

## РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ЕКСПРЕС-ОБЛІКУ РЕСУРСІВ *HELICHRYSUM ARENARIUM* (L.) MOENCH (*ASTERACEAE*)

*Ключові слова:* методи обліку, регресійний аналіз, ресурси, *Helichrysum arenarium*

Потреба кількісного обліку ресурсів *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, оминаючи зважування сировини на кожній обліковій ділянці, обумовила розробку алгоритму оцінки ресурсів за визначальними морфометричними ознаками для підвищення ефективності польових ресурсних досліджень. Нині відсутні методи експрес-обліку ресурсів цмину у польових умовах за розрахунковими таблицями, побудованими на базі лінійної залежності значень щільності запасу сировини від визначальних ресурсозначущих показників. Існує лише метод визначення маси складного суцвіття (складний щиток) з одного генеративного пагона *H. arenarium* за кількістю суцвіть (кошиків) [2], який є досить працездатним.

Нашою метою було розробити алгоритм експрес-обліку ресурсів цмину піщого у польових умовах на основі статистичного аналізу сировиннозначущих показників, включаючи методи багатовимірного регресійного аналізу.

Попередній статистичний аналіз засвідчив, що виділені нами основні ресурсозначущі показники *H. arenarium* тісно корелюють між собою і можуть бути важливими для експрес-визначення ресурсів. З'ясування такого зв'язку дає змогу побудувати вірогідну модель експрес-обліку ресурсів цмину за індикаторними показниками його ресурсної значущості.

### Матеріали та методи дослідження

Для комплексного статистичного опрацювання відібрано показники щодо проєктивного покриття ( $P$ , %), щільності запасу сировини ( $M$ , г/м<sup>2</sup>), висоти рослин ( $H$ , см), щільності наземних пагонів ( $Nr$ , шт./ м<sup>2</sup>), маси суцвіть 1 пагона ( $m1$ , г), діаметра складних суцвіть ( $Dm$ , см). За цими характеристиками відібрано показники зі 103 ценопопуляцій *He-*

*lichrysum arenarium* із 13 адміністративних областей України. Такий відбір здійснювався за пропорційним принципом щодо ресурсної значущості ценопопуляції цмину в Україні [3].

Дослідження побудовано на застосуванні регресійного аналізу. Він дає змогу встановити наявність зв'язку між певною змінною (залежною) та іншими (незалежними) змінними і передбачити значення залежної змінної за значеннями визначальних незалежних [1]. Для статистичної обробки використано первинні дані кількісних показників морфометричних та вагових характеристик цмину. Вибір змінних для побудови остаточної регресійної моделі здійснено на основі алгоритму крокової регресії (метод включення). Кроковий алгоритм дає змогу виділити визначальні змінні (найтісніше корельовані зі значеннями досліджуваної характеристики). Як залежну змінну в моделі взято щільність запасу сировини; як незалежні — інші ресурсні характеристики.

### Результати дослідження та їх обговорення

Попередній статистичний аналіз зібраних даних показав їхню однорідність і достатність за обсягом.

За результатами крокової множинної регресії (метод включення) всіх шістьох аналізованих показників *H. arenarium* статистично значущими виявилися: проєктивне покриття ( $p < 0,000001$ ), щільність пагонів ( $p < 0,0001$ ) та маса складного суцвіття ( $p < 0,003$ ). Застосування крокової регресії дало змогу виділити найбільш значущі змінні і сформулювати алгоритм визначення щільності запасу за всіма показниками та за окремими з них, оскільки метою роботи є полегшення оцінки ресурсів цмину піщого у польових умовах зі збереженням достовірності даних.

Перевірка на нормальність даних за критерієм Шапіро–Уїлка показує, що розподіл близький до

нормального, проте дещо від нього відрізняється. Це свідчить про достатню, але порівняно невисоку точність отриманої моделі. Тобто побудована модель експрес-обліку ресурсів *H. arenarium* забезпечує отримання достовірних даних ресурсної значущості його популяцій, але в подальшому може вдосконалюватися. Виведена на основі регресійного аналізу формула експрес-обліку ресурсів цмину має такий вигляд:

$$M = -7,85 + 5,3 \cdot P - 0,34 \cdot Nr + 35,23 \cdot m1$$

Апробація цього алгоритму на 40 облікових ділянках *H. arenarium* показала похибку прогнозованих і фактичних даних у межах 5 %, що дає підстави твердити про його високу точність за умов здійсненого дослідження. Однак застосування такого розрахунку у польових умовах мало полегшує виконання ресурсних робіт, оскільки потребує значних витрат часу. Тому ми сконцентрували увагу на пошуку статистично достовірних алгоритмів, які би сприяли розв'язанню цієї проблеми.

