

Алгоритм оцінки віталітету особин рослин і віталітетної структури фітопопуляцій

ЮЛІАН АНДРІЙОВИЧ ЗЛОБІН

ZLOBIN YU.A. (2018). **An algorithm for assessing the vitality of plant individuals and the vitality structure of phytopopulations.** *Chornomors'k. bot. z.*, **14** (3): 213–226. doi: 10.14255/2308-9628/18.143/2

Vitality analysis is often used as a tool for assessing the vitality state of individuals and plant populations. Using the example of the *Alliaria petiolata* populations and a typical model example, three stages of the vitality analysis are described in detail. At the first stage, a group of attribute characterizing the vital state of the individuals of the plant species under study is established. To assess the vitality of individuals, and then the populations as a whole, three (the standard procedure for vitality analysis) or more attribute are used. At the second stage, the vitality of each of the individuals included in the sample of the required volume is estimated, in accordance with strict mathematical algorithms - the values of the signs that are initially expressed in absolute values are transferred into units of one, the vitality of the individuals is determined. The viability of each individuals lies in the amplitude from 0 to 1,0 and the higher it is, the higher the vital state of this individual. In the basic algorithm of vitality analysis, the individuals in the population are divided into three classes by its vitality "a", "b" and "c". For this purpose, the range of values of the vitality of individuals that lie in the amplitude from 0 to 1 is divided into three equal zones: more than 0,66 - the highest class of vitality – class "a", the vitality of the individual from 0,33 to 0,66 – class "b" - intermediate and individuals whose vitality is less than 0,33, class "c" – individuals of the lower class of vitality. In accordance with the values of the vitality of individuals ($Q_{\text{individual}}$), they are assigned one or another class of vitality. At the third stage, an integral assessment of the vitality of populations is given. Depending on the ratio in the population of individuals of classes "a" and "b", the population refers to one of three vitality types: prosperous, equilibrium or depressive. Unlike the vitality of individuals, the population's vitality lies in the amplitude of Q values from 0 to 0,5. This interval is divided into three equal parts: from 0 to 0,167, from 0,167 to 0,333 and from 0,333 to 0,500. The first of these intervals (Q is less than 0,167) corresponds to depressive populations, the second from 0,167 to 0,333 is the equilibrium one and the third (Q is greater than 0.333) is prosperous. Separate consideration is given to the possibility of modifying a typical algorithm for assessing the vitality of individuals and populations for plants of various life strategies, which indicates the flexibility of the methodology for assessing the vitality of individuals and populations.

Key words: vitality, multidimensional evaluation, key features, Alliaria petiolata

ЗЛОБІН Ю.А. (2018). **Алгоритм оцінки віталітету особин рослин і віталітетної структури фітопопуляцій.** *Чорноморськ. бот. ж.*, **14** (3): 213–226. doi: 10.14255/2308-9628/18.143/2

Віталітетний аналіз часто використовується як інструмент оцінки життєвого стану особин і популяцій рослин. На прикладі популяцій *Alliaria petiolata* і типовому модельному прикладі детально розглянуті три етапи проведення віталітетного аналізу. На першому етапі встановлюється група ознак, що характеризують життєвий стан особин досліджуваного виду рослин. Для оцінки віталітету особин, а потім і популяцій в цілому, використовується три (стандартна процедура віталітетного аналізу) або більше ознак. На другому етапі проводиться оцінка віталітету кожної з особин, включених до вибірки необхідного обсягу, за суворим математичним алгоритмом – переведення значень ознак, які початково виражені в абсолютних значеннях, в частки одиниці, визначення віталітету особин. Віталітет окремих особин



лежить в амплітуді від 0 до 1,0 і чим він вищий, тим вище життєвий стан даної особини. В основному алгоритмі віталітетного аналізу особини в популяції поділяють на три класи віталітету: «а», «b» і «с». Для цього інтервал значень віталітету особин, які лежать в амплітуді від 0 до 1, поділяється на три рівні зони: більше 0,66 – вищий клас віталітету – клас «а», віталітет особини від 0,33 до 0,66 – клас «b», проміжний і особини, віталітет яких менше 0,33, клас «с» – особини нижчого класу віталітету. Відповідно до значень життєздатності особини ($Q_{\text{особини}}$) їм привласнюється той або інший клас віталітету. На третьому етапі проводиться інтегральна оцінка віталітету популяцій. Залежно від співвідношення в популяції особин класів а, b і с, популяція відноситься до одного з трьох віталітетних типів: процвітаюча, рівноважна або депресивна. На відміну від віталітету особин, віталітет популяції лежить в амплітуді значень Q від 0 до 0,5. Цей інтервал поділяють на три рівні частини: від 0 до 0,167, від 0,167 до 0,333 і від 0,333 до 0,500. Перший з цих інтервалів (Q менше 0,167) відповідає депресивним популяціям, другий від 0,167 до 0,333 – рівноважним і третій (Q більше 0,333) – процвітаючим. Окремо розглянуті можливості модифікації типового алгоритму оцінки віталітету особин і популяцій для рослин різних життєвих стратегій, що свідчить про гнучкість методики оцінки віталітету особин і популяцій.

*Ключові слова: життєздатність, багатомірна оцінка, ключові ознаки, *Alliaria petiolata**

ЗЛОБИН Ю.А. (2018). Алгоритм оценки виталитета особей растений и виталитетной структуры фитопопуляций. *Черноморськ. бот. ж.*, 14 (3): 213–226. doi: 10.14255/2308-9628/18.143/2

