



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 12
Український журнал природничих наук
№ 12

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 581.9

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.32>

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ПОШИРЕННЯ *OPUNTIA HUMIFUSA* RAF., 1820 У ЄВРОПІ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ

О. В. Гарбар¹, С. В. Жеревко², Л. І. Ворончук³, Д. А. Гарбар⁴

Вид родини *Cactaceae* – *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf., 1820 належить до групи кактусів американського походження, що охороняються в нативному ареалі, але поширилися у багатьох районах земної кулі та характеризуються вираженою тенденцією до здичавіння. Останніми роками спостерігається поширення цього виду й у континентальній частині України. Для прогнозування можливостей подальшого поширення цього виду на основі відкритих даних нами проведено моделювання сучасної біокліматичної ніші *O. humifusa* та встановлено межі толерантності виду до основних біокліматичних параметрів середовища. Водночас найбільш значущими параметрами, які визначають можливість поширення виду, виявились кількість опадів, сезонність сонячної радіації, найнижча щотижнева радіація, радіація найвологішого кварталу, середня температура найхолоднішого кварталу, мінімальна температура найхолоднішого місяця. Отримана модель характеризується високою надійністю ($AUC = 0,996$), а її омісія досить добре збігається з передбаченою динамікою омісії, розрахованою для тестових даних, отриманих із самого розподілу *Maxent*. Модель потенційного сучасного ареалу *O. humifusa* доводить, що кліматичні умови лише частини території України (південна) придатні для існування цього виду. Оптимальні кліматичні умови для виду виявляються лише в кількох локальних зонах. Моделювання майбутньої динаміки ареалу виду під впливом кліматичних змін свідчить про його суттєве розширення та зміщення в північному напрямку найближчим часом. Основні зміни відзначаються у площях і просторовій

¹ доктор біологічних наук,
професор кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: o.v.harbar@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4357-4525

² учениця
(Черняхівський ліцей № 1, м. Житомир)
e-mail: sofiazharevko08@gmail.com
ORCID: 0009-0004-7256-1744

³ учитель-методист біології та екології
(Черняхівський ліцей № 1, м. Житомир)
e-mail: lyubovvoronchuk26@gmail.com
ORCID: 0009-0009-6868-1846

⁴ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: garbar.diana78@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5739-3114

конфігурації зон із різною придатністю для існування виду. Оптимальна зона практично зникає в моделі 2080 року. Середньопридатні та придатні кліматичні області суттєво розширюються в моделях до 2080 року та зміщуються в північні регіони Європи.

Ключові слова: *O. humifusa*, біокліматичне моделювання, ареал, глобальні зміни клімату, Maxent.

ASSESSMENT OF *OPUNTIA HUMIFUSA* RAF., 1820 DISTRIBUTION PROSPECTS IN EUROPE UNDER GLOBAL CLIMATE CHANGE

O. V. Harbar, S. V. Zharevko, L. I. Voronchuk, D. A. Harbar

Species of the family Cactaceae – Opuntia humifusa (Raf.) Raf., 1820 belongs to a group of cacti of American origin that are protected in their native area but have spread to many regions of the globe and exhibit a pronounced tendency towards naturalization. In recent years, the expansion of this species has also been observed in the continental part of Ukraine. To predict the potential for further spread of this species, we conducted modeling of the current bioclimatic niche of O. humifusa based on open-access data and established the species' tolerance limits to key bioclimatic environmental parameters. The most significant parameters determining the potential distribution of the species were precipitation, solar radiation seasonality, lowest weekly radiation, radiation of the wettest quarter, mean temperature of the coldest quarter, and minimum temperature of the coldest month. The obtained model demonstrates high reliability (AUC = 0,996), and its omission rate aligns well with the predicted omission dynamics calculated for test data derived from the Maxent distribution itself. The model of the potential current area of O. humifusa indicates that only a part of Ukraine's territory (the southern part) falls within climatic conditions suitable for the species' existence. Optimal climatic conditions for the species are found only in a few localized zones. Modeling the future dynamics of the species' area under the influence of climate change suggests its significant expansion and northward shift in the near future. The primary changes are observed in the areas and spatial configuration of zones with varying suitability for the species' existence. The optimal zone practically disappears in the 2080 model. Moderately suitable and suitable climatic regions significantly expand in the models up to 2080 and shift towards the northern regions of Europe.

Key words: *O. humifusa*, bioclimatic modeling, distribution range, global climate change, Maxent.

Вступ

Проблема біологічних інвазій є однією з найактуальніших у сучасному світі. Дослідження та розуміння процесів інвазії та натуралізації допомагає прогнозувати їхній розвиток і управляти наслідками. Це особливо важливо для ефективного використання природних ресурсів у контексті глобальних кліматичних змін (Sipango et al., 2022).

Opuntia humifusa (Raf.) Raf., 1820 – представник родини Састасеае, відомий також як східна опунція. Вона належить до групи кактусів американського походження, що охороняються в нативному ареалі, але поширились у багатьох районах земної кулі та характеризуються вираженою тенденцією до здичавіння. Комітет зі статусу дикої природи Канади (COSEWIC) вважає цей вид таким, що перебуває під загрозою зникнення (White, 2000). Її занесено до списку видів, що потребують охорони (Klinkenberg & Rhodes, 1980), що вказує на високий рівень загрози. Нині ця рослина поширена лише у двох місцях в Канаді, хоча історичні

дані свідчать про її нещодавню присутність і в інших регіонах Онтаріо (Reznicek, 1982).

Відомо, що *O. humifusa* добре витримує екстремально холодний клімат (Gorelik et al., 2015). Однак високий рівень затінення є шкідливим для неї. Установлено, що для виживання *O. humifusa* необхідно щонайменше 30% освітлення (Dresner, 2017), а на ділянках із проєктивним покриттям рослинності понад 50% рослина взагалі не трапляється (Abella & Jaeger, 2004). Очевидно, що з перебігом сукцесії рівень освітленості знижується, що погіршує умови існування *O. humifusa* (Van Der Wal et al., 2007).