Регресійний аналіз наявних даних уможливив виявлення тісного зв'язку між окремими ресурсозначущими показниками *H. arenarium*; насамперед — між щільністю запасу сировини і проективним покриттям ( $r = 0,96$ ). Діаграма розсіяння значень щільності запасу сировини за різного проективного покриття фактично відображає лінійну залежність цих показників із дисперсією у межах достовірності (рис. 1). Довірчий інтервал у межах 0,95 підтверджує високу точність отриманих результатів; тобто 95 % фактичних даних розміщуються між двома лініями. Виведено таку формулу експрес-оцінки ресурсів за проективним покриттям:

$$M = 11,69 + 3,50 \cdot P.$$

На основі цієї формули ми розробили розрахункову таблицю для визначення щільності запасу сировини *Helichrysum arenarium* за показниками проективного покриття в діапазоні 5—70 % з покроковим інтервалом 5 % (табл. 1). Результати зіставлення фактичних та передбачуваних ресурсних показників щільності запасу сировини цмину свідчать, що вони відрізняються в межах 5—9 %; це підтверджує наближену, але достовірну точність отриманих даних.

Залежність значень щільності запасу сировини *H. arenarium* від щільності пагонів має також прямолінійний характер, хоч індекс кореляції ( $r = 0,875$ ) тут дещо нижчий, аніж з проективним покриттям. При цьому існує велика дисперсія показників (рис. 2)

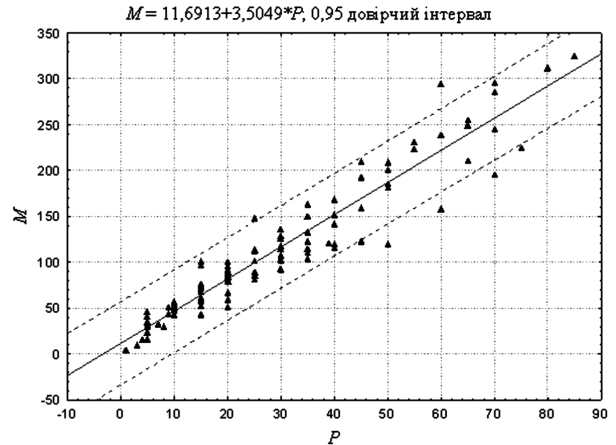


Рис. 1. Діаграма розподілу показників щільності запасу сировини *Helichrysum arenarium* за різного проективного покриття

Fig. 1. Diagram of the distribution of density of raw stock of *Helichrysum arenarium* for different projective cover

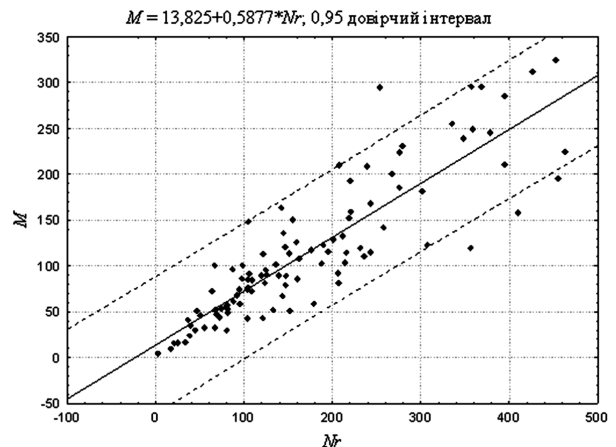


Рис. 2. Діаграма розсіяння показників щільності запасу сировини *Helichrysum arenarium* за різної щільності пагонів

Fig. 2. Diagram of dispersion of density of raw stock of *Helichrysum arenarium* for different density of shoots

щільності запасу сировини за однакової кількості пагонів. Це насамперед пояснюється значною варіабельністю морфометричних і вагових характеристик суцвіть цмину.