Виталитетный анализ часто используется как инструмент оценки жизненного состояния особей и популяций растений. На примере популяций *Alliaria petiolata* и типовом модельном примере детально рассмотрены три этапа проведения виталитетного анализа. На первом этапе устанавливается группа признаков, характеризующих жизненное состояние особей изучаемого вида растений. Для оценки виталитета особей, а затем и популяций в целом, используется три (стандартная процедура виталитетного анализа) или более признаков. На втором этапе проводится оценка виталитета каждой из особей, включенных в выборку необходимого объема, в соответствии со строгими математическими алгоритмами – переводятся значения признаков, которые изначально выражены в абсолютных значениях, в доли единицы, определяется виталитет особей. Виталитет отдельных особей лежит в амплитуде от 0 до 1,0 и чем он выше, тем выше жизненное состояние данной особи. В основном алгоритме виталитетного анализа особи в популяции разделяют на три класса виталитета «а», «b» и «с». Для этого интервал значений виталитета особей, которые лежат в амплитуде от 0 до 1, делится на три равные зоны: более 0,66 – высший класс виталитета – класс «а», виталитет особи от 0,33 до 0,66 – класс «b», промежуточный и особи, виталитет которых меньше 0,33, класс «с» – особи низшего класса виталитета. В соответствии со значениями жизнеспособности особей ($Q_{\text{особи}}$) им присваивается тот или иной класс виталитета. На третьем этапе приводится интегральная оценка виталитета популяций. В зависимости от соотношения в популяции особей классов а, b и с, популяция относится к одному из трех виталитетных типов: процветающая, равновесная или депрессивная. В отличие от виталитета особей, виталитет популяций лежит в амплитуде значений Q от 0 до 0,5. Этот интервал разделяют на три равные части: от 0 до 0,167, от 0,167 до 0,333 и от 0,333 до 0,500. Первый из этих интервалов (Q меньше 0,167) соответствует депрессивным популяциям, второй от 0,167 до 0,333 – равновесным и третий (Q больше 0,333) – процветающим. Отдельно рассмотрены возможности модификации типового алгоритма оценки виталитета особей и популяций для растений различных жизненных стратегий, что свидетельствует о гибкости методики оценки виталитета особей и популяций.

*Ключевые слова: жизнеспособность, многомерная оценка, ключевые признаки, *Alliaria petiolata**

Протягом останніх десятиліть було встановлено, що процеси фітоценогенезу, динаміки й стійкості рослинних угруповань реалізуються на рівні особин рослин і локальних популяцій, які вони утворюють [HARPER, 1977; DIDUKH, 1998; ZLOVIN, 2009; MIRKIN, NAUMOVA, 2012]. Це активізувало роботи з вивчення внутрішньопопуляційного біорізноманіття, тобто розбіжностей між особинами в межах однієї популяції з тих чи інших причин. Особини, що складають будь-яку фітопопуляцію, можуть відрізнятися за календарним віком, за онтогенетичним станом, за розміром, у деяких видів за статтю (тичинкові або маточкові) і за їх життєвим станом – віталітетом.

Вікові спектри оцінюють у популяції деревних рослин. У багаторічних трав календарний вік особин визначити найчастіше неможливо, тому при вивченні їх популяцій цей метод не використовується.

Онтогенетичний склад популяцій (який до теперішнього часу деякі дослідники невдало називають віковим складом) протягом останніх десятиліть аналізується дуже часто. Цей метод дає важливу інформацію, але вона не завжди дозволяє оцінити стійкість і динаміку досліджуваної популяції. Виявлено багато випадків варіювання онтогенетичного складу популяцій по роках. Показано, що стійко можуть існувати як повночленні, так і неповночленні за своїм складом популяції, а нормальний онтогенетичний склад популяції спостерігається і у деградуючих, що випадають з фітоценозу видів рослин [ZLOVIN et al., 2013]. Поки невирішеними залишаються методичні питання збору вихідного польового матеріалу для подальшого аналізу онтогенетичного складу популяцій. Справа в тому, що у окремих видів рослин насіння проростає і формуються сходи навесні, у інших – восени, а у третіх – протягом усього вегетаційного періоду. Крім того, онтогенетичні стани мають різну тимчасову тривалість: проростки, ювенільні особини, а іноді у деяких видів рослин й віргінільні дуже швидко переходять в наступний онтогенетичний стан. Ці особливості ведуть до спотворення реальних онтогенетичних спектрів і неправильної інтерпретації результатів.

Оцінка популяцій за співвідношенням у них особин різного розміру в фітоценології використовується зрідка, хоча у цього методу є свої адепти [MARKOV, 2017]. Вони не враховують багатьох нюансів, які роблять оцінку складу популяцій за розміром особин біологічно і екологічно не інформативною. По-перше, неоднозначний сам термін «розмір». У різних авторів це або повна фітомаса рослин, або фітомаса надземної частини, іноді висота, діаметр стовбура тощо. По-друге, «розмір» особини залежить від її онтогенетичного стану і календарного віку, нерідко розміри молодих віргінільних і старих генеративних особин збігаються. По-третє, будь-яка з ознак «розміру», взята окремо, не характеризує життєвого стану особини і її фактичної ролі в популяції. У цілому, оцінка стану особин за однією випадково обраною ознакою, якій присвоєно статус «розміру» малоінформативна і не придатна для встановлення статусу популяції.

Матеріали та методи

Віталітетний аналіз був розроблений для оцінки життєвого стану рослин і популяцій, які вони утворюють [ZLOVIN, 1989a,b]. Він базується на даних про комплекс ознак особин рослин: морфологічних метричних, алометричних, динамічних ростових та інших. Багатоознакова система аналізу особин дає найбільш точну оцінку життєвого стану кожної окремої особини, а за співвідношенням в локальній популяції особин різного віталітету – віталітетної структури популяції.

Далі на прикладі популяції *Alliaria petiolata* (M. Bieb.) Cavara & Grande (*Brassicaceae*) і типовому модельному прикладі детально розглянуто алгоритм трьох етапів проведення віталітетного аналізу.

Віталітетний аналіз широко використовується багатьма дослідниками. Тільки за

даними обліку цитувань Google на початок 2018 року віталітетний аналіз застосовувався більш ніж 150 фахівцями. Були спроби (не завжди вдалі) спрощення методики обчислень при віталітетному аналізі [BYSTRUSHKIN, 2007, BURLAKA, 2012].

Це робить актуальним опис деталей алгоритму його проведення як при використанні комп'ютерної програми VITAL, так і при розрахунках вручну.

Результати досліджень та їх обговорення

В алгоритмі віталітетного аналізу популяції рослин виділяється три основних етапи.

Перший етап – відбір кількісних ознак, які характеризують життєвий стан особин. При вивченні віталітету локальної популяції нового для дослідника таксономічного виду рослин у особин в генеративному стані враховується максимально можливе число кількісних морфометричних ознак. На їх основі обчислюють алометричні ознаки.

Для оцінки віталітету особин, а потім і популяції в цілому, використовується три або більше ознак. Ці ознаки відбирають з урахуванням наступних критеріїв: а) вони повинні бути біолого-екологічно значимі як для рослин різних життєвих форм, так і за різних умов зростання, тому для кожного виду рослини свій набір ознак для віталітетного аналізу, б) з вихідного набору ознак за результатами кореляційного аналізу виключаються ознаки високо скорельовані між собою, так як вони дублюють одна одну, в) в набір ознак для оцінки віталітету в першу чергу включають ознаки, які за результатами факторного аналізу мають найбільший внесок у перший і другий фактори.

