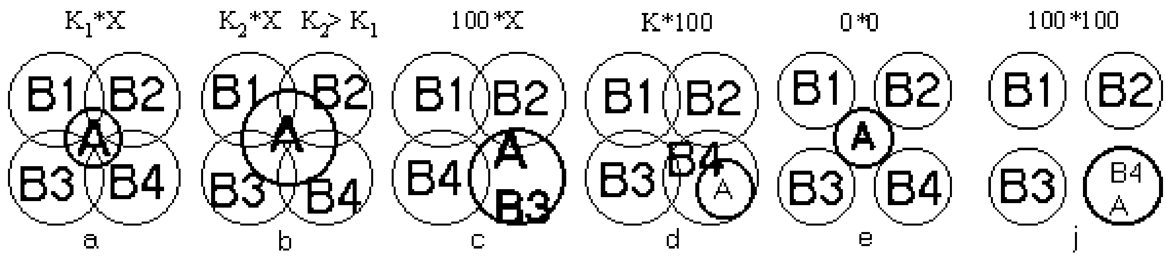

Рис. 6. Типи відношень між синтаксонами в макросинтаксономічній системі

Позначимо загальну форму запису для *L* на зразок 94^x61 як *K*X,* бо перший показник нагадує «константність» у визначенні належності виду, а другий – складову «характерність» для видів, бо як і остання для одного окремого об'єкту – чи виду, чи синтаксону, в сумі завжди дорівнює 1 або 100%. Відношення «константність-характерність» має універсальний характер для ієрархічно організованої системи нечітких множин.

Розглянемо повнозв'язну систему $\{A+\{B_1\text{-}B_4\}\}$. Вона є повнозв'язною у тому розумінні, що утворена всіма множинами В, для яких пересічна множина AÇB – непуста множина. Повнозв'язна система – це ніби фрагмент «мережі», де А – центральний вузол, В – всі вузли, пов'язані з ним родо-видовими відносинами. Можливі декілька випадків відношень A® B (рис. 6). Тільки два з них – 0*0 та 100*100 (рис. 6 e, j) належать до модальних («належить» і «не належить»). Всі інші – варіанти нечітких відношень. Перших два з них (рис. 6 a, b) цікаві тим, що показують роль складової X, що не залежить від абсолютного значення $L_{A® B}$, а вимірює тільки відносний вклад цього зв'язку у повнозв'язній системі. У випадку 100*X (рис. 6 c), A = B_3, але X <>100% внаслідок перекривання B_2 і B_3 та B_4 і B_3. Випадок K*100 показує варіант включення множини A в B_4. Інші варіанти можна вивести з представлених. Таким чином, показник L є розширенням коефіцієнтів подібності для класичних множин (Жаккара, Кульчинського, Соренсена і т.п.) на нечіткі множини і дозволяє оцінити їх накладання (подібності, зв'язку і т.п.) за випадку часткової належності видів, що найкращим чином відповідає природі ценофлор синтаксонів, котрі не є модальними флорами на відміну від флор фітоценозів чи конкретних флор.

Ценотична належність як фітоценотичний параметр

Ценотична належність визначає взаємозв'язок виду і певного синтаксону та діагностичне значення першого. Необхідність у подібній величині для фітоценозів не існує з тієї причини, що фітоценоз є реальною пробою флористико-екологічного континууму і реєстрація виду вже є фактом його належності (інша справа наскільки вона є типовою, але останнє не стосується суті нашого головного питання). Синтаксон – це абстракція, тому належність стає показником аналогічним реєстрації (наявності – не наявності) виду у фітоценозі, але вона не є модальною величиною (1 – «наявний» чи 0 – «відсутній»), а змінюється плавно від 0 до 1. Хоча ценотична належність виду є нечіткою (плавною) величиною, але її введення дозволяє оперувати синтаксонами так само як це ми робимо з фітоценозами – проводити градієнтний аналіз, кластерний, робити фітоіндикаційні розрахунки.

Ми взяли конкретний приклад, щоб показати роль ценотичної належності у фітоценотичному аналізі. На основі порівняльного аналізу значної кількості продромусів [6, 8-17] для кожного з 54 класів рослинності Європи було розраховано ценотичну належність діагностичних видів. Усього кількість одиниць аналізу становила 8759 діагностичних пар «вид-синтаксон». Використовуючи ценотичну належність як міру взаємозв'язку виду і синтаксону з використанням коефіцієнту Кульчинського і згідно описаної раніше техніки (табл. 2) було проведено кластерний аналіз основних класів рослинності Європи (54 класи) за діагностичними видами. Результати автоматичної класифікації рослинності показано на дендрограмі (рис. 7).