Методом регресії виведено алгоритм визначення щільності запасу сировини цмину пісоквого лише за показниками щільності пагонів, однак порівняння емпіричних та прогнозованих за цим алгоритмом величин щільності запасу сировини виявило значну розбіжність значень із похибкою у межах 20—30 %. Це свідчить про недостатність урахування лише показників щільності пагонів. За-

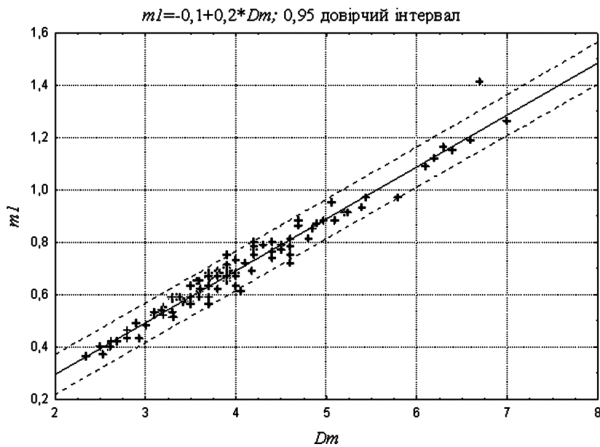


Рис. 3. Діаграма розсіяння значень маси суцвіть *Helichrysum arenarium* за їх різного діаметра

Fig. 3. Diagram of dispersion of weight values of *Helichrysum arenarium* inflorescences for their different diameter values

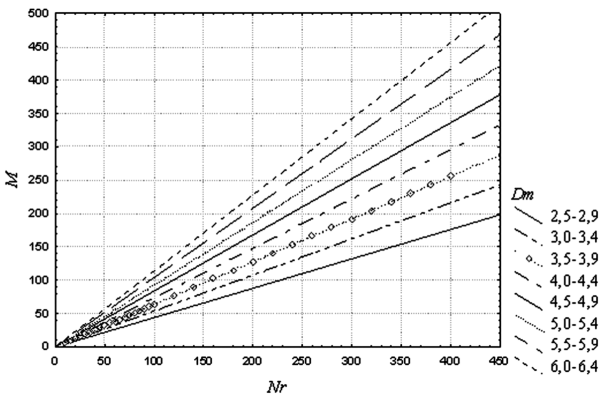


Рис. 4. Графік визначення показників щільності запасу сировини *Helichrysum arenarium* за щільністю генеративних пагонів та діаметром складного суцвіття

Fig. 4. Graph of determination of the density of raw stock of *Helichrysum arenarium* at different density of generative shoots and diameter of the compound inflorescence

Таблиця 1. Розрахункові визначення щільності запасу сировини *Helichrysum arenarium* за проективним покриттям ( $M = 11,69 + 3,50 * P$ )

| Проективне покриття, %                      | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    | 55    | 60    | 65    | 70    |
|---|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Щільність запасу сировини, г/м <sup>2</sup> | 29,2 | 46,7 | 64,2 | 81,7 | 99,2 | 116,7 | 134,2 | 151,7 | 169,2 | 186,7 | 204,2 | 221,7 | 239,2 | 256,7 |

Таблиця 2. Розрахункові визначення маси сировини одного пагона *Helichrysum arenarium*

| Діаметр складного суцвіття, см | 2,5—2,9   | 3,0—3,4   | 3,5—3,9   | 4,0—4,4   | 4,5—4,9   | 5,0—5,4   | 5,5—5,9   | 6,0—6,4   |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Маса, г                        | 0,4—0,48  | 0,5—0,58  | 0,6—0,68  | 0,7—0,78  | 0,8—0,88  | 0,9—0,98  | 1,0—1,08  | 1,1—1,18  |
| Середня маса, г                | 0,44±0,04 | 0,54±0,05 | 0,64±0,05 | 0,74±0,05 | 0,84±0,05 | 0,94±0,06 | 1,04±0,06 | 1,14±0,05 |

значимо, що за результатами множинної регресії показники щільності пагонів *H. arenarium* належать до визначальних серед аналізованих ресурсних характеристик разом із проективним покриттям і масою сировини з 1 пагона. Тобто теоретично щільність запасу сировини можна визначити як добуток маси сировини з 1 пагона і щільності пагонів. Однак маса сировини одного складного суцвіття характеризується значною варіабельністю залежно від його діаметра. А між масою суцвіть і їхнім діаметром існує тісна кореляція ( $r = 0,982$ ) та пряма лінійна залежність (рис. 3).

Методом регресії ми вивели формулу цієї залежності

$$m1 = -0,1 + 0,2 \cdot Dm$$

і виконали відповідні розрахунки. Для спрощення користування розподілили сукупність даних на 8 груп, залежно від діаметра суцвіть, (табл. 2) із покроковими значеннями 0,5 см і визначили середню масу пагона в кожному діапазоні.