Це дозволяє виділити ключові морфометричні параметри, що дають інтегральну оцінку життєвого стану особин. В їх число найчастіше входять: фітомаса надземної частини рослини, розмір листової поверхні, число генеративних структур (суцвіть, квіток, плодів), висота рослини, репродуктивне зусилля та ін. Склад цього набору ознак залежить від життєвої форми рослин. У стандартній процедурі віталітетного аналізу використовують три ознаки.

Детальний опис процедури виділення ключових параметрів для оцінки віталітету особин наведено в ряді публікацій [ZLOVIN, 1989a, ZLOVIN, 2009].

Другий етап – оцінка віталітету конкретних особин рослин, які увійшли до вибірки. Цей етап проводиться за суворим математичним алгоритмом. Розглянемо його на спрощеному модельному прикладі. Були обрані три ознаки P1, P2 і P3. Припустимо, що P1 – це розмір листової поверхні (см²), P2 – висота рослин, (см), а P3 – число квіток, (шт.). До вибірки увійшло 7 особин. При вимірах особин були отримані наступні результати (табл. 1).

Для кожної з ознак знаходять її найбільше значення. У таблиці 1 такі значення виділені жирним шрифтом. Для ознаки P1 – це 300, для P2 – 65, для P3 – 12.

Для порівняння значень ознак, які початково виражені в абсолютних значеннях, їх переводять кожну окремо в частки одиниці (1,0) за формулою:

$$P_{\text{відносне}} = P_{\text{фактичне}} / P_{\text{максимальне}}$$

Тоді, наприклад для P1 отримуємо послідовно для особини № 1 $P1_{\text{відносне}} = 300/300 = 1$, для особини № 2 $P1_{\text{відносне}} = 220/300 = 0,40$ і т. д. Знайдені значення наведені в таблиці 2.

Оскільки тепер всі ознаки виражені однаково – в частках одиниці, їх можна скласти, а отриману суму розділити на число ознак (в розглянутому прикладі на три). Отриманий результат наведено в табл. 3.

Таблиця 1.

Оцінка трьох ознак (P1 – P3) у семи особин модельної популяції

Table 1.

Evaluation of three signs (P1 – P3) in seven individuals of the model population

Ознаки	Особини, №						
	1	2	3	4	5	6	7
P1	300	120	270	100	54	250	250
P2	40	60	65	30	6	10	8
P3	9	0	3	8	8	12	10

Таблиця 2.

Значення ознак віталітету особин у модельній популяції, виражені в частках одиниці

Table 2.

The values of the signs of vitality of individuals in the model population, expressed in parts of the unit

Ознаки	Особини, №						
	1	2	3	4	5	6	7
P1	1,00	0,40	0,90	0,33	0,18	0,83	0,83
P2	0,62	0,92	1,00	0,46	0,09	0,15	0,12
P3	0,75	0,00	0,25	0,67	0,67	1,00	0,83

Таблиця 3.

Віталітет особин в частках одиниці модельної популяції

Table 3.

The vitality of individuals in units of a model population

Ознаки	Особини, №						
	1	2	3	4	5	6	7
Сума по стовпцю для кожної особини	2,37	1,32	2,15	1,46	0,94	1,98	1,78
Середнє значення для кожної особини (Q _{особини})	0,79	0,44	0,72	0,49	0,31	0,66	0,59

Знайдені середні значення і є оцінками віталітету кожної особини (Q_{особини}), вираженими в частках одиниці. Віталітет окремих особин лежить в амплітуді від 0 до 1,0 і чим він вищий, тим вище життєвий стан даної особини.

За їх віталітетом особини популяції можуть бути ранжовані і представлені у вигляді статистичного ряду (Рис. 1). Такі ряди розподілу можуть використовуватися для аналізу ступеня диференціації особин в популяції за віталітетом і мати у віталітетному аналізі самостійне значення.

Так, наприклад, у дубовому лісі (Сумська область, заказник «Банний Яр») в популяції *A. petiolata* була зроблена випадкова вибірка з 40 особин. Оцінка віталітету особин *A. petiolata* проведена за чотирма ознаками: вага надземної частини рослин (г), висота особин (см), величина сумарної листкової поверхні (см²) і число квіток і плодів на особині (шт.). За вище наведеною методикою віталітет особин був оцінений в частках одиниці.

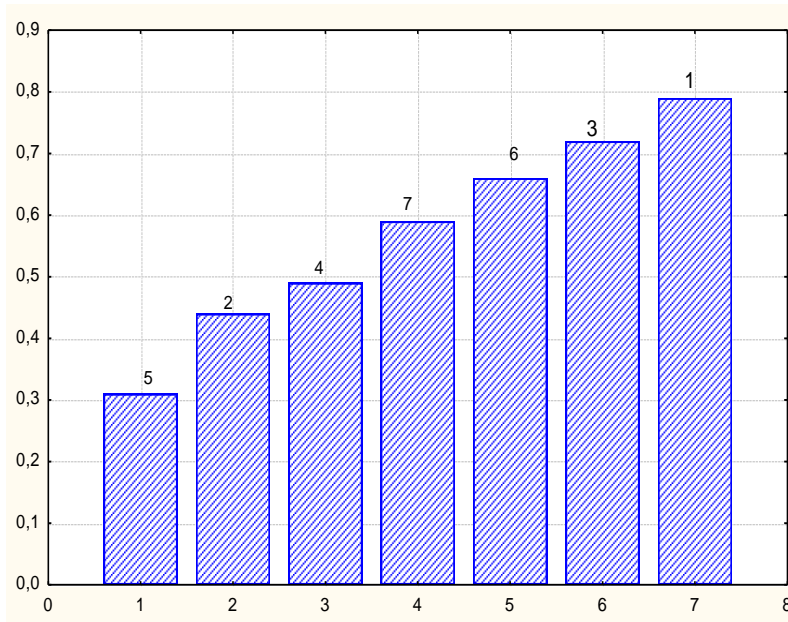


Рис. 1. Статистичний ряд розподілу особин за віталітетом у модельній вибірці з семи особин. Номер особини вказано над стовпчиком.
Fig. 1. The statistical distribution of individuals in vitality in a sample of seven individuals. The individual number is listed above the column.