Природні популяції *O. humifusa* в Канаді обмежені в основному заповідними територіями. Ці рослини ростуть у національному парку Пойнт-Пелі та Провінційному природному заповіднику Фіш-Пойнт. Інтродукована популяція виявлена у провінційному парку Рондо (Wildlife ..., 2024). Більша частина придатного середовища для відновлення популяції *O. humifusa* також розташована в національному парку Пойнт-Пелі й у природному заповіднику Фіш-Пойнт. Відомі

популяції цього виду передусім стикаються із загрозою втрати середовища існування через сукцесійні процеси й ерозію берегової лінії. Тому стохастичні події можуть швидко знищити популяцію. Порушення природного середовища і транспортна діяльність уздовж узбережжя озера Ері сприяли втраті придатних для існування *O. humifusa* біотопів на піщаних косах. Антропогенний тиск, пов'язаний із походами та спостереженнями за птахами, також є потенційною загрозою для цього виду, оскільки ці дії можуть призводити до ненавмисного витоптування рослин (Parks ..., 2024). З метою збереження виду на території Канади рекомендується ширше використовувати його в ландшафтній архітектурі та садівництві в Онтаріо.

В Україну цей вид було завезено під час Кримської війни (1854–1855 рр.) з метою озеленення поховань солдатів англо-французького десанту, загиблих під час атаки на Севастополь. У другій половині XIX ст. цей вид був зібраний в околицях Севастополя і включений до колекції Нікітського ботанічного саду, а також інтродукований у різних локаціях Великої Ялти на південному березі Криму. У другій половині XX ст. *O. humifusa* цілком натуралізувалася на Кримському півострові, наприкінці XX – на початку XXI ст. рослина неодноразово зафіксована у природних екосистемах Південного та Західного узбережжя Криму (Yena, 2012).

Наприкінці першого десятиліття XXI ст. *O. humifusa* вийшла за межі Криму і почала розповсюджуватися у Степовій зоні материкової України (Rasevich et al., 2021). Натепер в Україні зафіксовано більше десяти локалітетів цього виду, зокрема, у Миколаївській, Херсонській, Донецькій, Дніпропетровській, Черкаській і Київській областях, де зазвичай популяції представлені здичавілими культиварами. Вони зростають в антропогенно трансформованих біотопах – на узбіччях доріг, стежках дачних масивів, у приватному секторі міст і на стихійних смітниках (міста Миколаїв, Кривий Ріг, Сміла) (Rasevich et al., 2021). Також цей вид виявляється на місцях поховань домашніх тварин, зокрема й на території Національного природного парку «Кам'янська Січ», де популяція була знищена співробітниками парку через загрозу біорозмаїттю об'єкта природно-заповідного фонду (Moysiyyenko et al., 2021).

З огляду на тенденцію поширення *O. humifusa* територією України та натуралізацію її у природних фітоценозах, метою

цього дослідження є моделювання ареалу *O. humifusa* з використанням географічних інформаційних систем (далі – ГІС), установлення меж витривалості виду щодо ключових біокліматичних чинників, прогнозування просторово-часових змін його ареалу в умовах глобальних змін клімату на основі наявних моделей цього процесу.

Матеріал і методи

Дані про розповсюдження *O. humifusa* були отримані із Глобальної інформаційної системи з біорізноманіття (GBIF.org, 16 червня 2024 р.). Поширення цього виду в Україні було уточнено на основі останніх опублікованих даних. Усього визначено 4 690 пунктів реєстрації, зокрема 3 370 точок реєстрації в нативному ареалі на східному узбережжі Північної Америки та 1 050 пунктів у центральній Європі, де вид є адвентивним. Географічні координати цих точок визначені в системі координат WGS84 та відображені на карті (рис. 1).

Створення моделі ареалу (екологічної ніші) виду проведено з використанням стандартних 19 біокліматичних змінних (Bio 01 – Bio 19) (табл. 1).

Для вдосконалення моделі використано також середньомісячні дані про інтенсивність сонячної радіації (12 змінних) (1970–2000 рр.), а також цифрову модель рельєфу з бази даних World Clim (<https://www.worldclim.org>).

Для моделювання динаміки ареалу *O. humifusa* в умовах глобальних змін клімату була використана модель MIROC6 у поєднанні з песимістичним сценарієм емісії парникових газів SSP5 8.5 (Hausfather, 2024). Оскільки дані для клімату майбутнього з роздільною здатністю 30" натепер недоступні (як і дані щодо інтенсивності сонячної радіації), як предиктори використано 19 біокліматичних змінних (Bio 01 – Bio 19) (див. табл. 1) для періоду 2061–2080 рр. із роздільною здатністю 2,5' із бази даних World Clim v. 2.1 (<https://www.worldclim.org>). Цей період вибрано, оскільки, згідно з використаним сценарієм CMIP6 емісії CO₂, на його кінець прогнозується максимальний рівень емісії парникових газів.

Для визначення продуктивності моделі аналізували значення площі під кривою (AUC – area under the curve) з робочих характеристик моделі (ROC – receiver operating characteristics). Отримане значення AUC можна інтерпретувати як передбачувану ймовірність випадкового вибору комірки сітки у правильно скоригованій моделі. AUC



Рис. 1. Сучасне поширення *O. humifusa*

Таблиця 1
Біокліматичні показники, використані для
моделювання

№ змінної	Змінна
Bio 01	Середньорічна температура
Bio 02	Середній місячний температурний діапазон
Bio 03	Ізотермічність
Bio 04	Температурна сезонність
Bio 05	Максимальна температура найтеплішого місяця
Bio 06	Мінімальна температура найхолоднішого місяця
Bio 07	Річний температурний діапазон
Bio 08	Середня температура наймокрішого кварталу
Bio 09	Середня температура найсухішого кварталу
Bio 10	Середня температура найтеплішого кварталу
Bio 11	Середня температура найхолоднішого кварталу
Bio 12	Середньорічна кількість опадів
Bio 13	Опади наймокрішого місяця
Bio 14	Опади найсухішого місяця
Bio 15	Сезонність опадів
Bio 16	Опади найвологішого кварталу
Bio 17	Опади найсухішого кварталу
Bio 18	Опади найтеплішого кварталу
Bio 19	Опади найхолоднішого кварталу

визначає успіх моделі з усіма можливими порогами. Якщо $AUC > 0,5$, це означає, що модель працює краще, ніж випадкова оцінка. Що ближче значення тесту AUC до 1, то чутливіша й точніша модель.

