



Некрасова О.Д., Титар В.М., Куїбіда В.В.

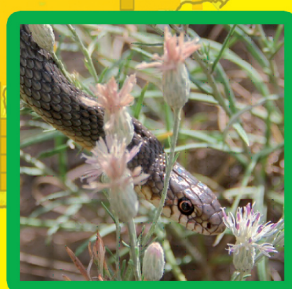
ГІС-МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ

вразливих до змін клімату
земноводних
та плазунів України

0
0.2
0.6



100 200 км



Некрасова О.Д., Титар В.М., Куйбіда В.В.

**ГІС-моделювання поширення
вразливих до змін клімату
земноводних та плазунів України**

Київ
НАН України
Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена
2019

УДК 591.9(477):004.94
Н48

Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди» від 26 листопада 2018 р. протокол № 4 та Вченою радою ІЗАНУ Інституту зоології імені І. І. Шмальгаузена НАН України від 21 травня 2019 р. протокол № 5

Відповідальний редактор

Межжерін С. В. – доктор біологічних наук, професор, завідувач відділу Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України

Рецензенти:

Дзевєрін І. І. – доктор біологічних наук, завідувач відділу Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України

Пупінш М. (Pupins M.) – доктор біологічних наук, професор Даугавпільського університету DZTI (Даувгавпілс, Латвія)

Некрасова О.Д.

Н48 ГІС-моделювання поширення вразливих до змін клімату земноводних та плазунів України / О. Д. Некрасова, В. М. Титар, В. В. Куйбіда. – НАН України, Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена : Київ, 2019. – 204 с.

ISBN 978-966-02-8956-7

У монографії розглянуто проблеми, які пов'язані з методичними аспектами ГІС-моделювання поширення вразливих видів тварин України. Дано оцінку стану клімату, його динаміці та прогностичним сценаріям розвитку в майбутньому. Зроблено аналіз новітніх програмних забезпечень і електронних баз та наведено приклад їх адаптації для хорологічного ГІС-аналізу. Здійснено хорологічний аналіз модельних видів фауни України, вразливих до глобальних кліматичних змін й розглянуто ризики для існування представників батрахо-та герпетофауни України у найближчій перспективі.

Монографія розрахована на студентів, аспірантів, науковців і фахівців у галузі природознавства та інформатики.

*Видання здійснено за кошти Державного Фонду
Фундаментальних Досліджень (Ф76/15-2018).*

ISBN 978-966-02-8956-7

УДК 591.9(477):004.94

© О. Д. Некрасова, В. М. Титар, В. В. Куйбіда, 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
ПЕРЕДМОВА	11
 Глава 1.	
КЛІМАТ УКРАЇНИ ТА ІНДИКАТОРИ	
ЙОГО ЗМІН.....	13
1.1 Фізико-географічне, кліматичне та зоогеографічне районування України	13
1.2 Клімат України: оцінка стану, динаміка змін та прогностичні сценарії	15
1.3. Глобальні зміни клімату як загроза сучасним природоохоронним зусиллям.....	26
 Глава 2	
ВСТАНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І ПІДГОТОВКА ДАНИХ.....	38
2.1. Інсталяція та запуск програм, робота з проектами	38
2.2. Аналіз новітніх електронних баз даних з Інтернет-ресурсів та їх адаптація до хорологічного ГІС-аналізу	52
2.3. Підготовка даних до ГІС-моделювання: методичний підхід	61
 Глава 3	
МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ВИДІВ	
ТА ОЦІНКА ОТРИМАНОЇ МОДЕЛІ	79
3.1 Модельні види батрахо- та герпетофауни України....	79

3.2.Хорологічний аналіз модельних видів фауни України, вразливих до глобальних кліматичних змін	86
3.3. Кліматичні ризики існування вразливих видів земноводних та плазунів України у найближчій перспективі	113

Глава 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА УМОВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ДО 2050 р.	127
--	------------

4.1. Методи розробки та алгоритми моделювання природоохоронної мережі в Україні	127
4.2. Перспективи збереження біологічного різноманіття батрахофауни в модельних об'єктах природно-заповідної мережі Західного Полісся	139
4.3. Ранжування модельних об'єктів природно-заповідної мережі Західного Полісся і збереження біологічного різноманіття батрахофауни	145
4.4. Рекомендації та прогнози щодо створення природно-охоронної мережі та територій-рефугіумів	149

ПРИКІНЦЕВІ ВИСНОВКИ.....	155
---------------------------------	------------

ЗАКЛЮЧНІ ВИСНОВКИ	158
--------------------------------	------------

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	172
-------------------------------	------------

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БК	– Бернська конвенція. Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі
ГІС (GIS)	– Географічна інформаційна система
БД	– База даних
ПрЗ	– Програмне забезпечення
ЧС МСОП	– Червоний список Міжнародного союзу охорони природи (International Union for Conservation of Nature, IUCN)
НПП	– Національний природний парк (ПЗФ)
ПЗ	– Природний заповідник (ПЗФ)
ПЗФ	– Природно-заповідний фонд
ЧКУ	– Червона книга України, 2009
ВІО	– Біокліматичні показники (BIOCLIM)
ЕН	– Мережа Емеральд (Emerald Network), Смараглова мережа (Natura 2000)

ВСТУП

Географічні інформаційні системи (ГІС) побачили світ унаслідок інтеграції різних галузей наукового пошуку: картографії, географії, екології, інформатики, теорії інформаційних систем, комп'ютерної техніки і програмування, математики та загальнонаукових методів пізнання навколишнього середовища.

У законі України «Про Національну програму інформатизації» (2016) поняття *геоінформаційні системи* сформульовано як: Сучасні комп'ютерні технології, що дають можливість поєднати модельне зображення території (електронне відображення карт, схем, космо-, аерозображень земної поверхні) з інформацією табличного типу (різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо).

ГІС знаходять застосування у різноманітних галузях науки і господарства. Аналізуючи цифрові карти на екрані комп'ютера можна:

- прив'язувати фотографії, схеми, плани, статистичні, соціологічні, наукові матеріали до географічного об'єкту;
- відображати стан навколишнього середовища на цифрових картах;
- вести кадастри природних ресурсів та управляти територіями;
- аналізувати глобальне і регіональне забруднення довкілля, зміни клімату, перенаселення тощо;
- відслідковувати переміщення видів тварин і рослин (зміщення меж ареалів) та перспективи їх збереження;
- прогнозувати, запобігати й усувати наслідки техногенних аварій та природних стихій і виділяти необхідні ресурси;
- виявляти шляхи розповсюдження забруднень й оцінювати ймовірні збитки природному середовищу;

- прогнозувати посіви та врожайність;
- планувати механічну і хімічну обробку ґрунтів;
- моделювати розподіл захворювань сільськогосподарських культур в просторі і часі;
- прогнозувати розповсюдження «шкідливих» комах та інвазійних «бур'янів» («біологічне забруднення») на певній території;
- прогнозувати можливі місця розривів трубопроводу на трасі;
- розраховувати об'єм коштів потрібних для усунення наслідків аварії;
- оптимізувати вартість перевезень вантажів між населеними пунктами з урахуванням характеристик транспортної мережі, об'єму перевезень та інших умов;
- деталізувати карту мережі магістралей, їх інфраструктуру;
- корегувати адміністративний поділ регіонів;
- здійснювати моніторинг стану шляхових мереж та проведення ремонтних робіт, вантажних терміналів та їх завантаженість;
- здійснювати контроль за підпорядкованими службами та їх точним місцем знаходження;
- отримувати детальну інформацію про пасажирські перевезення, маршрути та їх завантаженість;
- проектувати нові маршрути та аналізувати існуючі;
- аналізувати транспортні потоки, завантаження вузлів та ділянок для збільшення економічної ефективності експлуатації мережі;
- відстежувати розподіл рухомого складу за територіальними ділянками магістралей в режимі реального часу;
- забезпечувати можливість швидкого перегрупування транспорту, уникнення заторів, нагромадження «порожняку» та перевантаження вузлів;
- зменшувати пробіг потягів, автотранспорту та ін. «порожняком»;

- планувати нові об'єкти і шляхи;
- формувати звіти про стан керованої мережі за територіальними ознаками та за стандартними запитами;
- здійснювати екологічно-географічне картографування;
- планувати екопереходи для тварин на дорогах (екодук);
- знаходити об'єкти (будинки, установи тощо) за їх адресою та ін.

Застосування ГІС стало вже традиційним для управління й планування розвитку територій, містобудування, архітектури й інженерної інфраструктури, земельних ресурсів та кадастрів, використання геологічних й мінерально-сировинних ресурсів, розрахунків запасів корисних копалин на певній території, маркетингу й аналізу ринку, надзвичайних ситуацій, служб швидкого реагування, кримінальній картографії.

Використання ГІС створює додаткові можливості для нового рівня опанування усіх навчальних дисциплін освітніх програм природничих спеціальностей, здобуття загальних і професійно-орієнтованих компетентностей, трансформації студентської молоді у стан активних учасників процесу навчання та науково пошуку.

У сучасному освітньому просторі України назріла необхідність активного ознайомлення молоді з основами геоінформаційних систем і технологій. Вони конче необхідні для вирішення наукових, освітніх та прикладних завдань сучасності й відповідають викликам часу. У технологічно розвинених країнах геоінформаційна освіта перебуває на досить високому рівні, а в Україні вона лише зароджується.

Історіографічний аналіз використання наукової та навчальної літератури в царині геоінформаційних систем охоплює переважно початок ХХІ ст. Освітній процес теренів України обслуговують підручники, навчальні посібни-

ки та монографії для різних галузей науки та виробництва. Зокрема це: «Атлас України. Пілотний проект електронної версії Національного атласу України. Інститут географії НАН України» (2000); Суховірський Б. І. «Географічні інформаційні системи» (2000); Мітчелл Э. «Руководство по ГИС анализу» (2000); Бусигін Б. С. та ін. «Инструментарий геоинформационных систем» (2000); Ситнік В. Г. та ін. «Основи інформаційних систем» (2001); Суховірський Б. І. «Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку» (2002); Кохан С. С. «Географічні інформаційні системи» (2003); Іщук О. О. та ін. «Просторовий аналіз в ГІС» (2003); Карпенко Г. С. та ін. «Інформаційні системи і технології» (2004); Маслов В. П. «Інформаційні системи і технології в економіці» (2005); Світличний О. О. «Основи геоінформатики» (2006); Кліменко І. В. та ін. «Технології електронного урядування» (2006); Морозов В. В. «ГІС в управлінні водними і земельними ресурсами» (2006); Ладичук Д. О. та ін. «Бази геоінформаційних даних» (2007); Ушкаренко В. О. та ін. «Системи управління базами даних ГІС для моніторингу ґрунтів» (2007); Ямелинець Т. С. «Застосування географічних інформаційних систем у ґрунтознавстві» (2008); Шипулін В. Д. та ін. «Планування і управління ГІС-проектами» (2009); Шумаков Ф. Т. «Збірник лабораторних робіт з геоінформатики» (2009); Мкртчян О. С. «Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії» (2010); Морозов В. В. «Геоінформаційні системи в агросфері» (2010); Рудько Г. І. «Геоінформаційні технології в надрокористуванні (на прикладі ГІС K–MINE)» (2011); Пітак І. В. та ін. «Геоінформаційні технології в екології» (2012); Зацерковний В. І. та ін. «Геоінформаційні системи і бази даних» (2014) та «Геоінформаційні системи в науках про Землю» (2016); Карпінський Ю. О. та ін. «Геопросторовий аналіз» (2016); Лазоренко-Гевель Н. Ю. та ін. «Практикум з геоінформаційних систем. ArcGIS» (2016); Лазоре-

нко-Гевель Н. Ю. «Прикладне програмування в ГІС» (2016); Говоров М. та ін. «Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних»: у шести томах (2017); Катушков В.А. та ін. «Технологія оброблення растрової інформації на цифровій фотограмметричній станції» (2017); Кейк Д. та ін. «Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних»: у шести томах (2017).

Геоінформаційні технології в Україні недостатньо забезпечені сучасними україномовними літературними виданнями. Наявна науково-навчальна література присвячена висвітленню інструментарію, програмуванню та використанню геоінформаційних систем в географії, економіці, управлінні водними і земельними ресурсами, агросфері, надрокористуванні тощо. Натомість сьогодні попри значні можливості й перспективи ГІС у вивченні тваринного світу монографії та посібники у зоологічній галузі відсутні.

Запропонована робота стане однією з перших, де проаналізовано результати колективних студіювань наукової інституції (Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України) та навчального закладу (ДВНЗ «Переяслав-Хмельницького державного педагогічного університету імені Григорія Сковороди»). Хорологічний ГІС-аналіз тварин вразливих до глобальних кліматичних змін, оцінку ризиків їхнього збереження на довгострокову перспективу та прогноз стосовно розбудови національної природно-заповідної мережі зроблено в рамках реалізації завдань гранту Фонду фундаментальних досліджень України за Договором (№ Ф76/ 86-2017), який продовжено у 2018 році (Ф76/15-2018 від 02.04 2018).

Автори монографії вдячні співробітникам Інституту зоології В. В. Корнюшину, О. Ю. Марущаку, М. Ю. Русіну за допомогу в процесі виконання роботи.

ПЕРЕДМОВА

Клімат – один із основних екологічних факторів (Humboldt, 1858). Це складне поняття й показник, а його головні компоненти – тепловий та водний баланси приземного шару атмосфери у певній місцевості. Клімат визначає просторовий (хорологічний) розподіл тварин і його динаміку в часі. Сучасний фауністичний склад будь-якої території формується кліматичними змінами минулого. Водночас це не єдиний чинник впливу на видове різноманіття тварин. Інформація про трансформацію й динаміку ареалів в умовах глобальної зміни клімату має надзвичайно важливе практичне значення.

Виявлення закономірностей хорології тварин – фундаментальна проблема. Вона тісно пов'язана з історією видів у контексті глобальної та локальної еволюції природного середовища. Пізнання закономірностей просторового розміщення тварин створює можливість оцінювання перспектив подальшого існування видів та характеру їх ареалів у результаті впливу різних екологічних чинників.

Піднята проблема має суспільний контекст оскільки для суспільства наслідки глобальних змін клімату носять комплексний характер. Деякі райони світу та види господарської діяльності виграють від глобальних кліматичних змін, інші ж можуть зазнати збитків. Існують побоювання, що очікувані зміни досягнуть такого рівня коли умови навколишнього середовища значно ускладняться. Вони зазнають погіршення і будуть загрозливими для природи, суспільства й господарської діяльності. Численні види біоти за короткий час не встигнуть належною мірою відреагувати на різку зміну клімату. Унаслідок коеволюції екологічно близьких видів зникнення одного із них може призвести до каскадного ефекту всередині кластерів, угруповань та екосистем.

За цих умов необхідно захистити не лише суспільство і людей, але й біологічне різноманіття. Видове багатство є незамінним ресурсом для медицини, сільського господарства й запорукою спроможності екосистем реагувати на зміни та адаптуватися до нових умов. Для початку необхідно провести екологічні дослідження хоча б на окремих модельних видах, які зможуть мінімізувати наслідки глобальних змін. На цьому ж етапі потрібно визначити ризики вимирання окремих видів.

Методичною базою для вивчення поширення тварин та їх ареалів стали засади біоінформатики (Peterson, Vieglais, 2001). Насамперед це комп'ютерне моделювання, яке засноване на принципах «машинного навчання», геоінформаційні системи (ГІС) та загальнодоступні Інтернет-пакети статистичних програм, зокрема статистичний пакет R (Шитиков, Розенберг, 2013), STATISTICA (Боровиков, 2013) та PAST (Hammer et al., 2001).

Мета запропонованої роботи – об'єднання оцінки стану клімату, динаміки його трансформації, прогностичних сценаріїв розвитку майбутнього (2030 та 2050 рр.), рекомендації щодо створення екологічної природоохоронної мережі на основі методичних аспектів ГІС-моделювання поширення вразливих видів тварин на території України.

Глава 1

КЛІМАТ УКРАЇНИ ТА ІНДИКАТОРИ ЙОГО ЗМІН

1.1. Фізико-географічне, кліматичне та зоогеографічне районування України

Визначення територіальних меж дослідження було здійснено на основі науково-довідкового офіційного державного видання «Національний атлас України» (2007) за трьома типами районування території: фізико-географічним (с. 228 –229), кліматичним (с. 171) та зоогеографічним (с. 218). Карти атласу створені фахівцями інститутів Національної академії наук України, національних університетів та науково-дослідних інститутів.

В основу **фізично-географічної класифікації** покладено загальний ландшафтно-генетичний принцип. Його змістове наповнення полягає в тому, що – стан екосистем зумовлений рельєфом, літолого-тектонічною основою, кліматом, водами, ґрунтами, флорою, фауною та антропогенним впливом. Зазначені складові перебувають в постійній взаємодії і зумовлюють зародження, формування і трансформацію екосистем. В Україні виділено два класи ландшафтних комплексів – рівнинний та гірський. На рівнинній території України виділяють чотири зональні типи:

- 1) мішаних (хвойно-широколистяних) лісів;
- 2) широколистяних лісів;
- 3) лісостепову;
- 4) степову та два гірських краї:
 - 1) Українські Карпати;
 - 2) Кримські гори.

Кліматичне районування території ґрунтується на фізико-географічному поділі території на зони і краї. За критерієм клімату виділено три кліматичні області України:

I) Північна атлантично-континентальна — включає три зони (мішаних, широколистяних лісів та лісостепову) і один край (Українські Карпати);

II) Південна атлантично-континентальна — включає зону степу та один край (Кримські гори);

III) Середземноморська — включає район Південного берегу Криму.

Єдина Палеоарктична **зоогеографічна область** України представлена п'ятьма районами:

- 1) Карпатський;
- 2) Мішаного, листяного лісу та лісостепу;
- 3) Притисянський (Закарпаття);
- 4) Азово-чорноморський;
- 5) Евксинський (Південнокримська ділянка).

Обрані критерії районування можна сприймати як інтегральний показник для пояснення антропогенізованих змін у природі. Вони тісно пов'язані між собою, а їх територіальні межі перекриваються.

На наш погляд серед розглянутих класифікацій фізично-географічне районування є базовим та найінформативнішим.

1.2. Клімат України: оцінка стану, динаміка змін та прогностичні сценарії

Глобальні зміни клімату на сьогодні досліджує плеяда учених, зокрема: М. Ален, К. Андерсон, Р. Белінг, Р. Бетс, Ф. Джонс, Д. Кейз, Дж. Крісті, В. Логинов, М. Меннінг, Дж. Мітчел, В. Попе, С. Солмон, І. Фунг, Г. Шельнхубер, Г. Шмідт, С. Шнайдер та ін. (Climate Change, 2007; Логинов, 2012).

Кліматологічний стан і проблеми теренів України розглянуто у роботах: М. Кульбіди, М. Барабаша, В. Осадчого, В. Мартазінової, Т. Адаменко, В. Бабіченко, О. Косовця, С. Бойченко, В. Волощука та ін. Зокрема, розглянуто діагностичну оцінку стану клімату України в монографічних працях (Клімат України, 2003; Клімат Києва, 2010) та ін.; досліджено динаміку клімату початку ХХІ ст. у роботі (Клімат України: у минулому..., 2009) та ін.; проаналізовано стихійні метеорологічні явища на території України у 1986–2005 рр. (Стихійні метеорологічні явища..., 2006) та ін.; запропоновано сценарій майбутнього клімату України (Кульбіда., 2011; Барабаш., 2005) та ін.

Традиційно зміни клімату оцінюють і характеризують за допомогою річної температури повітря, яка є інтегральною характеристикою трансформацій всіх процесів в екосистемах. У 1881 р. було започатковано спостереження за температурою повітря теренів України. Воно дало можливість зробити статистично обґрунтованою характеристику схожості вікового ходу річної глобальної і регіональної температури повітря в ХХ–ХХІ ст. У роботі М. Кульбіди та ін. «Сучасний стан клімату України» використано дані мережі 60 наземних метеорологічних станцій України, із яких 18 функціонувало впродовж 112 р., а з 1951 р. 60 установ (Кульбіда, 2013).

У статті зазначено, що перший етап потепління в цей період часу розпочався з 1911 р. і досяг найбільшої інтенсивності в 30-х роках. У другій половині ХХ ст. глобальний клімат перебував на своєрідному плато. Із початку 70-х рр. процес потепління відбувався інтенсивніше, ніж в попередні роки. Наступний період кількісного зростання температури було зафіксовано в 1991 р. З початку ХХІ ст. й до сьогодні простежується найшвидше зростання річної температури порівняно з усім попереднім часом спостережень. У результаті аналізу спостережень зазначені автори довели, що з 1975 р. глобальне потепління відбувається найінтенсивніше. В Україні ріст температури помітніший, ніж в інших країнах. З початку 70-х рр. ХХ ст. до 2010 р. інтенсивність потепління в степовій зоні була дещо менша, ніж в інших природних зонах України. Підвищення температури повітря, яке спостерігають з початку 1970-х років, відображають на середніх багаторічних показниках температури повітря. Вони характеризують клімат України і прийняті за стандартну кліматичну норму. За допомогою цього показника ведуть усі подальші статистичні розрахунки. Осереднені дані за 20 років (1991–2012 рр.) характеризують клімат, який не спостерігали в ХХ столітті.

У 2015 р. В. Лялько та ін. розширили матеріали та висновки попередньої статті й представили свій погляд на зазначену проблему в роботі «Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки» (Лялько, 2015). Було зазначено, що багаторічний хід температури повітря в Україні за період 1900–2013 рр. в зоні мішаних лісів, широколистяних лісів та лісостепу за трендом становить $0,8\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$, в степовій зоні – близько $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у бік потепління. Для теренів України прояви змін глобального клімату в усіх районах підсилювалися за рахунок внутрішніх чинників: зміни ландшафтів внаслідок багатовікової госпо-

дарської діяльності, сучасних змін водних ресурсів, викликаних меліоративними роботами, процесами урбанізації тощо. (Лялько, там само С. 39–40). Водночас найсуттєвішими чинниками антропогенного впливу на клімат у глобальному масштабі є:

- зміна газового складу атмосфери внаслідок викидів продуктів згорання органічного палива, насамперед радіаційно активних малих газових компонентів (CO_2 , NO_2 , CH_4) і дещо менше за рахунок хлористих фторвуглеводнів, перфторвуглеводнів та ін.;

- зміна аерозольного складу атмосфери внаслідок надходження в неї сажі продуктів згорання у вигляді сполук сірки, нітрогену та ін., які у складі опадів впливають на ґрунт, рослинний і тваринний світ;

- теплове забруднення атмосфери та гідросфери;

- зміни структури та властивостей поверхні літосфери в результаті розорювання великих масивів землі, знищення лісів, меліорації та ін.

- збільшення концентрації парникових газів та викидів аерозолів в атмосферу (Логинов, 2012; Лялько, там само, С. 36).

На основі цифрових даних наземних метеорологічних станцій України, оприлюднених М. Кульбідією та ін. (2013) та В. Лялько та ін. (2015), ми зробили власний детальний аналіз змін клімату стосовно кожної фізико-географічної зони, що не було зроблено в зазначених двох роботах.

Зона мішаних лісів

У період з 1900 р. спостерігали постійне потепління, але аж до 80-х рр. ХХ ст. річна температура повітря не перевищувала кліматичну норму. За перші 80 р. ХХ ст. температура повітря зросла на $3,9^{\circ}\text{C}$, а за останні 32 р. – на $1,5^{\circ}\text{C}$. Уперше перевищення кліматичної норми було

досягнуто в 1981 р. ($0,2^{\circ}\text{C}$) й досягло найбільших значень в 2001–2012 рр. ($1,4\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$) і за десять років показники майже не змінювалися. Слід зазначити, що регіональне потепління в зоні мішаних лісів України перевищило глобальне вдвічі.

Загалом у хронологічний період з 1900 по 2012 рр. середньорічна температура повітря зросла на $4,9\text{--}5,0^{\circ}\text{C}$.

Зона широколистяних лісів

Із 1900 р. й до сьогодні відбувалося потепління. До 80-х рр. ХХ ст. помічено 2 піки зростання річної температури повітря: 1900–1920 рр. та 1931–1951 рр., які сумарно склали $1,5^{\circ}\text{C}$ та 2 випадки її зниження (1921–1940 рр.) та (1951–1980 рр.). Натомість впродовж 1921р. по 1931 р. температурних змін не зафіксовано. Перевищення річної температури повітря понад кліматичну норму розпочалося з 1981 р. і склало $0,2\text{--}0,3^{\circ}\text{C}$ до 2000 р.; в 2011–2010 рр. – $0,8\text{--}1,3^{\circ}\text{C}$ і в 2011–2012 рр. – $1,5^{\circ}\text{C}$. В останній період часу регіональна температура потепління перевищувала глобальну дещо більше, ніж у 2 рази.

Загалом у період з 1900 по 2012 рр. середньорічна температура повітря зросла на $2,7\text{--}2,8^{\circ}\text{C}$.

Зона лісостепу

Упродовж 100-річного періоду часу ХХ-го ст. середньорічна температура зросла на $2,4^{\circ}\text{C}$. Натомість на хронологічному відрізку з 1900 по 1920 рр. похолодало на 1°C , з 1921 по 1941 рр. – потепліло на $1,9^{\circ}\text{C}$, знову похолодало у 60–70-х рр. На початку 80-х рр. середньорічна температура повітря досягла кліматичної норми. Слід зазначити, що перевищення кліматичної норми у лісостепу відбулося в 90-х рр. ($0,1\text{--}0,2^{\circ}\text{C}$), що на 10 р. пізніше, ніж у двох попередніх фізико-географічних зонах. Темпи гло-

бального потепління з 80-х рр. ХХ ст. й до початку ХХІ ст. були на 0,2–0,3 °С вищі від регіонального чого не спостерігали на теренах двох зазначених вище зон. У 2001–2010 рр. в зоні лісостепу України потепліло на 1 °С, а в 2011–2012 рр. – на 1,5 °С. За період 2001–2012 рр. потепління лісостепу України перевищило глобальне у 2,3–2,4 рази і виявилось найвищим серед усіх фізико-географічних зон.

Загалом у період з 1900 по 2012 рр. середньорічна температура повітря зросла на 3,7–3,8 °С.

Степова зона

За 100 р. ХХ ст. середньорічна температура повітря зросла на 2,9–3,0 °С. На початку століття у 1900–1930 рр. було зафіксовано зворотну тенденцію – її зниження на 0,2–0,25 °С, а за цим у 30–70-х рр. стрімкий ріст температури на 2,8–2,9 °С. Слід зазначити, що з 60-х по 90-і рр. ХХ ст. кліматичні коливання були незначними. Зростання температури повітря спостерігали на початку ХХІ ст. Значиме відхилення річної температури повітря від кліматичної норми у бік потепління відбулося з 90-х рр. ХХ ст. і до 2000 р. склало 0,2–0,3 °С, у 2001–2010 рр. 0,7–0,8 °С і в 2011–2012 рр. – 1,2–1,3 °С. Регіональна температура степової зони України перевищувала глобальну в 1,8–1,9 разів.

Загалом у період з 1900 по 2012 рр. середньорічна температура повітря зросла на 3,8–4,0 °С.

Крим

Перших 60 р. ХХ ст. середньорічна температура повітря була стабільною. Після цього відбулася різка додатна аномалія температури аж на 2,3–2,4 °С впродовж десяти років, а з 70-х до 90-х – похолодання на 0,2 °С. Незначне підвищення температури повітря на 0,15–0,2 °С сталося в

1991–2000 рр. На цій території загальну закономірність щодо потепління клімату простежували також, але без значимих величин. У ХХІ ст. Крим найменше потерпав від потепління. Так, у 2001–2010 рр. зростання температури порівняно з кліматичною нормою склало 0,2–0,25 °С, а в 2011–2012 рр. – 0,4 °С. З усіх природних зон України регіональне потепління у ХХІ ст. було нижчим, ніж глобальне лише у Криму! Цей феномен можна пояснити двома чинниками: по-перше, прискоренням зростання потепління у степовій зоні, яка розміщена північніше; по-друге, впливом Чорного моря, яке гальмувало потепління.

Загалом у період з 1900 по 2012 рр. середньорічна температура повітря зросла лише на 2,3–2,4 °С.

Карпати

Упродовж ХХ ст. середньорічна температура в регіоні зросла на 0,7 °С. Незначне перевищення річної температури повітря від кліматичної норми зафіксовано у 80-х рр. Із 1991 до 2000 рр. цей показник зріс до 0,2–0,3 °С, з 2001 до 2010 рр. – до 0,7 °С, а в 2011–2012 рр. знизився майже до 0,6 °С. Викликає неабияку тривогу відхилення річної температури повітря від кліматичної норми за останні 30 років. Кількісні показники зростання за тридцятиріччя були такими ж, як і за попередні 100 років – 0,7 °С. Слід підкреслити важливу обставину, що на відміну від території Криму, регіональне потепління в Карпатах переважало глобальне, хоча до 70-х рр. ХХ ст. було навпаки. На наш погляд, прискорення темпів потепління у регіоні зумовлено інтенсивним вирубуванням лісу. До того ж у горах кліматичні процеси дуже складні з синоптичної точки зору. Потребує окремого дослідження зміна клімату зумовленого збільшенням висоти гір. Результати мають бути перевірені на одноріднішому і доповненому матеріалі,

оскільки дані щодо регіонального потепління в Україні до цього часу перевірялися лише на рівнинній території.

Загалом у період з 1900 по 2012 рр. середньорічна температура повітря зросла на 1,1–1,2 °С.

Опади – дуже мінливий чинник у просторі й часі. На території України кількість опадів складає 580–600 мм/рік. До цього часу річна кількість опадів закономірно не змінювалася. Попередні дослідження показали, що немає вираженої тенденції у багаторічному ході опадів. Тренд або незначно підвищується, або знижується – зустрічаються піки, за якими йде зниження (Клімат України: у минулому..., 2009).

Вітчизняні науковці К. Логвінов та М. Барабаш провели дослідження стосовно періодичності опадів. Було доведено, що 11- та 22-річні цикли-повтори зберігаються й понині. У процесі з'ясування кореляції між опадами та глобальним потеплінням не виявлено чітких закономірностей щодо їх змін. Поряд з підвищенням температури збільшення опадів не відбулося. Не змінювалася середньомісячна кількість опадів за окремими градаціями, проте почастишали стихійні опади. Отже, у ХХІ ст. в Україні суттєвих змін кількості опадів відносно кліматичної норми не відбулося. Було зафіксовано лише їх перерозподіл за місяцями та сезонами (Логвинов, 1987).

Паралельно зі зміною температурного режиму у бік потепління в Україні почастишали **стихійні явища**. За даними щорічного звіту «Глобальний індекс кліматичних ризиків–2014», Україна посіла 23 місце серед 181 країни світу за рівнем вразливості від стихійних лих. Унаслідок значних змін клімату кількість стихійних явищ з року в рік збільшувалася. Почасти вони мали катастрофічний характер. Кожному місяцю, сезону, періоду і року притаманний певний тип стихійного явища, зумовленого аномальними циркуляційними процесами в атмосфері та ме-

теорологічними умовами. Холодному періоду року при-
таманні такі стихійні явища, як сильні морози, хуртовини,
снігопади, ожеледице-паморозеві утворення, тумани; теп-
лому – спеки, суховії, пилові бурі, надзвичайна пожежна
небезпека. Почастішали інтенсивні зливи, грози, град,
шквали, смерчі тощо.

Якщо за попереднє п'ятиріччя спостерігали 606 випа-
дків стихійних метеорологічних явищ в середньому, то за
2006–2010 рр. – 779. Значну кількість стихій відмічали за
такими різновидами – дуже сильний шквал (43 випадки),
значний дощ (268), крупний град (33), велика хуртовина
(76), інтенсивний туман, потужна ожеледь (30). У цьому
контексті слід виділити 2010 р., коли було зафіксовано 58
випадків дуже сильного: дощу, 22 – вітру, 33 – туману,
10 – ожеледі, 9 – складного відкладення, кількість випад-
ків якого була найбільшою за все п'ятиріччя. Як і в попе-
редні роки, щороку спостерігалися всі стихійні метеороло-
гічні явища, крім смерчу і потужної пилової бурі (Осад-
чий В. І., 2012; Стихійні метеорологічні явища..., 2006).

У найближчі два десятиріччя не слід очікувати змен-
шення негативного впливу несприятливих гідрометеороло-
гічних умов та стихійних явищ. Їх кількість збільшиться на
7–11 відсотків. Через складну екологічну ситуацію на те-
ренах України наслідки впливу метеорологічних стихійних
явищ можуть мати більшу руйнівну силу, ніж раніше. Ная-
вність реальної інформації про сучасний клімат нашої краї-
ни стане головною передумовою зменшення екологічних,
економічних та соціальних наслідків його негативних змін.

Прогноз глобальних та регіональних змін клімату на
початку XXI століття було представлено у роботі (Кульбі-
да, 2011). У ній зазначено, що Міжнародна група експертів
зі змін клімату та Всесвітня метеорологічна організація
представили декілька можливих сценаріїв змін глобально-
го клімату. Усі вони передбачають подальший розвиток

глобального потепління і відрізняються між собою лише величиною очікуваного росту температури в ХХІ ст. За прогностичними оцінками підвищення глобальної температури повітря до 2030 р. буде складати 1,1–1,2 °С, а до кінця століття – 3,0–5,80 °С. У Третій (2003) та Четвертій доповіді (2004) Міжнародної групи експертів зі зміни клімату для Північної півкулі на території континентів найбільш ймовірна величина потепління до кінця століття складатиме 4,0–5,0 °С. Для загальної характеристики змін клімату доцільно розглядати температуру повітря.

За емпіричним сценарієм температура повітря наприкінці ХХІ ст. може бути вищою за сучасну взимку у зоні мішаних і широколистяних лісів, лісостепу в середньому місячному вирішенні на 1,5 °С ±0,2 °С, у степу на 1,2 °С ±0,2 °С. У весняні місяці підвищення може відбуватися повільніше і складати за зонами від 0,6 °С до 0,9 °С. Літня температура буде вищою, порівняно з сьогоднішнім в зоні мішаних та широколистяних лісів на 1,5 °С, у лісостепу і степу до 1,8 °С. За цим сценарієм осіннє зростання температури буде незначне. Статистична похибка розрахунків для зимових і літніх місяців складає біля ±0,2 °С, для весни трохи менша, для осені її не розраховували. На підставі аналізу меж, в яких може змінюватися температура того чи іншого періоду часу зроблено висновок, що окремі місяці до 2030 року можуть залишатися стабільними. Зроблено припущення про деяке зниження температури повітря, як це було в останнє десятиріччя з 1998 по 2007 рр. (Кульбіда, 2011. – с. 15).

Вище зазначено, що на початку ХХІ ст. аномалії температури відносно норми стали значнішими. Крім того в літній період почастишали стихійні явища у глобальному масштабі та на теренах України. Усе частіше відбуваються потужніші шквали, смерчі, град, зливи, які наносять суттєві збитки екосистемам та країні. Слід відмітити, що

в південних регіонах України зміни клімату менш виражені, але в будь-якому випадку відмічається потепління, тому постійно збільшується ймовірність сильних засух (Кульбіда, 2011. – С. 17).

Ймовірність виникнення **засухи** може бути 1 раз на 3–4 роки. Сильна засуха може бути 1 раз на 10 років. Ще потужнішу засуху прогнозовано 1 раз на 20 років, а надзвичайно сильну – 1 раз на 30 років (Барабаш, 2009). Через подальше потепління можливе зростання засух до 2–3 раз на десятиріччя. У такій ситуації перспективи оптимального реагування на регіональні кліматичні зміни будуть залежати від дій або бездіяльності керівництва країни. Якщо вжити всі необхідні заходи то Україна може лише виграти від змін клімату, наприклад – вирощувати і збирати по два врожаї за 1 рік.

На даний час для ГІС-моделювання застосовують схеми класифікації клімату, які було розроблено Володимиром Кеппеном та представлено в останній версії 1961 року Рудольфом Гейгером (Köppen, 1884, 1936; Geiger, 1954; Köppen, Geiger, 1954; Kottek et al., 2006; Peel et al., 2007; World Maps of Koeppen-Geiger Climate Classification). Кліматична система Кеппен-Гейгера була отримана з урахуванням клімату та світових моделей рослинного покриву. В оригінальному картографуванні визначено межі кліматичних класів, де відбувалося значне сприйняття зміни типу рослинності. Із безлічі різних засобів якими можна було б кластеризувати багатозмінні параметри клімату, ця система забезпечила деякий екологічний сенс кліматичних класів завдяки використанню інших факторів. Класифікацію клімату базували на спостереженнях температури й опадів за 1951–2000 рр. Світові карти за період спостережень з 1901 до 2002 рр. ґрунтуються на останніх наборах даних кліматичної дослідницьких груп (CRU, GPCC). За інші відрізки часу їх зроб-

лено на основі групи проектів глобальних кліматичних моделей (Моделі – CSIRO: CSIRO-MK3.0, CSIRO, Австралія; Сценарії – IPCC IV SRES Scenarios A1B & A2; MIROC-H: Centre for Climate Research, Японія тощо; Kriticos et al., 2012).

Серед основних результатів – оцінка зміщень меж кліматичних зон у XXI столітті з урахуванням різних сценаріїв IPCC. Найбільші зміщення меж між основними класами екваторіального клімату (А), аридного клімату (В), помірного клімату (С), снігового клімату (D) і полярного клімату (Е) на глобальних ділянках землі оцінюють як 2,6–3,4% (Е – D), 2,2–4,7% (від D до С), 1,3–2,0% (С – В) і 2,1–3,2% (С – А) (Rubel et al., 2010). Деякі назви змінено таким чином. Кліматичні класи (зони) перейменовували у процесі історичного розвитку. На карті світу Кеппен (1918) основні кліматичні зони названо: (А) *клімат тропічного дощу*, (В) *сухий клімат*, (С) *теплий, помірний клімат*, (D) *субарктичний клімат* і (Е) *сніжний клімат*. На мапі Кеппена (1931) основний клімат (D) позначено як *бореальний клімат*. У Кеппена і Гейгера (1951) бореальний клімат було перейменовано на *сніжний клімат*, а клімат (Е) названо – *льодовим кліматом*. Наразі у ГІС-моделюванні застосовується номенклатура (Rubel et al., 2010; 2011).