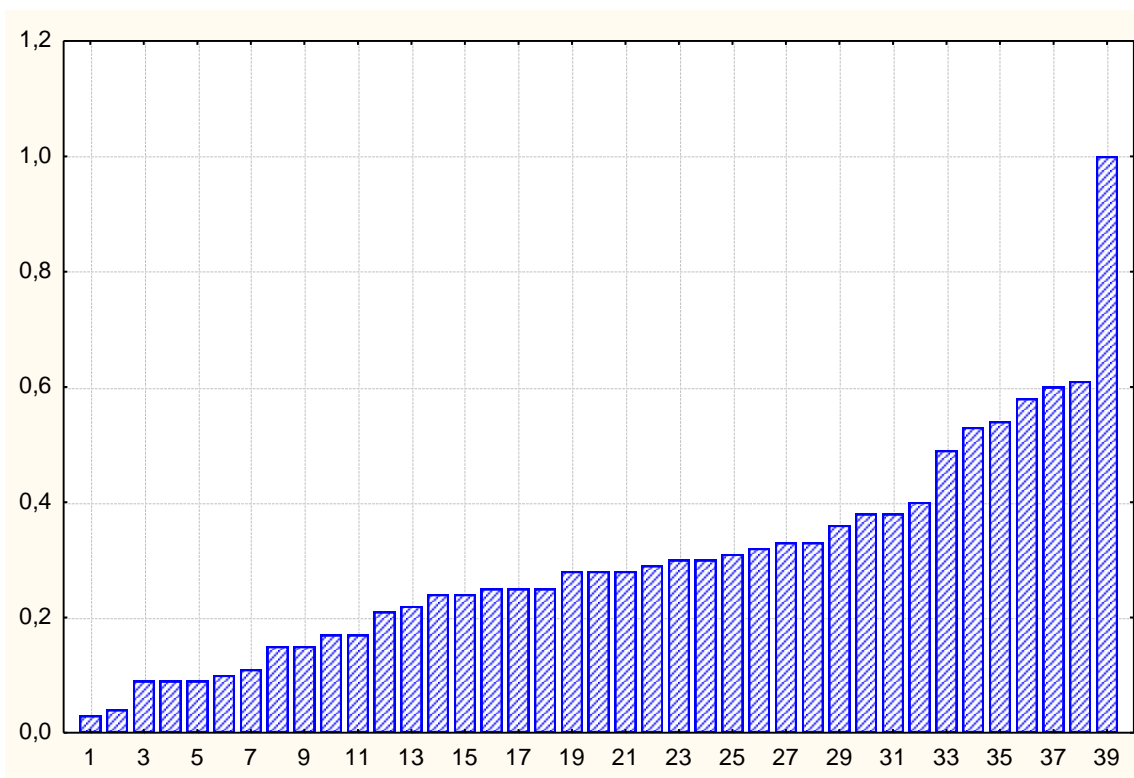


Рис. 2. Ранжований статистичний ряд розподілу особин *Alliaria petiolata* за віталітетом у вибірці з 40 особин.
Fig. 2. Ranked statistical distribution of *Alliaria petiolata* individuals by vitality in a sample of 40 individuals.

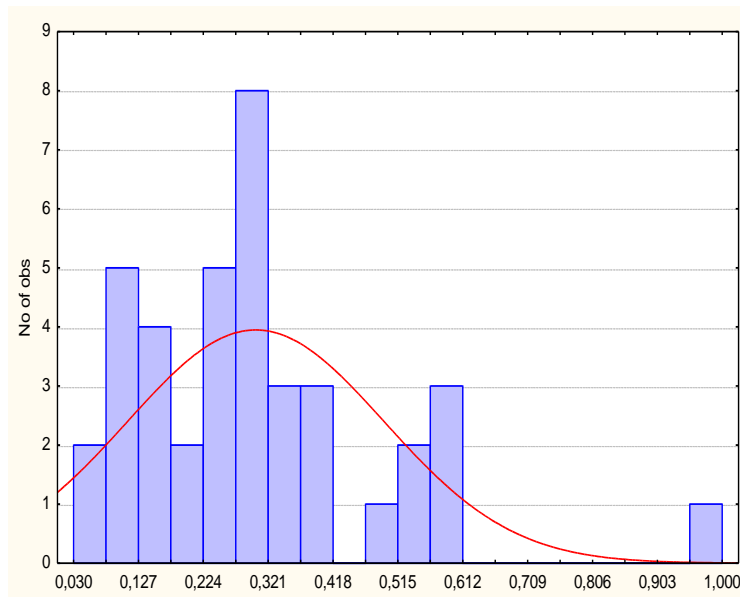


Рис. 3. Гістограма частотного розподілу особин за віталітетом у популяції *Alliaria petiolata*.

Fig. 3. Histogram of frequency distribution of individuals in vitality in the population of *Alliaria petiolata*.

З ранжованого статистичного ряду (Рис. 2) видно, що віталітет особин варіював від 0,03 до 1,00, в популяції переважали особини низького класу віталітету. Більш наочно це можна представити у вигляді гістограми частотного розподілу (Рис. 3), яка показує, що основну групу особин в популяції склали особини з низьким віталітетом від 0,03 до 0,4, значно менше було особин середнього віталітету (від 0,4 до 0,6). Особина з віталітетом в амплітуді від 0,7 до 1,00 тільки одна.

У популяційних дослідженнях при аналізі розбіжностей між особинами всередині локальної популяції прийнято поділяти популяції на три основні типи. Так, при оцінці популяцій за онтогенетичним станом виділяють популяції інвазійні, нормальні і регресивні [РАВОТНОВ, 1950], в системі Уранова-Животовського також виділяють три групи популяцій – молоді, зрілі й старі (з перехідними варіантами між ними) [ЖИВОТОВСЬКИЙ, 2001]. Такий підхід був реалізований і при розробці алгоритму віталітетного аналізу.

В основному алгоритмі віталітетного аналізу особини в популяції також поділяють на три класи віталітету: «а», «b» і «с». Для цього інтервал значень віталітету особин, які лежать в амплітуді від 0 до 1, поділяється на три рівні зони: більше 0,66 – вищий клас віталітету – клас «а», віталітет особини від 0,33 до 0,66 – клас «b», проміжний і особини, віталітет яких менше 0,33, клас «с» – особини нижчого класу віталітету. Відповідно до значень $Q_{\text{особини}}$ їм привласнюється той або інший клас віталітету. Цей результат для даного модельного прикладу наведений в таблиці 4.

Таким чином, у прикладі з семи особин певної популяції виявилось особин класу а – 2, класу b – 4 і класу с – 1.