Для інтерпретації значення AUC застосовують такі порогові категорії: $AUC \geq 0,9$ – високий, $0,9 > AUC \geq 0,8$ – задовільний, $AUC < 0,8$ – незадовільний. Щоб визначити зону розподілу потенційного ареалу було встановлено такі порогові значення: $<0,1$ – непридатні території, $0,1-0,3$ – малоприсади, $0,3-0,5$ – середньоприсади, $0,5-0,7$ – присади, $0,7-0,9$ – високоприсади, $>0,9$ – найкращі території. Статистичний аналіз отриманих даних здійснили за допомогою програмного пакету “STATISTICA 6.0”.

Результати та обговорення

Для моделювання сучасного ареалу *O. humifusa* використано 119 геореферованих точок. На основі аналізу кліматичних даних у цих точках розраховано статистичні показники біокліматичної ніші виду.

Нами вибрано 25% відсотків випадкових тестових даних (“random test percentage”), які використано програмою для тестування моделі. Це дозволяє зробити статистичний аналіз точності. Для аналізу використовується поріг для бінаризації передбачення, умови вважаються придатними, якщо передбачення вище порога, і непридатними, якщо нижче. Графік на рис. 2. показує, як

змінюється омісія і передбачена територія за тестовими та тренувальними точками залежно від кумулятивного порога.

Як видно із графіка, омісія за тестовими точками досить добре збігається з передбаченою динамікою омісії, розрахованою для тестових даних, отриманих із розподілу Махента. Передбачена омісія є прямою лінією з визначення кумулятивного формату.

Наступний графік (рис. 3) показує receiver operating curve (ROC) для тренувальних і тестових даних. Червона крива показує, наскільки добре модель описує тренувальні дані ("fit"). Синя лінія показує, наскільки добре модель описує тестові дані та є реальним тестом передбачувальності здатності моделі. У нас ці криві практично збігаються. Чорна лінія показує ситуацію, на яку можна було б очікувати, якби надійність прогнозів моделі була на випадковому рівні. Що ближче до верхнього лівого кута синя лінія, то краще модель передбачає знахідки, що містяться в тестовій вибірці. Оскільки в нас є тільки дані про знахідки, але немає даних про відсутність, замість помилки омісії (частка відсутніх, передбачена як трапляння) використовується "frac-

tional predicted area" (частка від площі території дослідження, на якій вид трапляється).

У таблиці 2 наведено оцінки внеску окремих змінних для побудови моделі (змінні із внеском, близьким до нуля, не наводяться). У процесі тренування моделі Махента відстежується, які змінні середовища роблять внесок у побудову моделі. Кожен крок алгоритму Махента збільшує приріст моделі, змінюючи коефіцієнт для однієї з функцій градієнта середовища. Наприкінці процесу тренування відбувається перерахунок приростів у відсотки, які наведено у другій колонці таблиці (див. табл. 2). Ці відсоткові внески визначаються тільки евристично й залежать від конкретного шляху, яким пішов код Махента, щоб досягти оптимального рішення.

Третя колонка в таблиці 2 показує другий показник внеску змінної – важливість за пермутації (permutation importance). Цей показник залежить тільки від остаточної моделі, а не від шляху, який був пройдений програмою, щоб її отримати. Внесок кожної змінної визначається за допомогою випадкової зміни значень цієї змінної у тренувальних точках, а також вимірювання

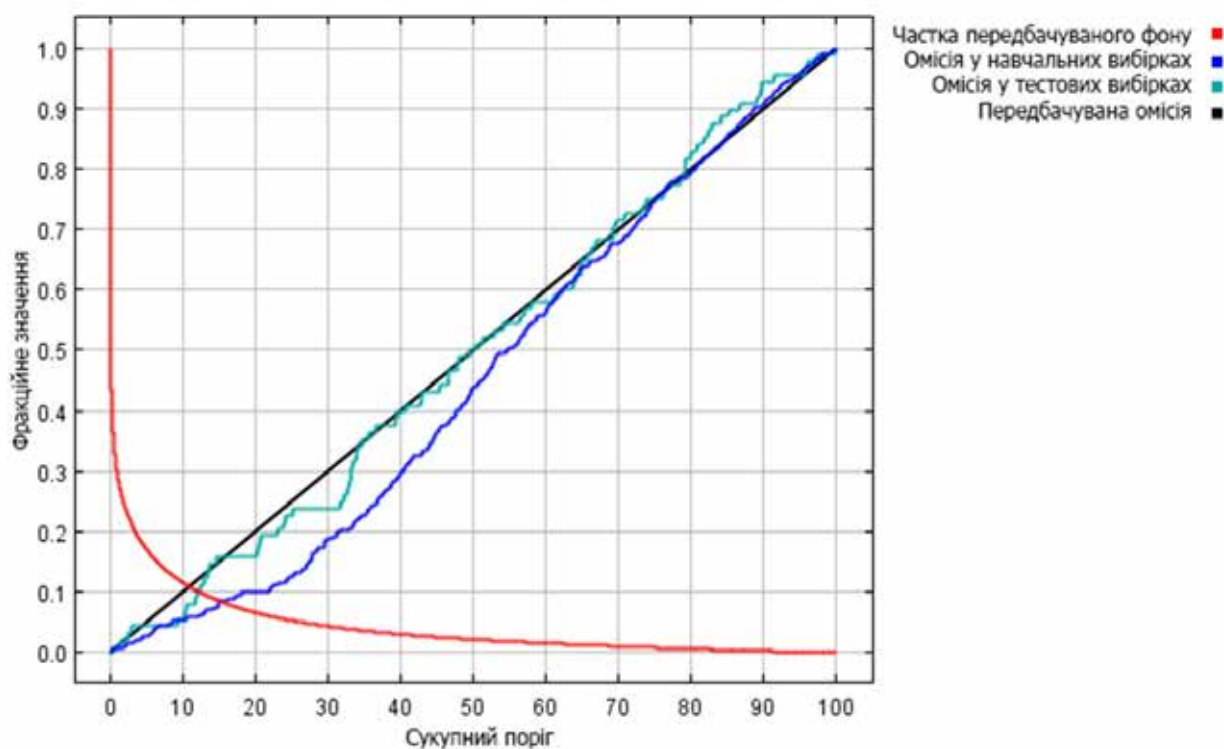


Рис. 2. Зміни омісії і передбаченої території моделі за тестовими та тренувальними точкам залежно від кумулятивного порога