Як бачимо з рис. 7 деякі класи є дуже подібними за діагностичним видовим складом. Наприклад, з відстанню менше 0,5 % максимальної об'єднуються в кластери класи EC і ED, KD і KE, AC і UD, CC і QA, KB і ME, KA і UH, MB і SA, що є дуже близькими.

Подібно до кластерного можна провести градієнтний аналіз і одержати ординаційне поле синтаксонів за даними багатовимірного шкалювання. Таким чином роль ценотичної належності для синтаксонів така ж, як і рясності видів в окремих фітоценозах, а застосування її згідно з принципами ТНМ дозволяє проводити градієнтний, кластерний, порівняльно-флористичний аналізи другого рівня.

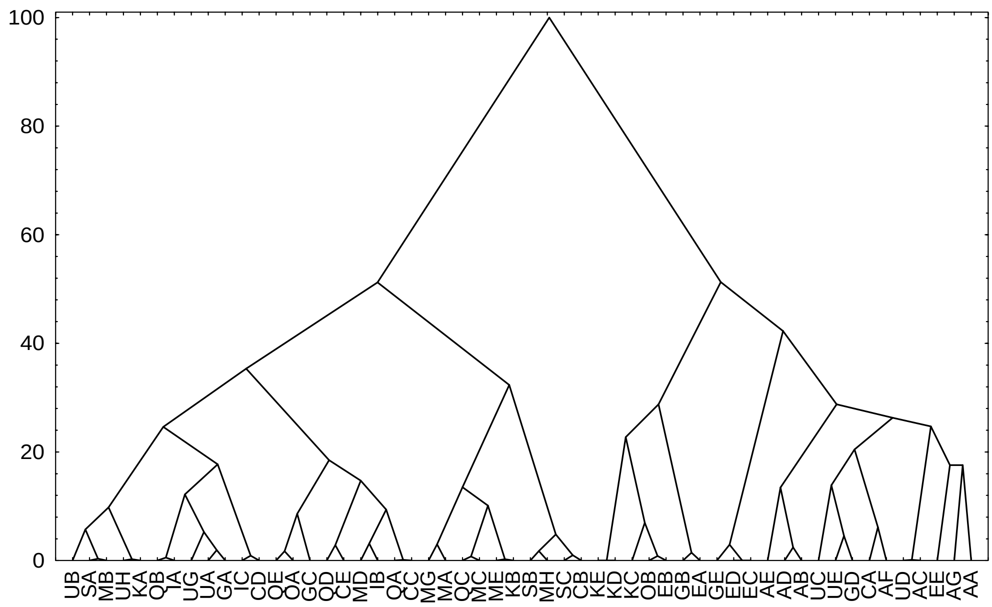

Рис. 7. Кластерний аналіз 54 класів Браун-Бланке за діагностичний видовим складом

Умовні позначення: AA – Lemnetea minoris; AB – Potametea; AC – Utricularietea; AD – Littorelletea uniflorae; AE – Ruppietea maritimae; AF – Charetea fragilis; AG – Zosteretea; CA – Phragmiti-Magnocaricetea; CB – Oxycocco-Sphagnetea; CC – Scheuchzerio-Caricetea fuscae; CD – Isoeto-Nanojuncetea; CE – Montio-Cardaminetea; EA – Ammophiletea; EB – Crithmo-Staticetea; EC – Cakiletea maritimae; ED – Saginetea maritimae; EE – Spartinetea maritimae; GA – Puccinellio-Salicornietea; GB – Salicornietea fruticosae; GC – Asteretea tripolii; GD – Crypsietea aculeatae; GE – Thero-Salicornietea; IA – Calluno-Ulicetea; IB – Molinio-Arrhenatheretea; IC – Trifolio-Geranietea sanguinei; KA – Festuco-Brometea; KB – Koelerio-Corynephoretea; KC – Thero-Brachypodietea; KD – Helianthemo-Thymetea; KE – Onosmo polyphyllae-Ptilostemetea; MA – Carici rupestris-Kobresietea bellardii; MB – Thlaspietea rotundifolii; MC – Loiseleurio-Vaccinietea; MD – Mulgedio-Aconitetea; ME – Elyno-Seslerietea; MG – Salicetea herbaceae; MH – Juncetea trifidi; OA – Asplenietea trichomanis; OB – Sedo-Scleranthetea; QA – Rhamno-Prunetea; QB – Quercetea pubescentis; QC – Querco-Fagetea; QD – Salicetea purpureae; QE – Alnetea glutinosae; SA – Vaccinio-Piceetea; SB – Erico-Pinetea; SC – Pulsatillo-Pinetea; UA – Galio-Urticetea; UB – Stellarietea mediae; UC – Oryzetea sativae; UD – Plantaginetea majoris; UE – Bidentetea tripartiti; UG – Artemisietea vulgaris; UH – Epilobietea angustifolii.