Графічне відображення значень щільності запасу сировини *Helichrysum arenarium* за різної щільності пагонів у межах визначених діапазонів діаметра складного суцвіття має такий вигляд (рис. 4).

Порівняння фактичних і прогнозованих значень щільності запасу *H. arenarium* за щільністю пагонів з урахуванням діаметра складного суцвіття дає розбіжність у межах 5%. Це підтверджує достовірність статистичних розрахунків і дозволяє рекомендувати цей метод для експрес-обліку ресурсів цмину, хоча він дещо складніший за попередній.

Отримані моделі експрес-обліку ресурсів *H. arenarium* можна рекомендувати для попереднього розв'язання завдань оцінки його ресурсів у польових умовах до розробки точнішої моделі.

## Висновки

1. Серед основних ресурсних показників *Helichrysum arenarium* статистично значущими для визначення щільності запасу сировини ( $M$ ) є: проєктивне покриття, щільність пагонів та маса суцвіття 1 пагона.

2. Встановлено лінійну залежність щільності запасу сировини цмину та проєктивного покриття, на основі якої розроблено модель експрес-визначення ресурсів *H. arenarium*.

3. Тісний зв'язок між масою сировини одного пагона і діаметром його суцвіття є результатом функціональної залежності між ними. На основі цих показників виведено алгоритм оцінки щільності запасу сировини цмину за щільністю пагонів.

*Висловлюємо подяку за надання цінних консультацій у статистичному опрацюванні наявних даних д-ру біол. наук І.І. Дзевєрину — співробітнику Інституту зоології імені І.І. Шмальгаузена НАН України.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ с использованием ЭВМ / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 488 с.
2. Исайкина А.П. Цмин песчаный на Украине. — Киев: Наук. думка, 1992. — 90 с.
3. Минарченко В.М. Ресурси *Helichrysum arenarium* (L.) Moench в Лівобережному Придніпров'ї // Укр. ботан. журн. — 1999. — 56, № 4. — С. 411—414.

Рекомендує до друку  
Я.П. Дідух

Надійшла 25.09.2012 р.

*В.Н. Минарченко<sup>1</sup>, І.А. Тимченко<sup>1</sup>, А.Н. Минарченко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Інститут ботаники імені Н.Г. Холодного НАН України, г. Київ

<sup>2</sup> Учебно-научный комплекс «Институт прикладного системного анализа» НТУУ «КПИ» МОН і НАН України, г. Київ

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭКСПРЕСС-УЧЕТА РЕСУРСОВ *HELICHRYSUM ARENARIUM* (L.) MOENCH (*ASTERACEAE*)

Представлены результаты разработки модели экспрес-с-учета ресурсов *Helichrysum arenarium* (L.) Moench в полевых ус-

ловиях, определенные на основе статистического анализа сырьево значимых показателей популяций этого вида, включая методы многомерного регрессионного анализа. Среди шести анализируемых показателей *H. arenarium* статистически значимыми оказались: проєктивное покриття ( $p < 0,000001$ ), щільність пагонів ( $p < 0,0001$ ) і маса складного соцветия ( $p < 0,003$ ). Применение шаговой регрессии позволило выделить наиболее значимые переменные и сформулировать алгоритм определения плотности запаса по всем показателям и отдельным из них.

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* методы учета, регрессионный анализ, ресурсы, *Helichrysum arenarium*.

*V.M. Minarchenko<sup>1</sup>, I.A. Tymchenko<sup>1</sup>, O.M. Minarchenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> Educational and Scientific Complex «Institute for the Applied System Analysis» of National Technical University of Ukraine, Ministry of Education of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

## DEVELOPMENT OF A MODEL FOR EXPRESS ASSESSMENT OF RESOURCES OF *HELICHRYSUM ARENARIUM* (L.) MOENCH (*ASTERACEAE*)

Results of developing a model for express assessment of resources of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench in the field are presented. The model is based on statistic analysis of the indicators significant for raw materials in the species populations, including methods of multivariate regression analysis. Among the six analyzed indicators for *H. arenarium*, statistically significant were the following: projective cover ( $P < 0.000001$ ), density of shoots ( $p < 0.0001$ ), and weight of a compound inflorescence ( $p < 0.003$ ). The application of stepper regression has allowed us to identify the most significant variables and to formulate an algorithm for determining the stock density by all indicators and by some of them.

*Key words:* assessment methods, regression analysis, resources, *Helichrysum arenarium*.