На основі розподілу особин на три класи віталітету з урахуванням співвідношення між ними визначається віталітет популяції, з якої взята вибірка даних особин. Залежно від цілей дослідження, як один з варіантів, загальний інтервал значень віталітету особин (від 0 до 1,0) можна поділяти не на три, а на п'ять частин – класів віталітету особин:

- 0 – 0,2 – сс (особини найнижчого віталітету)
- 0,2 – 0,4 – с (низький віталітет)
- 0,4 – 0,6 – b (середній віталітет)
- 0,6 – 0,8 – а (високий віталітет)
- 0,8 – 1,0 – аа (особини найвищого віталітету).

Клас віталітету особин рослин в модельному прикладі

Table 4.

The class of plant species virtuosity in the model case

Ознаки	Особини, №						
	1	2	3	4	5	6	7
Q _{особини}	a	b	a	b	c	b	b

Третій етап – інтегральна оцінка віталітету популяцій. Залежно від співвідношення в популяції особин класів a, b і c, популяція відноситься до одного з трьох віталітетних типів: процвітаюча, рівноважна або депресивна.

Тип віталітету популяцій обчислюється за формулою:

$$Q = \frac{1}{2} (a + b).$$

Попередньо абсолютні значення числа особин того чи іншого класу віталітету переводяться у співставні одиниці – частоти. Для цього число особин даного класу ділиться на загальне число особин у вибірці.

У нашому модельному прикладі:

$$\text{частка особин класу a} - 2/7 = 0,285$$

$$\text{частка особин класу b} - 4/7 = 0,571$$

$$\text{частка особин класу c} - 1/7 = 0,143.$$

При підсумковому встановленні типу віталітету популяції як максимальний випадок можливо, що сума частот класів a й b дорівнює 1, т. т. в популяції повністю відсутні особини класу c. Тоді, наприклад,

$$Q_{\text{популяції}} = \frac{1}{2} (a + b) = \frac{1}{2} (0,500 + 0,500) = 0,500.$$

Значення 0,500 – це вища межа значень віталітету популяцій.

Якщо в популяції повністю відсутні особини класів a й b, тоді

$$Q_{\text{популяції}} = \frac{1}{2} (a + b) = \frac{1}{2} (0 + 0) = 0.$$

Це нижча оцінка значення віталітету популяцій.

Таким чином, віталітет популяції лежить в амплітуді значень Q від 0 до 0,5. Цей інтервал поділяють на три рівні частини: від 0 до 0,167, від 0,167 до 0,333 і від 0,333 до 0,500. Перший з цих інтервалів (Q менше 0,167) відповідає депресивним популяціям, другий від 0,167 до 0,333 – рівноважним і третій (Q більше 0,333) – процвітаючим.

Для розглянутого модельного прикладу:

$$Q_{\text{популяції}} = \frac{1}{2} (a + b) = \frac{1}{2} (0,285 + 0,571) = 0,428$$

Таким чином, тип віталітету даної популяції – процвітаюча.

При інтерпретації результатів слід враховувати, що віталітет окремих особин лежить в амплітуді від 0 до 1,0, а віталітет популяцій – в амплітуді від 0 до 0,5. Тому прямо зіставляти ці значення не можна – потрібна відповідна корекція.

А.І. Федорова [FEDOROVA, 2011] пропонувала модифікувати індекс віталітету популяцій та обчислювати його за формулою:

$$IQ = (a + b) / 2c.$$

При цьому популяції зі значенням IQ більше 1, розглядаються як процвітаючі, менше 1 – як депресивні. Випадки, коли $(a + b) = 2c$ і популяція оцінюється як рівноважна, є вкрай рідкісними, тому дана пропозиція фактично веде до розподілу віталітету популяцій не на три класи, а тільки на два, що менш точно відображує реальні відмінності між популяціями.

Висновок за основним алгоритмом. При невеликих вибірках можливо проводити розрахунки віталітету особин і віталітету популяцій вручну за описаним алгоритмом або написати програму на одній з сучасних мов типу C++, R або іншому, яка підтримується новими системами Windows. У разі ручного розрахунку найбільш зручним є статистичний пакет Statistica, в якому є можливість автоматизації розрахунків

через командну строку. У цьому випадку ознаки вводяться у стовпчики – VAR.

Варто враховувати, що як 1,0 так і 0,5 не діляться на 3 без залишку. Виходять періодичні дроби. Тому оцінка особин на стику класів а й b і класів b і c залежить від точності розрахунку. На комерційних калькуляторах, де 2 знаки після коми, на звичайних калькуляторах з 6-ма знаками після коми, на комп'ютерах розрядністю 32 (32 знаки після коми) і на комп'ютерах розрядністю 64 (64 знаки після зайнятої) результати можуть незначно розходитися. Але такі розбіжності неістотні і випадкові.

Для порівняння декількох самостійних локальних популяцій за їх життєвим станом віталітету використовуються значення $Q_{\text{популяції}}$, оскільки вони досить точно відображають відмінності між популяціям, навіть якщо вони входять до одного і того ж віталітетного типу. Розподіл популяцій на три типи за віталітетом має узагальнюючий характер подібно, наприклад, розподілу популяцій за онтогенетичним складом на інвазійні, нормальні або регресивні, коли при одному і тому ж типі структури порівнювані популяції можуть помітно відрізнятися.

При визначенні віталітетного типу популяцій оцінки віталітету окремих особин є проміжним розрахунком, особливо за умови випадкових вибірок особин з популяцій. Його результати можуть не прийматися до уваги дослідником. Але при вирішенні ряду інших завдань екології та біології рослин такі оцінки віталітету кожної особини окремо дуже інформативні. Якщо при зборі польового матеріалу позиція окремої особини фіксується по відношенню до фітогенних полів сусідніх особин, ценоячейками або по відношенню до будь-яких інших локальних факторів, оцінки віталітету особин дозволяють точно встановити позитивні й негативні еколого-фітоценотичні фактори, суттєві для особин досліджуваного виду.

Окремі випадки і додаткові алгоритми. У деяких видів рослин за результатами факторного аналізу (див. перший етап по відборі ознак рослин для оцінки їх віталітету) внесок ознак по першому, другому, третьому і т. д. факторах істотно різниться. При цьому найбільше факторне навантаження на перший фактор має якась одна ознака. Це випадок найчастіше зустрічається у видів рослин з контрастними типами еколого-фітоценотичних стратегій. Це можуть бути:

а) деякі види з конкурентним типом стратегії (тип С), які основні ресурси органічних речовин використовують не на розмноження, а на розвиток вегетативних органів – пагонів з листками. У них в перший фактор результатів факторного аналізу істотно вище внесок таких параметрів як вага надземної фітомаси, кількість листя, площа листової поверхні. Саме вони є ключовими для оцінки віталітету,

б) види рослин зі стратегією експлерентів (тип R), які в основному витрачають ресурси органічної речовини на формування генеративних органів і тільки мінімально необхідну їх кількість на пагони і листя. У цих, в основному однорічних рослин, внесок в перший фактор факторного аналізу вносять кількість квіток, плодів або їх вагова маса. Для видів рослин подібного типу саме такі ознаки визначають їх віталітет.