1.3. Глобальні зміни клімату як загроза сучасним природоохоронним зусиллям

Упродовж останніх 100 років температура планети зросла щонайменше на 0,6 °С. Потепління безпосередньо пов'язане з використанням викопних видів палива, вирубуванням лісів та іншими видами людської діяльності. У масштабах геологічної історії це нечуваний стрибок кліматичних змін. За прогностичним очікуванням упродовж поточного століття температура підвищиться на 1,4–5,8 °С (IPCC, 2001).

У перспективі екосистеми будуть змушені реагувати на відповідні зміни температури, опадів і концентрації CO₂ в атмосфері. Зміни виявляться сприятливими для одних видів і несприятливими для інших. Трансформовані абіотичні чинники можуть вплинути на конкурентні відносини й спричинити поширення «видів-генералістів» (Walker, Steffen, 1997). Існує ризик того, що кліматичні зміни проходилимуть швидше, ніж до них адаптуються живі істоти. До того ж рятівним міграціям можуть перешкодити штучно створені бар'єри і природні утворення – гори, річки, океани тощо (Malcolm, Markham, 2000). Загалом зміна клімату може спричинити масштабні вимирання живих істот. Аналіз показує, що у 80% багатих на біологічне різноманіття місць планети (т. з. «гарячих точках») очікуються втрати видів рослин і тварин через зазначені чинники. Водночас швидкість трансформації таких біотопів у 10 разів перевищуватиме аналогічні темпи, які спостерігали на початку голоцену після танення останнього льодовика (Malcolm et al., 2002, 2006). За прогностичним сценарієм розвиток багатьох природних екосистем перейде до стану, властивого початковим стадіям сукцесії. Біосфера очевидно «забрудниться» інвазійними видами, а її структура набуде спрощеного вигляду (Walker, Steffen, 1997).

Глобальні зміни клімату часто розглядають як загрозу охороні природи (Halpin, 1997; Sala et al., 2000). У результаті комп'ютерного моделювання, аналізу палеоекологічних досліджень минулих кліматичних змін та тривалих експериментальних дослідів було показано, що більшість екосистем можуть зазнати негативного впливу за будь-якого сценарію зміни клімату (IPCC, 1996).

Клімат має далекосяжний вплив на види та екосистеми (Дажо, 1975; Леме, 1976). Інколи цей вплив може бути несподіваним і створювати загрозу локальної загибелі та вимирання (Куйбіда та ін., 2018; Kuzybida et al., 2019). Механізми безпосередньої дії температури на фізіологію організмів докладно вивчено (Шмидт-Ниельсен, 1982 та ін.). Нещодавні зміни клімату призвели до зростання чисельності одних видів і зменшення інших. Найбільшу стурбованість викликає різке скорочення чисельності видів, які занесені до «червоних списків». Прогностичний аналіз засвідчує, що без попереджувальної стратегії охорони біорізноманіття скорочення може відбутися з великим відсотком ймовірності для багатьох видів (McCarty, 2001; Usher, 2005), а їх місце займуть агресивні екзоти (Bergstrom, Chown, 1999; Dukes, Mooney, 1999; Некрасова, Титар, 2009, 2016; Pupina et al., 2018), переносники захворювань (Lindgren et al., 2000) та сільськогосподарські «шкідники» (Cammell, Knight, 1992; Whittaker, Tribe, 1998; Tenow et al., 1999; Roques, Auger-Rozenberg, 2019).

Вплив основних екологічних чинників на біологічне різноманіття супроводжується зміною ареалів, оскільки поширення організмів завжди обмежується їх вимогами до навколишнього середовища. Слід зазначити, що температура й вологість є найпотужнішими факторами впливу на жителів суші. Прогнози, які ґрунтуються на загальнобіологічних міркуваннях зазвичай свідчать про можливість вертикального або горизонтального зміщення ареалів до по-

люсів Землі. Зазначене зміщення сьогодні й відбувається, а натомість дійсна картина почасти виявляється складнішою.

Аналіз сучасних географічних та екологічних умов не дає достатнього підґрунтя для розуміння поширення живих істот, яке існує сьогодні. Цей розподіл виник в результаті тривалого еволюційного процесу живих істот на фоні одночасних змін географічних та екологічних умов. Для пояснення процесу та результатів формування сучасних ареалів необхідно враховувати зміни екологічних чинників упродовж тривалого історичного часу. Зокрема, величезний вплив на сучасне поширення окремих видів живих організмів в Євразії та Північній Америці мали плейстоценові зледеніння й теплі проміжки між ними. Вони спричинили так звану пульсацію ареалів (Марков та ін., 1968). Під час плейстоценових зледенінь частина європейських видів значно скоротила свої ареали, відступивши на південь. Завдяки цьому Південна Європа та Мала Азія стали величезною зоною розселення цих видів (рефугіумом). Після сходження льодовика відбулося повторне заселення північних територій. Тут сформувалося та збереглося до наших днів надзвичайно велике генетичне різноманіття, притаманне широкому колу таксонів (Hewitt, 2000). Натомість сучасне безпрецедентне потепління клімату може знищити це різноманіття, суттєво знизивши еволюційний потенціал низки видів.

Потепління вже зараз призвело до просування багатьох видів птахів та денних метеликів у бік Північного полюсу. За даними (Thomas, Lennon, 1999) упродовж 1968–1972 та 1988–1991 рр. було зафіксовано просування на північ ареалів 59-и видів птахів півдня Британії на 19 км. Аналіз поширення європейських денних метеликів за останні 30–100 рр. засвідчив, що 34 з 52 видів змістили межу свого ареалу на північ і лише один вид відступив на південь (Parmesan et al., 1999). У результаті моніторингу та скла-

дання кадастру рослин і тварин Великобританії був проведений аналіз поширення 16 таксономічних груп, зокрема: павуків (*Araneae*), мокриць (*Isopoda*), сінокоscців (*Opiliones*), багатоніжок (*Diplopoda*) та водних клопів (*Heteroptera*), бабок (*Odonata*), прямокрилих (*Orthoptera*), сітчастокрилих (*Neuroptera*), денних метеликів (*Rhopalocera*), турунів (*Carabidae*), вусачів (*Cerambycidae*) та інших груп жуків (*Canthariodea*, *Buprestoidea*), прісноводних риб (*Teleostei*), земноводних та лускатих (*Amphibia*, *Squamata*), ссавців (*Mammalia*) (Hickling et al., 2006). Із числа 329 розглянутих видів – 275 просунулись на північ, 52 – на південь. Загалом зміщення на північ склало 31–60 км.

На теренах України подібний моніторинг відсутній. Водночас дані щодо поширення окремих груп та видів за останні 50–100 рр. було взято з окремих публікацій. Зокрема з початку ХХ ст. на Трухановому острові в межах м. Києва було зареєстровано 27 видів бабок (Шарлемань, Артоболевский, 1915). У процесі обстеження острова в 2000–2002 рр. тут було виявлено уже 30 видів (Титар, 2003). Однаковими в обох випадках були 17 видів або 42% теперішньої одонатофауни острова. Серед зазначених видів на початку століття близько 25% з великою імовірністю можна вважати зниклими. Слід зазначити, що на той час більшість (7 із цих видів) зрідка траплялися на території острова. Натомість бабку металічну (*Somatochlora metallica*) зустрічали на той час досить часто. У результаті наступного обстеження острова виявлено нові види бабок, яких тут раніше не реєстрували (третина місцевої одонатофауни). Подібний процес спостерігали також у Західній Європі й пов'язували зі змінами клімату (Ott, 2008).

Зміщення видових ареалів на північ у результаті кліматичних змін відбуватиметься також за рахунок вимирання популяцій, розташованих поблизу його південних меж. Такий сценарій продемонстровано на прикладі ме-

телика *Euphydryas editha* (Parmesan et al., 1999). Тому врахування процесу зміщення ареалу навіть за умов збереження загальної чисельності виду досить важливий показник чисельної структури популяції. Зміщення ареалів видів надзвичайно важливий показник для природоохоронної практики оскільки традиційна стратегія збереження біорізноманіття до цього часу базується на індивідуально-територіальних принципах їх збереження. Вона спрямовує свою дію за локальним принципом, натомість глобальні зміни клімату можуть стати катастрофічними. Локальної елімінації можуть зазнати навіть «звичайні» види, які відіграють важливу роль у функціонуванні місцевих екосистем. Ці види важливі для виживання червонокнижних тому, що беруть участь в процесах біологічного очищення води, ґрунтоутворення, запилення рослин тощо. Зникнення виду в певних кластерах має непередбачувані наслідки. Існує висока імовірність того, що екологічну нішу вимерлих видів займуть екзоти та адвентивні види (Dukes, Mooney, 1999), або особини інших популяцій цих видів з іншими біологічними характеристиками.

Сучасний рівень знань та технічне оснащення наукової галузі роблять можливим виконання її важливої функції. Наука надає суспільству обґрунтовану інформацію про ймовірні наслідки впливу глобальних кліматичних змін на екосистеми та здійснення профілактичних заходів щодо мінімізації негативних наслідків атмосферних трансформацій.

Предметом екології є вивчення складного комплексу взаємовідносин між живими організмами й навколишнім середовищем. У природних чи квазіприродних екосистемах більшість екологічних процесів стабілізується негативними зворотними зв'язками. Ще до кінця не відомо наскільки дієвими залишилися ці зв'язки в умовах експоненціального наростання антропогенного тиску.

Наслідки глобальних екологічних змін природи мають комплексний характер. Існують обґрунтовані побоювання, що очікувані зміни досягнуть такого рівня, коли умови навколишнього середовища складатимуть загрозу суспільству і його господарській діяльності, а організми не встигнуть належною мірою відреагувати на різку зміну довкілля. Від негативних змін довкілля необхідно убезпечити не лише суспільство, а й біологічне різноманіття. Воно – незамінний ресурс для медицини, сільського господарства й запорука адаптивної спроможності екосистем щодо пристосування до нових умов. Для збереження біологічного різноманіття необхідно провести екологічні дослідження хоча б на окремих модельних видах. Результати досліджень будуть підґрунтям для передбачення й мінімізації наслідків глобальних негативних змін. Потрібно визначити ризики вимирання окремих популяцій та видів. Коеволюція одних видів з іншими тісно пов'язує їх життєві траєкторії. Спільна еволюція групи живих істот призводить до того, що вимирання одного виду зменшує ймовірність виживання іншого і може призвести до каскадного ефекту серед окремих угруповань та екосистем. Для наукового передбачення реакції популяцій на майбутні виклики необхідно знати ареали їх мешкання й елементарні вимоги до умов навколишнього середовища. Натомість навіть на ці прості запитання не завжди є правильна відповідь.

Певним чином вирішити окреслені проблеми можна за допомогою комп'ютерних моделей, які базуються на зв'язках між місцем перебування конкретного виду й параметрами навколишнього середовища (температурою, вологістю, рослинністю, характером ґрунту тощо) цього ареалу. Зазначені виклики успішно вирішують за допомогою геоінформаційних систем. Звісно моделі є певними абстракціями, але вони створюють підґрунтя для перспективних наукових

гіпотез. Вони ініціюють притік нових ідей, які взаємодоповнюють або конкурують між собою.

Для фахівців галузі біології й біогеографії привабливість ГІС моделей зумовлена тим, що їх найважливішою ланкою є окремі організми і види зі своїми екологічними потребами. У них організми й види самі «вибирають» місце перебування. На наш погляд акцент на видовому рівні повністю відповідає предмету біогеографії, а її базисними поняттями є вид та його ареал. У цьому помічено певну аналогію з розвитком пануючих парадигм екології – протистояння інтегративного та редукціоністичного підходів (Гиляров, 2005). Зазначений дуалізм був закладений ще на початку ХХ століття Ф. Клеменсом та Г. Глізоном. Прибічники об'єднувального підходу основним своїм завданням вважали процес вивчення інтегрованих систем (біоценозів тощо), які ще необхідно виділити й домовитися про необхідні критерії. Слід зазначити, що таке завдання надто непросте, а подекуди майже неможливе. Натомість редукціоністи намагалися оперувати елементарнішими об'єктами – окремими популяціями та видами. З нашої точки зору в біогеографії чільне місце мають посісти категорії виду та його ареалу. Можна очікувати, що розумна міра редукціонізму виведе біогеографічну науку вперед, як це було з сучасною екологією. На сьогодні гіпотеза про нейтральність екологічних ніш вже набуває ознак теорії. Вона змусила переглянути уявлення про конкуренцію та співіснування видів та про засади еволюції загалом (Hubbell, 2001; Гиляров, 2007).

Упродовж останніх десятиліть моделі видових ареалів (англ. *species distribution models*) та екологічної ніші (англ. *ecological niche models*) широко використовують для побудови гіпотетичних ареалів окремих видів і з'ясування їх основних екологічних вимог. На підставі вище зазначеного Thompson Reuters та Китайська Акаде-

мія наук визнали цей напрям переднім краєм екологічної науки (Research Fronts, 2014). Розроблені на цій основі підходи спрямовані на краще розуміння окремих аспектів біогеографії. Особливої ролі набувають відкриття нових популяцій та видів, вибір територій для реінтродукції тварин, прогнозування поширення шкідників, патогенних організмів, адвентивних видів та планування територіальної структури об'єктів природно-заповідного фонду. Останнє вкрай важливе з огляду на зміни клімату та динаміки ареалів у всіх видів будь-якої біоти.

З точки зору (Hannah et al., 2007) за умов глобальних змін клімату забезпечення необмежено-тривалого існування популяцій та екосистем, можна й не досягнути. Натомість їх існування – основне завдання сучасної мережі природоохоронних інституцій. Існуюча мережа природоохоронних територій не достатньо гнучка і не може адекватно відреагувати на майбутні кліматичні виклики. Так, на основі моделювання ситуації щодо поширення 1200 видів вищих рослин, які охороняються в Європі (Araújo et al., 2004) було виконано прогностичне дослідження. За його результатами зроблено припущення, що упродовж 50 річного періоду від 6 до 11% цих видів опиняться поза межами охоронних територій, а 5% будуть жити в умовах, які приведуть до їх зникнення. Останні очевидно залишаться на заповідних територіях Південної Європи, Балтії та Скандинавії. Ці процеси охоплюють весь континент. Щоб подолати передбачувані негативні наслідки необхідно готуватися до них, або хоча б знати, що вони можуть настати.

Прогнозовані кліматичні зміни відбудуться скрізь, в тому числі й у природно-заповідних зонах. Кліматичні трансформації прогнозують в мережі українських ІВА-територій (*Important Bird Areas*). Їх істотна частина – важливі водно-болотні угіддя, які підпадають під дію Рам-

сарської конвенції (Микитюк, 1999), або є елементом ПЗФ України. ІВА-території покликані сприяти збереженню видового різноманіття та кількості птахів в межах України та Європи. З часом кліматичні умови в них можуть змінитися. Так, у 134 угіддях (за станом на 1999 рік) до 2050 року середньорічна температура може піднятися з 8,8 до 11,5 °С, а середньорічна кількість опадів знизитися з 542 до 534 мм. Для окремих територій ці показники виявляються ще контрастнішими. Умови перебування для птахів з часом будуть зазнавати змін. Тому особливе занепокоєння викликають види, які знаходяться під глобальною загрозою зникнення й занесені до міжнародних і національних «червоних списків».

Останнім часом особливого значення набуває нова для України форма охорони природи – Мережа Емеральд EN (Смарагдова мережа). Її упроваджують в рамках виконання вимог Конвенції про охорону дикої фауни і природних середовищ існування в Європі (Бернської конвенції). Вона ратифікована в Україні тому, що є фактичною підготовкою до переходу держави на європейське законодавство. До Мережі входять Території Особливого Природоохоронного Інтересу (*Areas of Special Conservation Interest, ASCI*), які окреслено на європейському рівні. Їх основне завдання – охорона видів та оселищ на основі Резолюції №4 та №6 Бернської конвенції. У контексті Резолюції №4 та Додатку I Оселищної директиви ЄС поняття *оселище* англ. «habitat» має змістове наповнення *біотоп* – природна або напівприродна суходільна чи водна ділянка із характерними географічними та екологічними особливостями (Тлумачний посібник оселищ Резолюції №4..., 2017). Натомість у Резолюції №6, Пташиної директиви ЄС і Додатків II, IV, V Оселищної директиви термін *оселище виду* вжито у значенні – середовище з певними абіотичними, біотичними чинниками у яких вид існує на будь-якій стадії свого життєвого циклу. Так, оселища

птахів – це місця гніздування, живлення, зимівлі, міграційних скупчень тощо, а оселища риб – постійного мешкання, нересту, нагулу тощо.

У зв'язку з вищесказаним вироблення стратегії вивчення й прогнозу кліматичних та біотичних трансформацій залишається невирішеною й актуальною проблемою і потребою. В окремих європейських країнах така робота проводиться в рамках національних програм. На сьогодні вже використовують підходи, які базуються на моделюванні поширення видів (наприклад, програма MONARCH у Великій Британії). Існують відповідні наднаціональні програми, які діють в рамках міжнародних конвенцій та європейських ініціатив. До деяких конвенцій та ініціатив вже приєдналася Україна. У цьому напрямі поглиблено зусилля в зв'язку з асоціацією нашої країни з ЄС. Зважаючи на географічні особливості України та її наукові традиції держава має значні перспективи у подоланні зазначених викликів. За цих умов дієвим інструментом аналізу і прогнозування може стати методика конструювання ареалів окремих об'єктів біологічного різноманіття на основі моделей екологічної ніші. На сьогодні і в перспективі, існуючі фондові зоологічні колекції, польові журнали, щоденники, каталоги, кадастри, Червоні книги, публікації з точною географічною вказівкою місцезнаходження того чи іншого виду (наприклад, Знахідки тварин ..., 2008) набувають особливого значення. Зростає актуальність польових досліджень, які дають найновіші дані й забезпечують натурну істинність вірогідних фактів, або верифікацію комп'ютерних моделей. З'ясування характеру та усвідомлення очікуваних змін для розробки попереджувальних заходів стосовно можливих негативних наслідків допоможе уникнути великих економічних збитків. Тому розробка наукових і практичних засад прогнозу щодо зміни поширення біологічного різноманіття в умовах кліматичних змін, мінімізації можливих втрат та розбудови природно-

заповідної мережі України є актуальною проблемою і додаткових аргументів не потребує.

Слід зазначити, що усі аспекти окресленої комплексної проблеми необхідно вирішувати на основі достовірної і повної інформації. Регулярне отримання нових даних може забезпечити система інвентаризації та моніторингу біоти. Водночас національна система моніторингу біорізноманіття України знаходиться лише на початку свого розвитку і потребує значного періоду часу для остаточного становлення. Проте навіть у розвинутому вигляді система біомоніторингу буде охоплювати лише частину біорізноманіття. Це обумовлено кількістю потенційних об'єктів моніторингу, фінансовими й кадровими обмеженнями. Масштабність проблеми можна усвідомити під час розгляду кількісних параметрів видового моніторингу. Лише на теренах України існує близько 70 тис. видів грибів, рослин і тварин. У разі включення генетичного, популяційного, ценотичного та екосистемного рівнів організації живого до системи моніторингу вирішити поставлене завдання буде надскладно. Тому запорукою успіху може стати лише чітке визначення пріоритетів ведення моніторингу й вибору відповідних біоіндикаторів. Певна кількість видів з малою амплітудою адаптивності досить чутлива до кліматичних й погодних умов і може існувати лише у вузьких межах зміни цих факторів. Ідентифікація вузькоспеціалізованих видів із біологічними характеристиками стенобіонтів створює можливості для суттєвого скорочення спектру «пріоритетних» об'єктів, які підлягають вивченню. Гносеологічна, фінансова і працезатратна економізація зазначеного підходу не зашкодить формуванню узагальнюючих висновків та з'ясуванню закономірностей впливу глобальних кліматичних змін на живі організми і очікувані наслідки у природі загалом.

З огляду на специфічність завдань та цілей монографії ми вважаємо, що об'єктами студіювань мають бути вузь-

коадаптивні, пріоритетні та найбільш вразливі види з природоохоронним статусом, які занесено до Червоної книги України, міжнародних «червоних» списків (Європейський список, МСОП тощо) і додатків міжнародних договорів, стороною яких є Україна (Рамсарська, Боннська, Бернська конвенції, АЕВА, ACCOBAMS, EUROBATS та ін.).

Глава 2

ВСТАНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І ПІДГОТОВКА ДАНИХ

Для побудови корелятивних моделей екологічної ніші та ареалів видів у роботі використано два типи даних: біологічні – поширення певного виду та оселищні – умови навколишнього середовища в його ареалі. Різновидом програмного забезпечення для обробки подібних баз даних є географічні інформаційні системи (ГІС). Вони спроможні накопичувати, аналізувати просторово розподілену інформацію й відображати географічно координовані дані на карті. Існує ціла низка безкоштовних пакетів ГІС (Ghisla et al., 2012; блог – «ГІС-натураліст» <https://gis-naturalist.blogspot.com>).

2.1. Інсталяція та запуск програм, робота з проектами

Програма Maxent

Розроблено чимало алгоритмів моделювання просторового поширення видів, серед яких широке застосування знайшов метод максимальної ентропії (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). Він реалізований у програмі Maxent (*maximum entropy modelling*), що базується на принципах машинного навчання. Ідея Maxent була вперше задумана у Центрі Біорізноманіття та Збереження (*American Museum of Natural History AMNH*) через державно-приватне партнерство між AMNH та AT&T-Research (Phillips et al., 2006; Phillips, 2017).



**Рис. 2.1. Програма
Java**

Інсталяція актуальної версії Java. Для роботи Maxent необхідно встановити Java (Рис.2.1). Це також безкоштовне програмне забезпечення, яке можна завантажити з сайту <http://www.java.com>. Зайдіть на сайт і виберіть *завантажити Java безкоштовно* → *Install*.

Програмне забезпечення Maxent включає файл *maxent.jar*, який може бути запущений на будь-якому комп'ютері, на якому є Java версії 6 або вище.

Інсталяція актуальної версії Maxent.

Програмне забезпечення Maxent можна завантажити з сайту https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ (Рис. 2.2).

Заповніть поля *Name*, *Institution*, *E-mail* розраховуйте і перейдіть за посиланням «*Accept terms and download*». Завантажте *zip file*, розархівуйте і збережіть в зручній для доступу папці.

The screenshot displays the Maxent website interface. On the left, there's a section for updates with a map of a region. The main content area is titled 'Завантажити' (Download) and includes a 'Поточна версія 3.4.1' (Current version 3.4.1) button. Below this is a 'Цитування' (Citation) section with a text area for user input and a 'Відправити' (Send) button. To the right, there's a 'Вихідний код' (Source code) section with a GitHub link, a 'Підручники' (Manuals) section listing various documents, and a 'Набори даних' (Data sets) section listing various data files. At the bottom, there's a 'Група обговорення' (Discussion group) section with a Google Group link.

Завантажити

Поточна версія 3.4.1

Цитування

Якщо ви використовуєте програму для аналізу, що призводить до публікації, звіту або публікації в Інтернеті, наступне являє собою належне цитування самого програмного забезпечення.

Стевен Дж. Філіпс, Мірослав Дудік, Роберт Е. Шалпір. [Internet] Програмне забезпечення Maxent для моделювання видових ніш і розподілів (версія 3.4.1). Доступно з URL: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Доступно на 2018-12-30.

*** Інформація про попередні версії: Будь ласка, зверніться до розробника ttmaxent@gmail.com

Вихідний код

- <https://github.com/mrmaxent/Maxent>

Підручники

- Поточний підручник англійською мовою (5,7 МБ)
- Навчальні плани (12,2 МБ)
- Версія 3.2.0 Переклад іспанською мовою, наданий Паоло Рамоні-Пераці (1,6 МБ)
- Версія 3.2.0 Переклад з іспанської мови, змінена версія надана Jose Madero (1,6 МБ)
- Версія 3.2.0 Російський переклад, наданий Максимом Дубініним

Набори даних, використані в роботі з екологічного моделювання

- [coverages.zip](#) (3,8 МБ) - покриття, що використовуються в моделюванні.
- [jacc.zip](#) (10,6 МБ) - необроблені дані jacc, що завантажуються з Центру розподілу ланки MTE3K.
- Крім того, щорічні та щомісячні зміни, що використовуються для дослідження, витягнуті з сирих даних jacc і перетворені у світові покриття у форматі asc.
- [samples.zip](#) (9,5 КБ) - використані навчальні та тестові приклади.

Група обговорення

На сайті <http://groups.google.com/group/Maxent-users> давня дискусійна група Google для користувачів цього програмного забезпечення. Зареєструйтеся в цій групі для обговорення та запитань щодо програмного забезпечення, а також для отримання інформації про оновлення, помилки тощо.

Рис. 2.2. Програма Maxent

Вихідними даними для моделювання тут є геокодовані реєстрації присутності виду (*presence-only data*, *.csv). На основі використання інформації про параметри середовища у відомих місцезнаходженнях виду, програма визначає

ймовірність його присутності на решті території за допомогою знаходження оптимального розподілу ймовірностей (*максимальна ентропія*) збігу параметрів середовища (Phillips et al., 2004; Elith et al., 2011). Результатом роботи алгоритму є модель придатності середовища існування. У логістичному форматі вона візуально представлена ГІС-картою з прогностичними можливостями присутності виду у кожному осередку растру (*grid cell*) в інтервалі ймовірностей від 0 до 1. Якість моделей було оцінено за допомогою ROC-аналізу (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006). Кількісну інтерпретацію ROC дає показник AUC – площа, обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій. Чим вище показник AUC, тим якісніший класифікатор. Моделі із значенням AUC вище 0,7 вважаються прийнятними (Swets, 1988; Рис. 2.3).

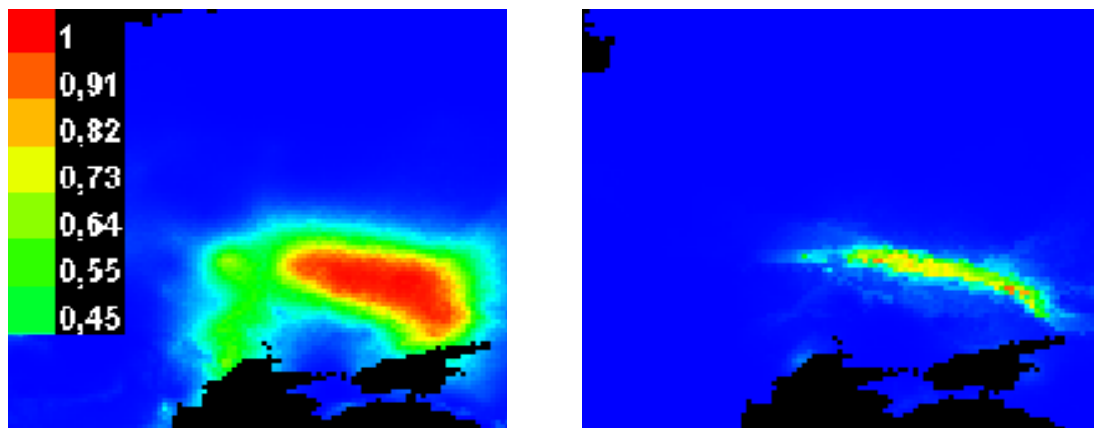


Рис. 2.3 Візуалізація моделі Maxent поширення гадюки Нікольського в Україні за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б).

Дані про відсутність виду було взято за рандомізованою вибіркою з 10000 фонових точок («псевдовідсутність»). Вони репрезентують всю різноманітність доступних умов навколишнього середовища. Моделі створюють у 10 повторях, а потім усереднюють. За порогове значення прогностної ймовірності перебування (англ. *habitat*

suitability) найчастіше беруть 10-й процентилю. Для просторового аналізу кожного з видів було створено моделі, для яких використано наявну інформацію з усієї території Європи. Це дало змогу повніше охарактеризувати екологічну нішу кожного виду та їх біокліматичний потенціал. Зазначена обставина надактуальна стосовно амфібій, які в Україні представлені переважно маргінальними популяціями.

За критерій придатності території беруть різні пороги ймовірності (Liu et al., 2016). Найчастіше застосовують ймовірність, яка відповідає 10-му процентилю точок присутності. Це дозволяє виключити 10% найекстремальніших пунктів спостережень, які потенційно можуть бути похибками записів або результатом незвичайних мікрокліматичних умов. Разом з тим використання умовної шкали придатності території для природоохоронних цілей є звичайною практикою. За цією методикою територія, де прогнозна ймовірність перебування виду у межах 0–25% розцінюється як «непридатна», 25–50% – «прийнятна», 50–75% – «придатна», а понад 75% – «найбільш придатна» (Redon, Luque, 2010).

Якість прогностичних моделей було оцінено за допомогою ROC-аналізу (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006). Кількісну інтерпретацію ROC дає показник AUC – площа, обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій. Чим вище показник AUC, тим якісніший класифікатор. Вважають, що моделі із значенням AUC вище 0,7 – прийнятні (Swets, 1988). За дані про відсутність виду було взято рандимізовану вибірку із 10000 фонових точок («псевдовідсутність»). Вони представляють всю різноманітність доступних кліматичних умов навколишнього середовища.

Крім прогнозування території потенційного поширення, алгоритм Maxent надає змогу виявити значимість кожного біокліматичного показника в моделі розподілу.

Для цього використовують різні методики, зокрема – метод пермутації. Внесок кожного показника визначають шляхом випадкової зміни його значень в навчальній вибірці та отриманні результуючого зменшення величини AUC. Суттєве зниження значення AUC свідчить про те, що модель істотно залежить від цього показника. Для оцінки ваги кожного біокліматичного показника в процентах, отримані результати нормалізують (Schelderman, van Zonneveld, 2010). Зазвичай розглядають показники, вага яких $>10\%$.

На основі використання Maxent за замовчуванням ми припускаємо, що частоти знаходження певного виду неупереджені й випадкові (рандимізована вибірка). Це правило порушують, якщо вибірку збирають у легкодоступних місцях (наприклад, ближче до доріг або населених пунктів). Коли зазначений вище вплив значний його уникають за допомогою т. з. «*bias grid*», або «*растрового файлу упередженості*», який використовують для виправлення можливих відхилень моделі через нерандимізованість вихідного матеріалу. Грід упередженості створюють як «*щільність ядер*» (англ. «*kernel density*») і враховують для точкових об'єктів. Він повинен мати ті ж лінійні параметри, розмір пікселя і проекцію, що й змінні середовища. Крім того, рекомендовано змінити шкалу його значень до величин від 1 до 20 (Elith et al., 2010). При потребі всі зазначені дії можна проводити в SAGA GIS у модулях «*Kernel density estimation*» «*Resampling*» та «*Grid normalisation*». Детальнішу інформацію по роботі з програмою можна знайти на сайтах (GIS LAB – «Короткий вступ в MaxEnt», Центр Біорізноманіття та Збереження (American Museum of Natural History AMNH) та у літературі (Phillips et al., 2006, Phillips, 2017 тощо).

Для просторового аналізу та візуалізації отриманих модельних даних можна також використати програми

DIVA-GIS (Hijmans et al., 2012), SAGA GIS (Conrad et al., 2015), QGIS (Sherman, 2008).

Програма Diva-GIS

Деякі програми ГІС у своєму складі мають спеціальні інструменти для моделювання екологічної ніші та ареалів видів, наприклад DIVA-GIS (Hijmans et al., 2012). Вона представляє собою один із продуктів програмного забезпечення у сфері географічних інформаційних систем, який вільно поширюють для загального користування. Програму використовують як інструмент для складання електронних карт та просторового аналізу даних. Розробники націлили її на аналіз поширення організмів та дослідження географічних й екологічних механізмів явища. DIVA-GIS підтримує векторні (точка, лінія, полігон), іміджеві та растрові формати даних. За допомогою цього програмного забезпечення можна скласти карту географічного поширення того чи іншого виду (тобто ареал), видового багатства, провести пошук територій з комплементарним різноманіттям (нових заповідних об'єктів), проаналізувати просторову автокореляцію тощо. DIVA-GIS дозволяє вилучати кліматичну інформацію стосовно будь-якої точки суходолу. У цьому програмному середовищі можна моделювати екологічну нішу за допомогою алгоритмів BIOCLIM та DOMAIN і прогнозувати поширення видів (Титар, 2011).

Інсталяція актуальної версії Diva-GIS. Для установки програмного забезпечення використайте посилання <http://www.diva-gis.org/download> і скачайте безкоштовну версію, вибравши Diva-GIS 7.5 (Рис. 2.4).

Збережіть файл в папці (наприклад, C: \ Program Files \ Diva-GIS). Виконайте інсталяцію програми, вибравши: *мову* → *Ok* → *Я приймаю умови* → *Далі* → *Встановити* → *Завершити* (зазначте галочкою – *запустити Diva-GIS*).

Файли були стиснуті та згруповані в ZIP-файли. Для розпакування файлів можна використати такі програми, як 7-zip.

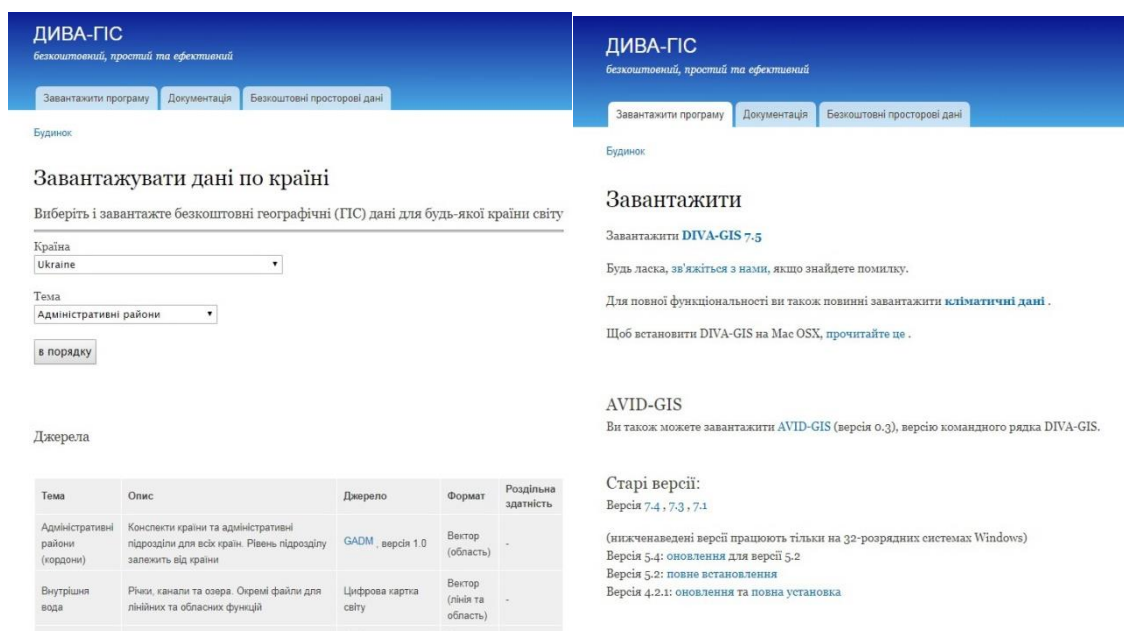


Рис. 2.4. Програма DIVA-GIS

Векторні дані зберігаються як *shapefiles ESRI*. Дані Grid (растрові) зберігають як *gridfiles DIVA*. Кожен «shapefile» мінімально складається з трьох фактичних файлів. Це добре впроваджений формат який безпосередньо використовують в Arc-anything, DIVA-GIS та багатьох інших програмах. Його можна імпортувати для більшості інших програм ГІС. Shapefiles містять один клас «векторних» даних — крапки, лінії або багатокутники. Gridfiles використовують в DIVA-GIS. З DIVA-GIS їх можна експортувати до ряду інших форматів, включно з IDRISI і Arc, або для шейп-файлів. Gridfiles з «національною маскою» інформує, що області поза межами обраної країни маскуються. Для них значення «NODATA» — вказує на відсутність даних. Для інших gridfiles, NODATA використовують лише для водних ділянок, за винятком сітки на яких вода є окремим класом. DBF (файл *dBase*) —

це таблиця бази даних формату *dbase*. Отриману растрову модель (Maxent) території, де біокліматичні умови є сприятливими для виду можна візуалізувати у програмі DIVA-GIS. Наприклад, модель поширення кумки *Bombina variegata* (Рис. 2.5).

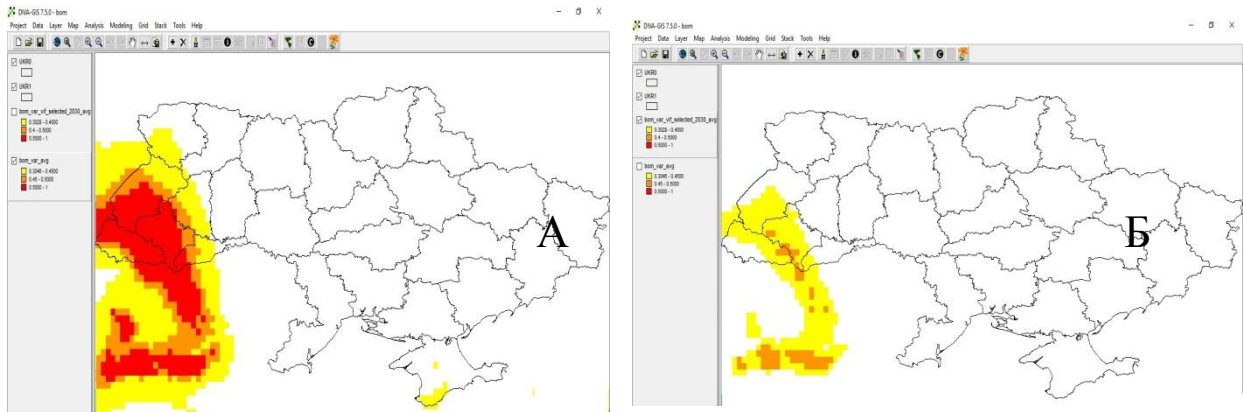


Рис. 2.5. Візуалізація моделі Maxent поширення *Bombina variegata* в Україні за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б).