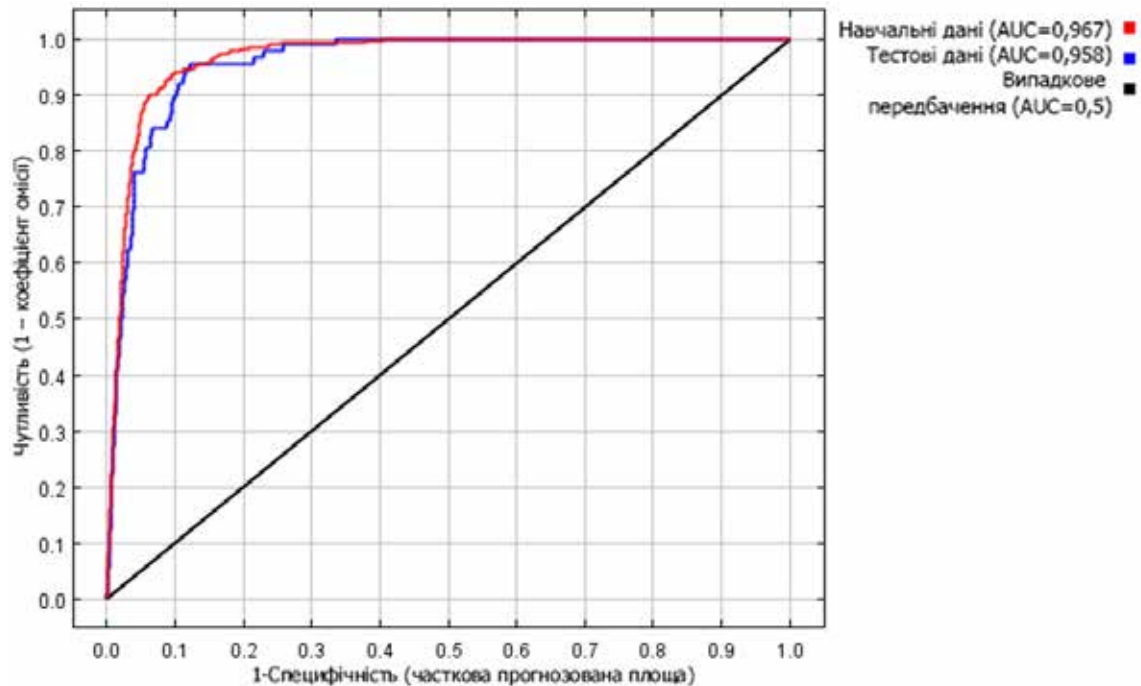


Рис. 3. Чутливість та специфічність моделі ареалу *O. humifusa*

Таблиця 2
Змінні, які роблять найбільший внесок (%) у побудову моделі

Змінна	Відсотковий внесок	Важливість для пермутації
S _{rad} -12	30,1	1,1
Bio 11	18,7	10,7
Bio 17	10,7	0
S _{rad} -09	10,2	13,1
Bio 07	7,2	1,5
Bio 19	3	0
S _{rad} -10	2,9	15,8
Bio 18	2,6	4,4
Elevation	2,3	1
S _{rad} -07	2,2	0
Bio 14	1,6	0,7
S _{rad} 06	1,5	5,6
Bio _04	1,4	4,6
S _{rad} 01	1,2	37,1
Bio 03	1,1	0,9
Bio 06	1,1	0,3

зменшення тренувальної AUC. У результаті проведеного аналізу відібрано дев'ять змінних (табл. 3), які роблять найбільший внесок у побудову моделі. Саме ці змінні використано для побудови наступних моделей.

Модель потенційного сучасного ареалу *O. humifusa* (рис. 4) доводить, що частині території України (південна) властиві кліматичні умови, придатні для існування цього виду. Оптимальні кліматичні умови для *O. humifusa* виявляються лише в кількох локальних зонах. Потрібно також урахувати, що, окрім кліматичних параметрів, для цього виду важливим чинником є наявність придатних для існування біотопів. Щоб мати більшу уяву про біотопи даного виду, розглянемо типові біотопи Криму, де цей вид натуралізувався.

Насамперед це такі локалітети, як гори Гасфорта та Телеграфна, хребет Орта-Кая, Кадикойські висоти, гори Таврос і Аскеті. Вони розташовані на західних відрогах Головної гряди Кримських гір (на Балаклавських висотах) у гіпсометричному діапазоні від 20 до 320 м над рівнем моря на добре освітлених скельних і кам'янистих оголеннях і карбонатних варіантах коричневих ґрунтів. Як відомо, велика щільність вапняків Головної гряди, пов'язана з їхньою метаморфічністю, визначає особливості ґрунтоутворювального процесу, водного режиму та формування поверхневого стоку води (Simoglou et al., 2019). Тріщинуватість вапняків зумовлює накопичення потужної товщі кам'яно-щебеневих продуктів вивітрювання біля підніжжя скель і обривів,

Таблиця 3

Біокліматичні параметри екологічної ніші *O. humifusa* (n = 119)