У таких окремих випадках доцільно не обчислювати середнє значення з отриманих значень в частках одиниці (див. другу таблицю основного алгоритму), а визначати інтегральну оцінку віталітету кожної особини рослини за поєднанням оцінок віталітету а, b і c. Для цього слугує наведена нижче таблиця 5.

Цей метод, необхідно підкреслити, слід застосовувати тільки в разі аналізу віталітету видів рослин з чітко вираженою первинною стратегією – конкурентів або експлерентів і лише на підставі підсумків факторного аналізу. Для видів патієнтів і всіх видів рослин з проміжним типом стратегії (а таких видів рослин абсолютна більшість) метод даватиме спотворений результат.

Таблиця 5.

Інтегральна оцінка віталітету особин

Table 5.

Integral assessment of the vitality of individuals
Можливі поєднання ознак віталітету особин

aaa	bba	bca
aab	acc	bbb
aba	aca	bbc
baa	cca	cbb
aac	abc	bcb
aca	acb	ccb
caa	bac	cbc
abb	cab	bcc
bab	cba	ccc

Значення

Особини вищого класу віталітету – a	Особини проміжного класу віталітету – b	Особини нижчого класу віталітету – c
-------------------------------------	---	--------------------------------------

Таблиця 6.

Інтегральна оцінка віталітету особин у модельному прикладі

Table 6.

Integral assessment of the integrity of individuals in a model case

Ознаки	Особини, №						
	1	2	3	4	5	6	7
P1	1,00	0,40	0,90	0,33	0,18	0,83	0,83
P2	0,62	0,92	1,00	0,46	0,09	0,15	0,12
P3	0,75	0,00	0,25	0,67	0,67	1,00	0,83
Віталітет особини	a,b,a	b,a,c	a,a,c	b,b,a	c,c,a	a,c,a	a,c,a
Інтегральна оцінка віталітету особин	a	b	a	b	b	a	a

Розглянемо цей алгоритм на наведеному вище числовому прикладі, спираючись на ті ж критерії: більш 0,66 – вищий клас віталітету – клас «а», віталітет особини від 0,33 до 0,66 – клас «b», проміжний і особини, віталітет яких менше 0,33, клас «с» – особини нижчого класу віталітету. Така оцінка зроблена в таблиці 6.

Таким чином, при подібній оцінці в нашому прикладі ми отримуємо, що особин вищого класу віталітету – 4 шт., а середнього класу – 3 шт. Це відрізняється від підсумків основної схеми обчислень і є результатом того, що першій ознаці віталітету особин надано більшу вагу, ніж другій і третій ознакам. В основному алгоритмі віталітетного аналізу всі ознаки розглядаються як однаково значущі.

Іншим окремим випадком є варіант віталітетного аналізу, при якому діапазон значень віталітету поділяють не на три рівних класи, а на три класи, межі яких визначають на основі кривої нормального розподілу частот. Вона має такий вигляд (Рис. 4).

Застосування такого підходу можливе лише у випадках повної відповідності значень ознак нормальному статистичному розподілу, а це вкрай рідкісний випадок. Зазвичай розподіл ознак асиметричний або бімодальний. Тому такий підхід може використовуватися лише в спеціальних випадках.

Дійсно, як видно з наведених нижче малюнків (Рис. 5–7), в даному модельному прикладі такої відповідності немає. Як правило, не буває його і в реальних популяціях.

У цьому випадку межі вищого класу віталітету, проміжного і нижчого можна визначити за формулою:

$$\mu \pm t_{0,05} \cdot s_{\mu}$$

де μ – середнє арифметичне, $t_{0,05}$ – значення критерія Ст'юдента при $p = 0,05$ і s_{μ} – похибка середнього арифметичного. Особини, у яких це значення більше $\mu + t_{0,05} \cdot s_{\mu}$ складатимуть вищий клас віталітету «а», у яких це значення менше, ніж $\mu - t_{0,05} \cdot s_{\mu}$ – нижчий клас віталітету «с». Усі інші особини складатимуть проміжний клас «b».

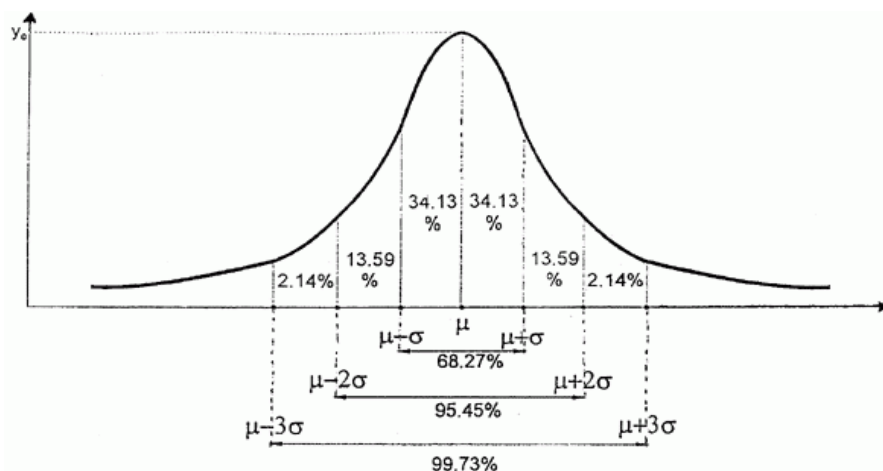


Рис. 4. Розподіл особин за класами віталітету на основі нормального розподілу частот.
 Fig. 4. The distribution of individuals according to the vitality classes on the basis of the normal statistical distribution.