Детальнішу інформацію щодо роботи з програмою можна знайти на сайтах (DIVA-GIS, документація) та у спеціальній літературі (Титар, 2011).

Програма SAGA GIS

Ідея розвитку SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) виникла наприкінці 90-х р. (XX ст.) під час роботи над кількома дослідницькими проектами на кафедрі фізичної географії (Гёттинген, Німеччина). В основу дослідження було покладено аналіз растрових даних, зокрема цифрових моделей рельєфу (DEM). Виконання роботи передбачало розробку та впровадження багатьох нових методів просторового аналізу й моделювання.

Програма має надзвичайно потужні аналітичні можливості (понад 450 функціональних модулів), зокрема: аналізу векторних (точкових, лінійних і полігональних), атрибутивних, растрових даних і зображень. Крім того,

пакет містить модулі для геостатистичного аналізу, класифікації зображень, роботи з проекціями, моделювання динамічних процесів (гідрологія, розвиток ландшафту) та аналіз рельєфу. Основне аналітичне призначення програми – поглиблений аналіз растрів (ЦМР і ДДЗ) науково-дослідницького спрямування (Свідзінська, 2013; Методи геоєкологічних досліджень..., 2014; Conrad et al., 2015).

Запуск програми SAGA GIS.

Відкрийте офіційний веб-сайт SAGA GIS <http://www.saga-gis.org/> (Рис. 2.6).

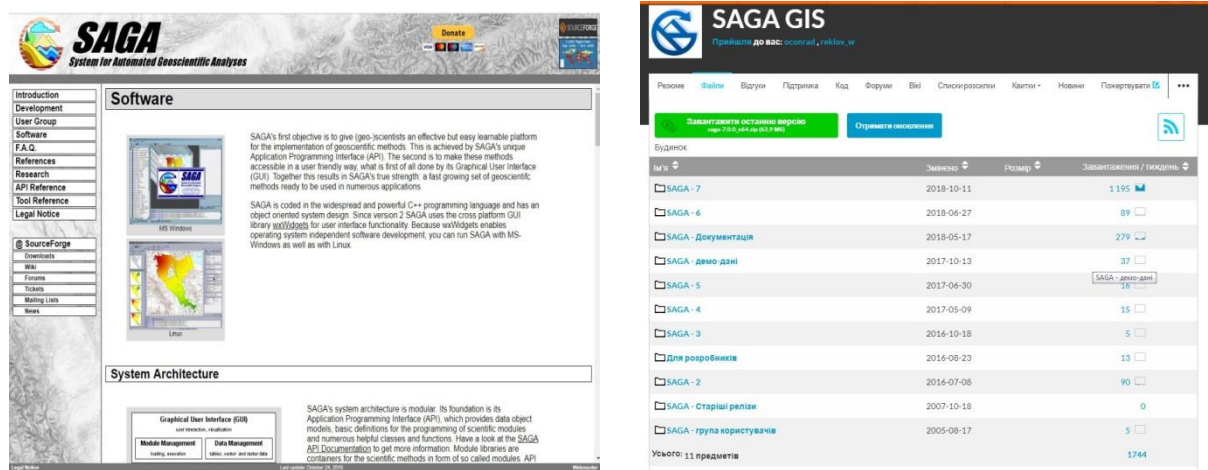


Рис. 2.6. Програма SAGA GIS

Для переходу до онлайн-архіву файлів проекту на Source Forge натисніть елемент меню *Downloads*. В останньому ви знайдете перелік доступних для завантаження файлів інсталяції SAGA (можуть з'явитися нові версії). Пакети двійкових файлів постачають в двох варіантах – *saga_x64.zip* (архів з 64-бітною версією програми) та *saga_win32.zip* (архів з 32-бітною версією).

Для кращого розуміння функціонального призначення елементів SAGA використовуйте приклади навчального набору даних. Для їх завантаження зайдіть до каталогу SAGA – Demo Data після завершення моделювання поширення різних видів тварин програмами Maxent, DIVA-

GIS та ін. Растрову модель території, де біокліматичні умови є сприятливими для виду можна візуалізувати програмою DIVA-GIS та SAGA (Рис. 2.7). Реалізовані моделі представлено у Главі 3.

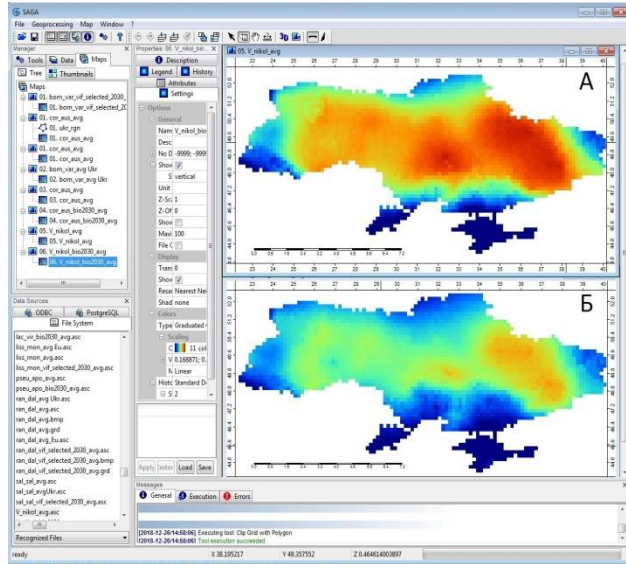


Рис. 2.7. Візуалізація моделі Maxent в програмі SAGA поширення гадюки Нікольського в Україні за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б).

Детальнішу інформацію щодо роботи з програмою можна знайти на сайтах (SAGA, документація) та у літературі (Титар, 2011; Свідзінська, 2013 та ін.).

Програма QGIS

QGIS (*Quantum GIS*) – доступна географічна інформаційна система з відкритим кодом, який поширюється на умовах *GNU General Public License*. QGIS вважають проектом *Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. У статусі волонтерського проекту QGIS започаткована у 2002 році (Sherman, 2008). З тих пір її безперервно розвивають і випускають нові релізи (версії) щороку. Головною метою проекту було створення дружнього **ПрЗ**, яке дозволило б зробити використання ГІС простим і зрозумілим для користувача. Основою початкової мети стало прагнення до полегшення перегляду геоданих.

Запуск програми QGIS. Завантажити програму для своєї платформи можна на офіційному сайті QGIS –

<https://www.qgis.org/uk/site/forusers/download.html> (Рис. 2.8). Вона функціонує на Linux, Unix, Mac OSX, Windows та Android і підтримує значну кількість векторних, растрових форматів та баз даних. Завдяки інтеграції алгоритмів інших відкритих ГІС, таких як GRASS і SAGA, вона стала потужним аналітичним інструментом досліджень. Крім того, додаткові розширення (плагіни, модулі) складають істотну й динамічно-розвинуту частку функціональності QGIS. На сьогодні існує понад 400 модулів (Афонин, Соколова, 2018).

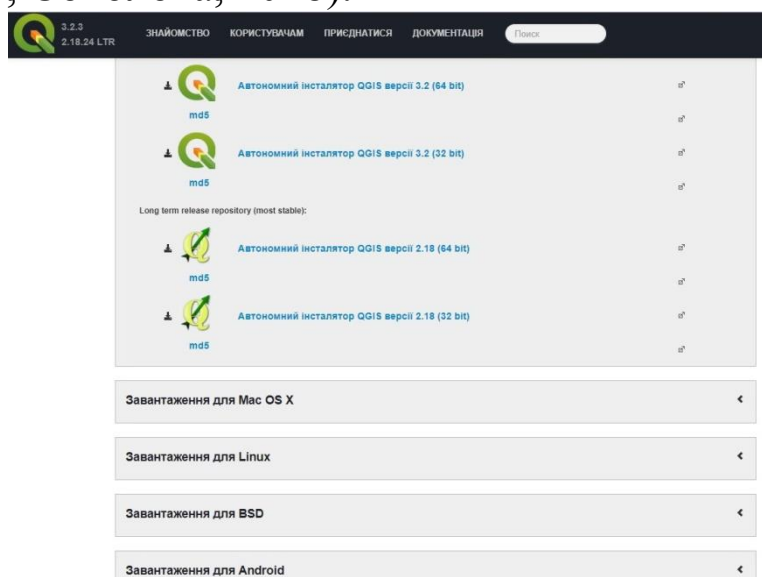


Рис. 2.8. Програма QGIS

Під час роботи в QGIS не використовуйте у шляхах до файлів (як вхідних, так і вихідних) кирилицю і прогалини. Зі списку виберіть потрібний набір інструментів, натиснувши на нього лівою кнопкою миші. Панель з'явиться автоматично в групі *панелі інструментів*. Панелі можна розміщувати одну щодо іншої по-різному. Для цього потрібно навести курсор на вертикальну лінію точок в лівій частині панелі інструментів і, затиснувши ліву клавішу миші, перетягнути панель.

Всю поточну роботу в QGIS можна зберігати у вигляді проекту. Проект буде зберігати інформацію на всіх за-

вантажених шарах разом з їх налаштуваннями. Тому кожен раз, якщо буде необхідно повернутися до роботи, вам не доведеться заново завантажувати шари і витрачати час на налаштування їх відображення. Результати моделювання поширення різних видів тварин такими програмами як Maxent, можна візуалізувати в програмах – SAGA, QGIS (Рис. 2.9).

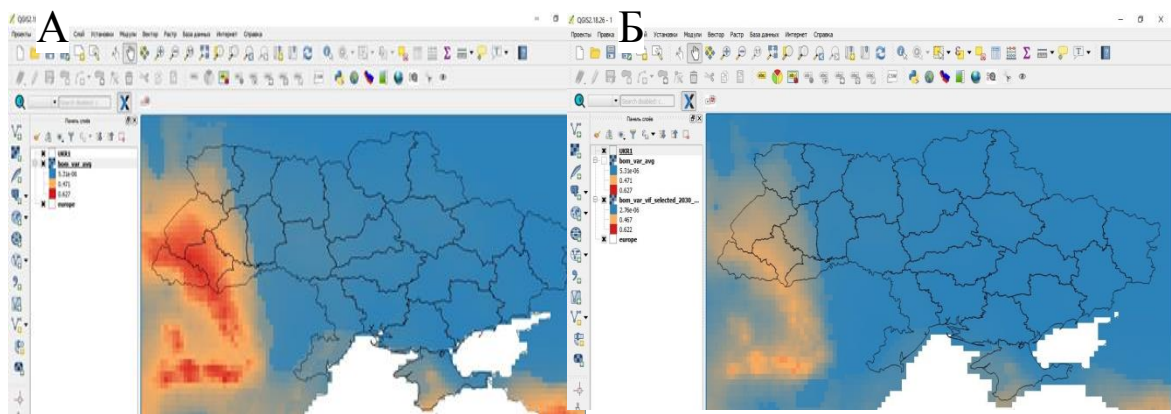


Рис. 2.9. Візуалізація моделі (Maxent) поширення *Bombina variegata* в Україні за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б) за допомогою QGIS

На сайті QGIS є чимало документів надрукованих англійською мовою. Водночас деякі документи, такі як посібник користувача, доступні іншими мовами (наприклад – «Посібник користувача QGIS»). Детальнішу інформацію можливо знайти у літературі (Sherman, 2008; Афонин, Соколова, 2018; блог – «ГИС-натуралист» <https://gis-naturalist.blogspot.com>).

Програма NextGIS

На мобільному пристрої можна встановлювати програму *NextGIS Mobile* (географічна інформаційна система). Вона дозволяє: відображати карту (складається з шарів і взята з онлайн та офлайн джерел); змінювати видимість, порядок шарів; виконувати навігацію за картою (збільшення, зменшення, переміщення); редагувати векторні дані

(геометрію і атрибути) в режимі онлайн і офлайн; записувати треки; відображати координати, швидкість, висоту пристрою на мапі; додавати фото та ін. дані.

Програма NextGIS Collector (Рис. 2.10) дозволяє збирати дані в польових умовах. Всі дані зберігаються на *nextgis.com* і сумісні з програмою QGIS. Для цього потрібно скачати програму на мобільний пристрій, наприклад у Google play покроково:

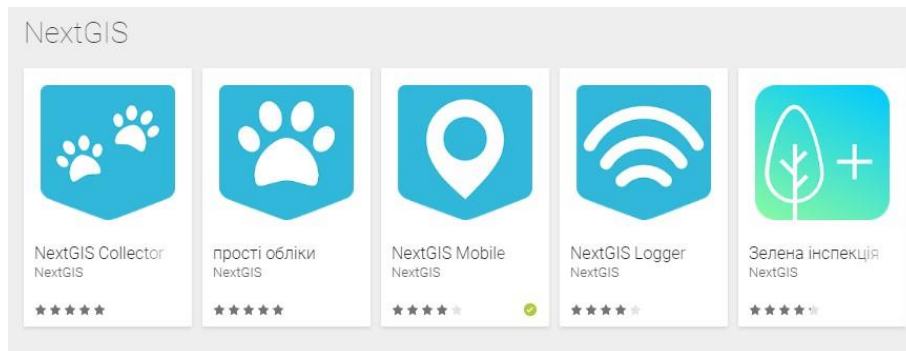


Рис. 2.10. NextGIS Collector

- запустити NextGIS Collector;
- увійти за допомогою облікового запису NextGIS ID (щоб отримати – зареєструйтеся на <http://my.nextgis.com>);
- підключитися до доступного проекту;
- розпочати збір даних.

Після закінчення збору матеріалу дані будуть додані як шар Веб ГІС. Ви можете завантажити їх у форматі GeoJSON або CSV (система координат EPSG: 3857). Альтернативно: запустіть NextGIS QGIS, встановіть з'єднання з Web GIS за допомогою NextGIS Connect і завантажте шар прямо в ГІС. Можна використати інші допоміжні програми сумісні з NextGIS та QGIS (<https://docs.nextgis.com/>).

Програма Google Планета Земля Pro

У цій програмі використано супутникові карти, в яких можна підібрати масштаб та ракурс. Її використовують для збору даних, створення полігональних об'єктів та збо-

ру точкових даних знахідок різних видів тварин. Необхідно її скачати і встановити за посиланням: <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html> (Рис. 2.11).

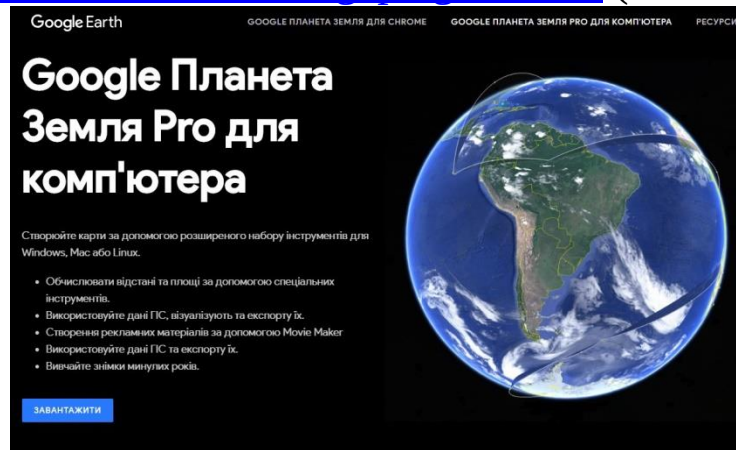


Рис. 2.11. Програма Google Планета Земля Pro

Програма Google Планета Земля Pro у Windows, Mac чи Linux, використовує формат *kml* (*kmz*) для відображення географічних даних у браузері Землі, наприклад Google Earth. Можна створювати файли KML, щоб точно визначити розташування, додавати накладені зображення та відкривати чимало даних новими способами. Тут створюють персональні карти та зберігають данні щодо тварин в форматі **.kml* в програмі *GoogleMaps* (Карти). Вона функціонує в режимі онлайн: <https://www.google.com.ua/maps/> (Рис. 2.12). Після установлення додатку на мобільний пристрій чи планшет його можна використовувати в польових умовах для збору інформації.

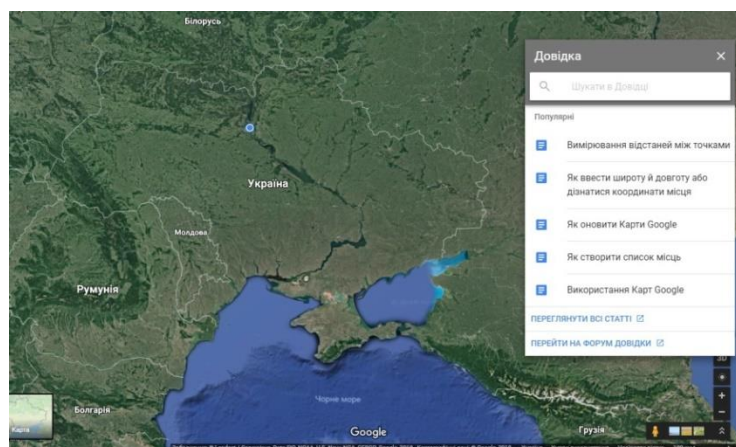


Рис. 2.12. Програма GoogleMaps

2.2. Аналіз новітніх електронних баз даних з Інтернет-ресурсів та їх адаптація до хорологічного ГІС-аналізу

Глобальна тенденція деградації біорізноманіття відбувається на фоні масштабних змін клімату. Сучасні методи екологічного моделювання на основі ГІС-технологій забезпечують виявлення територій, які за своїми кліматичними характеристиками придатні для перебування певних видів і забезпечують біологічне різноманіття загалом. Перспективні ареали можна виявляти сьогодні та в майбутньому. Сценарії майбутніх кліматичних змін розробили фахівці з кліматології. Слід зазначити, що формування ареалів є багатовимірним явищем, яке залежить від низки біотичних та абіотичних факторів. У зв'язку з цим точність і вичерпність їх прогнозування – досить важливе і складне завдання. Клімат вважають первинним і визначальним чинником, який впливає на розселення більшості видів. На сучасному етапі досить активно розробляють методи екологічного просторового моделювання ареалів, що ґрунтуються на певних кліматичних чинниках (Hijmans et al., 2005; Phillips et al., 2006, 2008; Титар, 2011).

Серед найважливіших кліматичних чинників знаходиться динаміка температур і вологість (опадів). Вони – основні обмежуючі фактори поширення видів (Леме, 1976). У концентрованому вигляді їх важливість зумовлена тим, що температура змінює швидкість хімічних реакцій. Натомість вода виступає універсальним розчинником і середовищем протікання біохімічних процесів в кожному організмі. Їх спільна дія у значній мірі визначає функціональні можливості кожної особини і виду в широкому розумінні цього слова. Проте для створення повноцінних моделей лише цих двох показників недостатньо. Температура й вологість найчастіше модифікують одна одну в сво-

їй дії на організми. Тому існують умови оптимумів температури й вологості, при яких найнижча смертність, найбільша тривалість життя та плодючість, найшвидші темпи розвитку тощо (Дажо, 1975). Цей недолік частково компенсують використанням т. з. біокліматичних показників, які поєднують фактори температури й вологості (наприклад, *«середня температура найвологішого кварталу»*, *«опадів найтеплішого кварталу»* тощо). Серед біокліматичних показників беззаперечно важливі та інформативні – *«ізотерімічність»*, *«температурна сезонність»*, *«сезонність опадів»* та ін.

З цієї точки зору ми розглянули низку кліматичних баз даних, зокрема WorldClim (Hijmans et al., 2005, 2012), CliMond (Kriticos et al., 2012), ENVIREM (Title, Bemmels, 2018), MERRAclim (Vega et al., 2017) та кліматичні показники з агроекологічної бази GAEZ (IIASA/FAO, 2012).

У кліматичні дані CliMond включено інтерпольовані шари (шари) поверхні в 10' і 30' для недавнього історичного клімату та відповідні сценарії майбутнього клімату доступні як місячні кліматичні дані, 35–40 BIOCLIM змінні у форматі CLIMEX. Інструменти моделювання включають поверхні класифікації клімату Кеппен-Гейгера та інструмент ExDet (Peel et al., 2007; World Maps of Koeppen-Geiger Climate Classification; Табл. 2.1).

Із вище згаданого переліку для моделювання найчастіше використовують WorldClim. База даних містить набір глобальних кліматичних даних, які включають мінімальну, максимальну і середню температуру, опади, висоту н. р. м., набір з 19 похідних біокліматичних показників (BIOCLIM, Табл. 2.1) й інформацію про клімат минулого та майбутнього. Вона сформована на основі результатів спостережень близько 20 тис. метеостанцій і покриває всю поверхню суші крім Антарктиди (Рис. 2.13). База доступна для завантаження в різних ГІС-форматах з різ-

ною просторовою резольюцією, починаючи від 30 arcsec, що приблизно відповідає 1 км². WorldClim версія 2 має середньомісячні кліматичні дані для мінімальної, середньої та максимальної температури, а також для опадів у 1970–2000 роках, від 30 секунд (~ 1 км²) до 10 хвилин (~ 340 км²) (Kriticos et al., 2012; Fick, Hijmans, 2017; <https://www.worldclim.org/methods1>).

Таблиця 2.1.

**Біокліматичні показники (BIOCLIM) електронної
Бази CliMond та WorldClim (Hutchinson et
al., 2009; Kriticos et al., 2014)**

1. Середньорічна температура (<i>BIO1</i>)
2. Середній місячний температурний діапазон (<i>BIO2</i>)
3. Ізотермічність ($[2/7]*100$) (<i>BIO3</i>)
4. Температурна сезонність (CV) (<i>BIO4</i>)
5. Максимальна температура найтеплішого місяця (<i>BIO5</i>)
6. Мінімальна температура найхолоднішого місяця (<i>BIO6</i>)
7. Річний температурний діапазон (<i>BIO7</i>)
8. Середня температура найвологішого кварталу (<i>BIO8</i>)
9. Середня температура найсухішого кварталу (<i>BIO9</i>)
10. Середня температура найтеплішого кварталу (<i>BIO10</i>)
11. Середня температура найхолоднішого кварталу (<i>BIO11</i>)
12. Середньорічні опади (<i>BIO12</i>)
13. Опади найвологішого місяця (<i>BIO13</i>)
14. Опади найсухішого місяця (<i>BIO14</i>)
15. Сезонність опадів (CV) (<i>BIO15</i>) ¹
16. Опади найвологішого кварталу (<i>BIO16</i>)
17. Опади найсухішого кварталу (<i>BIO17</i>)
18. Опади найтеплішого кварталу (<i>BIO18</i>)
19. Опади найхолоднішого кварталу (<i>BIO19</i>)
20. Середньорічне випромінювання ($W\ m^{-2}$) (<i>BIO20</i>)
21. Найбільше тижневе випромінювання ($W\ m^{-2}$) (<i>BIO21</i>)
22. Найнижча тижнева радіація ($W\ m^{-2}$) (<i>BIO22</i>)

23. Радіаційна сезонність (C of V) (BIO23)
24. Випромінювання вологого кварталу ($W m^{-2}$) (BIO24)
25. Випромінювання сухого кварталу ($W m^{-2}$) (BIO25)
26. Випромінювання найтеплішого кварталу ($W m^{-2}$) (BIO26)
27. Випромінювання холодного кварталу ($W m^{-2}$) (BIO27)
28. Середньорічний індекс вологості (BIO28)
29. Найбільший тижневий індекс вологості (BIO29)
30. Найнижчий тижневий індекс вологості (BIO30)
31. Сезонність індексу вологості (CV) (BIO31)
32. Середній показник вологості вологого кварталу (BIO32)
33. Середній показник вологості сухого кварталу (BIO33)
34. Середній показник вологості найтеплішого кварталу (BIO34)
35. Середній показник вологості холодного кварталу (BIO35)
¹ STD = стандартне відхилення; CV = коефіцієнт варіації

Кожне завантаження є «zip» файлом, що містить 12 файлів GeoTiff (.tif), по одному для кожного місяця року (січень – 1; грудень – 12). Нами були використані растри з роздільною здатністю у 10 хвилин (прямокутник зі стороною близько 18,5 км за довжиною і 11,4–13,2 км за шириною).

Для цілей проекту використано базу CliMond – модернізований варіант першої WorldClim (від 19 до 35 показників). У базі CliMond також наявні біокліматичні індекси, показники температури і вологості. Водночас у ній додатково враховано характеристики сонячної радіації. Зазначена база має 35 показників (Табл. 2.1): 19 – біокліматичних (Bio1-Bio19), 7 індексів сонячної радіації (Bio20-Bio27) та 8 – випаровування (Bio28-Bio35) (Beaumont et al., 2005). На їх основі характеризують сучасний клімат у тому числі й прогнозовані значення його параметрів до 2030 та 2050 р.

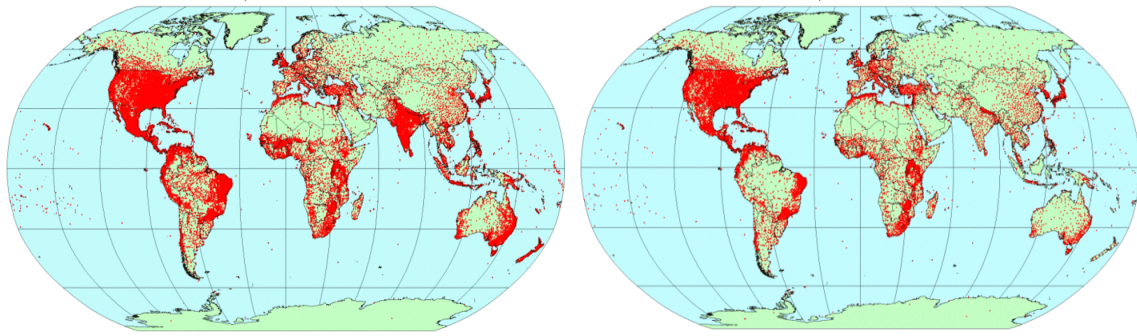


Рис. 2.13. Глобальне розташування метеостанцій, де:

- а) реєструють дані про опади б) визначають середні показники навколишньої температури.**

Комп'ютерне моделювання нашого проекту базується на принципах «машинного навчання». Машинне навчання – перспективний напрям галузі опанування знань із баз даних. Власне, це підрозділ штучного інтелекту, що включає методи побудови алгоритмів із здатністю до навчання. Проте машинне навчання має специфіку, пов'язану з проблемами обчислювальної ефективності та перенавчання. При наднавчанні (англ. *overfitting*) модель описує випадкову похибку або шум, замість взаємозв'язку, який лежить в основі даних. Перенавчання є порушенням змісту відомого принципу «лезо Оккама»: – настає після надлишкового включення регульованих параметрів понад оптимальну потребу. Перенавчання виникає тоді, коли параметри корелюють між собою (явище мультиколінеарності) й несуть надлишкову інформацію. У нашому дослідженні істотним є те, що біокліматичні показники використані для побудови відповідних моделей, проявляють ознаки мультиколінеарності. Вони можуть стати джерелом похибок, коли неналежне використання призводить до маскуванню реальних висновків. Ускладнення зумовлені ще й тим, що мультиколінеарність має регіональний

характер. Тому після визначення території перебування модельних видів ми скоригували перелік показників з відповідних біокліматичних баз щоб уникнути їхнього надлишкового використання. Для визначення рівня мультиколінеарності було проведено розрахунки дисперсійно-інфляційного фактору (англ. *VIF—variance inflationary factor*) (Naimi et al., 2014). Для цілей ГІС-моделювання, які відповідають завданням проекту з бази CliMond було обрано біокліматичні показники та відповідні растрові файли, що містять дані про сучасний клімат і той, що за прогнозними даними буде в 2030 р. (Kriticos et al., 2012; Табл. 2.1).

Разом з тим поширення виду та конфігурація його ареалу залежать не лише від особливостей його екологічної ніші. Теорія ніші недостатня для пояснення географічного поширення видів. Вона не опирається на історичні фактори, які реалізуються переважно у географічному просторі, а не лише в екологічному. Слід брати до уваги біогеографічні бар'єри, різну здатність видів до розселення тощо (Martinez-Meyer, 2005). Ареал виду – це комплексне вираження його екології та еволюційної історії (Brown, 1995). Він формується різноманітними чинниками, які діють з різною інтенсивністю і кожен у власному масштабі (Gaston, 2003; Pearson, Dawson, 2003). Ці чинники можна об'єднати у чотири групи (Soberon, Peterson, 2005). При моделюванні видових ареалів характерні особливості екологічних факторів мають такий вигляд (Титар, 2011).

1. Абіотичні фактори (клімат, фізико-хімічні показники середовища, едафічні умови тощо) – накладають обмеження на здатність виду існувати на певній території. Ця група чинників є основою для моделювання екологічної ніші й видових ареалів. Водночас завжди існує небезпека того, що побудовані на їх основі моделі не відпові-

датимуть дійсності тому, що окремі важливі фактори не було взято до уваги.

2. Біотичні фактори – комплекс зв'язків виду з іншими видами, які модифікують його здатність до існування на певній території. Без врахування біотичних факторів моделі можуть відхилятися від дійсності. Біотичні чинники досить складно використовувати у ГІС з точки зору теорії і практики втілення у відповідні електронні шари. Разом з тим не виключена ситуація коли поширення видів, які складають найпростішу ценотичну пару, наприклад: «комаха-фітофаг – рослина» знаходяться у тотожному або ж дуже схожому комплексі абіотичних факторів. У цьому разі можна вважати, що біотичні фактори опосередковано враховано через абіотичні параметри, які використано для побудови відповідних моделей видових ареалів, окремо для комахи і для рослини.

3. Територіальні фактори – наявність доступних для заселення територій, або існування відповідних фізико-географічних перешкод. Після їх врахування можна відрізнити реальне поширення виду від потенційного. Останнім часом зазначена особливість стала надактуальною у зв'язку з поширенням адвентивних видів.

4. Еволюційна здатність популяцій до адаптації у нових умовах. Її почасті не беруть до уваги, або нехтують. Прикладів генетичної адаптації до нових умов, зокрема змін клімату, описано небагато (Bradshaw, Holzapfel, 2006). До того ж виявилось що структура екологічної ніші у споріднених видів досить консервативна. Цю дискусійну точку зору було оприлюднено на прикладі низки сестринських пар видів Мексики, представлених ссавцями, птахами та денними метеликами (Peterson et al., 1999; Wiens, Graham, 2005). Тому в моделях-прогнозах змін ареалів на перспективу не завжди враховано еволюційний фактор. Недосконалість моделей зумовлена усталеною

точкою зору, що глобальні екологічні зміни відбуваються досить швидкими темпами. Натомість в еволюційному плані види не встигають пристосуватися до нових умов. Немає сумніву в тому, що всі екологічні фактори взаємодіють між собою і разом визначають географічне поширення видів. Взаємодію екологічних чинників можна представити графічно у вигляді діаграми Венна (Рис. 2.14, Soberon, Peterson, 2005).

Припускають, що вид буде присутній у певному місці, якщо співпадають три умови: (1) абіотичні умови сприятливі; ці умови є в регіоні А (представлено кругом); (2) присутній визначений позитивний набір видів-сусідів (наприклад, жертви, кормові рослини, запилювачі, мікори́зи тощо), а негативний (сильні конкуренти, хвороби, спеціалізовані хижаки тощо) відсутні; ці умови існують в регіоні В.

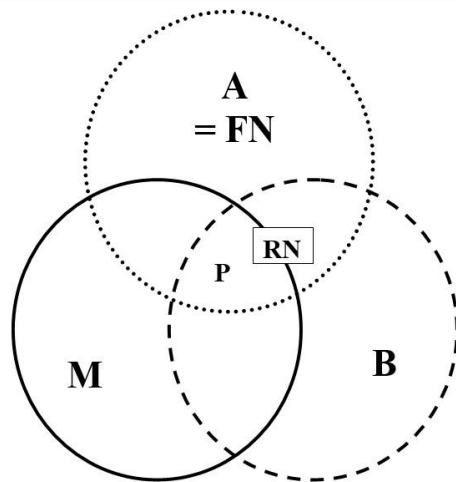


Рис. 2.14. Діаграма Венна: взаємодія абіотичних, біотичних і територіальних факторів.

Круг А – географічна область зі сприятливими абіотичними умовами для виду, її вважають географічним вираженням фундаментальної ніші (FN); круг В – територія, де сприятливим чином складаються біотичні відносини; перетин А та В – географічний простір реалізованої ніші

(RN); круг М – ті умови для виду, які є «доступні» виду в екологічному сенсі (без урахування фізико-географічних бар'єрів на шляху розселення виду); Р (спільний перетин А, В та М) – область реального географічного поширення виду; тут присутні відповідні абіотичні та біотичні умови і вона доступна для розселення виду.

Нарешті, (3) вид буде присутній лише в регіоні (круг М), до якого у нього є фізичний доступ. У такому випадку регіон А представляє географічне вираження фундаментальної ніші виду і будь-які обмеження на перебування виду тут можна віднести до біотичних чинників. Регіон В це територія, де складаються сприятливі міжвидові стосунки для конкретного виду. Перетин А та В є тією частиною світу, де (1) абіотичні умови сприяють позитивному росту популяцій виду та (2) присутні мутуалісти, а конкуренти, хижаки та хвороби не можуть перешкодити позитивному росту. Перетин А та В у такому разі представляє собою географічне вираження реалізованої ніші виду. Регіон М це та частина світу, яка доступна для виду з часу його виникнення, чи куди він може потрапити внаслідок людської діяльності. Відповідно до діаграми, стабільні популяції виду (англ. *source populations*) можуть бути знайдені лише на спільному перекриванні кругів М, В та А, який позначено Р. Одночасно існує імовірність того, що окремі тимчасові популяції (англ. *sink populations*) можуть перебувати (за рахунок, наприклад, випадкового потрапляння чи сезонних міграцій тощо) в інших частинах регіону М за межами перекривання А та В, тобто реалізованої ніші.

2.3. Підготовка даних до ГІС-моделювання: методичний підхід

Будь-яке моніторингове дослідження розпочинають з його планування та підготовчого етапу. Від цього залежать обрані методи й результати досліджень (Рис. 2.15). Після чітко сформульованої мети досліджень, вибору об'єктів і методів приступають до збору інформації та матеріалу. Пошук даних про знахідки об'єктів дослідження (координати) здійснюють за допомогою мобільних програм NextGIS (*.shp), OziExplorer, GoogleMaps, Google Планета Земля (GooglEars, *.kml) (Некрасова, 2015). У більшості програм використано геокодовані дані щодо широти (*latitude*) і довготи (*longitude*) в десятковій системі (DD) – градуси і його десяткові частки (DD.DDDD). У ГІС-пакетах для користувача-біолога дані стосовно поширення певного виду та про умови навколишнього середовища зберігають у вигляді точкової інформації, або «точкових векторів» – полігонів. Вони окреслюють певну територію («полігонні вектори») в чарунках (англ. *grid cells*) у формі так званих «растрових» даних. Для моделювання ареалів дані про умови навколишнього середовища, які отримують метеостанціями (і, власне, є точковими) переводять у растровий формат. При цьому інтерполюють значення окремих параметрів умов навколишнього середовища (наприклад, середньорічну температуру повітря) між окремими станціями і таким чином отримують гарантію, що інформація буде у кожній клітинці з біологічними даними (Hijmans et al., 2005).