РЕЗЮМЕ

Применение теории нечетких множеств в фитоценологии позволяет решить целый ряд задач в особенности тех, которые касаются классификации растительности. Фитоценология – именно тот раздел, где нечеткость объекта науки распространена очень широко. Большинство понятий, которыми она оперирует, являются нечеткими по своей природе. Синтаксон представляет нечеткое множество элементов-видов, каждый из которых характеризуется функцией ценотической принадлежности. Ценотическая принадлежность рассчитывается на основе параметров макросинтаксономической константности и характерности, и измеряет типичность или нетипичность диагностических видов. Применение ценотической принадлежности позволяет распространить методы градиентного анализа, фитоиндикации, кластерного анализа на уровень синтаксонов.

SUMMARY

Application of the fuzzy-set concept in phytocenology allows to decide a number of tasks, especially those concerning classification of vegetation. Phytocenology is that section exactly, where the fuzziness of the object is widespread. Most its concepts are fuzzy by the nature. A syntaxon represents the fuzzy set of species-elements, each of which is characterized by the function of the cenotic belonging. The cenotic belonging is accounted on the basis of parameters of macrosyntaxonomical constancy and typicalness and it measures diagnostic species as «typical» or «atypical». Application of the cenotic belonging allows to spread the methods of gradient analysis, phytoindication, cluster analysis on the level of syntaxa directly.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
2. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. Пер. с фр. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. Ильичёва Е. В. Использование шкалы нечетких множеств для оценки стилеобразующих признаков костюма // Тез. док. конф. МГТА им. А. Н. Косыгина. – М., 1998. – С.357-358.
4. Лотфи А.Заде. Основы нового подхода к анализу сложных систем и принятия решений // Математика сегодня. Сб. статей. Пер. с англ. – М.: Знание, 1974. – С.5-49.
5. Методы нейроинформатики / Под ред. А.Н. Горбаня. – Красноярск, 1998. – 205 с.
6. Соломаха В.А. Синтаксономія рослинності України. – К.: Фітосоціоцентр, 1996. – 120 с.
7. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1984. – 288 с.
8. Grabherr G, Mucina L, [eds.] (1993) Die Pflanzengesellschaften Oesterreichs, Teil 2: Natuerliche waldfreie Vegetation. – Gustav Fischer Verlag, Jena. – 523 s.
9. http://planto.de/datenbank.php
10. http://www.e-c-o.at/pflages/index.php/pflages/pflanzengesellschaften (Institute for Ecology)
11. http://www.ibot.sav.sk/Id_Key/Priloha/Syntaxony.pdf
12. http://www.sci.muni.cz/botany/assoc_a.htm (Czech National Vegetation Database)
13. Matuszkiewicz W. Prezwodnik do oznaczania zbiorowsk roslinnych Polski. – Warzawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2001. – 540 s.
14. Mucina L, Grabherr G, Ellmauer T, [eds.] (1993) Die Pflanzengesellschaften Oesterreichs. Teil 1: Anthropogene Vegetation. – Gustav Fischer Verlag, Jena. – 578 s.
15. Mucina L, Grabherr G, Wallnoefer S, [eds.] (1993) Die Pflanzengesellschaften Oesterreichs, Teil 3: Waelder und Gebuesche. – Gustav Fischer Verlag, Jena. – 353 s.
16. Oberdorfer E. Pflanzensoziologie. Süddeutsche Pflanzengesellschaften. – Jena, 1957. – 10. – 564 s.
17. Rodwell, J.S., Mucina, L., Pignatti, S., Schaminee, J.H.J. & Chytry, M. European Vegetation Survey: the context of the case studies. – Folia Geobot. Phytotax. – Vol. 32. – 1997. – P.113-115.