Параметри	Нативний ареал		Європа		Україна (континентальна)	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
Bio_1	16,52	0,09	11,16	0,06	9,14	0,44
Bio_2	11,40	0,03	9,50	0,03	8,83	0,20
Bio_3	39,16	0,17	35,29	0,11	26,51	0,36
Bio_4	699,84	3,75	639,58	2,15	936,61	13,25
Bio_5	31,24	0,04	26,20	0,07	26,84	0,78
Bio_6	1,15	0,13	-0,77	0,07	-6,49	0,51
Bio_7	30,09	0,10	26,97	0,05	33,33	0,57
Bio_8	21,54	0,12	12,91	0,12	19,15	0,25
Bio_9	12,23	0,15	8,45	0,23	4,19	3,06
Bio_10	24,87	0,05	19,25	0,07	20,50	0,58
Bio_11	7,68	0,13	3,67	0,07	-2,40	0,47
Bio_12	1184,70	4,07	739,22	5,36	481,14	27,76
Bio_13	147,60	0,80	90,78	0,69	59,57	5,65
Bio_14	62,47	0,37	38,92	0,40	26,86	1,40
Bio_15	29,86	0,36	25,68	0,23	24,72	2,13
Bio_16	407,34	2,21	234,80	1,89	162,29	13,66
Bio_17	212,00	1,14	132,03	1,15	92,57	3,88
Bio_18	385,08	2,31	180,03	1,61	158,57	14,38
Bio_19	238,14	1,41	159,41	1,65	109,29	6,19
Elev	128,30	5,37	430,00	8,11	61,43	17,23
Srad_1	8 904,21	43,38	4 894,49	27,72	3 734,29	150,94
Srad_2	11 700,67	39,80	7 869,57	29,57	6 358,29	143,38
Srad_3	15 329,34	39,38	12 210,73	31,65	10 023,00	131,45
Srad_4	19 084,28	37,62	16 029,29	30,13	14 432,00	223,47
Srad_5	21 348,06	30,96	19 431,24	33,75	19 398,71	185,47
Srad_6	21 644,62	14,93	21 995,92	39,42	21 662,14	298,32
Srad_7	21 690,85	17,22	22 765,70	42,62	21 355,43	342,54
Srad_8	19 657,66	17,75	19 818,63	37,51	18 763,86	396,05
Srad_9	16 276,37	21,51	14 569,56	30,87	13 280,57	382,14
Srad_10	13 026,35	34,93	9 373,84	28,68	8 182,00	292,18
Srad_11	9 698,76	44,49	5 511,92	28,37	4 128,00	224,52
Srad_12	8 099,60	41,82	4 072,17	26,36	2 978,43	156,06

які, очевидно, сприяють формуванню умов, необхідних для укорінення кладодіїв і насіннєвого відновлення *O. humifusa*.

Ценопопуляції виду в цих локалітетах охоплюють площу від кількох до семи тисяч квадратних метрів за проектного покриття опунції від 5 до 75%. На схилах гори Таврос відзначено сім різних за площею угруповань. Розміри популяцій визначаються як наявністю придатних для заселення кактусами ділянок території, так, імовірно, і дав-

ністю появи на них цього інвазійного виду.

Очевидно, що реалізована ніша цього виду буде суттєво обмежуватись тими біокліматичними чинниками, значення яких наближаються до нижньої або верхньої межі витривалості виду, що добре ілюструють графіки розподілу пунктів реєстрації виду в діапазонах дії чинників (рис. 5).

Як видно з наведених графіків, цей вид в Європі, особливо в Україні, існує в умовах, дуже близьких до точки мінімуму, здебіль-

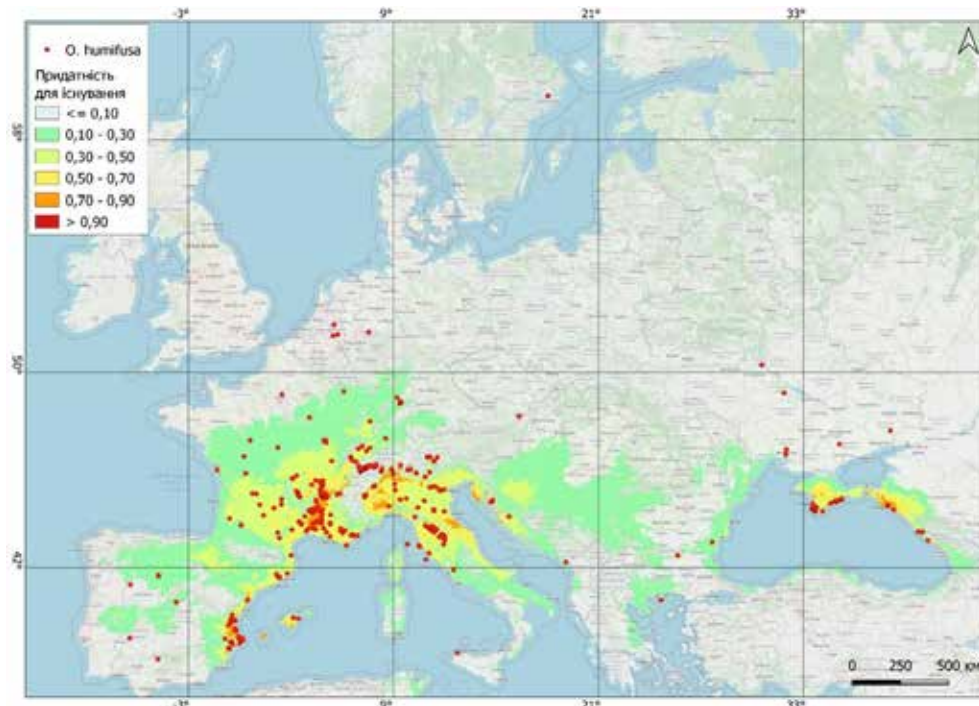


Рис. 4. Модель потенційного сучасного ареалу *O. humifusa* в Європі (32 предиктори)