Джерелом таких даних служать музейні фонди, каталоги, колекції, публікації, електронні атласи, які містять інформацію, накопичену за декілька століть (Charman, Busby, 1994; Sillero et al., 2014). Найбільший попит мають міжнародні бази даних (GBIF, <http://gbif.org>, та ін.), матеріали підготовки до чергових видань Червоної книги

України («Знахідки тварин ...», 2008 та «Матеріали до 4-го видання ЧКУ. Тваринний світ», 2018) електронні ресурси «Моніторинг біорізноманіття в Україні»

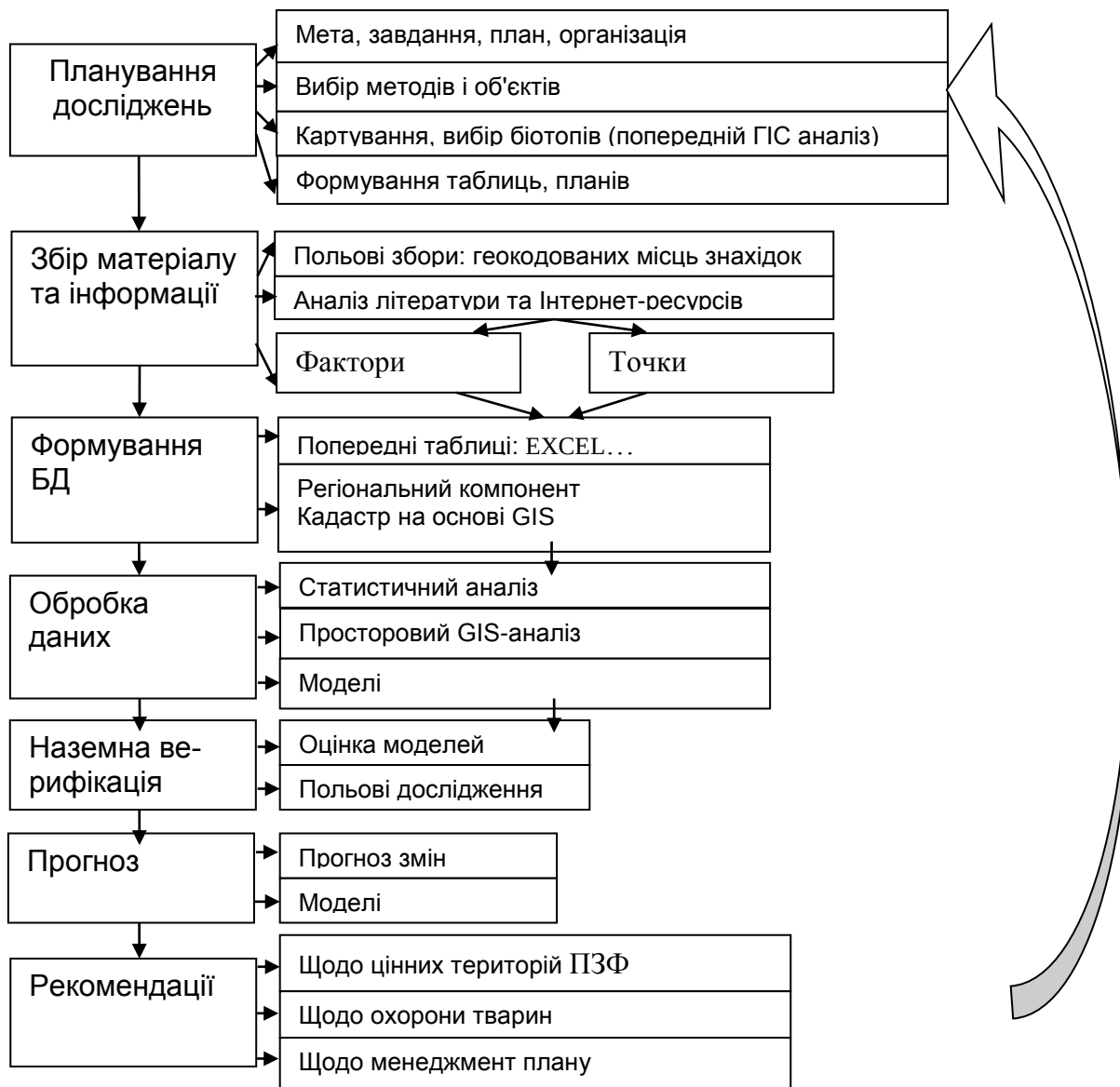


Рис. 2.15. Схема досліджень поширення тварин.

(<http://biomon.org>) та «Національна Мережа Інформації з Біорізноманіття (UkrBIN)» (<http://izan.kiev.ua/ukrbins>), «UNCG. Підтримка залучення громадськості до побудови системи моніторингу біорізноманіття в Україні», власні (оригінальні) дослідження й створені спеціалізовані елект-

ронні бази даних з поточною інформацією, отриманою в результаті польових досліджень та наземної верифікації створених раніше комп'ютерних моделей поширення видів. На Рис. 2.16 представлено полігони (червоні квадрати), де наявна геокодована інформація про поширення видів амфібій (А) та рептилій (Б) з усіх зазначених джерел.

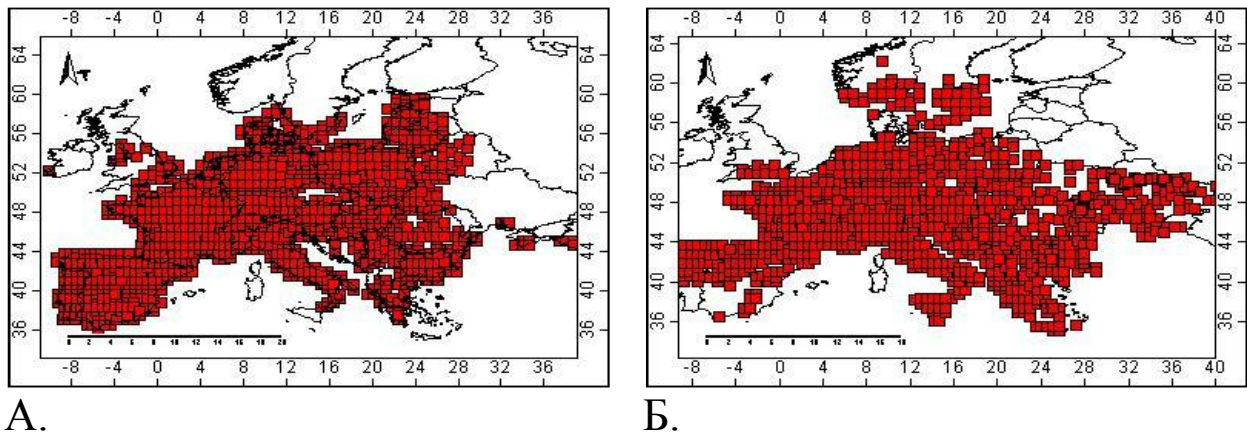


Рис. 2.16. Полігони наявної геокодованої інформації про поширення червонокнижних видів амфібій (А) та рептилій (Б).

Для того, щоб краще уявляти і розуміти біологічний світ конче потрібно, щоб дані про нього були додатково представлені ще й в абстрактній формі, насамперед у вигляді електронних баз даних (Goodchild et al., 1991). Стверджують, що сучасні колекційні матеріали у світовому масштабі нараховують близько 2,5–3 мільйонів одиниць (Duckworth et al, 1993). Сьогодні зроблено лише перші кроки для їх оцифрування з метою забезпечення доступу широкого загалу користувачів до таксономічної інформації. Оцифровані колекційні матеріали доповняють знання про біологічне різноманіття та екосистеми світу. Вони оптимізують природоохоронні зусилля та пошуки шляхів сталого розвитку людства. Доступність інформації про біологію тварин у електронних засобах комунікації відкриє нові методи аналізу, засновані на комп'ютерних

технологіях (Charman, 1999). Таксономічні дослідження вже отримали розширені можливості – цифрове зображення типових екземплярів тварин, інформацію про перебування зразків в музеях, колекціях усього світу тощо. На сьогодні найбільший поштовх для розвитку отримала біогеографічна галузь і насамперед її практичні аспекти щодо поширення переносників захворювань людини, адвентивних видів. Трансформації біологічного різноманіття через глобальні кліматичні зміни у сучасних умовах набули соціально важливого значення (Peterson et al., 1999; Suarez, Tsutsui, 2004). Комп'ютерні технології та електронні бази даних зробили досконалішим планування структури природоохоронних територій та об'єктів, вибір (Margules, Pressey, 2000), вивчення кліматичних змін (Charman, Milne, 1998; Pouliquen-Young, Newman, 1999), зміцнили наукові засади сільського господарства, лісівництва та рибництва (Nicholls, 1997), заклали основу для цілеспрямованої інтродукції видів (Panetta, Mitchell, 1991; Peterson, Veiglas, 2001; Pupina et al., 2008). У перерахованих галузях наукового пошуку використано програмне забезпечення для моделювання екологічної ніші, зокрема BIOCLIM (Nix et al., 1986) та GARP (Stockwell, 1999). Більшість з побудованих моделей опираються на дані щодо поширення видів – точкових реєстрацій, де вид присутній (англ. *presence-only data*). Проте є моделі в яких ідентифіковані точкові реєстрації, а на електронних носіях вид відсутній (англ. *absence data*). У деяких випадках включення до аналізу останніх підходів удосконалювало модель (Brotons et al., 2004). Натомість не завжди подібні дані є в розпорядженні дослідника і досить часто вони ненадійні. Подекуди довести відсутність виду набагато важче, ніж установити факт його існування.

У Табл. 2.2 наведено електронні адреси деяких джерел, інформацію про поширення видів у вигляді точкових

реєстрацій та навколишнє середовище (клімат, топографію, ґрунти тощо). Це далеко не повний перелік інформації і ми пропонуємо продовжити пошук самостійно.

Таблиця 2.2.

Деякі джерела інформації стосовно поширення видів та умов навколишнього середовища

Тип даних	Джерело
Поширення видів • ссавців • птахів • амфібій та рептилій • риб	Global Biodiversity Information Facility (GBIF): www.gbif.org http://ukrbin.com/index.php?lang=2 , MaNIS: http://manisnet.org/ ORNIS: http://www.ornisnet.org/ HerpNET: www.herpnet.org , https://www.hylawerkgroep.be/jeroen/index.php?id=2 http://na2re.ismai.pt/atlas.php , http://www.reptile-database.org/ FishBase: www.fishbase.org , http://www.fishnet2.net/aboutFishNet.html
Клімат: Поверхні Сценарії	WorldClim: http://www.worldclim.org/ IPCC: http://www.ipcc-data.org/ NOAA: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html , https://topotools.cr.usgs.gov/gmted_viewer/viewer.htm http://biogeo.berkeley.edu/worldclim1_4/grid/pst/21k/wc_2_5m_CCSM_21k_bio.zip , http://biogeo.berkeley.edu/worldclim1_4/grid/pst/21k/wc_2_5m_MIROC3.2_21k_bio.zip
Топографія	USGS: http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/index.html
Köppen-Geiger	https://www.climond.org/Koppen.aspx , http://www.blueplanetbiomes.org/climate.htm ,

Тип даних	Джерело
Climatic Zones	http://www.brockmann-consult.de/iavisa-info-web/data-set-generation.html , https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer
Космічні знімки	Global Landcover Facility: http://glcf.umiacs.umd.edu/data/ NASA: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/
Ґрунти Harmonized World Soil Database v 1.2 (FAO), GAEZ	UNEP: http://www.grid.unep.ch/data/data.php?category=lithosphere http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/ http://www.fao.org/nr/gaez/en/ https://www.geoplatform.gov/help/apps/object-editor/ http://map.land.gov.ua/
Моря та океани Aquamaps (FAO)	NOAA: www.nodc.noaa.gov http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1043064/ http://www.fao.org/nr/water/aquamaps/
Охорона: EN, UNCG	http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=d1804eb1f77546b8a282cd6dff1aa202 http://uncg.org.ua/projects/zaluchennya-gromadskosti/ http://www.nps.gov/npsmap/slides/nps-and-osm/ https://carto-lab.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=4e00799196344c9c8ae624aa507570f0
IUCN (ЧС МСОП)	https://www.iucnredlist.org/

Дослідити всі елементи тваринної біоти неможливо. Завжди існуватиме необхідність визначення пріоритетів та вибору відповідних біоіндикаторів. Насамперед це раритетні види тварин, які представлені в Червоній книзі України, міжнародних «червоних» списках (Європейський список, МСОП тощо), додатках до міжнародних угод (Рамсарська конвенція, Боннська конвенція, Бернська конвенція, AEWA, ACCOBAMS, EUROBATS та ін.). Зазвичай рідкісні види населяють вразливі до кліматичних змін оселища – оліготрофні болота, праліси, водно-болотні угіддя, вологі луки тощо. Рідкісні та зникаючі види служать індикаторами стану цих екосистем. До того ж території зазнаватимуть дії екологічних чинників, пов'язаних зі зміною режиму температури та вологості. Ми поділяємо думку (Duellman, Trueb, 1986; Blaustein et al., 2001; Angilletta et al., 2002), що серед хребетних тварин найчутливішими до кліматичних змін є холонокровні амфібії та рептилії.

Чисельність багатьох видів земноводних може коливатися в десятки разів залежно від температури та рівня води у водоймах де розмножуються амфібії. Серед усіх абіотичних факторів температура найістотніше впливає на ріст і розвиток земноводних. До того ж вона регулює репродуктивний цикл і поведінку тварин. При сильних посухах пересихає більшість водойм і в результаті цього гине величезна кількість ікри та пуголовків. Натомість значні морози в малосніжні зими призводять до вимерзання більшості дорослих особин. За даними (Stuart et al., 2004) чисельність багатьох видів амфібій в різних регіонах Землі помітно скорочувалася уже з середини минулого століття. Упродовж останніх років понад 500 вчених з 60 країн досліджували стан популяцій 5743 відомих видів земноводних. Результати їх досліджень засвідчують, що за останні 25 років вимерло близько 122 види амфібій. На

сьогодні така ж доля очікує кожен третій вид ропах, саламандр і тритонів. Для порівняння: серед птахів зникаючими вважають 12% видів, а серед ссавців – 23%. Найімовірнішими причинами елімінації стали такі чинники: забруднення, скорочення площі придатних біотопів та зміна клімату.

Для сучасних рептилій найважливішими факторами середовища є сумарна сонячна радіація, температура поверхні ґрунту, кількість опадів і тривалість безморозного періоду в помірній зоні. Тривалий зимовий період – одна з найважливіших перешкод для поширення теплолюбних видів на північ. За цих екологічних характеристик можна було б очікувати, що глобальне потепління має сприяти холонокровним рептиліям, однак це стосуватиметься не усіх видів. Існуючі тенденції та прогнози (Araújo et al., 2006) показують, що в Європі 15–20 видів плазунів втрачатимуть 25–50% свого теперішнього ареалу.

З появою нових методів й геоінформаційних технологій з'явилася можливість моделювати поширення видів на основі їх зв'язків з геосистемними характеристиками, параметрами клімату та антропогенним навантаженням (Guisan, Zimmermann, 2000; Franklin, 2010; IIASA/FAO. Global..., 2012). Використані ГІС-моделі переважно опираються на особливості взаємозв'язків між параметрами навколишнього середовища у відомих місцях перебування конкретного виду. Це так званий кореляційний підхід. ГІС-моделюванням з'ясовують комплекс умов та просторовий розподіл місць в яких популяції певного виду можуть існувати. Умови складають комплекс і розглядають як модель ареалу (Miller, 2010). Методи екологічного моделювання широко застосовують в різних галузях біології та географії для оцінки біологічного різноманіття територій, здатності видів до розселення, з'ясування особливос-

тей екологічних ніш окремих видів (Pearson et al., 2011) та впливу глобальних змін клімату (Beever, Belant, 2011).

Для створення моделі за допомогою програми ENMTools 1.4.3 (Warren et al., 2010) ми видалили всі близько розташовані точки знахідок, що знаходяться в одному і тому ж квадраті (10×10 км) й залишили для розгляду лише т. з. «унікальні». Завдяки цій операції загальна кількість геокодованих точкових даних, відомих для виду може не співпадати з їхньою кількістю, взятою до уваги для побудови відповідних комп'ютерних моделей.

У нашому дослідженні розглянуто умовну шкалу придатності території з прогноною ймовірністю перебування виду в межах 0,5–1,0 – понад 50%. Було зазначено, що кліматичні ніші змінюються набагато повільніше, ніж сам клімат (Jezkova, Wiens, 2016). Кліматичні зміни, які прогнозують до 2050 р. відбуватимуться дуже швидкими темпами. Окремі види зі зміненими ареалами мають утвердитися в новому для них біотичному середовищі з іншими гідрологічними та едафічними умовами. Лише у вкрай неймовірному випадку всі види ценозу зможуть швидко і одночасно переселитися на нові придатні кліматичні умови території. Навіть при «відкритих каналах міграції», певному кліматі та умовах нових місць проживання ці обставини призведуть до зменшення швидкості поширення окремих особин та видів. З огляду на ці ускладнення ми вирішили поряд з прогнозом ареалогічних змін окремих видів, які відбудуться у процесі кліматичних змін до 2050 р. визначити території де упродовж всього тридцятирічного періоду вони сприятимуть перебуванню конкретного виду $> 50\%$. Умовно ці території можна охарактеризувати як «стабільні». На них оптимальні умови кліматичної ніші зберігатимуться до 2050 р. й нічим не відрізнятимуться від сучасних. Якщо такі території будуть виявлені та окреслені, вони матимуть найбі-

льшу цінність для збереження певних видів в умовах швидких темпів кліматичних та просторових змін ареалів. На них доцільно створювати, розширювати або удосконалювати відповідні об'єкти ПЗФ.

Осягнути дослідженнями всі елементи тваринної біоти природно-заповідних територій неможливо. У зв'язку з цим залишається надзвичайно актуальною необхідність чіткого визначення пріоритетів та вибору відповідних біоіндикаторів. До них необхідно віднести види з Червоної книги України, міжнародних «червоних» списків (Європейський список, МСОП) додатків міжнародних угод (Рамсарська, Боннська та Бернська конвенції, АЕВА, ACCOBAMS, EUROBATS та ін.). Низка видів з Червоної книги України населяють вразливі до кліматичних змін оселища (оліготрофні болота, праліси, водно-болотні угіддя, вологі луки тощо). Ці види є індикаторами стану перерахованих оселищ. Крім того, ареали рідкісних тварин можуть зазнавати дії змінених режимів температури й вологості. На основі експертних оцінок виконавці проекту провели відповідний підбір індикаторних видів для подальшого аналізу. У роботі наведено назви цих тварин, їх таксономічну належність, природоохоронний статус та кількість геокодованих точкових місць знаходження (даних). Відібрані види земноводних й плазунів ми використали для моделювання екологічної ніші та побудови відповідних ареалів за умов теперішнього клімату й того, що за сценарієм Міжурядової групи експертів з питань змін клімату (МГЕЗК) прогнозовано на 2030 та 2050 роки.

Дія основних екологічних чинників на просторове розміщення живих істот та усього біологічного різноманіття часто супроводжується зміною ареалів. Поширення тварин завжди обмежується їх вимогами до навколишнього середовища. Серед усіх екологічних факторів температура й вологість – найважливіші для наземних організмів.

За прогнозом нас очікує вертикальне й горизонтальне зміщення ареалів в напрямі до полюсів Землі. Проте занадто широке і в загальних рисах вірне бачення процесу не дає змогу адекватно прогнозувати відносну чисельність конкретного виду, угруповань.

Певним чином за допомогою ГІС-моделювання просторового розподілу територій придатних для життя тварин цю прогалину можна компенсувати. Зазначений напрям студіювання отримав назву *«моделювання екологічної ніші»* (Pearson, Dawson, 2003).

Прогнозування поширення видів на основі ГІС-моделей останнім часом стало важливим компонентом у плануванні природоохоронної роботи. Розроблено різноманітні підходи й алгоритми, які знайшли своє втілення у відповідному програмному забезпеченні (Guisan, Thuiller, 2005). Найчастіше ці моделі базуються на т. з. кореляційному підході, що враховує особливості зв'язків між параметрами навколишнього середовища відомих місць перебування виду. Для створення оптимальної моделі необхідно з'ясовувати комплекс умов необхідних для існування виду. Просторовий розподіл місць зі сприятливими екологічними чинниками можна розглядати як модель його ареалу. Території поділяють за ступенем відповідності місцевих умов вимогам виду. Просторово моделюють не лише видові ареали, а й інші об'єкти біологічного різноманіття – окремі алелі та генотипи, різновидові та надвидові угруповання.

Кореляційною логікою успішно користувалися ще до появи комп'ютерного моделювання. Використання клімаграм (графіків температури та кількості опадів) дало змогу визначити можливі вектори поширення та адаптації певних видів. При аналізі видових ареалів та динаміки їх змін дедалі ширше застосовують моделювання екологічної ніші (Peterson, 2006). Як і будь-яка модель вона має переваги й

недоліки та умови, які впливають на прогнозну інтерпретацію. Загальні уявлення та закономірності змін суттєво залежать від розуміння поняття *«екологічна ніша»*.

Термін *«екологічна ніша»* запропоновано Дж. Гріннеллом (Grinnell, 1914) та Ч. Елтоном (Elton, 1927). Автори надали йому змістового наповнення – місце певного виду в екосистемі. При цьому Дж. Гріннелл акцентував увагу на відносному просторовому розподілі видів, а Ч. Елтон – на положенні виду в ланцюгах живлення. Подальший розвиток уявлень про нішу та міжвидову конкуренцію пов'язаний з ім'ям Дж. Гатчінсона (Hutchinson, 1957). Він запропонував багатовимірну модель екологічної ніші. Ідея моделі досить проста: якщо на ортогональних осях відкласти значення інтенсивності окремих факторів середовища, а з точок, які відповідають межах толерантності організмів до того чи іншого фактору провести перпендикуляри, то обмежений ними простір буде відповідати екологічній ніші даного виду (Рис. 2. 11).

Отже, екологічна ніша будь-якого конкретного виду – це область таких комбінацій значень різних факторів середовища, в межах якої даний вид може існувати необмежено довго. На (Рис. 2. 17.) показано схему двовірної екологічної ніші: на її осях відкладено величини температури (F_1) та вологості (F_2), межі толерантності до яких позначені $t_{\min}$ та $t_{\max}$. Саме ця логіка закладена в алгоритм комп'ютерного моделювання екологічної ніші. У моделях найчастіше фігурують біокліматичні параметри (див. нижче), а обмежений на рисунку простір має вигляд поштового конверта. Тому цей алгоритм отримав назву *«біокліматичний конверт»* (Carpenter et al., 1993). Схожу схему можна легко перетворити у тримірну чи n-мірну, а обмежений n-факторами простір буде представлений гіпероб'ємом. У ньому комбінуються значення різних факторів навколишнього середовища, в межах яких вид може

існувати. При використанні цього алгоритму сучасні комп'ютерні потужності дають змогу використовувати значення близько 300 таких факторів.

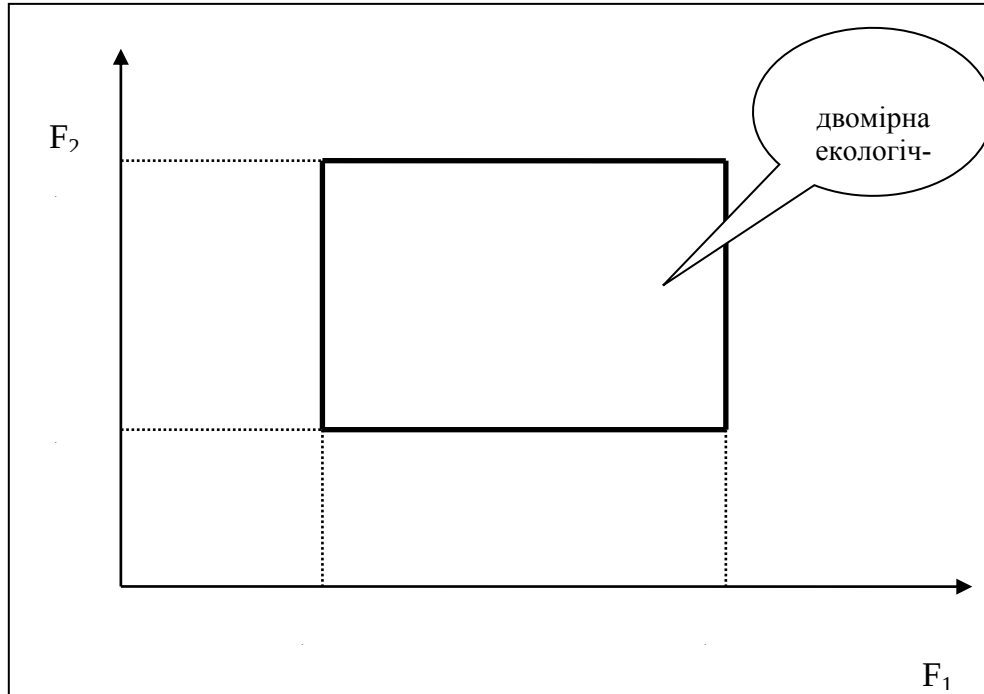


Рис. 2. 17. Схема двоірної екологічної ніші

Екологічну нішу визначену фізіологічними потребами організмів Дж. Гатчінсон назвав *фундаментальною*, а ту в межах якої вид реально зустрічається в природі – *реалізованою*. Реалізована ніша начебто вкладена в фундаментальну через наявність біотичних факторів взаємодії (хижацтва, конкуренції тощо). Екологічні фактори призводять до того, що в деяких місцях певний вид не може існувати, хоча абіотичні умови в них не виходять за межі фундаментальної ніші. Розуміння відмінностей між фундаментальною та реалізованою нішею важливе для інтерпретації та практичного застосування моделей екологічних ніш (Pulliam, 2000; Soberon, Peterson, 2005; Martinez-Meyer, 2005). Модель Гатчінсона містить низку припущень.

По-перше, реакція однієї чи групи тварин на один фактор залежить від дії іншого. Дійсно реакція окремого ор-

ганізму чи популяції на будь-який окремий фактор завжди в тій чи іншій мірі залежить від комплексу «комфортних» умов можливого мешкання виду. Ситуація ускладнюється ще й тим, що вплив температури й вологості на організми взаємопов'язаний. Кожен із зазначених чинників модифікує дію іншого. Існують умови оптимумів температури й вологості при яких найнижча смертність, найбільша тривалість життя та плодючість, найшвидші темпи розвитку тощо (Дажо, 1975). Це ускладнення певним чином компенсують шляхом використання біокліматичних показників. Показники мають біологічний сенс тому, що поєднують фактори температури й вологості (наприклад, «середня температура наймокрішого кварталу», «опадів найтеплішого кварталу» тощо). Крім того, серед біокліматичних показників є й «власне беззаперечні» – «ізотермічність», «температурна сезонність», «сезонність опадів» тощо. У комп'ютерних моделях екологічної ніші сьогодні широко застосовують близько 40 схожих показників BIOCLIM (Hijmans et al., 2005; Hutchinson et al., 2009; Kriticos et al., 2014), які у електронній базі (WorldClim та CliMond) доступні для загального онлайн користування (Табл. 2.2).

По-друге, існує уявлення, що простір ніші є однорідний, але насправді це не так. Ближче до центру ареалу умови сприятливіші, аніж на периферії. Зазначене твердження витікає з «закону толерантності, або оптимуму» Шелфорда (Дажо, 1975) і комп'ютерні моделі можуть враховувати цей аспект.

По-третє, модель ніші припускає певну незалежність факторів один від одного, що віддзеркалено ортогональним розташуванням осей простору ніші. Насправді вони взаємодіють між собою і корелюють. Тому структура ніші може бути спрощена, оскільки деякі параметри середовища (після відповідного кореляційного аналізу) можна

не розглядати. Іноді шляхом проведення відповідних математично-статистичних дій екологічні фактори можна піддати абстрагуванню і представити головними компонентами або залишити лише параметри з найтіснішим зв'язком.

Загалом моделювання ареалів на основі ГІС за відповідними алгоритмами (наприклад, GARP, BIOCLIM, DOMAIN чи Maxent) є власне моделюванням просторового розміщення придатних територій для існування виду. При цьому окремі місцезнаходження виду прив'язують до певного набору сучасних чи прогнозних параметрів навколишнього середовища. До комп'ютерної програми вводять точки місцезнаходження виду. У ній кожний параметр представлений окремим шаром. На основі інформації з окремих шарів карти складається модель екологічної ніші. Вона відповідає n-мірному підпростору, де комбінуються значення різних факторів навколишнього середовища в межах існування виду. Кожний алгоритм за відповідними апріорними припущеннями розробляє певні правила за якими ці межі визначаються. Наприклад, в BIOCLIM у програмному вигляді це правило матиме таку форму:

IF BIO1=(12,68)degC AND BIO12=(906,02)mm THEN
SP=PRESENT.

Це простий приклад з використанням двох біокліматичних параметрів (Табл. 2.2) – середньорічних показників температури та опадів для характеристики екологічної ніші конкретного виду.

Далі на основі врахування тематичних шарів здійснюють пошук територій на карті, де визначена комбінація (ніша) присутня. Сукупність цих територій складає модель ареалу. Проектуючи модель екологічної ніші на ту ж територію з іншими прогнозованими кліматичними параметрами чи на основі реконструйованого клімату минуло-

го можна побачити зміщення ареалу, його скорочення чи розширення залежно від ступеня оптимального значення умов відповідно до «закону толерантності» Шелфорда (Дажо, 1975). Якщо ж умови вийдуть за межі толерантності виду, він може покинути певну територію чи вимерти. Повна послідовність побудови корелятивної моделі поширення виду представлена на діаграмі (Рис. 2.18.).



На шляху моделювання екологічних ніш та ареалів тварин є ще багато перешкод (в т. ч. методичних). Проте цей напрям досліджень швидко розвивається і збагачує сучасну екологію та біогеографію. На сьогодні він вже став незамінним інструментом у справі збереження біорізноманіття (Peterson, 2006). Моделювання екологічних ніш допомагає планувати територіальну структуру природно-заповідної та екологічної мереж. Якщо для певного виду або групи вразливих тварин інтегрувати моделі їх ареалів – можна отримати розподіл територій за видовим багатством і значеннями ступеня придатності комплексу

екологічних умов для існування. ГІС-моделювання дає змогу об'єктивно провести ранжування територій за їх важливістю для охорони біорізноманіття, виявити «гарячі точки» та виділити території для нових заповідників чи заказників тощо. Комп'ютерні моделі створюють підґрунтя для ранжування територій за місцевими умовами, вимогами того чи іншого виду та здійснити картографування. На моделях можна намітити коридори ймовірних міграцій рідкісних видів, забезпечити їм сприятливі умови для переміщення і взаємодії. Уявлення про консервативність екологічної ніші (Wiens, Graham, 2005) є основою для припущення, що екологічні вимоги видів до умов навколишнього середовища, насамперед абіотичних, не зазнають істотних змін у ході швидких глобальних змін клімату. Тому необхідно використати ГІС і спроектувати сучасні моделі еконіш з прицілом на майбутні кліматичні умови і гіпотетично представити модель просторового поширення видів аж до 2050 року.

Водночас значна кількість тварин і рослини не в змозі адаптуватися до швидких змін клімату. Було спеціально вивчено 266 видів рослин і тварин з метою дізнатися, чи здатні вони поміняти свою «кліматичну нішу» за теперішніх умов і в недалекому майбутньому, коли зміниться температура і кількість опадів (Jezkova, Wiens, 2016). З'ясувалося, що у деяких видів тварин є можливість поміняти місце проживання і мігрувати тоді, коли температурні умови вийдуть за рамки оптимальних. Інші ж історично перебувають в ізольованих районах і не мають можливості покинути цю територію. Найбільш вразливими виявилися амфібії, рептилії та рослини. За оцінками науковців, кліматичні ніші змінюються в 200 тис. разів повільніше, ніж сам клімат. До 2020 року 2/3 популяцій хребетних тварин зазнають територіальних втрат порівняно з 1970 роком (Jezkova, Wiens, 2016). Однією з особливостей су-

часного функціонування природних екосистем і окремих видів тварин є їх істотна дестабілізація. Слід зазначити, що поряд з кліматичними змінами на більшість видів тварин впливають антропогенні фактори. Ці чинники часто взаємно підсилюють один одного, що може призвести до швидкої деградації того чи іншого виду або цілої екосистеми на значній території. У той же час будь-які екосистеми, які включають різноманітні види живих організмів і залишаються відкритими, мають внутрішню самоорганізацію, яка мало залежить від зовнішніх впливів в т. ч. й кліматичних.

ГЛАВА 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ВИДІВ ТА ОЦІНКА ОТРИМАНОЇ МОДЕЛІ

3.1. Модельні види батрахо- та герпетофауни України

Забезпечення суспільства обґрунтованою інформацією про ймовірні наслідки впливу глобальних змін клімату на екосистеми та мінімальність їх негативного впливу – одне із важливих завдань природничо-географічних наук. Скорочення чисельності видів, які занесені до «червоних списків» викликає занепокоєння більшості людей.

Без стратегії упередження більшість видів тварин може виявитися на межі зникнення. Слід відмітити, що у «Загальнодержавній програмі збереження біорізноманіття України на 2007–2025 рр.», П. 4 «Дослідження та науково-експертна підтримка» в загальній формі названо заходи із призупинення негативного впливу людської діяльності. Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII) визначено, що зміна клімату є однією з основних проблем світового розвитку з потенційно серйозними загрозами для глобальної економіки та міжнародної безпеки внаслідок підвищення прямих і непрямих ризиків, пов'язаних з енергетичною безпекою, забезпеченням продовольством і питною водою, стабільним існуванням екосистем, ризиками для здоров'я і життя людей.

Займаючи менше 6 відсотків площі Європи, Україна володіє близько 35 відсотками її біологічного різноманіття. Біосфера України нараховує більше 70 тисяч видів флори і фауни, зокрема флори – понад 27000, фауни – понад 45000. Упродовж останніх років спостерігаємо збільшення кількості видів рослин і тварин, занесених до Червоної книги України.

Методику ГІС-моделювання та експериментальні напрацювання розглянуто як приклад вивчення вразливих видів України (ДФФД, Ф76 2017, 2018). Напрацювання будуть мати подальше практичне застосування в контексті виконання Україною заходів щодо збереження, відтворення та невиснажливого (сталого) використання біорізноманіття. Інформацію з вивчення та збереження рідкісних видів надано Державою у Національному звіті щодо збереження, відтворення та невиснажливого (сталого) використання біорізноманіття на національному і регіональному рівнях у розрізі виконання цільових завдань Аїті (АБЦ12): – «Види та вимирання» (2018 р.). Насамперед це стосується таких показників збереження біорізноманіття: а) аналіз поширення видів, б) ключове місце для збереження біорізноманіття, в) захищені та інші зони збереження, г) вплив кліматичних змін та «людського сліду» (Sixth National Report: Technical reporting guidance version 14 February 2018). У літературі для більшості видів батрахо- і герпетофауни відсутні данні щодо їх поширення в Україні.

Найактуальнішою на даний час є проблема вивчення впливу антропогенних факторів та кліматичних змін на стан популяцій вразливих видів тварин. Наразі ми свідки того, що багато видів тварин України потребують спеціальних природоохоронних зусиль. Для аналізу особливостей біології поширення тварин в умовах кліматичних змін ми визначили види-біоіндикатори батрахо- і герпетофауни України. Вони населяють вразливі до кліматичних змін оселища – оліготрофні болота, праліси, водноболотні угіддя, вологі луки, природні степові ділянки, занесені до Червоної книги та інших природоохоронних списків і є індикаторами стану цих біотопів.

Ще на початковому етапі наших досліджень колектив розв'язував завдання прогнозу хорологічних змін на основі окремих модельних видів, які можуть відбутися через змі-

ну клімату. Наступним завданням стало визначення ризиків вимирання окремих видів земноводних і плазунів. Було вирішено застосувати сучасні технології геоінформаційних систем, зокрема моделювання просторового розподілу придатних для існування виду територій із назвою «*моделювання екологічної ніші*» (Pearson, Dawson, 2003).

З розвитком цього напрямку вивчення біорізноманіття та появою нових методів і технологій можна моделювати поширення видів на основі їх зв'язків з кліматичними параметрами, геосистемними характеристиками тощо. Серед розроблених алгоритмів моделювання просторового поширення видів найширше застосування знайшов метод максимальної ентропії (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). Він був реалізований у програмі Maxent – один із варіантів машинного навчання. Як вихідні дані для моделювання у програмі використано геокодовані реєстрації присутності виду (*presence-only data*). Використовуючи інформацію про параметри середовища у відомих місцезнаходженнях виду, ГІС-програма визначала ймовірність його присутності на решті території за допомогою знаходження оптимального розподілу ймовірностей (максимальна ентропія) збігу параметрів середовища. У результаті застосування алгоритму отримали усереднену з 10 повторів модель (10 реплік) придатності середовища існування. У логістичному форматі модель візуально представлена ГІС-картою з прогнозними можливостями присутності виду в кожній чарунці растру (*grid cell*) в інтервалі від 0 до 1. Власне для моделювання використано програмне забезпечення SAGA GIS (Conrad et al., 2015), DIVA-GIS (Hijmans et al., 2012) та метод максимальної ентропії для Maxent (Phillips et al., 2006). Біокліматичні показники для сучасного клімату та прогнозованого на 2030–2050 рр. взяті із бази CliMond (WorldClim, Kriticos et al., 2012, Табл. 2.3). Необхідно зазначити, що наш вибір зумовлений значним по-

зитивним досвідом використання баз CliMond для моделювання поширення видів рослин та тварин. Тривалість їх використання більша, ніж у зазначених вище кліматичних баз GAEZ, ENVIREM та MERRAclim.

Візуалізацію отриманої моделі виконано в програмах – SAGA GIS, DIVA-GIS та QGIS. При цьому територію, де прогнозна ймовірність перебування виду у межах 0–25% розцінено як «непридатна», 25–50% – «прийнятна», 50–75% – «придатна», а понад 75% – «найбільш придатна» (Redon, Luque, 2010).

У Таблиці 3.1 наведено 8 назв червонокнижних видів земноводних і 9 видів плазунів, їх таксономічну належність, природоохоронний статус та 4549 геокодованих точкових місць знаходжень, сформованих для бази даних. Основу бази дослідження склали оригінальні та деякі неопубліковані дані, зібрані О. Д. Некрасовою (Некрасова та ін., 2017, 2018). Частину бази сформовано з літературних джерел (Щербак, Щербань, 1980; Писанец, 2003; Писанец та ін., 2005; Кузьмин, 2012; «Знахідки тварин ...», 2008 та «Матеріали до 4-го видання ЧКУ. Тваринний світ», 2018; ЧКУ, 2009; Смирнов, 2013; Смірнов, 2015) та запозичено з міжнародних баз даних (GBIF, <http://gbif.org>, Табл. 2.2, 3.1, див. підрозділ 2.3 «Підготовка даних...»).