Надійшла до редакції 12.03.2007 р.

To cite in publications use:

1. *Гончаренко І.В.* Використання методів нечіткої логіки в класифікації рослинності // Вісн. Донец. ун-ту: Сер. А. Природн. науки. – 2007. – Т. 1. – С. 236-247. Доступно на: https://goo.gl/BvoGqX
2. *Goncharenko I.V.* Use of methods of fuzzy logic in vegetation classification [In Ukrainian] // Bulletin of Donetsk National University. – 2007. – Vol. 1. – P. 236-247. Available from: https://goo.gl/BvoGqX

Synopsis:

Применение теории нечетких множеств в фитоценологии позволяет решить ряд задач, в т.ч. касающихся классификации растительности. Синтаксон это нечеткое множество элементов-видов, каждый из которых описывается функцией принадлежности.

You may also be interested in related publications:

1. ***Гончаренко И.В.* Оценка флористического сходства классов Браун-Бланке // Природничий альманах: Сер. Біологічні науки. – 2009. – Т. 12. – С. 37-46. Доступно на: https://goo.gl/H511vq**
2. *Гончаренко І.В.* Виділення геоелементів на основі кількісних критеріїв // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка: Сер. Біологія. – 2008a. – Т. 1. – № 35. – С. 7-15. Доступно на: https://goo.gl/hXRtNL
3. *Гончаренко І.В.* Визначення асоціацій в дискримінантному аналізі // Науковий вісник Ужгородського університету: Сер. Біологія. – 2003. – Т. 12. – С. 22-26. Доступно на: https://goo.gl/kzCz7G
4. ***Гончаренко І.В.* Модульна організація баз даних для цілей фітоценотичного аналізу // Екологія та ноосферологія. – 2008b. – Т. 19. – № 1-2. – С. 31-44. Доступно на: https://goo.gl/prurea**
5. *Гончаренко І.В.* Оцінка якості фітоценотичної класифікації (теоретико-методичний аспект) // Чорноморський ботанічний журнал. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 41-50. Доступно на: https://goo.gl/oVmj7w
6. ***Гончаренко І.В.* Принципи побудови і ревізії макросинтаксономічної системи. – Суми: СумДПУ, 2007. – 141 с. Доступно на: https://goo.gl/wnLVJV**
7. *Гончаренко І.В.* Розпізнавання синтаксономічної належності фітоценозів за фітоіндикаційними даними // Екологія та ноосферологія. – 2002. – Т. 12. – № 3-4. – С. 41-46. Доступно на: https://goo.gl/X8jcRk
8. *Goncharenko I.V.* Allocation of geoelements on quantitative criteria [In Ukrainian] // Scientific Issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. – 2008a. – Vol. 1. – № 35. – P. 7-15. Available from: https://goo.gl/hXRtNL
9. *Goncharenko I.V.* Evaluation of floristic similarity of Braun-Blanquet classes [In Russian] // Natural Sciences Almanac. – 2009. – Vol. 12. – P. 37-46. Available from: https://goo.gl/H511vq

10. *Goncharenko I.V.* Modular structure of vegetation databases for the purposes of phytocoenotic analysis [In Ukrainian] // Ecology and Noospherology Journal. – 2008b. – Vol. 19. – № 1-2. – P. 31-44. Available from: https://goo.gl/prurea

11. *Goncharenko I.V.* Principles of growing and revisioning macro-syntaxonomy system [In Ukrainian]. – Sumy: SumDPU, 2007. – 141 p. Available from: https://goo.gl/wnLVJV

12. *Goncharenko I.V.* Quality assessment of phytocoenotic classification (theoretical-methodological aspect) [In Ukrainian] // Chornomorski Botanical Journal. – 2016. – Vol. 12. – № 1. – P. 41-50. Available from: https://goo.gl/oVmj7w

13. *Goncharenko I.V.* Recognition of associations of vegetation using discriminant analysis [In Ukrainian] // Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. – 2003. – Vol. 12. – P. 22-26. Available from: https://goo.gl/kzCz7G

Please don't hesitate to contact me
if you need more information:

goncharenko.ihor@gmail.com