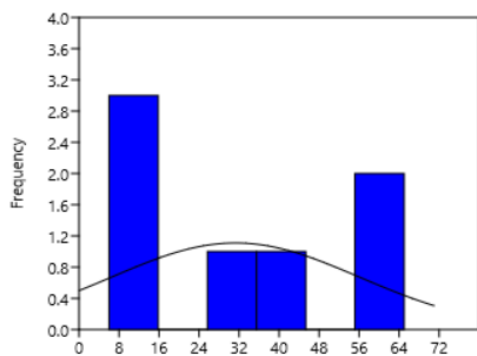


Рис. 5. Розподіл частот і крива нормального розподілу для ознаки P1.
 Fig. 5. The distribution of frequencies and the normal distribution curve for the sign P1.

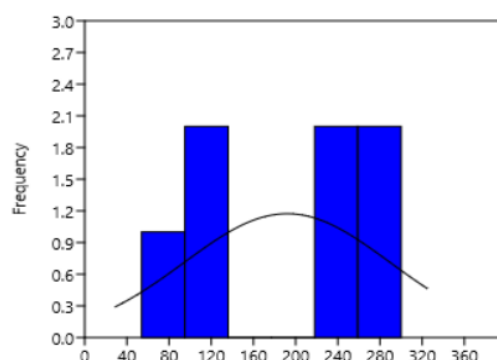


Рис. 6. Розподіл частот і крива нормального розподілу для ознаки P2.
 Fig. 6. The distribution of frequencies and the normal distribution curve for the sign P2.

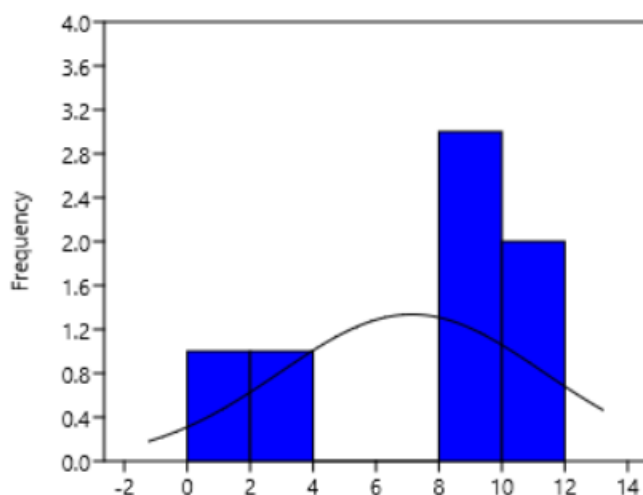


Рис. 7. Розподіл частот і крива нормального розподілу для ознаки P3.
Fig. 7. The distribution of frequencies and the normal distribution curve for the sign P3.

Такі криві статистичного розподілу типові для рослин штучно створених фітоценозів з високим фоном конкуренції. Особини в процесі проходження онтогенезу розпадаються на дві основні групи – відстаючі, з низьким віталітетом, і успішно конкуруючі – з високим віталітетом.

У цілому, додаткові окремі варіанти алгоритму оцінки віталітету особин і популяцій можуть застосовуватися тільки у спеціальних і порівняно рідкісних випадках.

Наведений вище основний алгоритм реалізований у некомерційній комп'ютерній програмі VITAL. Але опис алгоритму є актуальним, так як програма VITAL написана на мові Paskal, який вимагає запуску комп'ютера в режимі DOS. На сучасних комп'ютерах з Windows 7 і вище вікно DOS працює нестійко або зовсім не створюється.

Висновки

Віталітетний аналіз популяцій рослин відрізняється високою біолого-екологічною інформативністю. Про це свідчать численні літературні дані.

У низки рідкісних видів рослин віталітетний аналіз дозволив оцінити стан популяцій, проводити їх моніторинг і прогнозувати тренди змін: *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. [BURLAKA, 2016], *Epipactis helleborine* (L.) Crantz., *Listera ovata* (L.) R. Br., *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. [KLYMENKO et al., 2016], *Platanthera bifolia* (L.) Rich. [LYUBINECZ et al., 2016], *Leucojum vernum* L., [DOROSHENKO, 2016], *Anacamptis palustris* (Jacq.) R.M. Bateman, Pridgeon & M.W. Chase, *Dactylorhiza maculata* L., *D. traunsteineri* (Saut. ex Rchb.) Soo, *D. incarnata* (L.) Soo [KORCHEVSKA, 2016], *Fritillaria montana* Hoppe ex W.D.J. Koch [MAZNICHENKO, 2017]. Л. Петруняк [PETRUNYAK, 2017] на основі віталітетного аналізу було проаналізовано стан 11-ти популяцій *Allium ursinum* L.

М.Д. Бурлака та ін. [BURLAKA et al., 2012] за результатами віталітетного аналізу виділили сприятливі і малосприятливі локуси для зростання *Pedicularis exaltata* Besser. Цей метод високоефективний при вивченні реагування рослин на антропогенні фактори [KOZYNYATKO, 2014]. Віталітетний аналіз дозволяє встановлювати зміни стану популяцій лісових трав при зміні лісорослинних умов [GUDAKOV, 2014; SHERSTYUK, 2017], стан популяцій лучних трав у різних типах лучних угруповань [LUSHKIV, 2010] і степових рослин у степах [MARCENYUK, 2009]. На основі віталітетного аналізу успішно оцінюється стан культурних рослин у посівах у залежності від агротехнічних прийомів [VORONA et al., 2008]. Віталітетний аналіз ефективний при оцінці популяцій

лісоутворюючих деревних порід [SKLYAR, 2013].

Ряд фахівців справедливо розглядають віталітетний аналіз як інтегральний показник стану популяцій рослин [ZHILYAEV, 2013; KYUAK, 2014 ets].

Пропоновані варіанти алгоритму для обчислення віталітету особин рослин і віталітету локальних популяцій або популяційних локусів мають високу інформативність і достатню гнучкість.