Таблиця 3.1

Список червонокнижних модельних видів батрахо- та герпетофауни України

№	Назва	Природо-охоронний статус ¹	Кількість геокодованих точкових даних
Земноводні, Amphibia			
1.	Саламандра плямиста, <i>Salamandra salamandra</i> (Linnaeus, 1758)	ЧКУ ВР, БЕ ІІІ, МСОП LC.	391

№	Назва	Природо-охоронний статус ¹	Кількість геокодованих точкових даних
2.	Тритон карпатський, <i>Lissotriton montandoni</i> (Boulenger, 1880)	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП LC.	158
3.	Тритон альпійський, <i>Ichthyosaura alpestris</i> (Laurenti, 1768)	ЧКУ ВР, БЕ III, МСОП LC.	173
4.	Тритон дунайський, <i>Triturus dobrogicus</i> (Kiritzescu, 1903)	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП NT.	318
5.	Тритон Кареліна, <i>Triturus karelinii</i> (Strauch, 1870)	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП LC.	37
6.	Кумка жовточерева, <i>Bombina (Bombina) variegata</i> (Linnaeus, 1758)	ЧКУ ВР, БЕ III, МСОП LC.	457
7.	Ропуха очеретяна, <i>Epidalea calamita</i> (Laurenti, 1768)	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП LC.	65
8.	Жаба прудка, <i>Rana dalmatina</i> Fitzinger in Bonaparte, 1839	ЧКУ ЗН, БЕ III, МСОП LC.	162
Всього			1761
Плазуни, <i>Reptilia</i>			
1.	Жовтопуз безногий, <i>Pseudopus apodus</i> (Pallas, 1775)	ЧКУ ВР, БЕ II.	103
2.	Ящірка зелена, <i>Lacerta viridis</i> (Laurenti, 1768)	ЧКУ ВР, БЕ II	504
3.	Мідянка звичайна, <i>Coronella austriaca</i> Laurenti, 1768	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП LC.	665
4.	Полоз жовточеревий,	ЧКУ ВР, БЕ II,	491

№	Назва	Природо- охоронний статус ¹	Кількість геокодованих точкових даних
	<i>Dolichophis (Hierophis) caspius</i> (Gmelin, 1789)	МСОП LC.	
5.	Полоз сарматський, <i>Elaphe sauromates</i> (Pallas, [1814])	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП LC.	306
6.	Полоз ескулапів, <i>Zamenis longissimus</i> (Laurenti, 1768)	ЧКУ ЗН, БЕ II, МСОП LC.	144
7.	Полоз леопардовий, <i>Zamenis situla</i> (Linnaeus, 1758)	ЧКУ ЗН, БЕ II, МСОП LC.	58
8.	Гадюка Нікольсько- го, <i>Vipera berus nikolskii</i> Vedmederja, Grubant et Rudaeva, 1986	ЧКУ ВР, БЕ III	73
9.	Гадюка степова, <i>Vipera (Pelias) renardi</i> (Christoph, 1861)	ЧКУ ВР, БЕ II, МСОП VU, CITESI.	444
Всього Плазуни			2788
Всього			4549
¹ Скорочення: ЧКУ – Червона книга України (2009); ЗН – зникаючий; ВР – вразливий; МСОП – Червоний список МСОП – LC (вид з найменшим ризиком), VU (вразливий), NT – (близький до загрозливого стану); БЕ – Бернська конвенція.			

Надалі ці данні було використано для моделювання екологічної ніші кожного окремого виду та побудови відповідних ареалів в умовах сучасного та майбутнього клімату (Kriticosetal et al., 2012). Виявлено кліматичні ризики існування батрахо- і герпетофауни України у найбли-

жчій перспективі до 2030 р. Загалом за допомогою ГІС-моделювання було здійснено хорологічний аналіз наявних даних щодо 17 видів холонокровних тварин фауни України, вразливих до глобальних кліматичних змін.

Для визначення рівня мультиколінеарності було проведено розрахунки дисперсійно-інфляційного фактору (англ. *VIF*—*variance inflationary factor*). З бази CliMond (35 факторів, Табл. 2.1) для моделювання даних більшості видів було обрано 9 основних біокліматичних показників та відповідні растрові файли, що містять дані про сучасний клімат та, прогнозований до 2030 р. (Додаток А). Серед них — середньорічна температура (*BIO1*), температурна сезонність (коефіцієнт варіації) (*BIO4*), максимальна температура найтеплішого місяця (*BIO5*), мінімальна температура найхолоднішого місяця (*BIO6*), опади найвологішого місяця (*BIO13*), опади найсухішого місяця (*BIO14*), сезонність опадів (CV) (*BIO15*), найбільше тижневе випромінювання (*BIO21*), радіаційна сезонність (CV) (*BIO23*) (Додаток А). Для порівняння використали 19 біокліматичних показників для *Dolichophis caspius*, 35 — для *Lacerta viridis* (Табл. 2.1).

Отримані дані (у т. ч. характеристики факторів) оброблено за допомогою методів статистичного аналізу, програми — Statistica 10. Для класифікації факторів використано факторний аналіз — Метод головних компонент. Для візуалізації отриманих в результаті моделювання даних використано програми — QGIS, у Додатку — SAGA GIS.

3.2. Хорологічний аналіз модельних видів фауни України, вразливих до глобальних кліматичних змін

Земноводні, Amphibia

1. Саламандра плямиста (*Salamandra salamandra*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток III Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*.

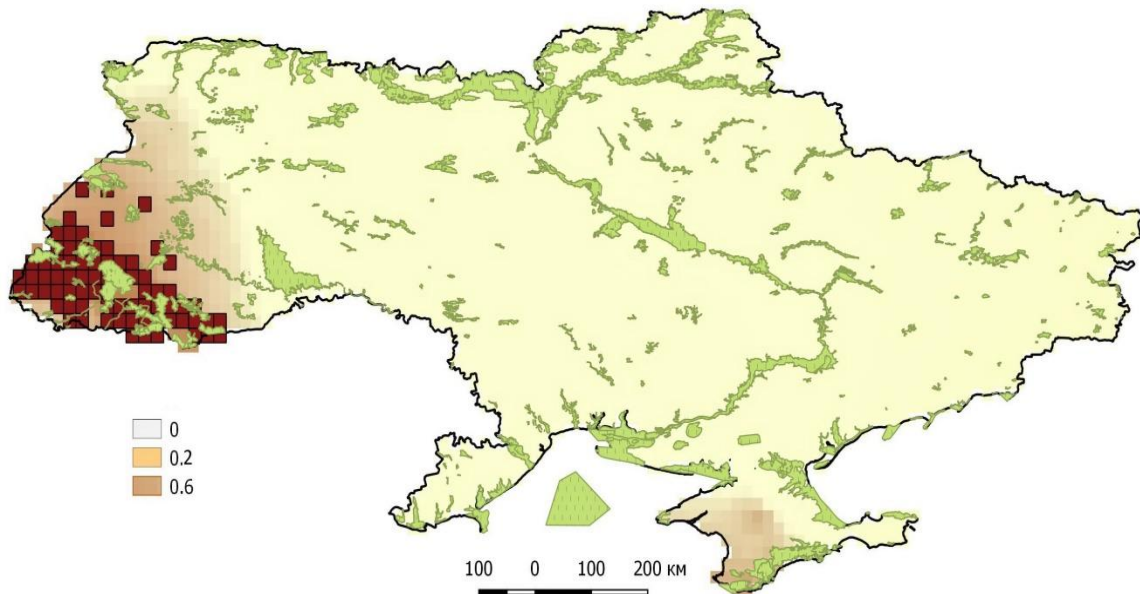
Ареал виду: від Іберійського п-ва до Північної Німеччини, Польщі, східного Прикарпаття, Балканського п-ва. В Україні – це передгір'я (200–1500 м) та інколи полоники Закарпатської, Львівської, Чернівецької, Івано-Франківської областей.

У літературі описано комп'ютерні моделі поширення *S. salamandra* на Піренейському півострові (Romero et al., 2013; Olivero et al., 2016). Крім біокліматичних параметрів для моделювання автори додатково використали данні рослинного покриву.

Комп'ютерні моделі поширення *S. salamandra* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,902 \pm 0,009$; SD – стандартне відхилення). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 5,95% території України. Згідно кліматичного прогнозу в 2030 р. площа цієї території істотно скоротиться до 1,53%, тобто у 3,89 рази і буде обмежена високогір'ям Карпат.

Близько третини (30%) знахідок саламандр з усього кадастру мешкають в межах територій ПЗФ: НПП Сколівські Бескиди, Карпатський, Синевир, Ужанський, Зачарований Край, Гуцульський тощо. Відповідно близько 70% точок знахідок саламандр було за межами ПЗФ (ГІС-

карта 3.1.). У зв'язку з цим конче потрібні додаткові дослідження з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині Західної України.



ГІС-карта 3.1. Модель поширення *S. salamandra* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

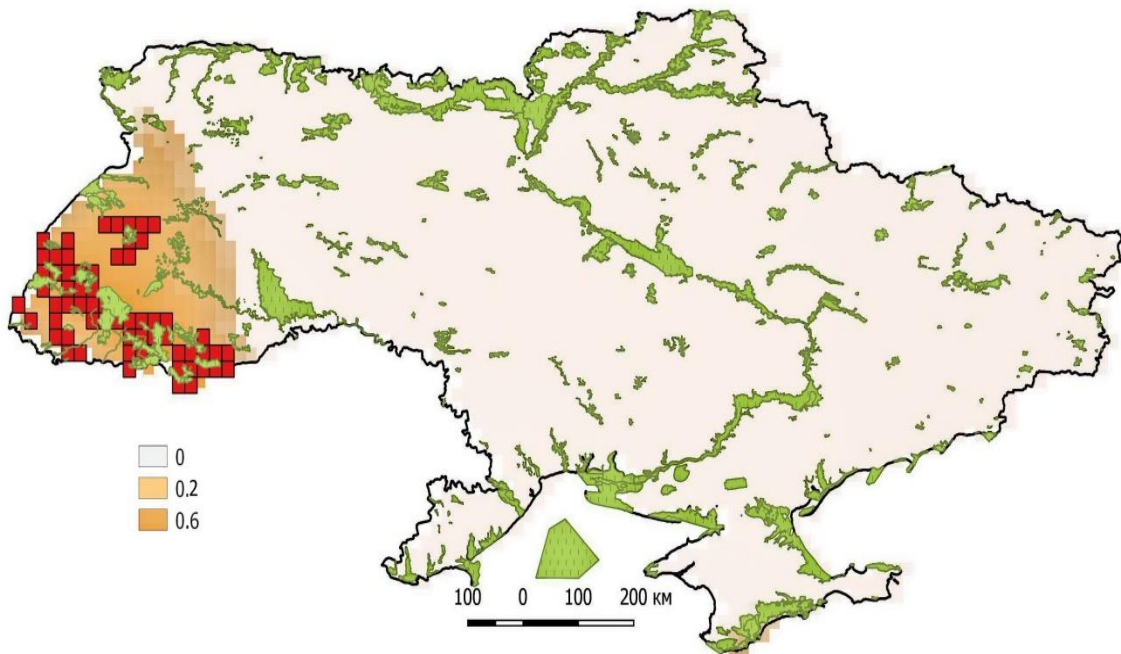
2.Тритон карпатський (*Lissotriton montandoni*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II – категорія «Види, що підлягають особливій охороні» та Резолюція № 6 (EN) Бернської конвенції (БК). У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*. Зберігається на природоохоронних територіях; спеціальні заходи з охорони відсутні.

Ареал виду: це ендемічний гірський вид, обмежений Карпатами та Татрами в Румунії, південній Польщі, північній Словаччині та північно-східній Чехії. В Україні трапляється у горах і передгір'ях Чернівецької, Івано-Франківської, Львівської та Закарпатської областей (Смирнов, Скильський, 2011).

У літературі наведено приклади використання ГІС-моделювання для пошуку рефугіумів минулого *L. montandoni* (під час останнього льодовикового максимуму (LGM, Zieliński et al., 2013). За допомогою ГІС-моделювання було побудовано моделі сучасного і пізноплейстоценового (близько 22 тис. років тому) ареалів виду цього ж роду *L. vulgaris*. Визначено положення пізноплейстоценових рефугіумів тритона у різних регіонах Європи (Скоринов, Литвинчук, 2016).

Комп'ютерні моделі поширення *L. montandoni* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,987 \pm 0,009$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 10,42% території України. За прогнозом, в умовах клімату 2030 р. площа цієї території катастрофічно скоротиться до 2,50%, тобто у 4,16 разів (Додаток Б. ГІС-карта 3.2.Д).



ГІС-карта 3.2. Модель поширення *L. montandoni* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Лише 30% знахідок тритонів з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Сколівські Бескиди, Карпатський, Синевир, Ужанський, Зачарований Край тощо. Відповідно близько 70% точок знахідок тритонів знайдено за межами ПЗФ (ГІС-карта 3.2). Тому потрібні додаткові дослідження з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині та у Львівській області.

3. Тритон альпійський (*Ichthyosaura alpestris*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток III Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*. Підвид *I. alpestris alpestris* – рідкісний в Угорщині та Болгарії і знаходиться під охороною (AmphibiaWeb, 2019).

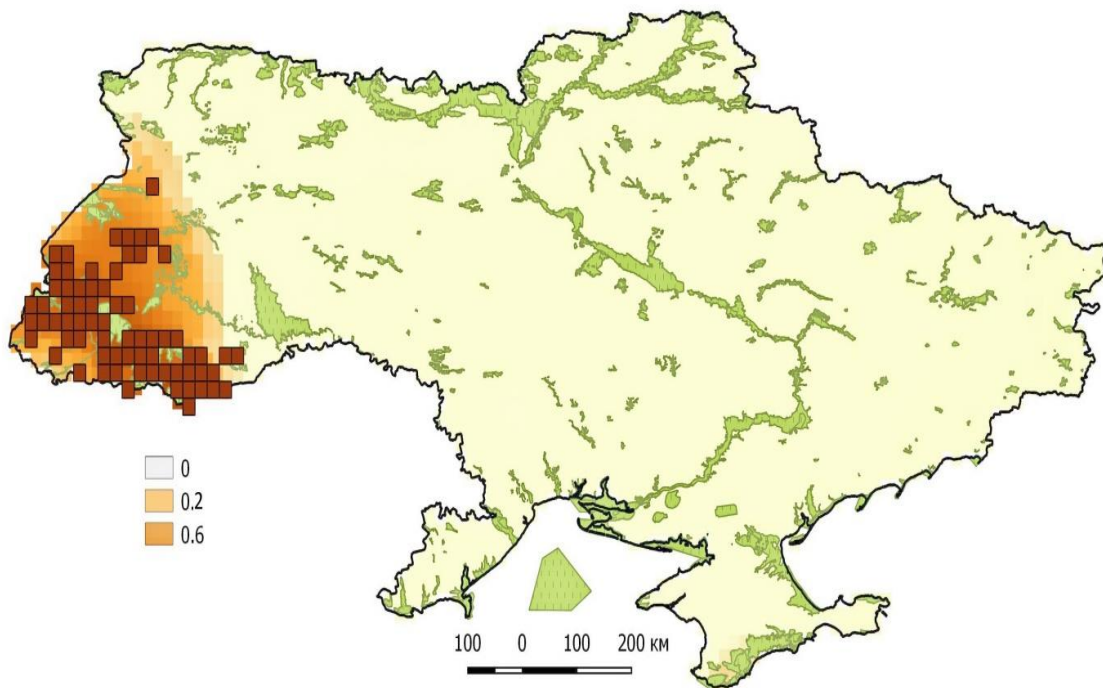
Ареал виду: тритон альпійський поширений на переважній частині території Центральної Європи – від Франції на заході до Румунії та українських Карпат на сході. Північна межа ареалу проходить по території Німеччини і південних областей Польщі. Північна межа досягає Данії і поширюється на південний схід до Румунії і Болгарії через Карпати і Балканські гори. Інтродукований в країни: Нова Зеландія, Великобританія. В Україні поширений номінативний підвид. У межах України живе в Карпатах. Північна межа проходить Львівською обл. (Пустомитівський р-н), південна доходить до м. Чернівці (Писанец, 2003; Писанец та ін., 2005, ГІС-карта 3.3Д.).

Результати попереднього аналізу поширення альпійського тритона в Україні побіжно згадано в літературі (Смирнов, 2013). За допомогою ГІС-моделювання було з'ясовано, що найсприятливіші умови проживання для тритона існують в горах та передгір'ях Українських Кар-

пат та на заході Подільської височини. У майбутньому можливе скорочення ареалу тритона (Смирнов, 2013).

Комп'ютерні моделі поширення *I. alpestris* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,912 \pm 0,007$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 9,21% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території значно скоротиться до 4,90%, тобто у 1,88 рази.

Наразі лише 30% знахідок тритонів з усього кадастру мешкає в межах територій ПЗФ: НПП Сколівські Бескиди, Карпатський, Синевир, Ужанський, Зачарований Край тощо. Майже 70% точок знахідок тритонів зроблено за межами ПЗФ (ГІС-карта 3.3.). Тому потрібні додаткові дослідження з розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині України.



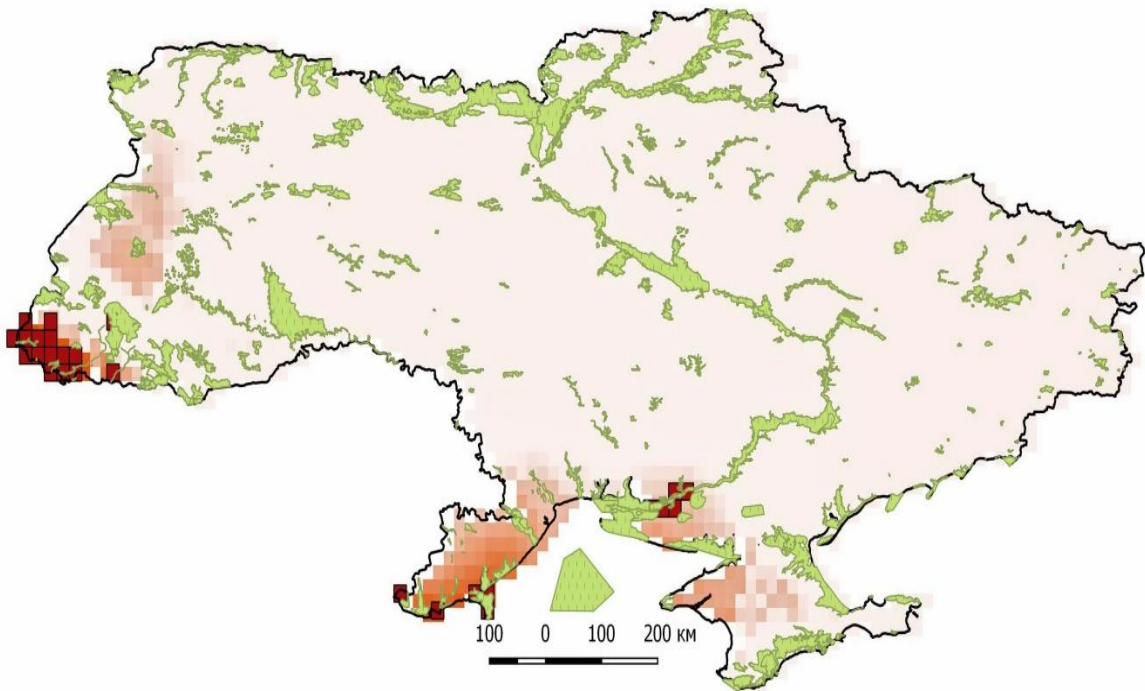
ГІС-карта 3.3. Модель поширення *I. alpestris* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

4. Тритон дунайський (*Triturus dobrogicus*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II – категорія «Види, що підлягають особливій охороні», Резолюція № 6 (EN) Бернської конвенції (БК). У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП, NT) має статус «близький до загрозливого стану». Охороняють на територіях з особливим статусом; спеціальні заходи з охорони відсутні.

Ареал виду: поширення пов'язане з Дунайською та Панонською рівнинами. Ареал представлено 2 основними зонами на захід від Чорного моря: Молдавія (нижня течія річки Прут в Кагульському районі), Румунія та Україна (дельта Дунаю і Закарпатська рівнина); Східна Австрія, Угорщина, південна Словаччина, Словенія, Сербія та північна Хорватія. Він також простягається на невелику відстань до Німеччини, в межах Баварії (AmphibiaWeb, 2019). Вид зустрічається у фауні України і представлений географічно роз'єднаними популяціями: бессарабською, дніпровською та закарпатською. У Закарпатті поділ видових ареалів *T. cristatus* та *T. dobrogicus* відбувається на висоті 120–150 м. Фактором, що визначає ізоляцію в місцях перекривання висотності розподілу стало екологічне роз'єднання. Ізоляція зумовлена різною біотопічною специфікою видів: дунайського тритона – до степових ландшафтів, а гребінчастого – до лісових (Литвинчук, Боркин, 2002; Морозов-Леонов і ін., 2003; Писанец, 2003; Писанец і ін., 2005; Куртяк, Межжерин, 2005; ГІС-карта 3.4.).

У літературі наведено приклади моделювання ареалів на основі біокліматичних показників минулого для пошуку рефугіумів комплексу *T. cristatus*. Для *T. dobrogicus* використано палеокліматичні данні останнього льодовикового максимуму (LGM – моделі MIROC і CCSM) та сучасні данні у різних регіонах Європи (Wielstra et al., 2013).



ГІС-карта 3.4. Модель поширення *T. dobrogicus* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Комп'ютерні моделі поширення *T. dobrogicus* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,978 \pm 0,006$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 7,9% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території значно скоротиться аж до 1,5%, тобто у 5,3 рази (Додаток Б. ГІС-карта 3.4.Д). Для тритона дунайського сприятливі території можуть зберегтися в Карпатському регіоні, тоді як відповідна територія перебування бессарабської популяції цього виду буде майже непридатною. Таку ж перспективу очікуємо для тритонів *T. cristatus* – скорочення ареалу по всій території України в майбутньому.

Наразі лише 11% знахідок тритонів з усього кадастру мешкає в межах територій ПЗФ: Дунайський БЗ, Чорноморський БЗ тощо. Відповідно більша частина (89%) цих точок знаходилась за межами ПЗФ. Тому потрібні додат-

кові дослідження з метою обґрунтування розширення території ПЗФ насамперед у Закарпатті.

5. Тритон Кареліна (*Triturus karelinii*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II – категорія «Види, що підлягають особливій охороні», Резолюція № 6 (EN) Бернської конвенції. У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*. Зберігається на територіях з особливим статусом, спеціальні заходи збереження відсутні.

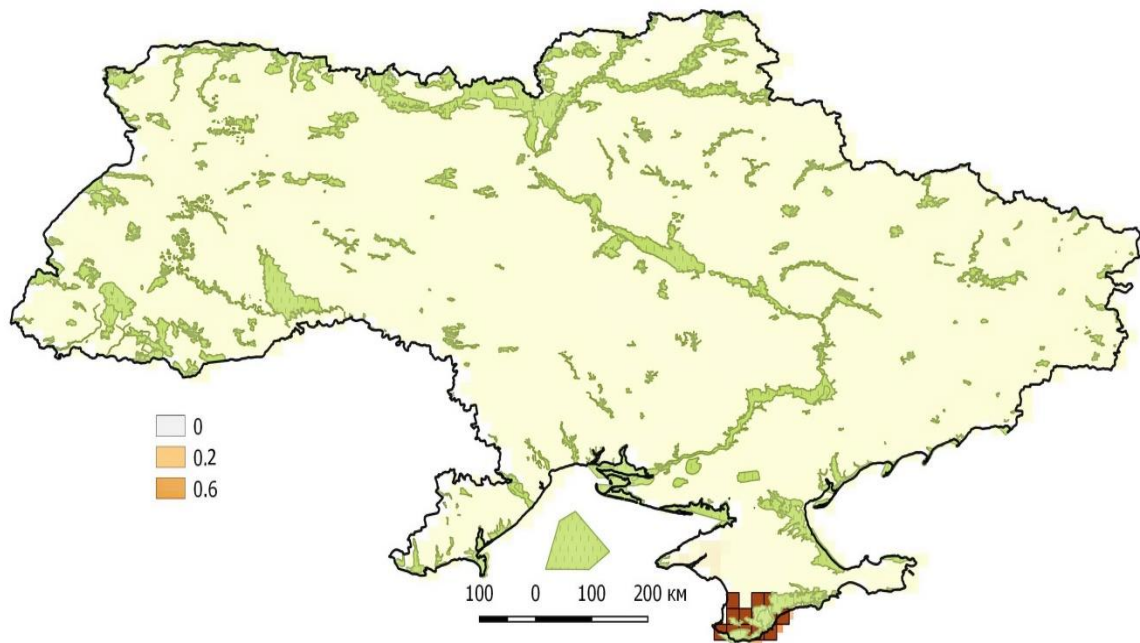
Ареал виду: охоплює південь та центр Сербії, схід Македонії, північний схід Греції, більшу частину Болгарії, європейську частину Туреччини і турецьке узбережжя Чорного та Егейського морів, Грузію та Азербайджан. Ізольовані популяції зустрічають в Криму та на Північному Кавказі (в Дагестані), в південному Азербайджані (Талишські гори) та на іранському узбережжі Каспійського моря. У межах України водиться у гірсько-лісовій та передгірській частинах Кримського півострова, від Севастополя на заході до Алушти на сході, на північ – приблизно до Сімферополя (Писанец, 2003; Писанец і ін., 2005, 2016; Кукушкин, Кущан, 2015; ГІС-карта 3.5).

У літературі наведено данні щодо моделювання умов минулого для пошуку рефугіумів всіх видів тритонів комплексу *Triturus cristatus* (див. вище у тексті *T. dobrogicus*, Wielstra et al., 2013).

Комп'ютерні моделі поширення *T. karelinii* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,912 \pm 0,007$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 0,48% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території

значно скоротиться до 0,23%, тобто у 2,1 рази (Додаток Б. ГІС-карта 3.5.Д).

Наразі лише 25% знахідок тритонів з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: Ялтинський Г-Л заповідник, Кримський ПЗ тощо. Відповідно близько 75% точок знахідок тритонів ідентифікували за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині Криму.



ГІС-карта 3.5. Модель поширення *T. karelinii* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

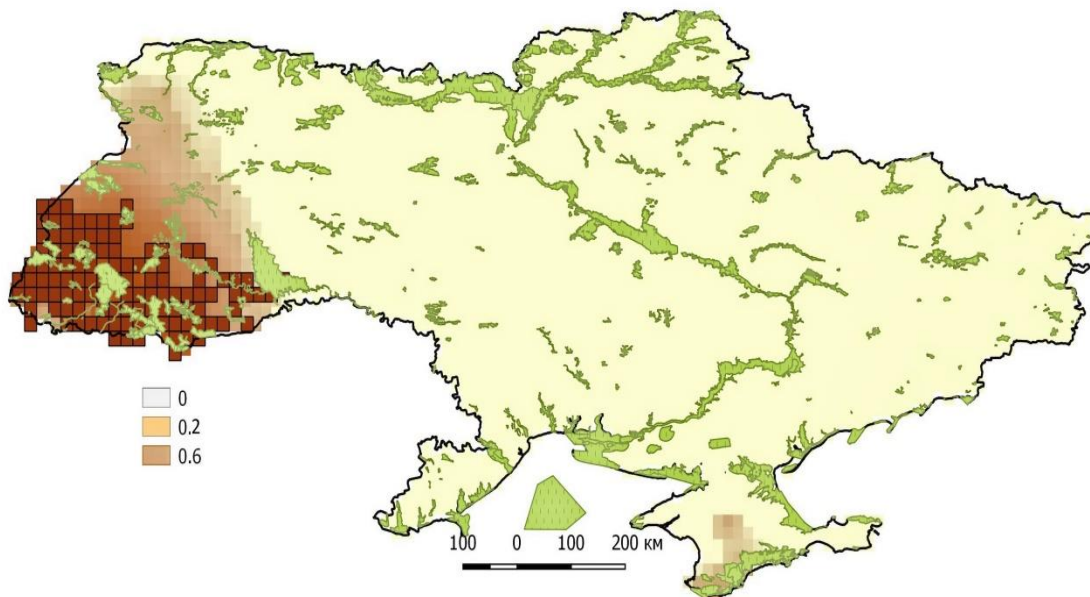
6. Кумка жовточерева (*Bombina variegata*)

Природоохоронний статус у ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток III – категорія «Види, що підлягають охороні», Резолюція № 6 (EN) Бернської конвенції (БК). У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*. В Україні збереження виду

здійснюють на природоохоронних територіях, натомість спеціальні заходи з його охорони відсутні.

Ареал виду: гірська Європа (відсутні на Іберійському п-ві, північній Італії), Франція, Німеччина, Данія (в Англії інтродукований), Апеннінському та Балканському п-ві, на схід до Українських Карпат. В Україні – в Карпатах (до 2000 м) та Передкарпатті (ГІС-карта 3.6.).

У літературі наведено приклади використання різних методів ГІС-моделювання (BIOCLIM, GARP, Maxent, різні біокліматичні, антропогенні та ін. фактори), їх відмінності при аналізі поширення *B. variegata* з низкою інших видів у різних регіонах Європи (Márquez, 2006; Hartel et al., 2013). Раніше нами було проведено ГІС-аналіз щодо поширення близького виду того ж роду *B. bombina* Європи (Tytar, Nekrasova et al., 2018).



ГІС-карта 3.6. Модель поширення *B. variegata* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Комп'ютерні моделі поширення *B. variegata* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій

AUC склав $0,908 \pm 0,008$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 12,27% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території скоротиться до 6,22%, тобто у 1,97 рази.

Близько третини (30%) знахідок кумок з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Вижницький, Синевир, Зачарований край, Ужанський тощо. Відповідно 70% точок знахідок жаб мешкає за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині.

7. Ропуха очеретяна (*Epidalea calamita*)

Природоохоронний статус у ЧКУ – категорія «*Вразливі види*», а в Додатку II Бернської конвенції – категорія «*Види, що підлягають особливій охороні*». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*. В Україні збереження здійснюють на природоохоронних територіях; спеціальні заходи з охорони виду відсутні.

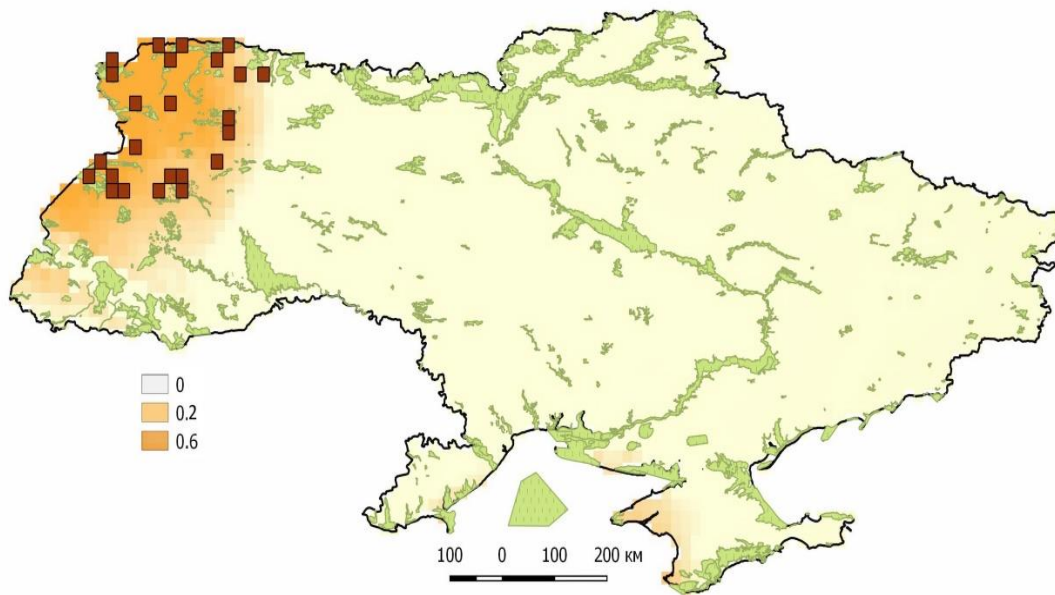
Ареал виду: в Європі ропух очеретяних зустрічають у західній та центральній частинах на північ від Альп та Балкан, доходячи до південної Швеції та Великої Британії, на схід до країн Прибалтики та Калінінградської області Росії, Білорусі та Західної України, на південь – до північної Італії, Австрії, Чехії. В Україні трапляється у західних областях – Волинській та частково у Львівській та Рівненській (ГІС-карта 3.7).

У літературі наведено данні щодо аналізу поширення *E. calamita* в Україні за допомогою комп'ютерного моделювання (Заброда, 1980; Смирнов, 2015; Титар і ін., 2018; Nekrasova et al., 2018).

За допомогою програми Maxent було отримано комп'ютерні моделі поширення *E. calamita* в Україні за

сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. Вони показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,860 \pm 0,010$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 8,42% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території скоротиться до 5,99%, тобто у 1,41 рази. З детальнішою інформацією можна ознайомитися в наших публікаціях (Nekrasova, Tytar et al., 2018).

Наразі майже половина знахідок ропах з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Шацький, Прип'ять-Стохід, Рівненський ПЗ тощо. Інша половина наявних точок мешкання ропах знаходиться за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *E. calamita* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ.



ГІС-карта 3.7. Модель поширення *E. calamita* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

8. Жаба прудка (*Rana dalmatina*)

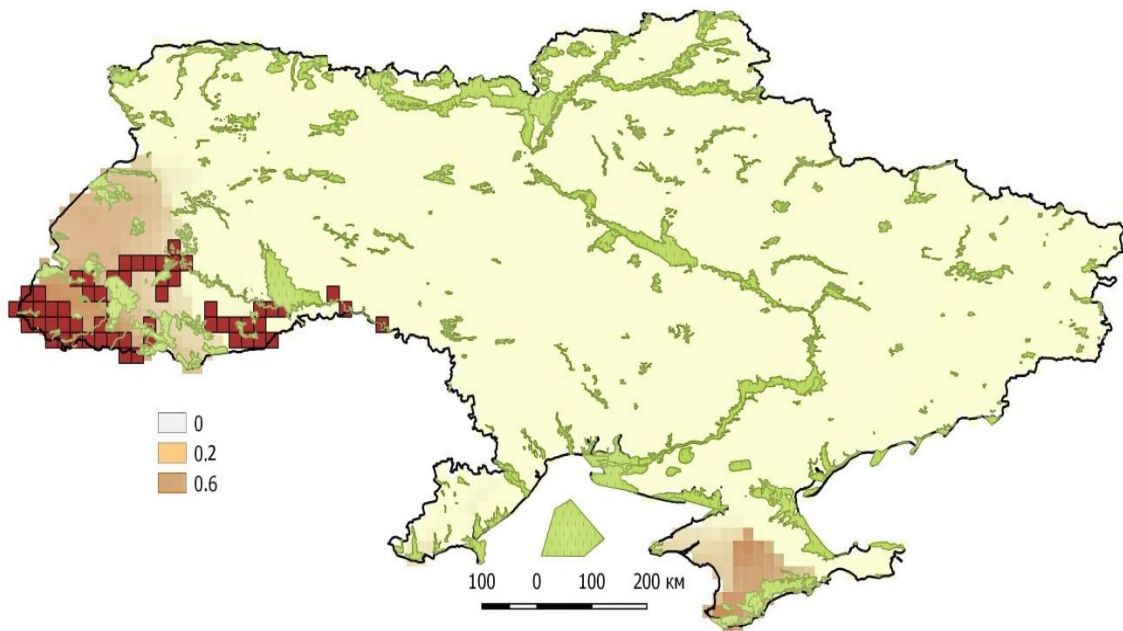
Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Зникаючі види», Додаток III Бернської конвенції (БК) – категорія

«Види, що підлягають охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*.

Ареал виду: від північної Франції та пд. Швеції, пн.-сх. Іспанії, на пд. увесь Балканський та більша частина Апеннінського п-ва; на схід до Карпат, Молдови і України. Трапляється на крайньому пн.-зх. Туреччини. В Україні мешкає в межах п'яти адміністративних областей: Вінницькій, Закарпатській, Івано-Франківській, Львівській, Чернівецькій, можливо, є на пд.-зх. Одеської обл. (ГІС-карта 3.8).

На основі комп'ютерного моделювання зроблено припущення, що цей вид може мешкати на півдні Тернопільської та Хмельницької областей (Смирнов, 2013). Комп'ютерні моделі поширення *R. dalmatina* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,902 \pm 0,009$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 11,42% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території дещо скоротиться до 10,39%, тобто у 1,1 р. Найбільша частка скорочення ареалу припадає на територію Одеської області (Додаток Б. ГІС-карта 3.8.Д).

Наразі лише 20% жаб знаходиться в таких ПЗФ як – НПП Синевир і Галицький, РЛП Чернівецький тощо. Близько 80% точок знахідок жаб знаходяться за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *R. dalmatina* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині.



ГІС-карта 3.8. Модель поширення *R. dalmatina* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Плазуни, Reptilia

1. Жовтопуз безногий, жовтопузик (*Pseudopus apodus*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено сучасний популяційний тренд як *стабільний* – «*Stable*».

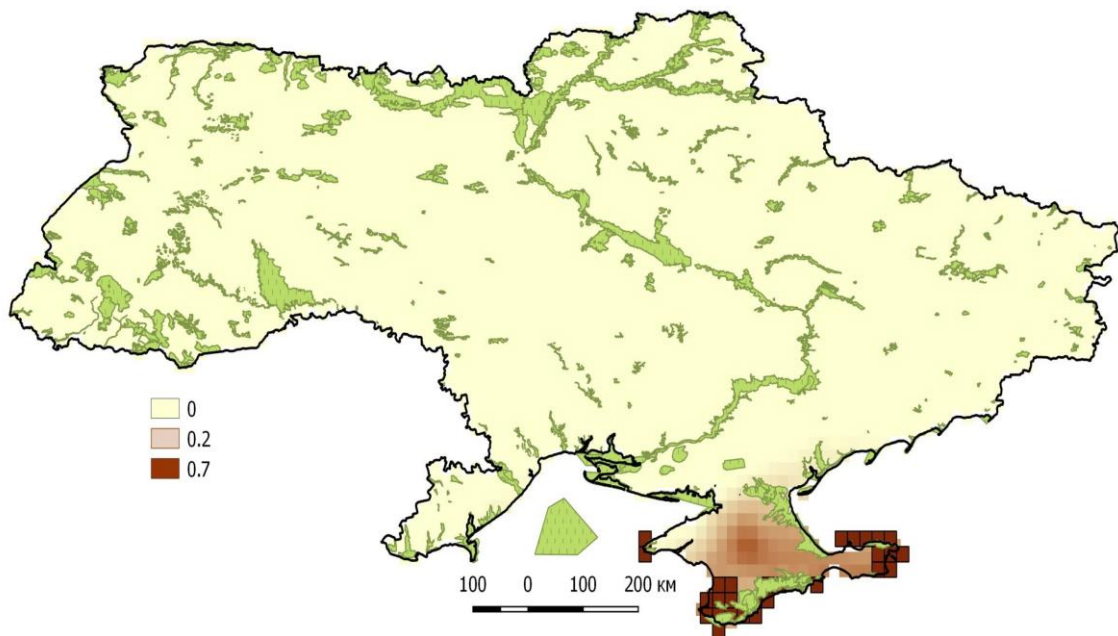
Ареал виду: від Балканського п-ва до пд. Казахстану та Ірану. В Україні мешкає лише в Криму, де населяє низькогір'я зх. частини Кримських гір (пд. берег Криму і північні макросхил гір до долини р. Альма до висоти 500–700 м н. р. м.), пн. і східне узбережжя Керченського п-ва. Знаходили на крайньому заході Тарханкутського п-ва.