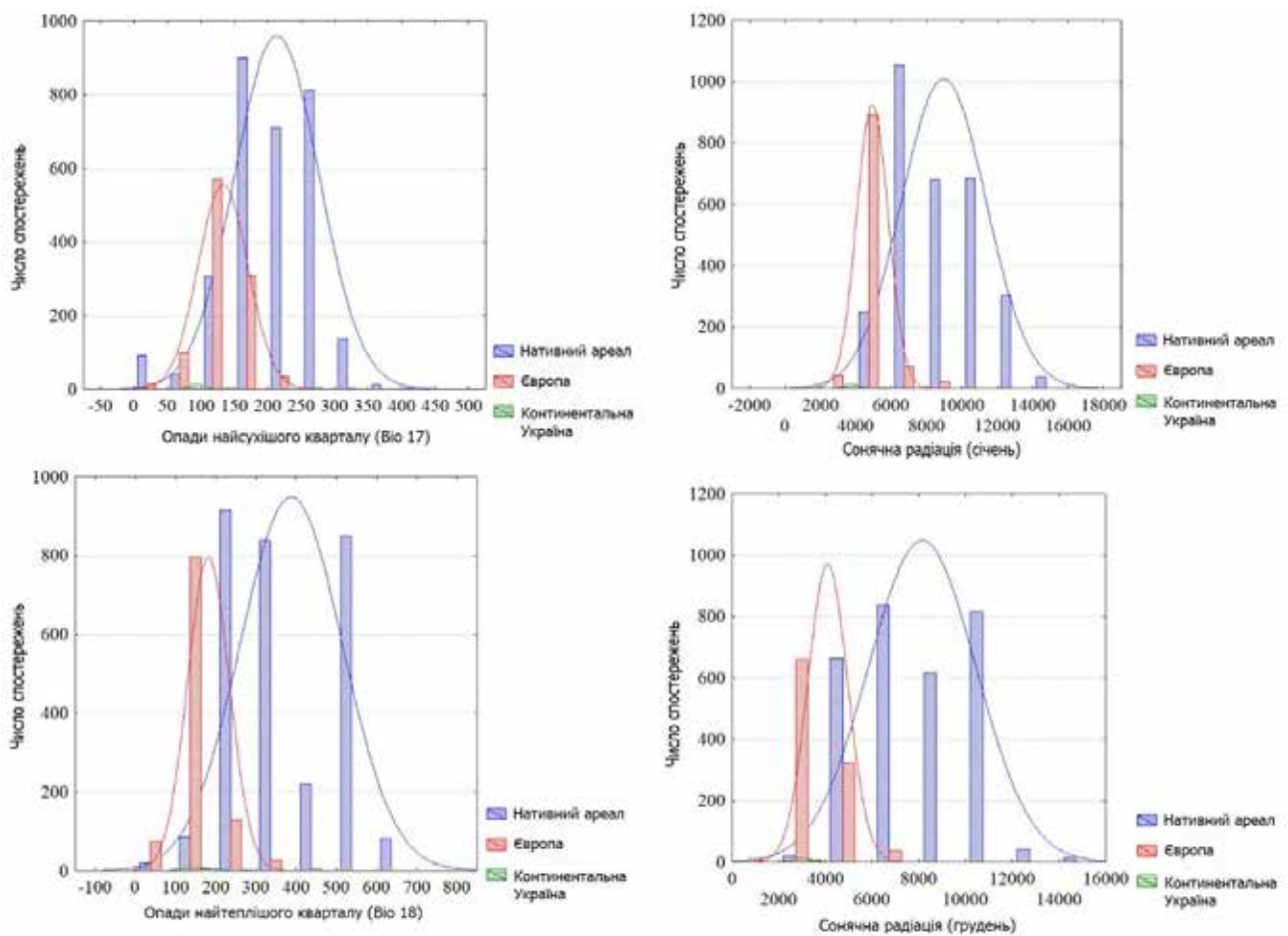


Рис. 5. Екологічна толерантність *O. humifusa* щодо основних біокліматичних чинників у різних частинах ареалу

шого далеких від оптимальних. Це означає, що на більшій частині території України вид може поширюватись суто в локальних біотопах із придатним для його існування мікрокліматом. Тому навряд чи в сучасних умовах можна очікувати на його стрімку експансію.

Моделювання майбутньої динаміки ареалу цього виду під впливом змін клімату свідчить про можливість його суттєвого розширення в північному напрямку (рис. 6).

Досить цікава динаміка спостерігається і стосовно площ із зонами з різною придатністю для існування *O. humifusa*. Так, середньопридатні та придатні кліматичні області за сучасних кліматичних умов можуть стати непридатними в майбутньому, однак північніші території стають більш придатними для існування виду, імовірно, будуть ним заселятись у найближчі десятиліття (див. рис. 6) (рис. 7).

Важливо зазначити, за розширення на північ територія не зменшуватиметься за площею, навпаки, збільшуватиметься, про що свідчать дані графіків (див. рис. 5). Вірогідно, такий тип динаміки зумовлений особливостями використаного сценарію емісії парникових газів (IPCC IV SRES Scenarios A1B) (Emissions ..., 2000).

Висновки

У результаті проведеного аналізу моделі сучасної біокліматичної ніші *Opuntia humifusa* встановлено межі толерантності виду до основних біокліматичних параметрів середовища. Найбільш значущими параметрами, які визначають можливість поширення виду, є кількість опадів, сезонність сонячної радіації, найнижча щотижнева радіація, радіація найвологішого кварталу, середня температура найхолоднішого кварталу, мінімальна температура найхолоднішого місяця. Отримана модель характеризується високою надійністю (AUC = 0,996), а її омісія досить добре збігається з передбаченою динамікою омісії, розрахованою для тестових даних, отриманих із розподілу Maxent. Модель потенційного сучасного ареалу *Opuntia humifusa* доводить, що лише частині території України (південна) властиві кліматичні умови, придатні для існування цього виду. Оптимальні кліматичні умови для виду виявляються лише в кількох локальних зонах.

Моделювання майбутньої динаміки ареалу виду під впливом кліматичних змін свідчить про його суттєве розширення та зміщення в північному напрямку. Основні зміни відзначаються у площях і просторовій