References

- BURLAKA M.D. (2016). The vitality structure of the three populations of *Spiranthes spiralis* (L.) Chevall. (Orchidaceae) on the territory of Ivano-Frankivsk and Lviv regions. *Biologichni Studiyi*, **10**(1): 155–162. (in Ukrainian)
- BURLAKA M.D. (2012). Features of using a multidimensional approach to assess the viability of plant populations. *Ukr. Bot. J.*, **69**(4): 559–567. (in Ukrainian)
- BURLAKA M.D., KAZEMIRSKA M.A. (2012). Morphometry of generative individuals and vitality structure of the population of *Pedicularis exaltata* Besser (Orobanchaceae) in the Bukovynian Prykarpattia. *Ukr. Bot. J.*, **69**(1): 17–26. (in Ukrainian)
- BYSTRUSHKIN A.G. (2007). To the question of the estimation of the vitality of cenopopulations: comparison of methods on the example *Rubus idaeus* L. *Vestn. Chelyab. Gos. Univ. Ecology. Prirodopols.*, **6**: 108–116. (in Russian)
- DIDUKH Ya.P. (1998). *Populyacziyna ekologiya*. Kyiv: Fitosocziocentr, 191 p. (in Ukrainian)
- DOROSHENKO K. (2016). Structural-functional parameters of the cyenopopulations *Leucojum vernum* L. (Amaryllidaceae) in different types of habitats on the eastern boundary of the range (Western regions of Ukraine). *Visnyk Lviv. Univers. Seriya biologichna.*, **71**: 85–95. (in Ukrainian)
- FEDOROVA A.I. (2011). The vitality structure of the *Bromopsis inermis* cenopopulations in the conditions of the Lenovo-Vilyuysky interfluve. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, **9**(104; 15): 56–59. (in Russian)
- GUDAKOV O.O. (2014). Determinants of the populations of *Convallaria majalis* in the pine forests of Hetman NPP. *Visnyk Cherkas. Univer.*, **2**(295): 45–51. (in Ukrainian)
- HARPER J.L. (1977). *Population biology of plants*. L.: Academic Press, 892 p.
- KLYMENKO H.O., KOVALENKO I.M. (2016). Basic approaches to determining stability of populations of rare plant species. *Studia Biologica*, **10**(2): 123–132.
- KORCHEVSKA V. (2016). Monitoring of the vitality of the rare plant populations of the Orchidaceae family in the phytocoenoses of the outskirts of the p. Semipolki. *Visnyk Kyiv. Nacional. Univers. T. Shevchenka, Biologiya*, **1** (73): 48–53. (in Ukrainian)
- KOZYNYATKO T.A. (2014). The structure of cenopopulations of *Schoenus ferrugineus* L. in conditions of anthropogenic loading. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrayiny*, **24**(11): 117–123. (in Ukrainian)
- KYUAK V.G. (2014). Vitality as an integral index of the state of the plant populations. *Biologichni Studiyi*, **8**(3-4): 273–284. (in Ukrainian)
- LUBINETS I.P., KHOMIN I.G., FERENTS N.M., LISAK G.A. (2016). The state of the cenopopulations *Platanthera bifolia* (L.) Rich. on the territory of the Ukrainian Roztochchy. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrayiny*, **26**(3): 123–130. (in Ukrainian)
- LUCHKIV N. (2010). Features of age and vitality structure of the cenopopulations *Centaurea carpatica* (Porc.) Porc. *Visnyk L'viv. univ. Seriya biologichna*, **52**: 36–43. (in Ukrainian)
- MARKOV M.V. (2017). Why is the size of the plants so important. "Biodiversity: approaches to learning and conservation". *Materials of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of Botany of Tver State University, Tver, Russia, 8–11 of November, 2017*: 224–228. (in Russian)
- MARTSENYUK I. (2009). Vitality characteristics of the cenopopulations of the species of the genus *Allium* L. in the territory of the Mykolaiv region. *Chornomors'k. bot. z.*, **5** (2): 219–223. (in Ukrainian)
- MAZNICHENKO M.A., KONDAUROVA G.Yu. (2017). Investigation of the vitality structure of *Fritillaria montana* Hoppe (Liliaceae) populations in Ukraine. *VIII All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation "Biological research – 2017", Zhytomyr, Ukraine, 14-16 of May, 2017*: 35–36. (in Ukrainian)
- MIRKIN B.M., NAUMOVA L.G. (2012). *Sovremennoe sostoianie osnovnykh kontseptsii o rastitelnosti*. Ufa: Gilem, 488 p. (in Russian)
- PETRUNYAK L.D. (2017). The vitality structure and ontogenetic indexes of the coenopopulations of *Allium ursinum* L. (Alliaceae) in forest phytocoenoses in the Precarpathian Region. *Bioresursy i pryrodokor.*, **9**(5–6): 5–9. (in Ukrainian)
- RABOTNOV T.A. (1950). Questions of the studying of the composition of the populations for the purposes of the phytocenology. *Problemy botaniki*, **1**: 465–483. (in Russian)

- SHERSTYUK M.Yu. (2017). Analysis of the vitality structure of the *Chimaphila umbellatà* (L.) W. Barton cenopopulations in the forest phytocenoses of Novgorod-Siversky Polissya. *Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science»*, **1** (4): 40–45. (in Ukrainian)
- SKLYAR V.G. (2013). Dynamics of the vitality parameters of the populations of forest-forming species of Novgorod-Seversky Polissya: theoretical principles and methods of evaluation. *Ukr. Bot. J.*, **70**(5): 624–629. (in Ukrainian)
- VORONA L.I. SHVAJKA O.V., DEMA V.M. (2008). The productivity of winter wheat in Polissya, depending on the timing of sowing. *Zemlerobstvo: mizhvid. temat. nauk. zb.*, **80**: 40–47. (in Ukrainian)
- ZHILYAEV G.G. (2012). The place of the vitality analysis in population research and environmental work. *Biologichni Studiyi*, **6**(2): 251–260. (in Ukrainian)
- ZHIVOTOVSKY L.A. (2001). Ontogenetic state, effective density and classification of plant populations. *Ekologiya*, **1**: 3–7. (in Russian)
- ZLOBIN YU.A. (1989a). *Printsipy i metody izucheniiia tsenoticheskikh populiatsii rastenii*. Kazan, 146 p. (in Russian)
- ZLOBIN YU.A. (1989b). Theory and practice of assessing the vitality of plant populations. *Botan. z.*, **74**(6): 769–781. (in Russian)
- ZLOBIN YU.A. (2009). *Populiatsionnaia ekologiya rastenii: sovremennoe sostoianie, tochki rosta*. Sumy: Universitetskaia Kniga, 263 p. (in Russian)
- ZLOBIN YU.A., SKLYAR V.G., KLIMENKO A.A. (2013). *Populiatsii redkikh vidov rastenii: teoreticheskie osnovy i metodika izucheniiia*. Sumy: Universitetskaia Kniga, 439 p. (in Russian)

Рекомендує до друку
Дубина Д.В.

Отримано 06.09.2018

Адреса автора:

Ю.А. Злобін
вул. Бельгійська, 21, кв. 1
Суми, 40022
Україна
e-mail: zlobinyulian@gmail.com

Author address:

Yu.A. Zlobin
Belgys`ka st., 21, apt. 1
Sumy, 40022
Ukraine
e-mail: zlobinyulian@gmail.com