У літературі є інформація щодо впливу зміни клімату на розповсюдження *P. apodus*. Авторами роботи зроблено

прогноз зміни ареалу в Азії і на Близькому Сході (Nasrabadi et al., 2018; Jandzik et al., 2018; ГІС-карта 3.9).

Комп'ютерні моделі поширення *P. arodus* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,958 \pm 0,011$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 3,67% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території може істотно збільшитися до 10,40%, тобто у 2,83 рази, за рахунок територій Приазов'я та можливого проникнення виду на південь України (переважно Одещину) з сусідньої Румунії (Додаток Б. ГІС-карта 3.9.Д).

Наразі лише 40% знахідок жовтопузиків з усього кадастру зроблено в межах територій ПЗФ: Ялтинський Г-Л заповідник, Кримський ПЗ, Карадазький ПЗ тощо. Близько 60% точок мешкання – за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *P. arodus* з розширення територій ПЗФ, особливо в гірській та Західній частині Криму.



ГІС-карта 3.9. Модель поширення *P. arodus* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

2. Ящірка зелена (*Lacerta viridis*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II Бернської конвенції – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧК МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*.

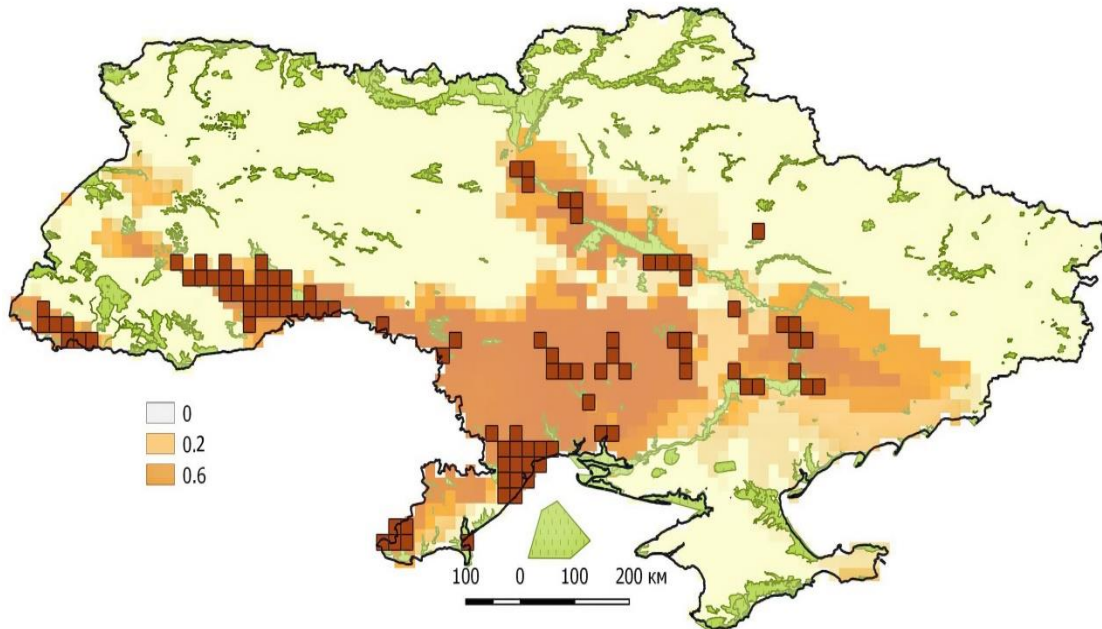
Ареал виду: Центральна та Пд. Європа та пн.-зх. частина Малої Азії. В Україні трапляється мозаїчно у степовій та лісостеповій зонах переважно на теренах Правобережної України, а також у Закарпатті (ГІС-карта 3.10).

У літературі наведено лише модель сучасного потенційного поширення близького виду – ящірки середньої *Lacerta media* (Maxent), де використано лише точки знахідок з території Дагестану (Доронин та ін., 2018). Раніше нами було описано сучасні моделі поширення *L. viridis* екокоридору Дніпра (Некрасова та ін., 2017), у яких визначено межі поширення виду. Найпівнічніші популяції ящірки знайдено в екокоридорі Дніпра біля Києва, де є найсприятливіші мікрокліматичні умови.

Комп'ютерні моделі поширення *L. viridis* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,974 \pm 0,009$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 54,04% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території де що скоротиться до 47,53%, тобто у 1,14 рази, насамперед за рахунок східної частини ареалу (Додаток Б. ГІС-карта 3.10.Д).

Наразі лише 30% знахідок ящірок з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Бузький Гард, Дністровський каньйон, Хотинський, Подільські Товтри, Великий Луг, у Канівському ПЗ, Заповіднику о. Хортиця тощо. Відповідно близько 70% точок знахідок ящірок було за межами ПЗФ.

Тому потрібні додаткові дослідження *L. viridis* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо вздовж Дніпра, Південного Бугу та Дністра.



ГІС-карта 3.10. Модель поширення *L. viridis* в Україні за сучасних кліматичних умов (35 біокліматичних показників).

3. Мідянка звичайна (*Coronella austriaca*)

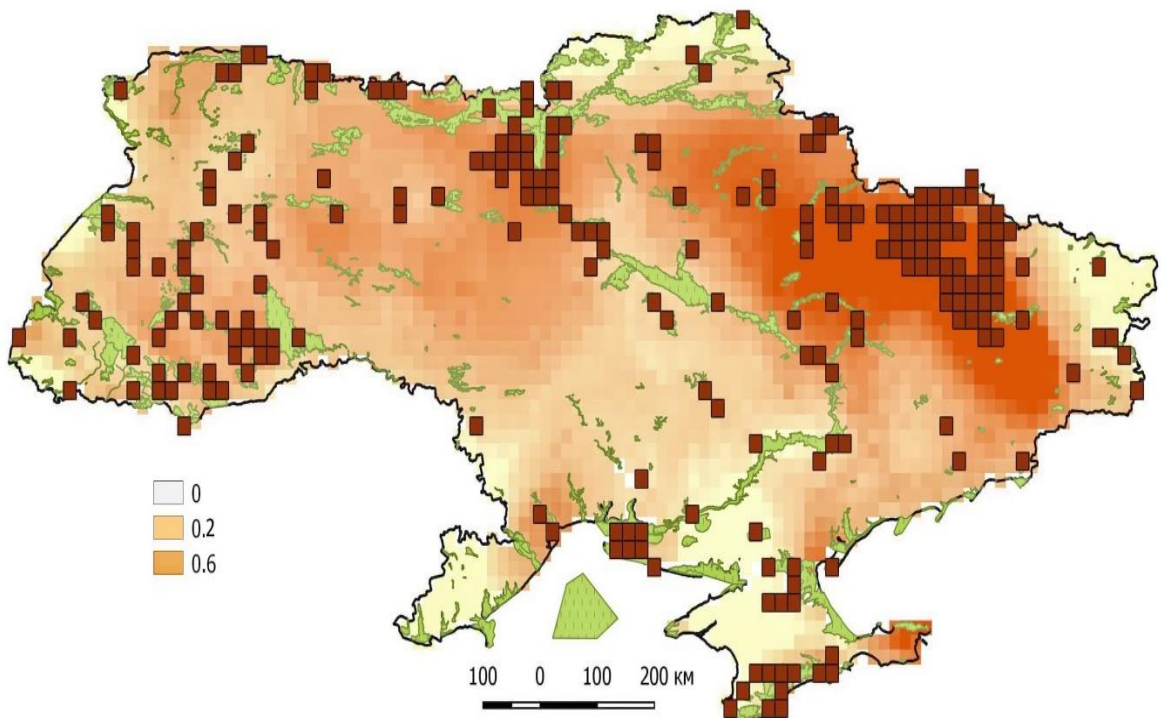
Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – *низхідний (падаючий, «Decreasing»)*.

Ареал виду: охоплює значну територію Європи (крім південної частини Піренейського півострова, Ірландії, значної частини Британії, північної частини Скандинавського півострова і деяких островів Середземномор'я, зокрема, Криту та Кіпру) та в Західній Азії (північна частина Малої Азії, Кавказ, Західний Казахстан, Північний

Іран). В Україні – повсюдно, але частіше в західних регіонах (зокрема, в Карпатах) і в Криму (ГІС-карта 3.11.).

Раніше нами було описано сучасні моделі поширення *S. austriaca* України (Nekrasova, 2014). Виявлено, що при можливому потеплінні на 1°C найсприятливіші місця проживання для *S. austriaca* будуть розташовані на півночі та заході, а на півдні ареалу ці змії можуть зовсім зникнути.

Комп'ютерні моделі поширення *S. austriaca* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,844 \pm 0,008$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 61,79% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території дещо скоротиться до 50,84%, тобто у 1,22 рази (Додаток Б. ГІС-карта 3.11.Д).



ГІС-карта 3.11. Модель поширення *S. austriaca* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Наразі лише 30% знахідок змій з усього кадастру мешкає в межах територій ПЗФ: НПП Слобожанський, Дворічанський, Пирятинський, Поліський та Ровенський ПЗ тощо. Відповідно близько 70% точок знахідок змій знаходили за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *S. austriaca* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в Поліському регіоні.

4. Полоз жовточеревий, каспійський (*Dolichophis caspius*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) невизначено сучасний популяційний тренд – «Unknown».

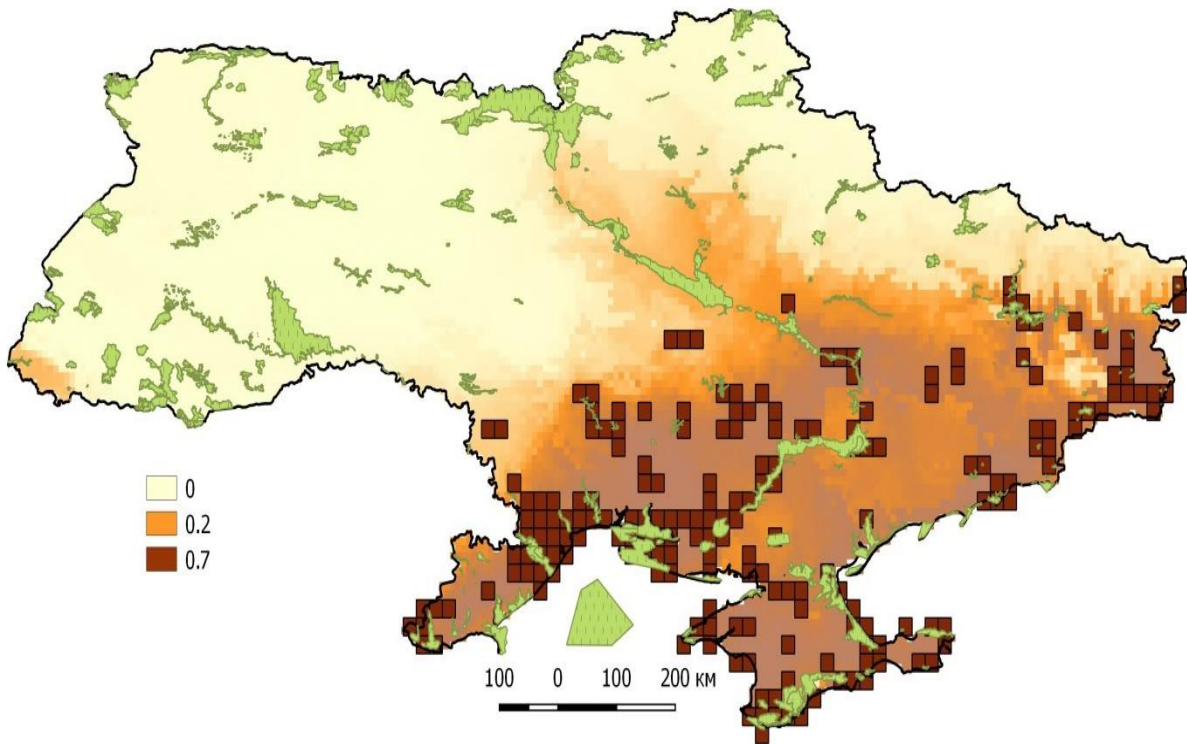
Ареал виду: від Угорщини і Балканського п-ва до Кавказу, Малої Азії і пн.-зх. Казахстану. В Україні поширений у степовій зоні та Кримських горах, де піднімається до висоти 1000 м над рівнем моря (ГІС-карта 3.12).

У літературі описано методики ГІС-моделювання щодо прогнозів зміни клімату для організмів з низькими дисперсійними здібностями: на прикладі *D. caspius* (Sahlean et al., 2014). Авторами було показано можливості використання різних сценаріїв ГІС-моделювання. Водночас комп'ютерні моделі поширення полоза на північ Європи викликають сумніви. Ми припускаємо, що у автора можливо не було даних щодо терен України.

Раніше ми вивчали деякі аспекти можливого поширення *D. caspius* Західно-Понтійського степу (Tytar, Nekrasova, 2016) на Сході України (Vasyliuk, Nekrasova et al., 2015). Нещодавно було зроблено ранжування пріоритетних ділянок адміністративно-територіальних одиниць для охорони рідкісного виду з метою його збереження. З'ясовано, що найважливішими адміністративними одиницями для збереження *D. caspius* в Україні є – Крим (10.3) >

Миколаївська (7.3) > Одеська (7.0) > Луганська (6.7) = Запорізька (6.7) > Дніпропетровська (6.0) > Донецька (5.7) > Херсонська (4.7) області (Титар, Некрасова, 2015).

Комп'ютерні моделі поширення *D. caspius* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,951 \pm 0,010$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 31,26% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території має збільшитися до 55,88%, тобто у 1,79 рази (Додаток Б. ГІС-карта 3.12.Д).



ГІС-карта 3.12. Модель поширення *D. caspius* в Україні за сучасних кліматичних умов (19 біокліматичних показників).

Менше 20% знахідок змій з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Меотида, Бузький Гард, Чарівна Гавань, Чорноморський БЗ та ін. Відповідно близько 80% точок мешкання змій знаходили за межами ПЗФ. Тому

потрібні додаткові дослідження з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, насамперед в Приморському регіоні та вздовж р. Дніпро.

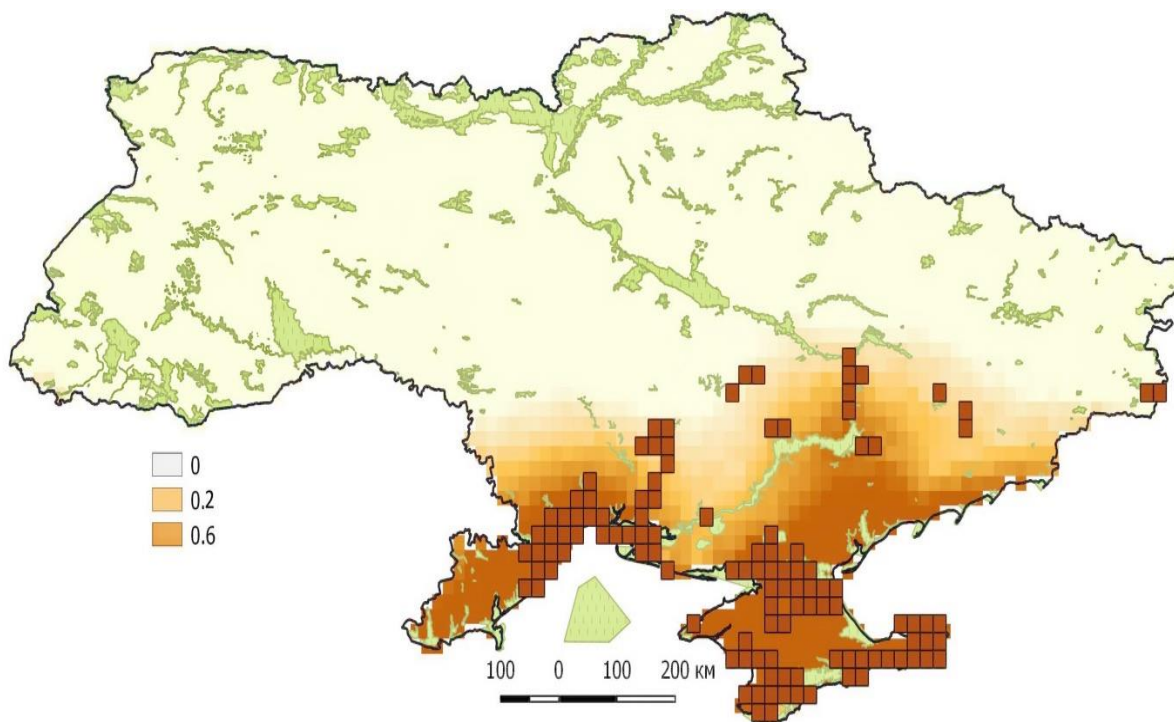
5. Полоз сарматський, Паласів (*Elaphe sauromates*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II – категорія «Види, що підлягають особливій охороні», Резолюція № 6 (EN) Бернської конвенції (БК). У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) невизначено сучасний популяційний тренд – «Unknown».

Ареал виду: від східної частини Балканського п-ва до Малої Азії та зх. Казахстану. В Україні поширений на пд. степової зони та у гірському Криму.

Комп'ютерні моделі поширення *E. sauromates* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,952 \pm 0,051$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 29,52% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території збільшиться до 61,46%, тобто у 2,08 рази (Додаток Б. ГІС-карта 3.13.Д).

Наразі лише 30% знахідок змій з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Азово-Сиваський, Тилігульський лиман, Асканія-Нова БЗ, Чорноморський БЗ та ін. Відповідно близько 70% точок мешкання знаходили за межами ПЗФ (ГІС-карта 3.13.). Тому потрібні додаткові дослідження з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в Приморському регіоні вздовж Дніпра та в Криму.



ГІС-карта 3.13. Модель поширення *E. sauiromates* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

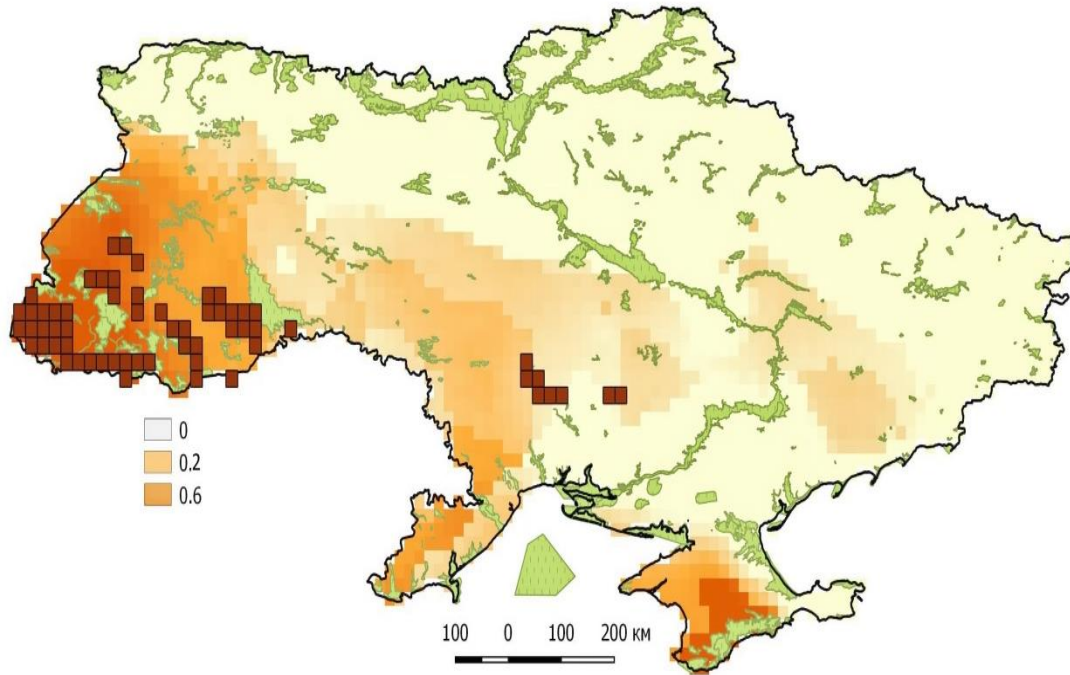
6. Полоз лісовий, ескулапів (*Zamenis longissimus*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Зникаючі види», Додаток II Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) невизначено сучасний популяційний тренд – «Unknown».

Ареал виду: Пд. та Центральна Європа, північна половина Малої Азії, Кавказ. В Україні трапляється спорадично у зх. областях та локально у Миколаївській обл. (ГІС-карта 3.14).

Комп'ютерні моделі поширення *Z. longissimus* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,916 \pm 0,008$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 20,95% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території істо-

тно скоротиться до 5,68%, тобто у 3,69 рази. Значне скорочення придатних для виду територій відбудеться на південному заході України, де їх фрагменти залишаться лише на Одещині (Додаток Б. ГІС-карта 3.14.Д).



ГІС-карта 3.14. Модель поширення *Z. longissimus* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Наразі лише 30% знахідок змій з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Сколівські Бескиди, Карпатський, Ужанський, Бузький Гард, Подільські Товтри та ін. Відповідно близько 70% точок змій знаходили за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *Z. Longissimus* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо вздовж Південного Бугу та на Заході України.

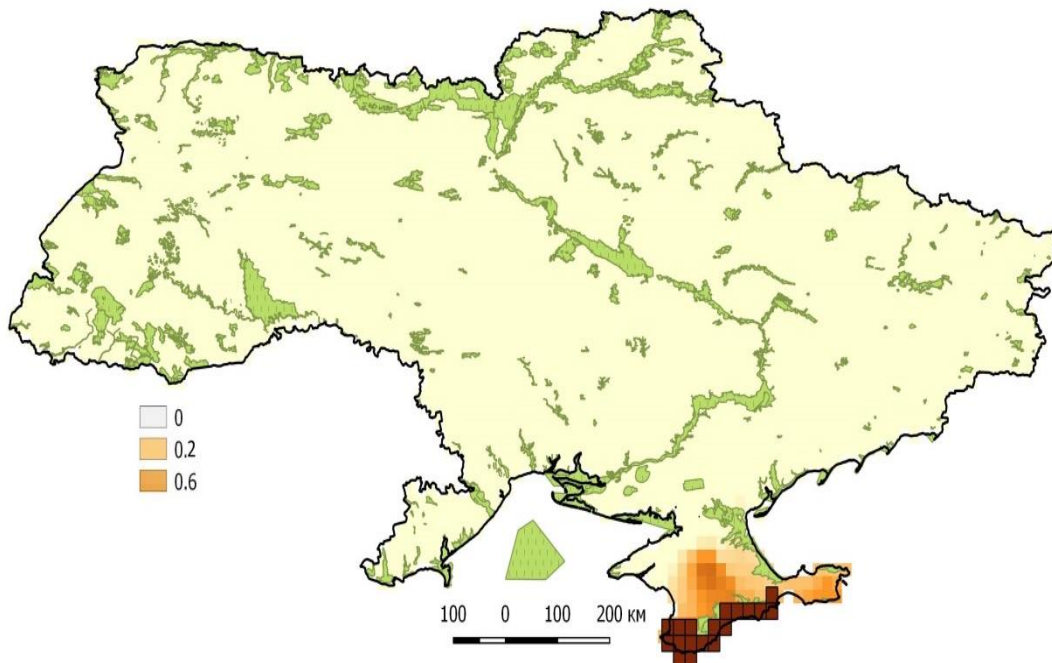
7. Полоз леопардовий (*Zamenis situla*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Зникаючі види», Додаток II Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено сучас-

ний популяційний тренд як стабільний – «*Stable*». Полоз охороняється у ПЗ – Ялтинському гірсько-лісовому, «Мис Мартьян», Кримському та Карадазькому.

Ареал виду: охоплює Балкани, Малу Азію, пд. Апеннінського п-ва та деякі о-ви Середземного моря. В Україні він поширений на пд. березі Криму від Севастополя до Феодосії та в сонячних місцях у межах Головного та Внутрішнього пасом Кримських гір, де зустрічається на висоті до 600–750 м над рівнем моря (ГІС-карта 3.15.).

Комп'ютерні моделі поширення *Z. situla* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій АUC склав $0,965 \pm 0,080$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 1,04% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що ареал мешкання плазуна може істотно збільшитися до 4,42%, тобто у 4,26 рази, за рахунок територій північного Криму та Приазов'я (Додаток Б. ГІС-карта 3.15.Д).



ГІС-карта 3.15. Модель поширення *Z. situla* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Наразі лише 35% знахідок цих змій з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: Ялтинський Г-Л заповідник, Кримський ПЗ та ін. Відповідно близько 65% точок знахідок змій спостерігали за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *Z. situla* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо в гірській частині Криму.

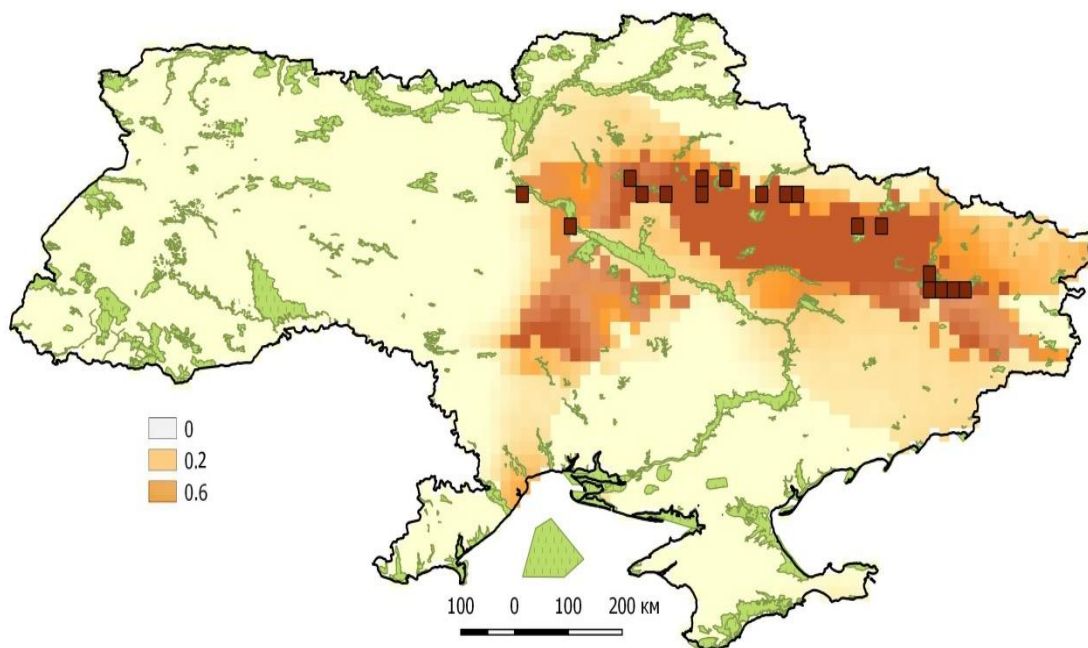
8. Гадюка Нікольського, гадюка лісостепова

(*Vipera berus nikolskii*)

Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види» (Ведмедеря та ін., 1986), Додаток III Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено негативний сучасний популяційний тренд – низхідний (*падаючий*, «*Decreasing*»). Рідкісний підвид (Zinenko, Turcanu, 2010), що знаходиться під охороною на заповідних територіях, розташованих у Лісостепу.

Ареал: від східної Румунії та Молдови до Волги. В Україні поширений в лісостеповій зоні (ГІС-карта 3.16). Знайдена на південному заході України на кордоні Вінницької та Одеської обл. на широті 48°. Північна межа поширення гадюки Нікольського доходить до Києва (Табачишин, Завьялов, 2003; Олейник, Некрасова, 2012).

Комп'ютерні моделі поширення *V. b. nikolskii* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,966 \pm 0,010$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 18,37% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа ареалу скоротиться до 6,61%, тобто у 2,77 разів (Додаток Б. ГІС-карта 3.16.Д). Припускаємо, що в цілому всі популяції виду гадюки звичайної можуть опинитися під загрозою існування. Тому в найближчому майбутньому гадюку *V. berus* необхідно буде занести до Червоної книги.



ГІС-карта 3.16. Модель поширення *V. b. nikolskii* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

Наразі більше половини (60%) знахідок гадюк з усього кадастру мешкають в межах територій ПЗФ: НПП Слобожанський, Гомільшанські ліси, Пирятинський, Канівський ПЗ. Відповідно близько 40% точок знахідок гадюк були за межами ПЗФ. Водночас популяції цих змій знаходяться в небезпеці завдяки активному винищенню. Тому потрібні додаткові дослідження *V. b. nikolskii* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ.

8. Гадюка степова (*Vipera renardi*)

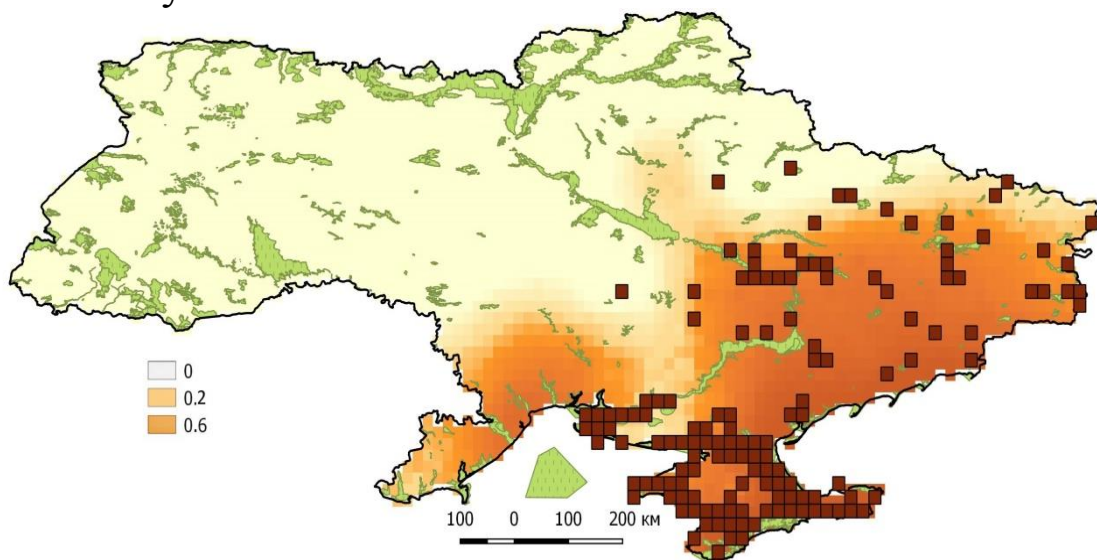
Природоохоронний статус: ЧКУ – категорія «Вразливі види», Додаток II Бернської конвенції (БК) – категорія «Види, що підлягають особливій охороні». У Червоній книзі Міжнародного союзу (ЧС МСОП) визначено у категорії «Vulnerable» (VU – вразливий).

Ареал виду: від України на зх. до Алтаю (Росія) на схід і до Азербайджану та пн.-зх. Китаю на пд. у межах степової, напівпустельної і значної частини лісостепової

зон. В Україні населяє пд. частину Лісостепу та Степ, а також пн. макросхил Гірського Криму до висоти 1100 м над рівнем моря (ГІС-карта 3.17.).

Комп'ютерні моделі поширення *V. renardi* в Україні за сучасних та змінених кліматичних умов до 2030 р. показали високу відповідність емпіричним даним (критерій AUC склав $0,931 \pm 0,038$ SD). Сучасні біокліматичні умови сприятливі для виду на 45,00% території України. За умов клімату 2030 р. прогнозуємо, що площа цієї території значно збільшиться до 73,23%, тобто у 1,63 разів. При цьому можуть скластися сприятливі біокліматичні умови для появи виду у Закарпатській області за рахунок угорських популяцій (Додаток Б. ГІС-карта 3.17.Д).

Наразі лише 20% знахідок змій з усього кадастру є в межах територій ПЗФ: НПП Азово-Сиваський, Асканія-Нова БЗ, Чорноморський БЗ тощо. Відповідно близько 80% точок знахідок гадюк були за межами ПЗФ. Тому потрібні додаткові дослідження *V. renardi* з метою обґрунтування розширення територій ПЗФ, особливо у Донецькій та Луганській областях.



ГІС-карта 3.17. Модель поширення *V. renardi* в Україні за сучасних кліматичних умов (9 біокліматичних показників).

3.3. Кліматичні ризики існування вразливих видів земноводних та плазунів України у найближчій перспективі

Земноводні, Amphibia

У результаті аналізу даних з хорології вразливих видів холонокровних тварин ми прийшли до висновку, що змінені основні екологічні фактори суттєво вплинуть на поширення земноводних. Так, за допомогою GIS-програм було виявлено основні зміни клімату, які відбуватимуться в місцях мешкання деяких амфібій, зокрема – ропухи очеретяної. На підставі сучасних та прогнозованих середньорічних показників температури та опадів в місцях точкових знахідок *E. calamita* України відмінності між їх параметрами у майбутньому будуть досить істотними. Згідно прогнозу середньорічна температура повітря в цих місцях до 2050 р. підвищиться на 1,77°C (Рис. 3.1.), а опади скоротяться на 14,6 мм (Рис. 3.2.). Зазначені зміни можуть значно погіршити умови мешкання ропухи, насамперед у відкритих біотопах з легкими піщаними ґрунтами. На цих ґрунтах аридизація відбуватиметься прискореними темпами.

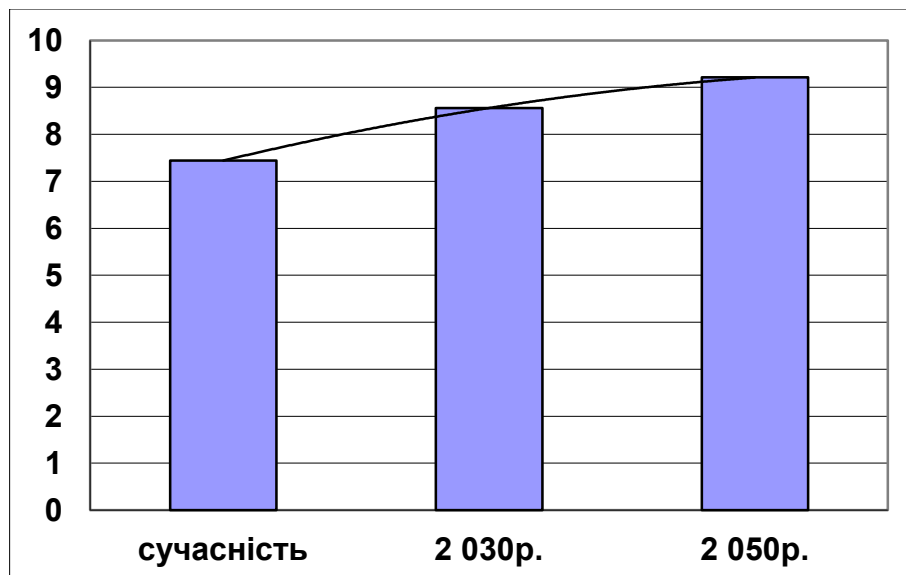


Рис. 3.1. Сучасні та прогнозовані середньорічні показники температури (°C) в місцях точкових знахідок *E. calamita* в Україні.

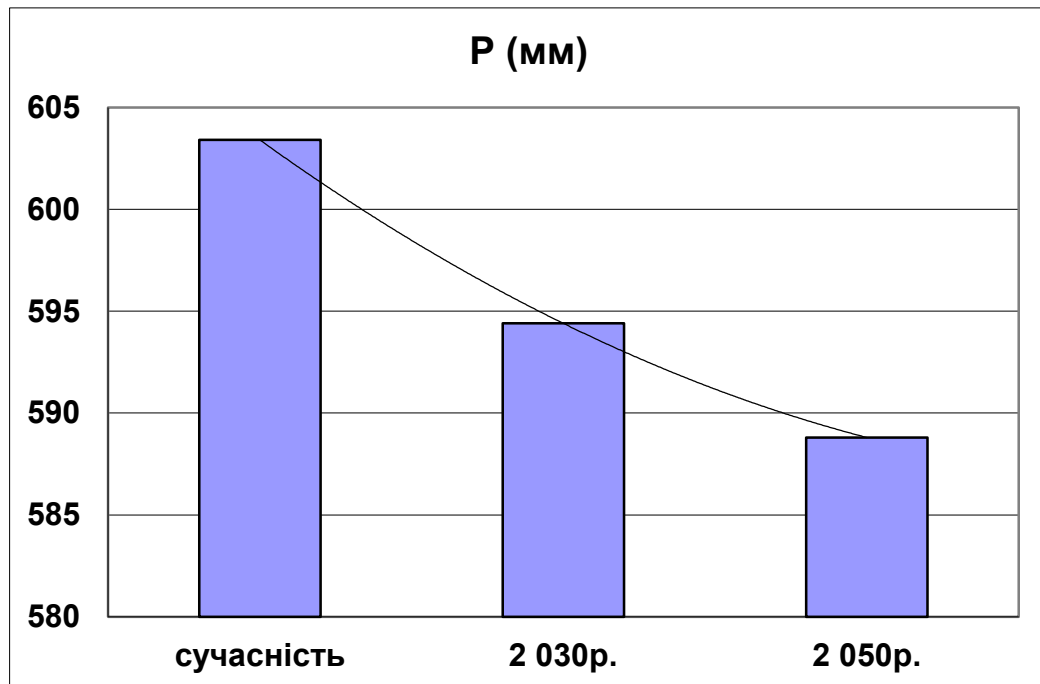


Рис. 3.2. Сучасні та прогнозовані середньорічні показники опадів в місцях точкових знахідок *E. calamita* в Україні.