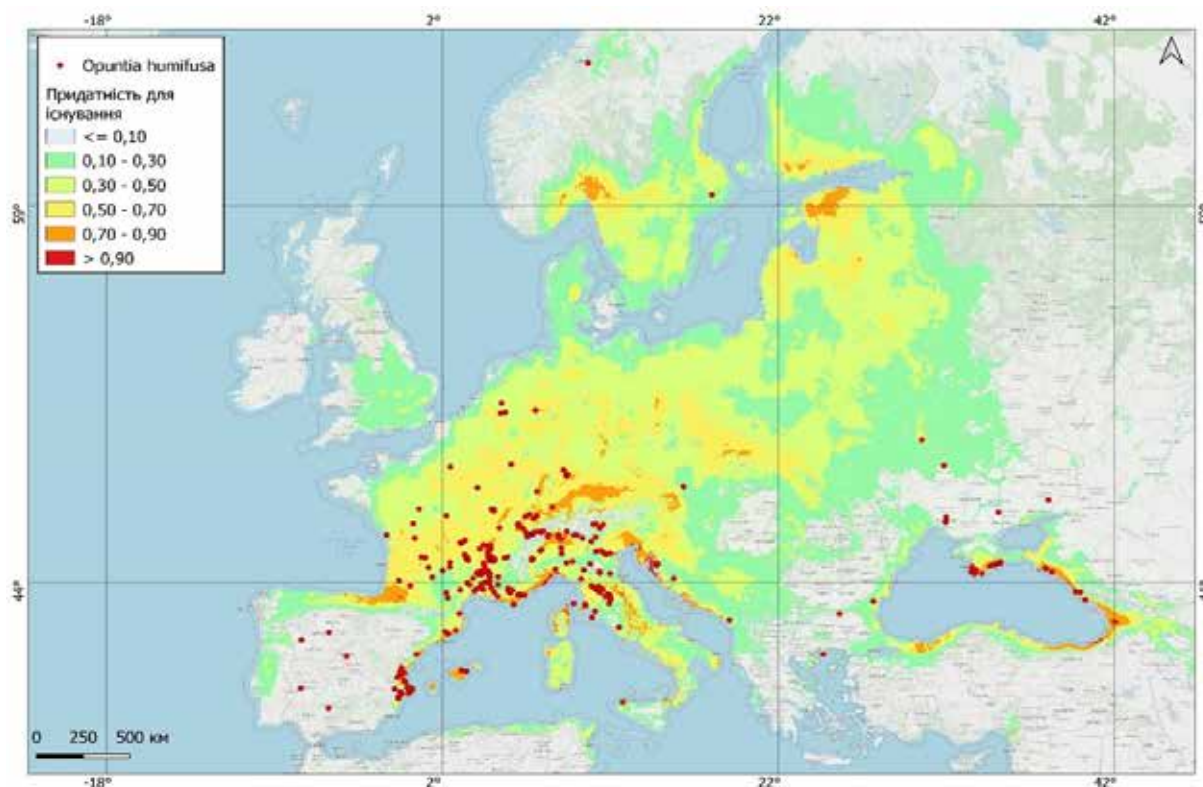


Рис. 6. Модель потенційного ареалу *O. humifusa* в Європі (32 предиктори) на 2080 р.

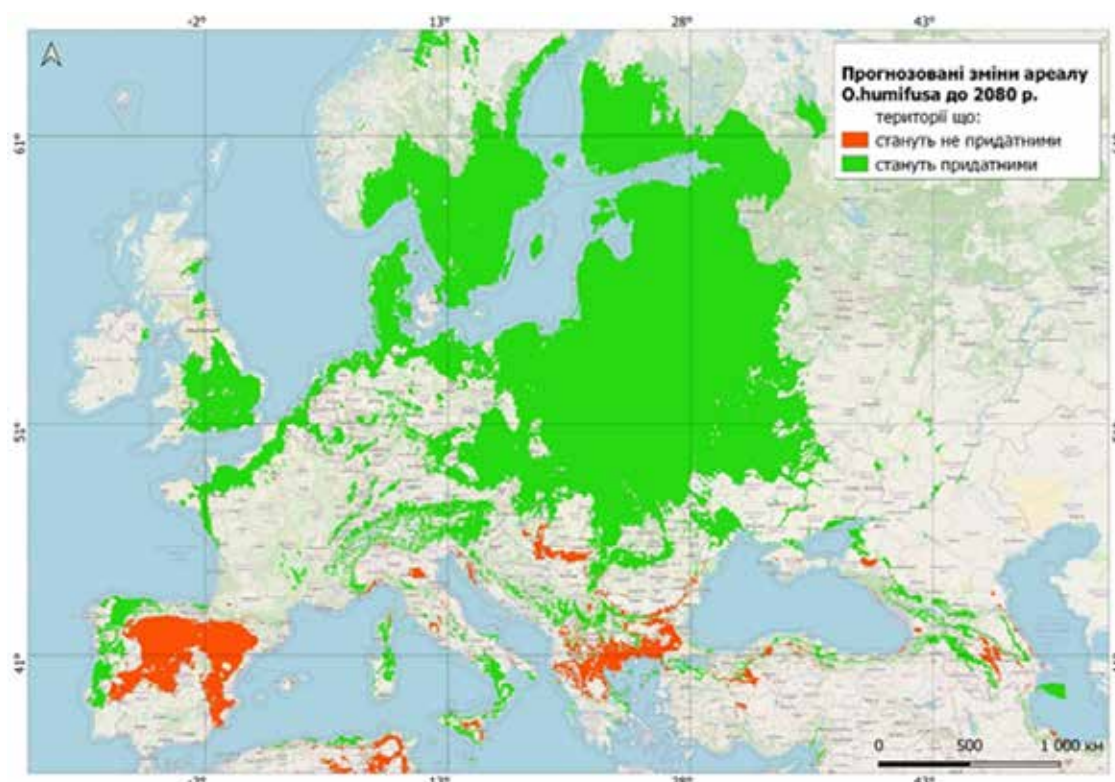


Рис. 7. Прогнозовані зміни ареалу *O. humifusa* до 2080 р.

конфігурації зон із різною придатністю для існування виду. Оптимальна зона практично зникає в моделі 2080 р. Середньопридатні

та придатні кліматичні області суттєво розширюються в моделях до 2080 р. та зміщуються в північні регіони.

Список використаної літератури

- Abella S.R., Jaeger J.F. Ecology of Eastern prickly pear cactus (*Opuntia humifusa*) in Oak Openings Preserve, northwestern Ohio. *The Michigan Botanist*. 2004. V. 43. P. 1–11.
- Dresner T.D. North and South: Morphological variability of the endangered *Opuntia cespitosa* in Canada and its change with environmental conditions. *Castanea*. 2017. V. 82. № 1. P. 8–23. <https://doi.org/10.2179/16-096>.
- Emissions Scenarios / Nebojsa Nakićenović and Rob Swart (Eds.). Cambridge University Press, UK, 2000. 570 p.
- Gorelik R., Dresner T.D., Hancock K. Frost Hardiness of Cacti (Cactaceae) in Ottawa, Ontario, Canada. *Madroño : a West American journal of botany*. 2015. V. 62. № 1. P. 33–45.
- Hausfather Z. CMIP6: The Next Generation of Climate Models Explained [Електронний ресурс]. URL: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained> (дата звернення: 10.10.2024).
- Klinkenberg R., Rhodes J. Long Point Provincial Park Life Sciences Register. Ontario Ministry of Natural Resources, Simcoe County. Simcoe, Ontario, 1980. 116 p.
- Moysiyenko I., Melnyk R., Neprokin A., Lozhkina O., Zakharova M. Ecological and coenotic characteristics of the primary focus of the invasion of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. on the Lower Dnieper sands. *Natural Resources of Border Areas under a Changing Climate : The 5th International Scientific Conference: the program, abstracts*, Ukraine, Chernihiv, September 21–24, 2021. Chernihiv : Publishing House “Desna Polygraph”, 2021. P. 60–61.
- Parks Canada Agency Corporate Plan 2010–2011 [Електронний ресурс]. URL: <https://parks.canada.ca/docs/pc/plans/plan2010-2011/sec01> (дата звернення: 10.10.2024).
- Rasevich V.V., Didukh Ya.P., Daciuk V.V., Boiko G.V. Dispersal of *Opuntia humifusa* (Cactaceae) in the continental part of Ukraine. *Ukr. Bot. J.* 2021. V. 78. № 1. P. 62–68.