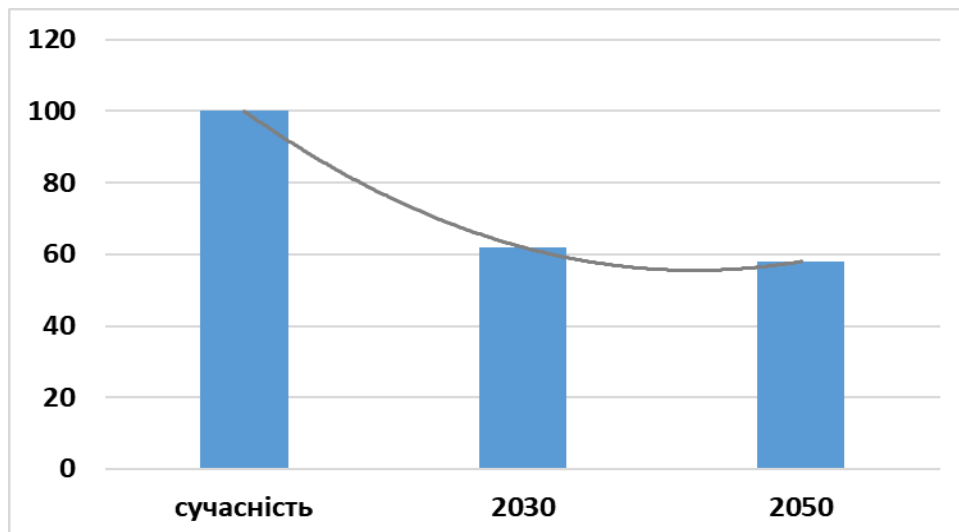
Отримані комп'ютерні моделі поширення *E. calamita* в Україні за сучасних кліматичних умов та змінених до 2030 та 2050 рр. показали високу відповідність з емпіричними даними. При цьому за пермутаційним тестом серед біокліматичних показників найбільшу вагу мали річний температурний діапазон (*BIO7*) – 17,4% та температурна сезонність (*BIO4*) – 12,1%. Тобто на умови перебування жаб істотний вплив будуть спричиняти значні (екстремальні) коливання температурних показників упродовж року. За сучасних кліматичних умов значна частина Волинської та прилеглих територій Рівненської обл. мають умови потенційно сприятливі для виду; ймовірність мешкання *E. calamita* перевищує 50%.

Результати моделювання дають підстави для твердження, що разом з прогнозованими змінами клімату площа територій, де ймовірність перебування *E. calamita*

потенційно перевищуватиме 50%, буде скорочуватися (Рис. 3.3.). Порівняно з сучасною територією поширення до 2030 р. ця площа може скоротитися більше, ніж на 35%. Насправді урізання ареалу може бути ще більшим, аж до 70% (ГІС-карта 3.7.Д). За прогнозом оптимальні умови кліматичної ніші зберігатимуться до 2050 р. і становитимуть менше однієї третини території, де зараз ці умови існують.

Як згадано вище, ропуху очеретяну охороняють в Прип'ять-Стохідському та Шацькому НПП, в Черемському і Ровенському ПЗ (відділення Біле Озеро, Сира Погоня, Сомине, Переброди). Результати моделювання екологічної ніші засвідчують, що лише на території відділення Біле озеро для цього виду існують сприятливі кліматичні умови. Решта відділень (Сира Погоня, Сомине, Переброди) перебувають у зоні песимуму. Тому негативні тенденції зміни клімату на цих територіях можуть набути загрозливого характеру, а збереження виду проблемним.

Із діаграми (Рис. 3.3) видно, що прогнозована ймовірність перебування *E. calamita* у 2030 та 2050 рр. знижується, однак дещо перевищуватиме 50% від сучасної площі.



**Рисунок 3.3. Скорочення площі ареалу (%)
E. calamita в Україні**

На основі ранжування кліматичних ризиків для амфібій в цілому (Рис. 3.4) передбачаємо, що для всіх розглянутих видів відбудеться скорочення площі зі сприятливими біокліматичними показниками. На наш погляд в найзагрозливішому стані опиняться всі тритони.

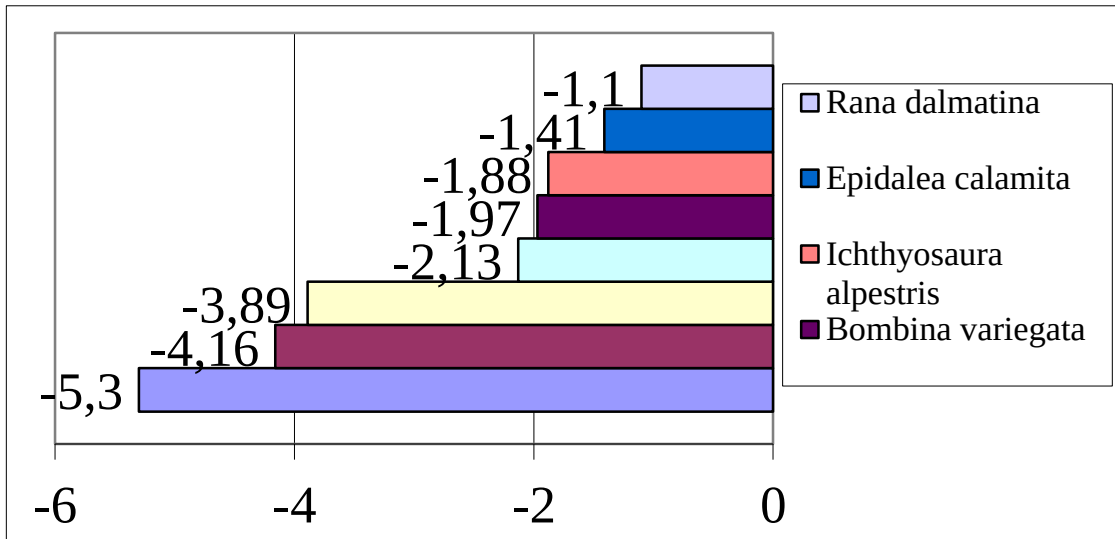


Рис. 3.4. Ранжування кліматичних ризиків зменшення площі територій зі сприятливими умовами для вразливих амфібій України: прогноз.

Зазначені вище два види тритонів поширені в Карпатському регіоні й переважно займають ареали гірської місцевості (Кузьмин, 2012). Вона досить чутлива до кліматичних змін через характерні геоморфологічні особливості. Кліматичні спостереження метеостанцій засвідчують наявність змін середньої місячної та річної температури повітря у Карпатському регіоні упродовж 1990–2013 рр. порівняно з кліматичною стандартною нормою. Лише за останні 24 роки середня річна температура повітря в досліджуваному регіоні підвищилася на 0,4–1,0°C (Приходько, 2014; Канарський, 2016). Сучасні кліматологічні дані та результати досліджень у різних гірських системах Європи складають підґрунтя для, нового погляду на оцінку

факторів загрози біорізноманіттю Українських Карпат. Так, на думку вітчизняних дослідників темпи змін кліматичних факторів можуть випереджати можливості адаптації біологічних видів до змінених умов середовища. Природньо, що запізнiла адаптація негативно вплине на життєздатність та збереження видів і може призвести до збiднення біорізноманіття (Приходько, 2013, 2014; Стойко, 2009, 2010, 2011).

Описані тенденції кліматичних змін та результати нашого ГІС-моделювання будуть сприяти установленню рівня загрози й реального стану популяцій вразливих до потепління холонокровних тварин. У цьому контексті варто розпочати програму моніторингу стану популяцій земноводних і плазунів Українських Карпат у освоєних ними оселищах. Важливою ланкою такого моніторингу може стати вивчення стану популяцій карпатського та дунайського тритонів та саламандри плямистої. За нашим прогнозом стан довкілля регіону в довготривалій перспективі може з часом кардинально змінитися. До прогнозного моніторингу пропонуємо включити території об'єктів природно-заповідної мережі Українських Карпат, зокрема Смарагдової мережі (Болтачов та ін., 2011): ПЗ – Горгани, Карпатський БЗ, НПП – Сколівські Бескиди, Карпатський, Синевир, Вижницький, Ужанський, Зачарований край, Верховинський, Черемоський, заказник Зубровиця, РЛП – Чернівецький та Надсянський, територія Мармароські та Чивчино-Гринявські гори.

Плазуни, Reptilia

На прикладі ящірки зеленої було виявлено, що підвищення температури може не завжди позитивно впливати на поширення термофільних видів і сприяти їх поширенню на північ (Nekrasova et al., 2013; Некрасова, Титар, 2014). Так, провідними природними чинниками, які впли-

вають на формування ареалу *L. viridis* в Україні виявилися: опаді найсухішого місяця (BIO14)–27,6%, температурна сезонність (BIO4)–20,7%, середньорічна температура (BIO1)–8,2%, мінімальна температура найхолоднішого місяця (BIO6)–14,5%. Тобто на придатність умов перебування та поширення ящірок найістотніший вплив мають вологість в найсухіший період та температурна сезонність.

Ящірка зелена – середземноморський термофільний вид, який надає перевагу вологому і теплову мікроклімату. Услід за змінами клімату на території мешкання плазуна зміниться ареал його поширення. Згідно прогнозу середньорічна температура повітря в цих місцях підвищиться до 2030 р. на 1,8°C (Рис. 3.5), а опади загалом скоротяться на 20 мм (Рис. 3.6–3.7). Унаслідок цього можна очікувати зменшення ареалу ящірки зеленої на початковому етапі та його скорочення до 2030 р. (ГІС-карта 3.10.Д, ГІС-карта 3.18).

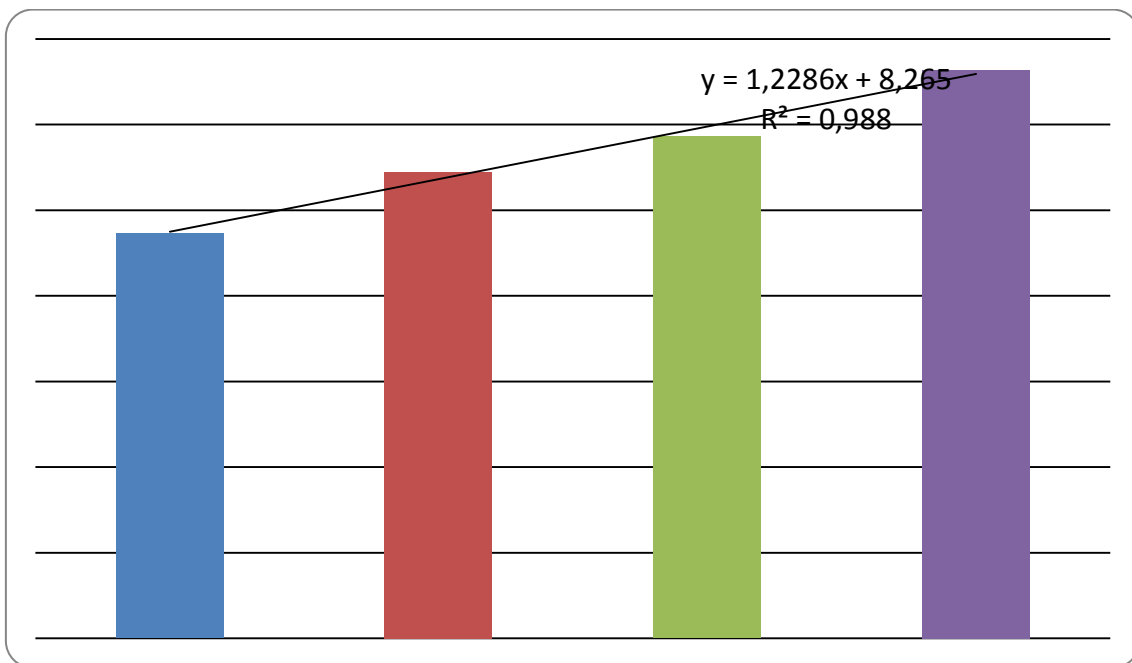


Рис. 3.5. Сучасні та прогнозовані середньорічні показники температури за роками (1975–2090, SAGA) в місцях точкових знахідок *L. viridis* України (°C).

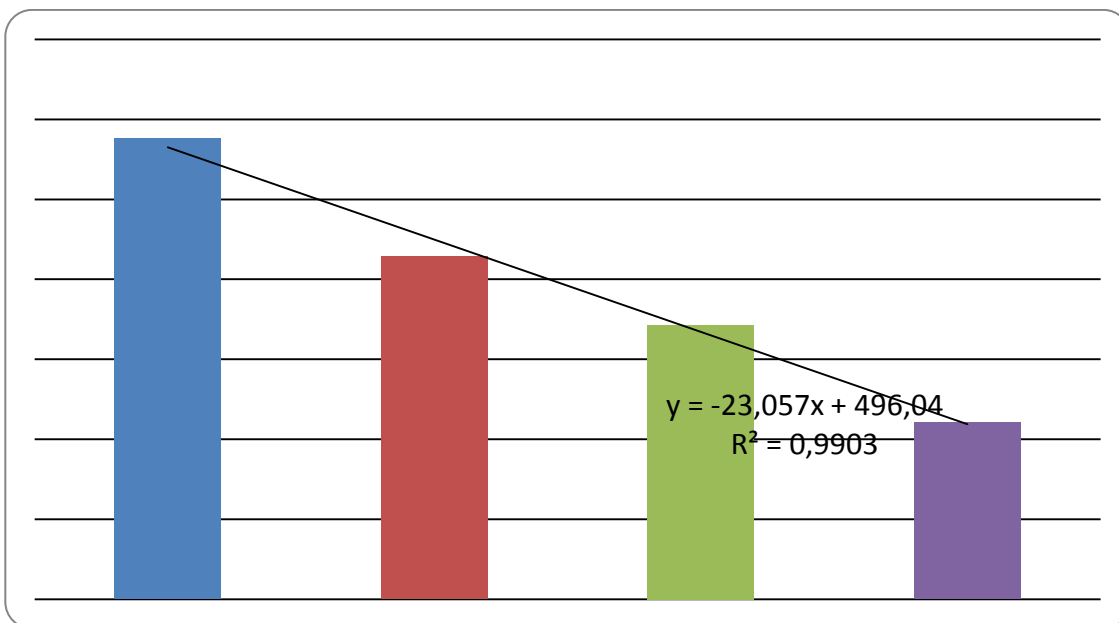


Рис. 3.6. Сучасні та прогнозовані середньорічні показники опадів (1975–2090, SAGA) в місцях точкових знахідок *L. viridis* України (мм).

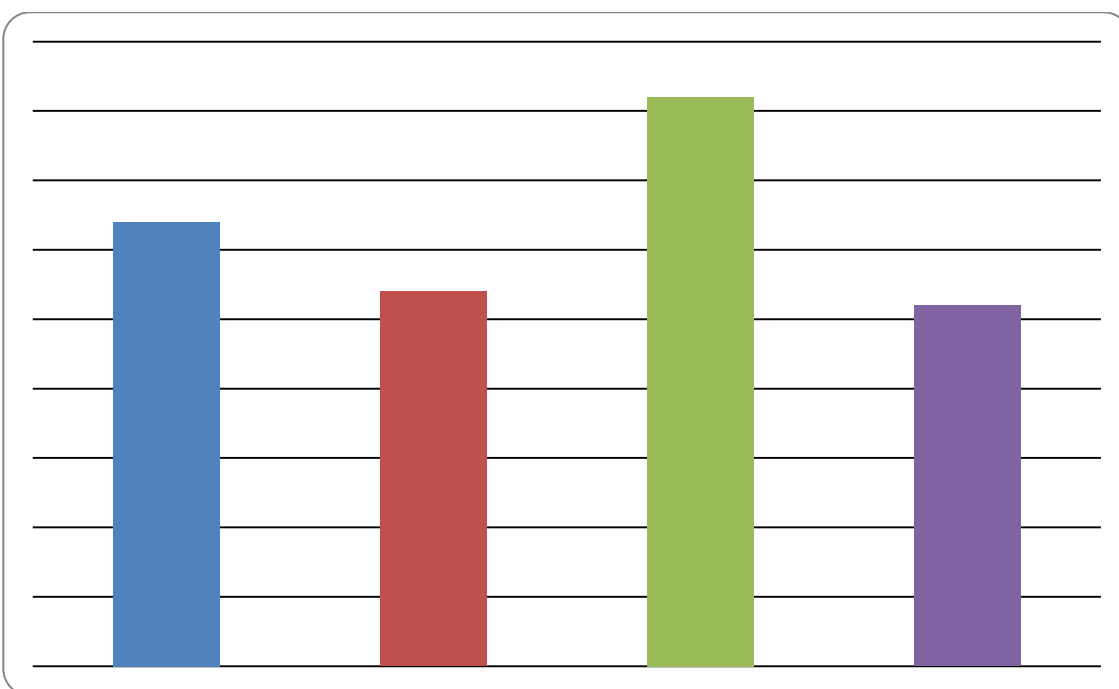
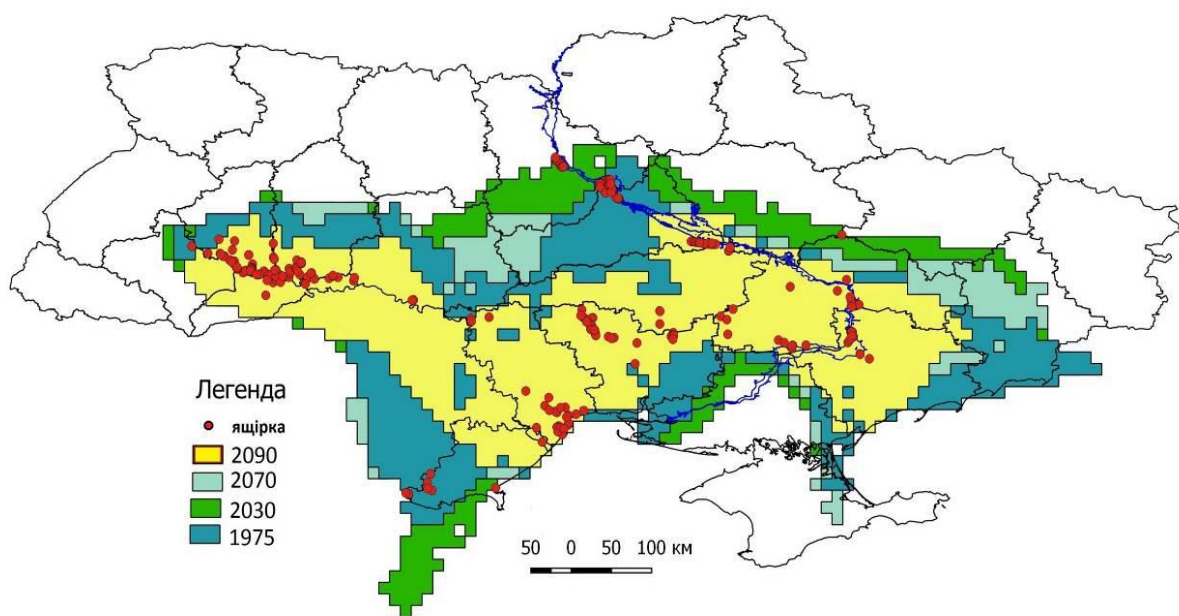


Рис. 3.7. Прогностичні зміни ареалу перебування *L. viridis* в Україні до 2090р.



ГІС-карта 3.18. Модель змін територій придатних для існування *L. viridis* в Україні за біокліматичними показниками (програма QGIS).

На наш погляд рельєф місцевості – один із лімітуючих чинників розселення ящірок зелених (Некрасова та ін., 2017). Схили, яри, розщелини правого берега Дніпра краще оголюють і роблять доступними різні за твердістю горизонти ґрунтового профілю, ніж рівнинна частина лівого берега. Саме тут плазунам легше знайти відповідний за щільністю і твердістю шар профілю ґрунту для риття глибоких довжиною близько одного метра нірок. У зв'язку з цим рельєф місцевості з горбами, ярами, схилами, рослинність та параметри сонячної радіації південних схилів створюють кращі умови для риття сховищ і поширення локальних угруповань ящірок.

Особливий вплив підвищеної температури і посухи проявляється на лісових видах плазунів, зокрема гадюку Нікольського. Серед використаних біокліматичних показників за пермутаційним тестом найбільшу вагу мали: опадів найсухішого кварталу (BIO17)–20,2%, температурна сезонність (BIO4)–17,7%, середня температура найво-

логішого кварталу (*BIO8*)–10,8%, опади найсухішого місяця (*BIO14*)–9,9%, середньорічна температура (*BIO1*)–8,2% (Рис. 3.8). Отже, на поширеність гадюк найістотніший вплив мають: вологість найсухішого кварталу та температурна сезонність. На картах позначено території, де ймовірність перебування гадюки перевищує 50%.

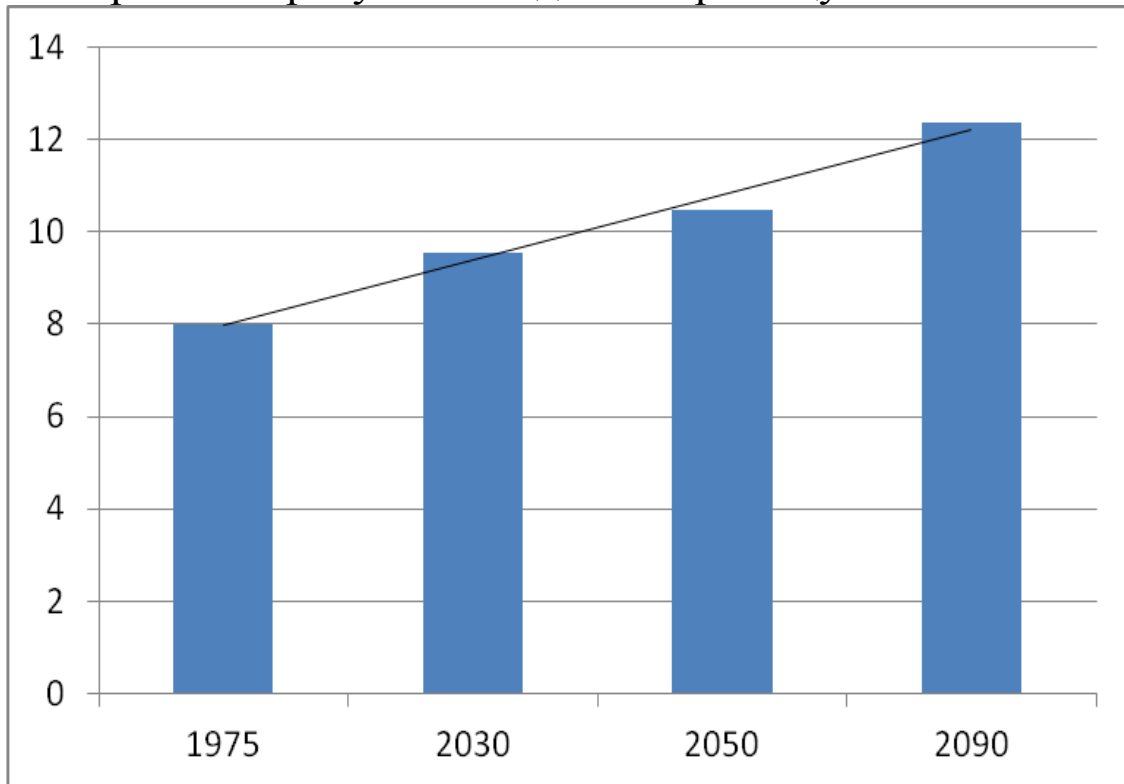


Рис. 3.8. Сучасні та прогнозовані середньорічні показники температури в місцях точкових знахідок гадюки в Україні (°C).

Але є знахідки гадюки Нікольського на правобережжі, в екокоридорі Дніпра у Київській, Черкаській, Одеській областях. Сучасний стан південних популяцій гадюк за нашими прогнозами в майбутньому потрібно ще перевіряти (Олейник, Некрасова, 2012; ЧКУ, 2009). Гадюки надають перевагу вологим лісовим біотопам. Тому з підвищенням температури (Рис. 3.8) та зі зниженням вологості (Рис. 3.9) на півдні вид очікує небезпека скорочення ареалу (ГІС-карта 3.18.).

ГІС-модельний прогноз змін клімату демонструє умови при, яких площа територій, де ймовірність перебування плазуна потенційно перевищуватиме 50%, буде скорочуватися в рази. Порівняно з сучасними умовами вже до 2030 р. ця площа скоротиться майже у 1,5 раз до 2030 р. і в 2,3 рази до 2050 р. (ГІС-карта 3.16.Д; ГІС-карта 3.19).

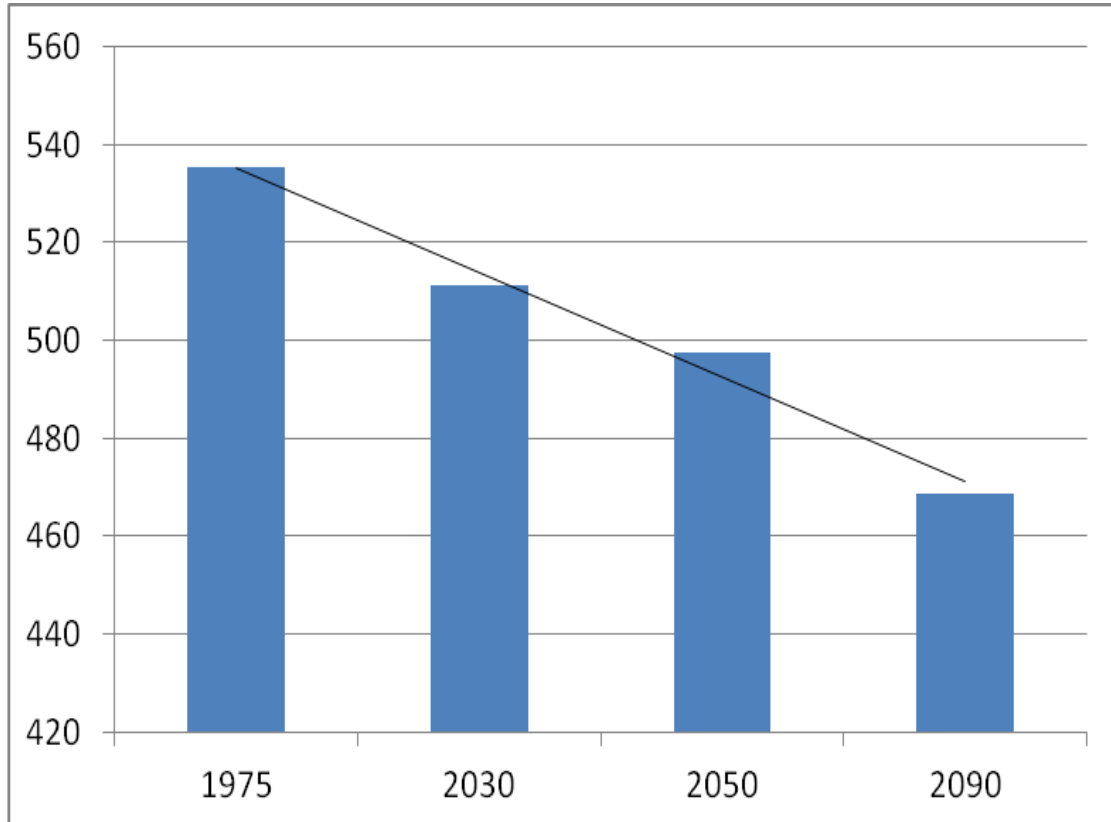


Рис. 3.9 Сучасні та прогнозовані середньорічні показники опадів (мм) в місцях точкових знахідок *V. berus* в Україні.

Оптимальні умови для переживання несприятливого періоду гадюки складуться на ділянках, що відрізняються: 1) найтривалішою експозицією, яка забезпечує підвищену інсоляцію; 2) значною глибиною ґрунтового шару (наявністю зимувальної схованки); 3) вологістю (опадів найсухішого періоду); 4) певною структурою деревно-чагарникової і трав'янистої рослинності (Гадюки..., 2015).

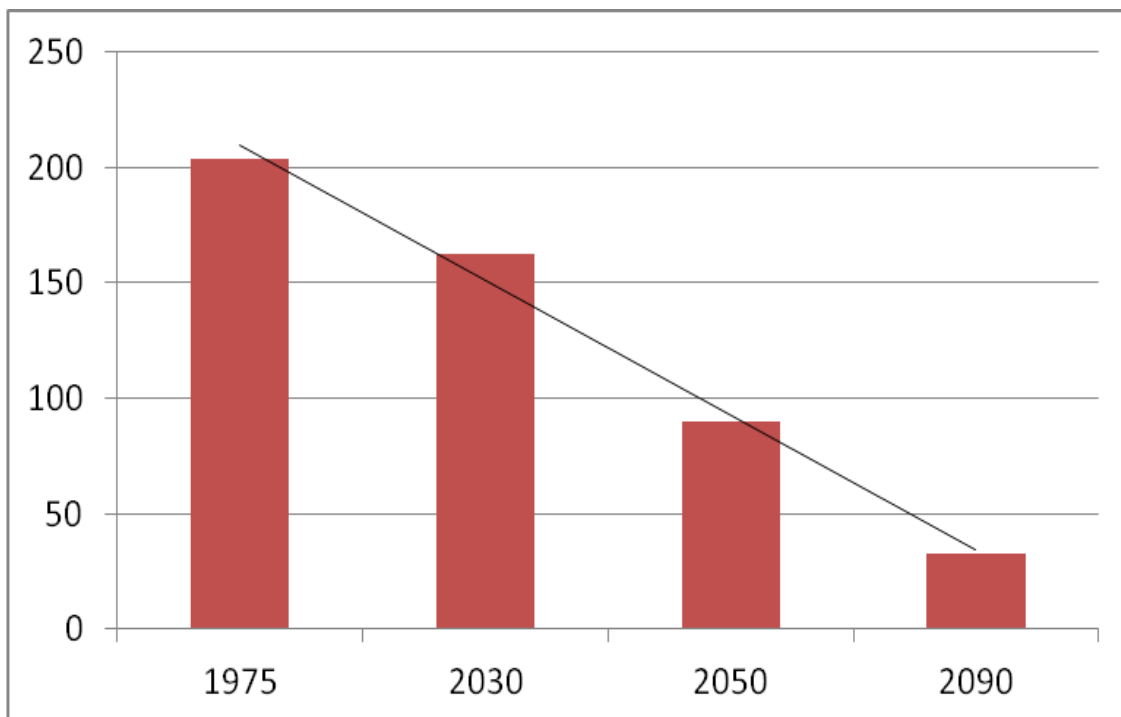
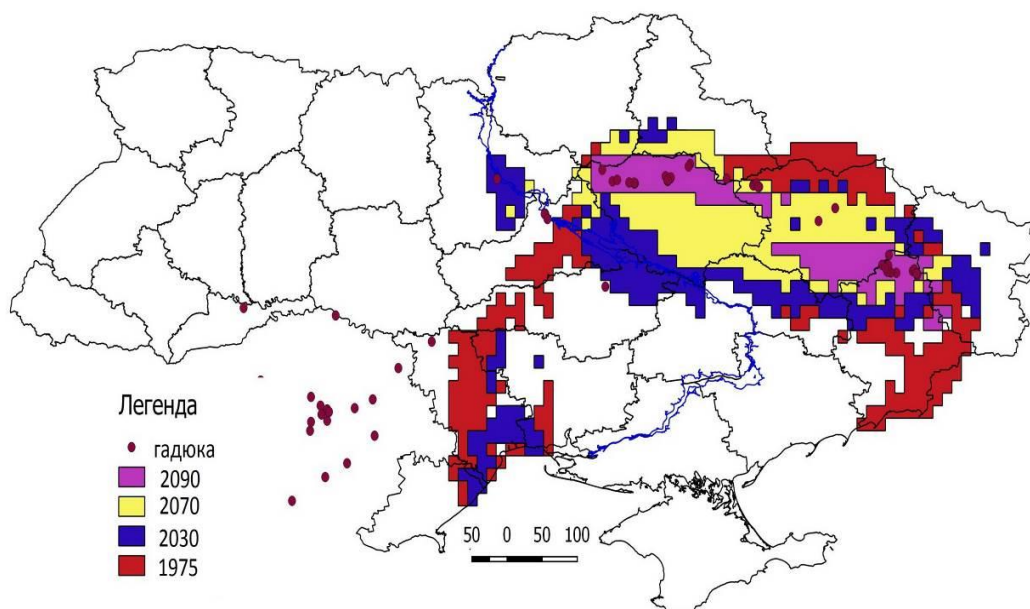


Рис. 3.10. Прогностичні зміни ареалу перебування *V. berus* в Україні до 2090 р.



ГІС-карта 3.19. Модель географічного поширення територій, придатних для існування гадюки Нікольського *V. b. nikolskii* в Україні (програма QGIS).

Таким чином, можна зробити висновок, що поширення гадюки найбільше залежить від факторів вологості (Рис. 3.11). На результатах аналізу ранжування кліматичних ризиків для рептилій в цілому видно (Рис. 3.12), що потенційне скорочення площі територій зі сприятливими біокліматичними показниками може торкнутися частини розглянутих видів, а саме *Z. longissimus*, *V. b. nikolskii*, *C. austriaca* та *L. viridis*.

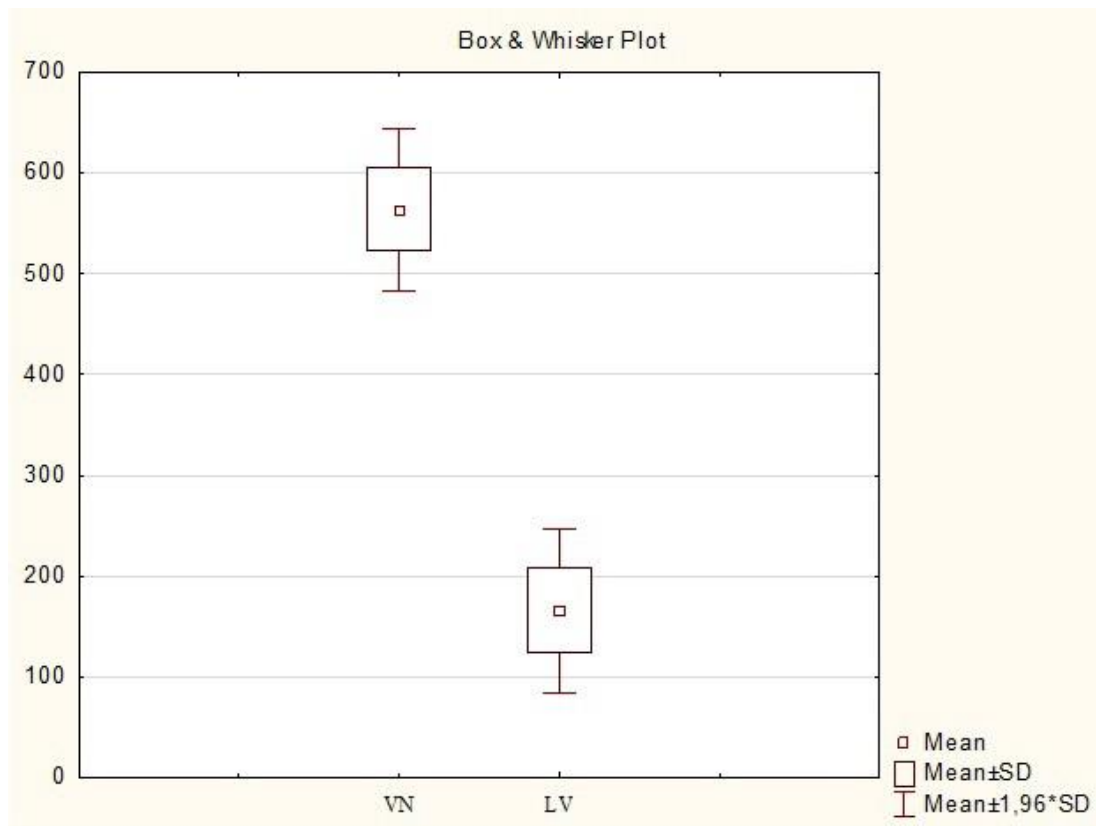


Рис. 3.11. Сучасні середньорічні показники опадів (мм) – BIO12 для *V. b. Nikolskii* – VN та *L. viridis* – LV.

У найзагрозливішому стані опиниться полоз ескулапів (*Z. longissimus*). Він відрізняється від більшості близьких видів особливостями свого ареалу, далеко просунутого на північ Західної Європи. Натомість інші види зустрічаються лише в країнах Північної частини Передньої Азії

та/або Південної Європи. На території України полоз досягає східної межі європейської частини свого ареалу. При цьому його популяція концентрується, головним чином, у західній частині країни. Найбільша чисельність цього виду спостерігається в Закарпатті.

З початку XX століття територія поширення та чисельність полоза в Україні істотно скоротилася. Найшвидші темпи скорочення спостерігали в другій половині минулого століття. Вони пов'язані з посиленням антропогенного пресу в місцях перебування виду та з прямим знищенням придатних для нього біотопів. Разом з тим не можна відкидати впливу кліматичних факторів. Цьому виду притаманний порівняно невеликий (за непрямыми даними) інтервал оптимальних температур, що характеризують термобіологію плазуна. Звісно, що не можна виключити опосередкований вплив кліматичних змін через трансформацію відповідних біотопів та численних біотичних зв'язків з іншими видами.