- Reznicek S.A. Review and prioritization of rare species: Point Pelee National Park : Draft report. Prepared for Parks Canada. 1982. 52 p.
- Simoglou K.B., Koutsos T.V., Tan K. Report 82. New floristic records in the Balkans: 38 / Compl. : V. Vladimirov, M. Aybeke, V. Matevski, K. Tan. *Phytologia Balcanica*. 2019. V. 19. № 1. P. 153.
- Sipango N., Khuliso R., Sebola A., Hawu O., Mabelebele M., Mokoboki H., Moyo B. Prickly Pear (*Opuntia* spp.) as an Invasive Species and a Potential Fodder Resource for Ruminant Animals. *Sustainability*. 2022. № 14. P. 3719. <https://doi.org/10.3390/su14073719>.
- Van Der Wal J., Evans N., Wozniczka I., Lovett-Doust L. Demography of *Opuntia humifusa* occurring in Point Pelee National Park. Prepared for Parks Canada Agency, Point Pelee National Park. 2007. 53 p.
- White D.J. COSEWIC assessment and update report on the status of *Opuntia humifusa* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa, 2000. 7 p.
- Wildlife species eligible for amendment to list: Species at Risk Act. Environment and Climate Change Canada (ECCC) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/species-risk-act-accord-funding/listing-process/wildlife-species-amendment-list-schedule-1.html> (дата звернення: 10.10.2024).
- Yena A.V. Spontaneous flora of the Crimean Peninsula. Simferopol : N. Orianda, 2012. 232 p.

References

- Abella, S.R., & Jaeger, J.F. (2004). Ecology of Eastern prickly pear cactus (*Opuntia humifusa*) in Oak Openings Preserve, northwestern Ohio. *The Michigan Botanist*, 43, 1–11 [in English].
- Dresner, T.D. (2017). North and South: Morphological variability of the endangered *Opuntia cespitosa* in Canada and its change with environmental conditions. *Castanea*, 82 (1), 8–23. <https://doi.org/10.2179/16-096> [in English].
- Emissions Scenarios (2000). Cambridge University Press, UK. Nebojsa Nakićenović and Rob Swart (Eds.) [in English].
- Gorelik, R., Dresner, T.D., & Hancock, K. (2015). Frost Hardiness of Cacti (Cactaceae) in Ottawa, Ontario, Canada. *Madroño: a West American journal of botany*, 62 (1), 33–45 [in English].
- Hausfather, Z. CMIP6: The Next Generation of Climate Models Explained. [Electronic resource] URL: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained> (access date 10.10.2024) [in English].
- Klinkenberg, R., & Rhodes, J. (1980). Long Point Provincial Park Life Sciences Register. Ontario Ministry of Natural Resources, Simcoe County, Simcoe, Ontario [in English].
- Moysiyenko, I., Melnyk, R., Neprokin, A., Lozhkina, O., & Zakharova, M. (2021). Ecological and coenotic characteristics of the primary focus of the invasion of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. on the Lower Dnieper sands. *Natural Resources of Border Areas under a Changing Climate. The 5th International Scientific Conference: the program, abstracts* (Ukraine, Chernihiv, September 21–24, 2021). Chernihiv: Publishing House “Desna Polygraph”, 60–61 [in English].
- Parks Canada Agency Corporate Plan 2010–2011. [Electronic resource] URL: <https://parks.canada.ca/docs/pc/plans/plan2010-2011/sec01> (access date 10.10.2024) [in English].
- Rasevich, V.V., Didukh, Ya.P., Daciuk, V.V., & Boiko, G.V. (2021). Dispersal of *Opuntia humifusa* (Cactaceae) in the continental part of Ukraine. *Ukr. Bot. J.*, 78 (1), 62–68 [in English].
- Reznicek, S.A. (1982). Review and prioritization of rare species: Point Pelee National Park. Draft report. Prepared for Parks Canada [in English].
- Simoglou, K.B., Koutsos, T.V., Tan, K. (2019). Report 82. In: New floristic records in the Balkans: 38. Compl. V. Vladimirov, M. Aybeke, V. Matevski, K. Tan. *Phytologia Balcanica*, 19 (1), 153 [in English].
- Sipango, N., Khuliso, R., Sebola A., Hawu, O., Mabelebele, M., Mokoboki, H., & Moyo, B. (2022). Prickly Pear (*Opuntia* spp.) as an Invasive Species and a Potential Fodder Resource for Ruminant Animals. *Sustainability*, 14, 3719. <https://doi.org/10.3390/su14073719> [in English].
- Van Der Wal, J., Evans, N., Wozniczka, I., & Lovett-Doust, L. (2007). Demography of *Opuntia humifusa* occurring in Point Pelee National Park. Prepared for Parks Canada Agency, Point Pelee National Park [in English].
- White, D.J. (2000). COSEWIC assessment and update report on the status of *Opuntia humifusa* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa [in English].

Wildlife species eligible for amendment to list: Species at Risk Act. Environment and Climate Change Canada (ECCC). [Electronic resource] URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/species-risk-act-accord-funding/listing-process/wildlife-species-amendment-list-schedule-1.html> (access date 10.10.2024) [in English].

Yena, A.V. (2012). Spontaneous flora of the Crimean Peninsula. Simferopol: N. Orianda [in English].

Отримано: 23.04.2025

Прийнято: 15.05.2025