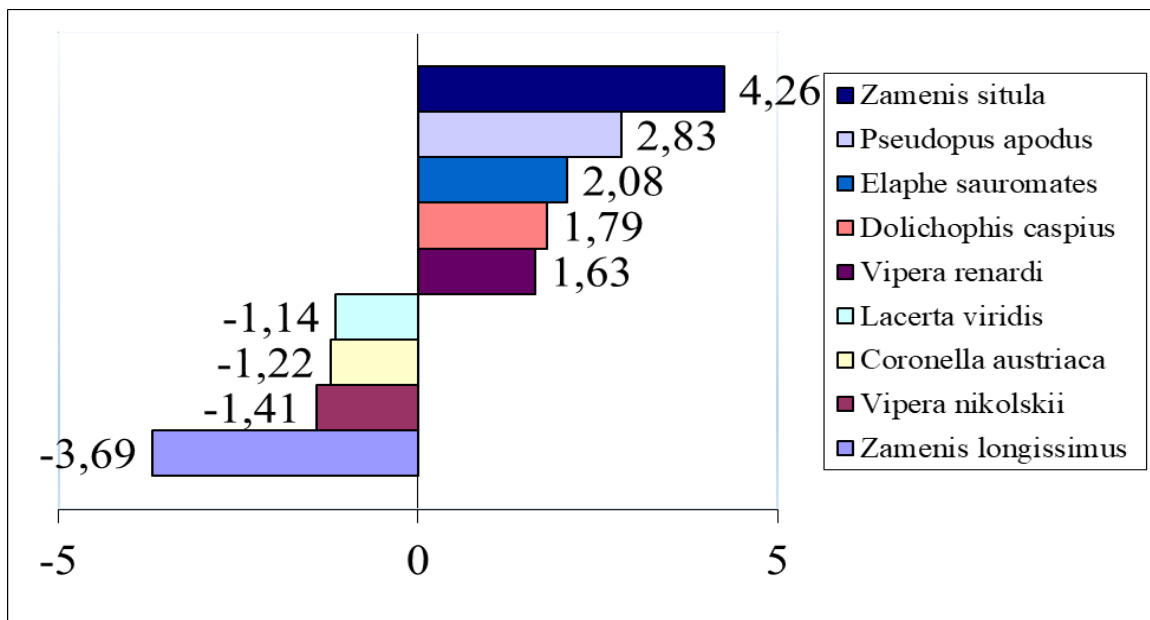


Рис. 3.12. Ранжування кліматичних ризиків для деяких плазунів України.

Через загрозливий стан, в якому перебуває полоз ескулапів, необхідно створювати об'єкти природно-заповідного фонду та розширювати інші природоохоронні заходи у всіх ареалах його мешкання. У периферійних частинах ареалу вид, очевидно, поширювався шляхом проникнення на нові ділянки і приживався в долинах та руслах річок. Для території України це: басейни річок Уж і Латориця – в Закарпатті; Пруту, Дністра і Південного Бугу – на схід. У прикарпатських областях (Львівська, Івано-Франківська) ці ділянки згруповані вздовж правого берега Дністра. Натомість в середній течії ареал плазуна знаходиться головним чином на лівому березі (переважно в Тернопільській та Хмельницькій обл.).

Для належного моніторингу виду пропонуємо використати території об'єктів природно-заповідної мережі Українських Карпат, зокрема Смарагдової мережі (EN): Карпатський БЗ, РЛП – Притисянський, Дністровський, Верхньодністровські Бескиди, Чернівецький НПП – Дністровський каньйон, Вижницький, Черемоський, Хотинський, Гуцульщина, Галицький, Карпатський, Верховинський, Подільські Товтри, Бузький Гард, Зачарований край, з-к Зубровиця.

ГЛАВА 4

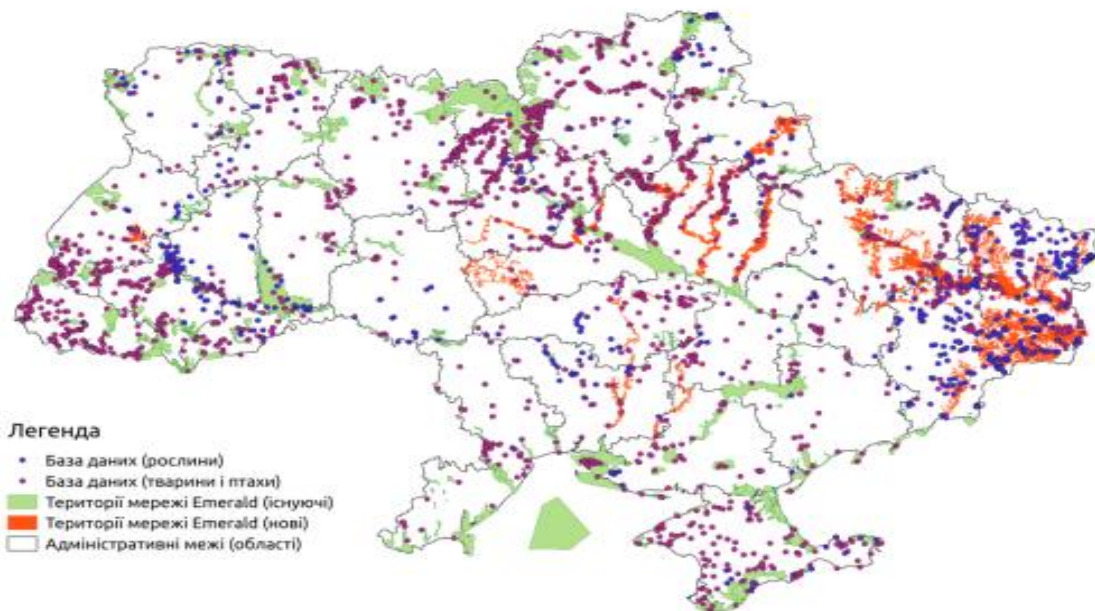
РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА УМОВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ДО 2050 р.

4.1. Методи розробки та алгоритми моделювання природоохоронної мережі в Україні

Сучасна мережа природно-заповідних територій в Україні станом на квітень 2015 року складається з понад 8 тисяч об'єктів загальною площею 3,3 мільйонів га, або 6,05% національної території. Для збереження окремих видів тварин необхідно охороняти території мешкання популяції цих тварин – їх оселища. Зазначений підхід до збереження біорізноманіття ґрунтується на створенні екологічної мережі. У Європейських країнах вона об'єднує природоохоронні території в межах ареалу видів, які знаходяться під охороною і формує території Натура 2000 (Natura 2000). Вони становлять ядра Загальноєвропейської екологічної мережі (Pan-European Ecological Network (PEEN)). Мережа має підтримку Бернської конвенції. Держави – члени Європейського Союзу виконують вимоги Бернської конвенції шляхом розвитку мережі Натура 2000. У країнах, які не входять до Європейського союзу було продовжено створення цієї мережі з назвою – *Смарагдова мережа* (Emerald Network (EN)). Українську частину Смарагдової мережі Європи, розробляють з 2009 року (Болтачов та ін., 2011). Станом на 01.01.2016 мережа (EN) займала близько 8% території України і в основному перекривала існуючі території ПЗФ (ГІС-карта 4.1.). У 2016 році група науковців розпочала розробку так званого Shadow-list Смарагдової мережі України – переліку територій, які мають доповнити затверджену схему EN (Залу-

чення громадськості та науковців..., 2017). Наразі триває розробка нових елементів мережі. Основним критерієм мережі є мешкання видів флори і фауни Резолюції № 6 (1998), та/або оселища, перелічені в Резолюції №4 (1996). У 1979 р. ЄС прийняв Директиву 79/409/ЕЕС «Про охорону диких птахів» (Директива ЄС щодо птахів), а в 1992 р. Директиву 92/43/ЕЕС «Про збереження природних типів оселищ (habitats) та видів природної фауни й флори» (Оселищна директива ЄС). Згідно статті 3 «Оселищної директиви ЄС» на території країн – членів Європейського союзу необхідно створити єдину європейську екологічну мережу особливих природоохоронних територій (*special area of conservation*) з назвою «Natura 2000». Бернська конвенція та Директива ЄС щодо птахів і «Оселищна директива ЄС» мають повний збіг цілей.

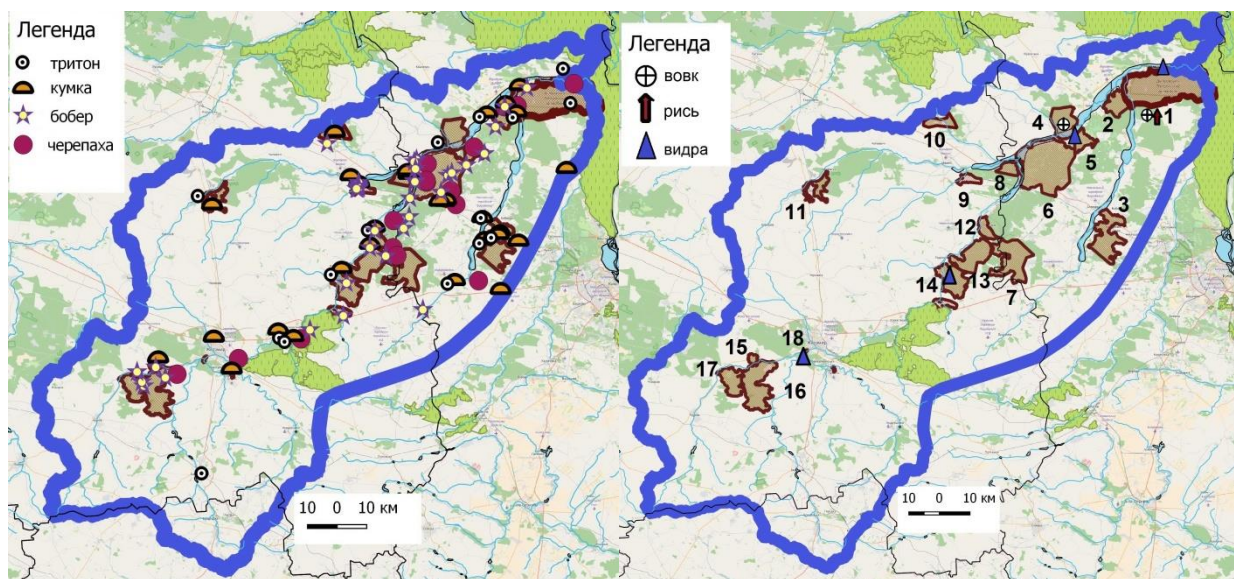
Інформація з питань створення Смарагдової мережі (EN) розміщена групою на <http://pryroda.in.ua/emerald/>.



**ГІС-карта 4.1. Результати проекту
«Смарагдова мережа України –
створення тіньового списку для України»
(Залучення громадськості та науковців..., 2017).**

Одним із прикладів методики створення «Смарагдових територій» вважають басейн р. Тетерів (Некрасова та ін., 2017; ГІС-карти 4.2–4.3). Основою для дослідження послужили наші оригінальні дані, зібрані упродовж 20-и річного періоду (1996–2016 рр.) на території басейну р. Тетерів. Серед головних об'єктів мережі розглянуто 7 видів хребетних тварин (Резолюції № 6, Бернської конвенції): земноводні – тритон гребінчастий (*T. cristatus*); кумка червоночерева (*B. bombina*); плазуни – черепаха болотна (*E. orbicularis*); ссавці (дані Мішти А. В.) – вовк (*Canis lupus*); видра річкова (*Lutra lutra*); рись (*Lynx lynx*); бобер європейський (*Castor fiber*) (Некрасова, Мішта, 2017).

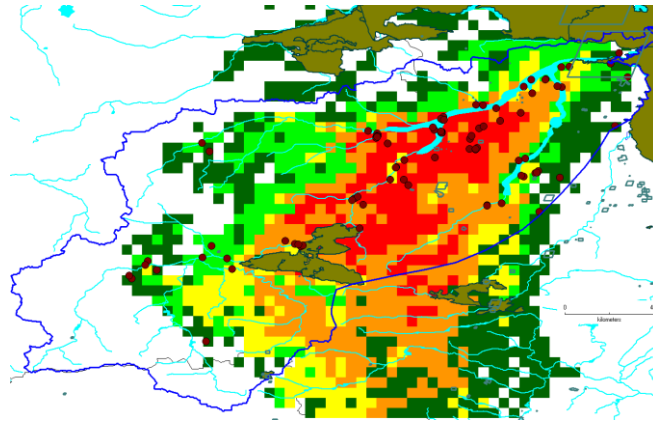
Для моделювання ми використали програму – DIVA-GIS і проаналізували 107 геокодованих точок (знахідок) 7 видів за 19 біокліматичними факторами).



ГІС-карта 4.2. Поширення 7 видів хребетних тварин та ключові території (1–18) в басейні р. Тетерів.

Завдяки GIS-моделюванню було виявлено, що найперспективнішими для перебування видів є оселища, які потребують спеціальної охорони. Це території запла-

ви р. Тетерів (вздовж річки) та міжріччя рр. Здвиж, Таль, Возня та Ірша. Але найперспективнішою є територія Дніпровсько-Тетерівського лісгоспу та його околиці (у т. ч. гирло р. Тетерів), де мешкають майже всі види, запропоновані для визначення об'єктів Смарагдової мережі (EN).



ГІС-карта 4.3. Прогнозоване поширення 7 видів хребетних тварин р. Тетерів (DIVA-GIS).

Для пошуку найцінніших ділянок Західного Поділля було обрано 13 видів амфібій та 10 видів рептилій. Цю групу холоднокровних тварин вважають вразливою та індикаторною, оскільки вона асоціюється із значним біологічним та ландшафтним різноманіттям. Для поглибленого з'ясування меж ареалів Західного Поділля та визначення регіонів найперспективніших для природоохоронної діяльності нами створено відповідні комп'ютерні моделі поширення кожного виду (Tytar, Mezhzherin et al., 2015; Tytar, Sobolenko et al., 2015). Після проведення мультиколінеарного аналізу до уваги взято такі предиктори – *біокліматичні показники, експозиція, «Людський слід» та топографічний індекс зволоження*. Виявлено, що серед найважливіших факторів, які визначають придатність і розподіл місць перебування амфібій Західного Поділля були «середня температура найхолоднішого кварталу» та «ізо-

термічність». Суттєвий вплив на мережу має індекс «Людський слід». Найважливішими факторами, які визначають придатність і розподіл місць перебування рептилій цього регіону були – «ізотермічність», «сезонність температурного режиму» та «середня температура найхолоднішого місяця». Суттєву роль для поширення плазунів також має індекс «Людський слід». Створена людиною інфраструктура може формувати сприятливі умови для перебування амфібій та рептилій, насамперед в умовах посухи (Некрасова, Титар, 2016). Сьогодні поряд з явищем синантропізації тварин спостерігаємо збільшення кількості аномалій у амфібій і рептилій та їх варіантів за 20 річний період з 1996 по 2018 рр. (Nekrasova, Marushchak et al., 2018; Nekrasova, Kuibida, 2018). У результаті ГІС-моделювання було виявлено досить низьку, але статистично значущу кореляцію числа аномалій у амфібій зумовлених антропогенним впливом – індексом «Людський слід» (138 геокодованих точок; $r = 0,268$, $p = 0,0025$) (Tytar, Nekrasova and Marushchak, 2018).

З позицій методології наукового підходу для вирішення природоохоронних завдань пріоритетним завданням вважаємо виявлення найцінніших оселищ вразливих видів для їх збереження. Тому основою дослідження став, запропонований нами сучасний методичний підхід до проблеми розбудови природоохоронної мережі охорони тварин, який ґрунтується на засадах «моделювання екологічної ніші». У цьому контексті варто зосередитися на переліку природно-заповідних об'єктів, насамперед рангу природних заповідників (ПЗ) та національних природних парків (НПП). У них відносно повно чи частково проведено інвентаризацію фауністичного різноманіття. За результатами експертного обговорення було вирішено за таку «модельну» територію взяти Українське Полісся. Головну увагу було звернено на ту частину цієї природ-

но-географічної зони, яка майже повністю розташована у басейні р. Прип'ять.

За площею з її природною рослинністю та її збереженістю Українське Полісся поступається лише Карпатам. Це самобутній регіон, на теренах якого зберігається значна кількість бореальних видів і угруповань – лісових, болотних та лучних. Українське Полісся простягається із заходу на схід на 750 км і є важливою складовою транснаціонального екокоридору Європи. Ці території – один із головних міграційних шляхів птахів й осередок специфічної післяльодовикової рослинності та флори. Водноболотні угіддя Полісся разом із широкими заболоченими заплавами р. Прип'ять та її численними притоками розташовані на шляхах міграції водно-болотних птахів, які зимують у Західній Європі і летять на гніздування на північ Євразії. Тому екосистеми Полісся мають особливу цінність для підтримання загальноєвропейських та загальнопланетних біосферних процесів. Тут забезпечено збереження 98 видів рослин і грибів та 145 видів тварин, занесених до Червоної книги України, або 18 та 33% їх загальної кількості, відповідно.

Разом з тим унаслідок глобальних змін клімату Полісся в останні роки різко зросла частота природних катастроф високої руйнівної сили. Нерегулярні опади та високі літні температури призвели до висихання торфових боліт і водно-болотних угідь. У результаті цього зросла пожежна небезпека. Пожежі загрожують не лише здоров'ю і життю людей, але і всій живій природі. Наразі вже помічено зменшення видового різноманіття регіону. Порушення природного водного балансу призвело до занадто високого рівня води (повеней) навесні й незвичайно низького рівня води влітку. Одним із наслідків трансформації водного балансу ґрунту стала посуха, яка веде до втрати біорізноманіття.

Загалом сучасні кліматичні зміни є додатковим стресом для видів, які знаходяться під загрозою вимирання. Особливе занепокоєння викликають досить чутливі до вологості амфібії. Прогноз майбутніх кліматичних змін в Європі показує, що для багатьох амфібій можуть скластися сприятливі умови в північній половині континенту. Там пануватимуть оптимальні для них співвідношення тепла й вологості, а їх ареали відповідно змістяться на північ (Araújo et al., 2006). Успішне переселення може відбутися лише за умови неперервності територій, придатних для існування амфібій. Слід константувати, що на сьогодні вони фрагментовані. Отже, якщо не створити дієву екологічну мережу й заздалегідь не передбачити відповідні природно-заповідні об'єкти – вимирання земноводних не уникнути.

Для виявлення різного ступеня втрат біологічного різноманіття на перерахованих вище об'єктах природно-заповідного фонду розглянемо батрахофауну регіону і через «моделювання екологічної ніші». Згодом з'ясуємо реакцію окремих видів земноводних на кліматичні трансформації в існуючих біотопах. Так ми зможемо провести ранжування перспективності природоохоронних об'єктів для довготривалого збереження біологічного різноманіття та убезпечення його від локального вимирання в умовах кліматичних змін до 2050 р.

На теренах Полісся типовими є 12 видів земноводних (GBIF, Табл. 4.1; Горбань, 2009; Решетило, 2009; Некрасова, 2015). Батрахофауна Полісся – 65% видового різноманіття земноводних фауни України. Особливої охорони потребує не лише ропуха очеретяна – занесена до Червоної книги України (2009), а й інші види, які потерпають від різного роду антропогенних впливів. Серед них – зміна гідрологічного режиму й погіршення стану водойм, інтродукція хижаків та патогенних організмів, трансформація наземних екосистем тощо.

Таблиця 4.1

**Видовий склад батрахофауни Українського Полісся,
використаного для «модельовання екологічної ніші»**

(* – оригінальні та літ. данні, GBIF, Європа;

** – батьківський вид та гібрид *Pelophylax*)

№	Назва	Кількість геокодованих даних*
1.	<i>Bombina bombina</i> (Linnaeus, 1761), Кумка червоночерева	783
2.	<i>Bufo bufo</i> (Linnaeus, 1758), Ропуха звичайна	2254
3.	<i>Bufotes viridis</i> (Laurenti, 1768), Ропу- ха зелена	1332
4.	<i>Epidalea calamita</i> (Laurenti, 1768), Ропуха очеретяна	962
5.	<i>Hyla orientalis</i> (Bedriaga, 1890), Квакша східна	1117
6.	<i>Lissotriton vulgaris</i> (Linnaeus, 1758), Тритон звичайний	1691
7.	<i>Pelobates fuscus</i> (Laurenti, 1768), Ча- сничниця	434
8.**	<i>Pelophylax kl. esculentus / lessonae</i> , Їстівна / ставкова жаби	1304
9.	<i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771), Жаба озерна	1405
10.	<i>Rana arvalis</i> Nilsson, 1842, Гостро- морда жаба	1254
11.	<i>Rana temporaria</i> Linnaeus, 1758, Тра- в'яна жаба	1979
12.	<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768), Тритон гребінчастий	1368
Разом:		15883

Для батрахофауни Полісся ми створили біокліматичні комп'ютерні моделі на основі прогнозованих кліматичних трансформацій до 2050 р. Було використано наявну інформацію з території усієї Європи та матеріали власних польових досліджень в Україні. До уваги було взято дані про 15883 місць знаходжень амфібій. Теоретична і матеріальна база дослідження створили передумови для адекватної характеристики екологічної ніші кожного виду та його біокліматичного потенціалу. На окремих територіях результати представлено у вигляді кругових діаграм. У них зазначено наскільки біокліматичні умови сприятливі сьогодні та якими вони можуть стати до 2050 р. для кожного (наявного чи гіпотетично-наявного) виду.

Для статистичної обробки матеріалу використано пакет PAST, Statistica (Hammer et al., 2001). Інтегральну характеристику об'єктів мережі природно-заповідних територій зроблено за допомогою модуля – «факторний аналіз» згідно ступеня придатності майбутнього середовища існування для батрахофауни. Цей комплекс моделей і методів забезпечив «стиснення» інформації, що міститься в матричному вигляді у табличних даних. Метод виявляє k компонент – факторів, що пояснюють усю дисперсію й кореляцію вихідних k випадкових величин. При цьому компоненти побудовано в напрямі спадання частки, що пояснюється ними, сумарної дисперсії вихідних величин. Це створює можливості для обмеження декількома першими компонентами чи навіть однією.

Розроблено чимало алгоритмів моделювання просторового поширення видів. Серед них широке застосування знайшов метод максимальної ентропії (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011), реалізований у програмі Maxent на принципах машинного навчання (Рис. 4.1). У ньому геокодовані реєстрації присутності виду (англ. *presence-only data*) є вихідними даними для моделювання. Використо-

вуючи інформацію про параметри середовища у відомих місцезнаходженнях виду, програма визначає ймовірність його присутності на решті території за допомогою знаходження оптимального розподілу ймовірностей (максимальна ентропія) збігу параметрів середовища (Phillips et al., 2004; Elith et al., 2011). Результатом роботи алгоритму є модель придатності середовища існування (англ. *habitat suitability*). У логістичному форматі вона візуально представлена ГІС-картою з прогностичними можливостями присутності виду у кожному осередку растру (англ. *grid cell*) в інтервалі ймовірностей від 0 до 1.

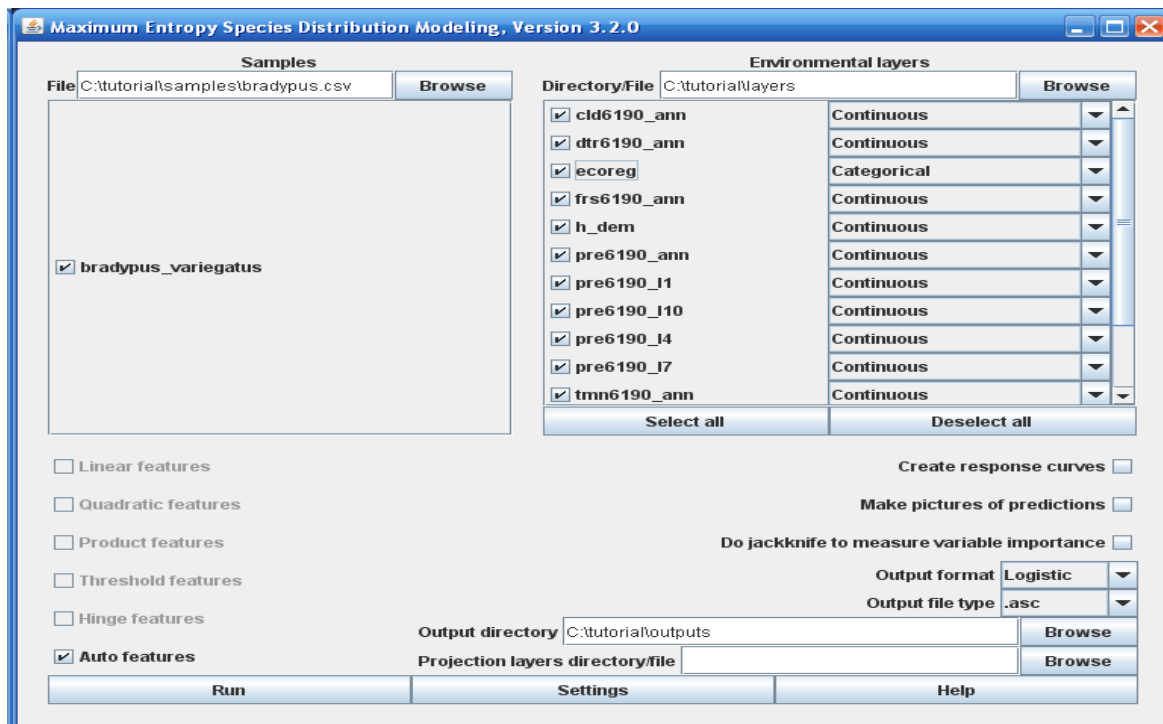


Рис. 4.1. Інтерфейс комп'ютерної програми Maxent (Phillips et al., 2006).

Якість моделей оцінювали за ROC-аналізом (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006). Кількісну інтерпретацію ROC дає показник AUC – площа, обмежена ROC-кривою та віссю частки помилкових позитивних класифікацій. Чим вищий показник AUC, тим якісніший класифікатор. Моделі зі значенням AUC вище 0,7 вважають прийнятними.

ми (Swets, 1988). За дані про відсутність виду було взято рандомізовану вибірку з 10000 фонових точок («псевдо-відсутність»), які представляють всю різноманітність доступних умов навколишнього середовища. Моделі створюють у 10 повторях, які потім усереднюють. За порогове значення прогнозованої ймовірності перебування (англ. *habitat suitability*) найчастіше брали 10-й перцентиль.

Формування ареалів є багатовимірним явищем, яке залежить від низки біотичних та абіотичних факторів. Через це вичерпне прогнозування кінцевих результатів є досить складним завданням. Кліматичні фактори визначальні первинні чинники з потужним впливом на картину розселення більшості видів. Тому на сьогодні активно розробляють методи екологічного просторового моделювання ареалів, які ґрунтуються на кліматичних чинниках (Hijmans et al., 2005; Phillips et al., 2006, 2008), вони й представлені у цьому дослідженні.

Найвідомішими кліматичними чинниками вважають динаміку температур та вологості (опадів). Параметри температури та вологості – основні лімітуючі фактори поширення видів (Леме, 1976). Використання лише цих показників буде недостатнім для створення моделей із біологічним сенсом. Температура й вологість у своїй дії на організми найчастіше модифікують одна одну. Тому існують умови оптимумів температури й вологості, при яких найнижча смертність, найбільша тривалість життя та плодючість, найшвидші темпи розвитку тощо (Дажо, 1975). Зазначене ускладнення певним чином компенсують використанням параметрів навколишнього середовища т. з. біокліматичних показників, які поєднують фактори температури та вологості (наприклад, *«середня температура найвологішого кварталу»*, *«опад найтеплішого кварталу»* тощо). Проблему можна вирішити низкою кліматичних баз даних, зокрема WorldClim (Hijmans et al.,

2005), CliMond (Kriticos et al., 2012), ENVIREM (Title, Bemmels, 2018), MERRAclim (Vega et al., 2017) та кліматичними показниками з агроекологічної бази GAEZ (IIASA/FAO, 2012).

Із цього переліку для цілей моделювання найчастіше використовують WorldClim – глобальні кліматичні дані з мінімальною, максимальною і середньою температурою, опадами, висотою над рівнем моря, набір із 19 похідних біокліматичних показників (BIOCLIM) й дані про клімат минулого та майбутнього.

Для визначення рівня мультиколінеарності ми провели розрахунки дисперсійно-інфляційного фактору (Naimi et al., 2014). Для цілей ГІС-моделювання з бази CliMond було обрано біокліматичні показники та відповідні растрові файли, які відповідали завданням проекту. Вони містять дані про сучасний та прогнозований клімат до 2030 р. (Kriticos et al., 2012).

Для виконання завдань проекту було обрано модельну територію Західного регіону Полісся. На ній існує мережа природно-заповідного фонду. До її складу станом на 01.01.2014 року віднесено 694 території та об'єкти загальною площею 416,3 тис. га, в тому числі 53 об'єкти загальнодержавного значення площею 197,6 тис. га і 641 об'єкт місцевого значення площею 218,7 тис. га (Мельнійчук, Безсмертнюк, 2015). Природно-заповідний фонд тут представлений майже усіма категоріями заповідних територій крім біосферних заповідників. Серед модельних об'єктів природно-заповідної мережі ми розглянули три природні заповідники (Поліський, Черемський та Рівненський з чотирма відділеннями) та три національні природні парки (Шацький, Цуманську Пущу та Прип'ять-Стохід).

4.2. Перспективи збереження біологічного різноманіття батрахофауни в модельних об'єктах природно-заповідної мережі Західного Полісся

Поліський ПЗ – природно-заповідний об'єкт загальнодержавного значення знаходиться в Олевському та Овруцькому районах Житомирської області й має площу 20104 га. Фауна хребетних тварин Поліського природного заповідника та його околиць складає 279 видів (45 – ссавців, 195 – птахів, 12 – земноводних, 7 – плазунів, 19 – риб). Із них 46 видів хребетних занесено до Червоної книги України (2009), 7 – до Червоної книги МСОП (2005), 7 – до Європейського Червоного списку (1991), 6 – згадано у Вашингтонській конвенції СІТЕС (1973), 87 – у Боннській конвенції (1979), 229 – у Бернській конвенції (Додатки II, III) (1979). Батрахофауна заповідника досить ретельно вивчена (Некрасова, 2015). Серед амфібій широко розповсюджена і домінує жаба гостроморда, *Rana arvalis* (65%), а ропуха очеретяна не виявлена (моделювання підтверджує низьку імовірність її перебування). За біокліматичними прогнозами 2,5 разове погіршення умов очікується якраз стосовно жаби гостромордої, що безперечно призведе до негативних біоценотичних наслідків. Майже не потерпатимуть від змін клімату ропуха зелена, кумка червоночерева та жаба озерна.

Черемський ПЗ знаходиться у північній частині Маневицького району Волинської області. Його загальна площа складає 2975,7 га. За попередніми даними із хребетних тварин у заповіднику мешкають: 18 видів риб, 12 – земноводних, 7 – плазунів, 141 – птахів та 42 – ссавців. Тут виявлено 21 вид хребетних тварин, занесених до Червоної книги України. Територія заповідника цікава тим, що тут виявлена ропуха очеретяна. Цей вид занесено до Червоної книги України (2009). Біокліматичні перспекти-

ви перебування ропухи очеретяної у Черемському ПЗ не-
втішні. За нашим прогнозом наступить двохразове погір-
шення умов довкілля порівняно з сучасним станом. Разом
з тим для решти видів батрахофауни очікувані кліматичні
зміни не такі загрозливі. Серед них – жаба гостроморда,
для якої територія заповідника може стати рефугіумом.
Майже не зазнають змін біотопи мешкання ропухи зеле-
ної, кумки червоночеревої та жаби озерної.

Рівненський ПЗ – другий за розміром природний за-
повідник в Україні. Він знаходиться на півночі Рівненсь-
кої області, в межах Володимирецького, Дубровицького,
Сарненського та Рокитнівського районів. У своєму складі
має чотири відділення площею 42 288,7 га. Фауна хребет-
них заповідника представлена 221 видами тварин із, яких
до Червоної книги України занесено 25 видів. Натомість
до Європейського червоного списку занесено 7 видів. У
межах заповідника мешкають представники 124 видів
тварин, що підлягають особливій охороні за Бернською
конвенцією та 15 – віднесених до «червоного» списку
Міжнародного союзу охорони природи (МСОП).

Відділення «Біле озеро» Рівненського ПЗ. Тут меш-
кають 11 видів амфібій, а серед них – ропуха очеретяна,
яка занесена до Червоної книги України (2009). За нашим
прогнозом очікуємо значного погіршення (у 2,2 рази) біо-
кліматичних умов перебування ропах порівняно з сучас-
ним станом. Загалом для інших видів батрахофауни зроб-
лений прогноз відносно позитивний. Зокрема жаба гост-
роморда, квакша звичайна, тритон звичайний відчують
незначні зміни у біотопах їхнього перебування. Майже не
зміняться умови для перебування ропухи зеленої, кумки
червоночеревої та жаби озерної.

Відділення «Сомине» Рівненського ПЗ. Із зазначених
вище видів тут поки-що відсутні реєстрації жаби озерної.
Зате на території відділення водиться ропуха очеретяна,

яка занесена до Червоної книги України (2009). За нашими прогнозами зміна кліматичних умов може призвести до істотного погіршення стану перебування цього виду (у 2,4 рази), часничниці (у 2,7 рази) і жаби гостромордої (у 2,5 рази). Майже не зазнають змін біотопи мешкання ропухи зеленої, кумки червоночеревої та жаби озерної.

Відділення «Сира Погоня» Рівненського ПЗ. У відділенні зафіксовано 9 видів амфібій. Екологічна ситуація тут приблизно така ж, як у відділенні «Сомине». Найбільшу загрозу біокліматичні зміни принесуть для ропухи очеретяної, часничниці та жаби гостромордої. Майже не зазнають змін умови перебування ропухи зеленої, кумки червоночеревої та жаби озерної.

Відділення «Переброди» Рівненського ПЗ. У відділенні інвентаризовано 10 видів амфібій. Екологічна ситуація тут приблизно така ж, як у відділеннях «Сомине» та «Сира Погоня». Найбільшу загрозу біокліматичні зміни несуть для ропухи очеретяної (стан перебування для виду погіршиться майже у 3 рази), часничниці (2,2) та жаби гостромордої (2,5). Зміна умов не вплине на поширення ропухи зеленої, кумки червоночеревої та жаби озерної.

Шацький НПП знаходиться у Шацькому районі Волинської області. Загальна площа парку складає 48 977 га. Фауна хребетних НПП представлена 352 видами, зокрема: 30 – риб, 12 – земноводних, 7 – плазунів, 241 – птахів, 62 – ссавців. У Червону книгу України занесено 34 види тварин. У міжнародні природоохоронні списки включено: до додатків I і II Бернської конвенції—154 види тварин, Європейського Червоного списку глобально вразливої фауни і флори – 9 видів. Із зазначених представників батрахофауни тут зареєстровано всі, в тому числі й ропаху очеретяну, яку занесено до Червоної книги України (2009). За нашими прогнозами, біокліматичні умови перебування останньої зміняться. Негативні наслідки в

НПП будуть, але не такі різкі, як передбачено для інших природоохоронних територій Західного Полісся (у 1,8 рази). Те саме очікує й решту видів батрахофауни, крім тритона гребінчастого та часничниці. Мінімальні зміни торкнуться таких видів: ропуха звичайна, тритон звичайний, жаба гостроморда, квакша звичайна, ропуха зелена, кумка червоночерева та жаба озерна. В умовах кліматичних змін для цих видів територія Шацького НПП відіграватиме роль рефугіуму.

НПП «Прип'ять-Стохід» знаходиться на території Любешівського району Волинської області. Загальна площа парку становить 39 315,5 га. Загальна кількість зареєстрованих видів фауни складає 255 видів хребетних, з них променеперих риб – 24, саламандрових (хвостатих) – 2, безхвостих земноводних – 9, черепах – 1, плазунів – 4, птахів – 186, ссавців – 29. На цій території водиться 28 видів тварин, записаних до Червоної книги України. Крім того тут мешкають: 220 видів хребетних із Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі; 49 – птахів із Угоди про збереження афро-євразійських мігруючих водно-болотяних птахів; 1 – кажан із Угоди про збереження кажанів в Європі; 27 – хребетних із Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення. Із зазначених вище представників батрахофауни парку зареєстровані всі, в тому числі й ропуха очеретяна, яка занесена до Червоної книги України (2009). Зміни екологічних умов тут будуть такими, які ми спрогнозували стосовно Шацького НПП. Водночас для ропухи очеретяної вона не є небезпечною (погіршення стану перебування цього виду прогнозуємо у 2,3 рази). Кліматичні зміни матимуть незначний вплив на перебування таких земноводних як: жаба гостроморда, квакша звичайна, тритон звичайний, ропуха зелена, кумка червоночерева та жаба озерна.

НПП «Цуманська Пуща» – знаходиться в межах Ківерцівського району Волинської області, а його площа складає 34 467,89 га. За узагальненими даними на території Цуманської Пущі виявлено 249 видів хребетних тварин, з них кісткових риб – 23, земноводних – 11, плазунів – 7, птахів – 166, ссавців – 42. Тут зареєстровано 30 видів зі списків Червоної книги України, 17 – з Європейського Червоного списку, 6 – з Червоного Списку МСОП, 5 – з додатку II Бернської конвенції. Із розглянутого списку батрахофауни тут зареєстровано всіх, в тому числі й червонокнижну ропуху очеретяну. Ми прогнозуємо, що біокліматичні умови перебування останньої зміняться в негативний бік (погіршення умов у 2 рази). Кліматичні зміни матимуть незначний вплив на перебування таких видів як: жаба гостроморда, квакша звичайна, тритон звичайний, ропуха звичайна, ропуха зелена, кумка червоночерева, жаба озерна.

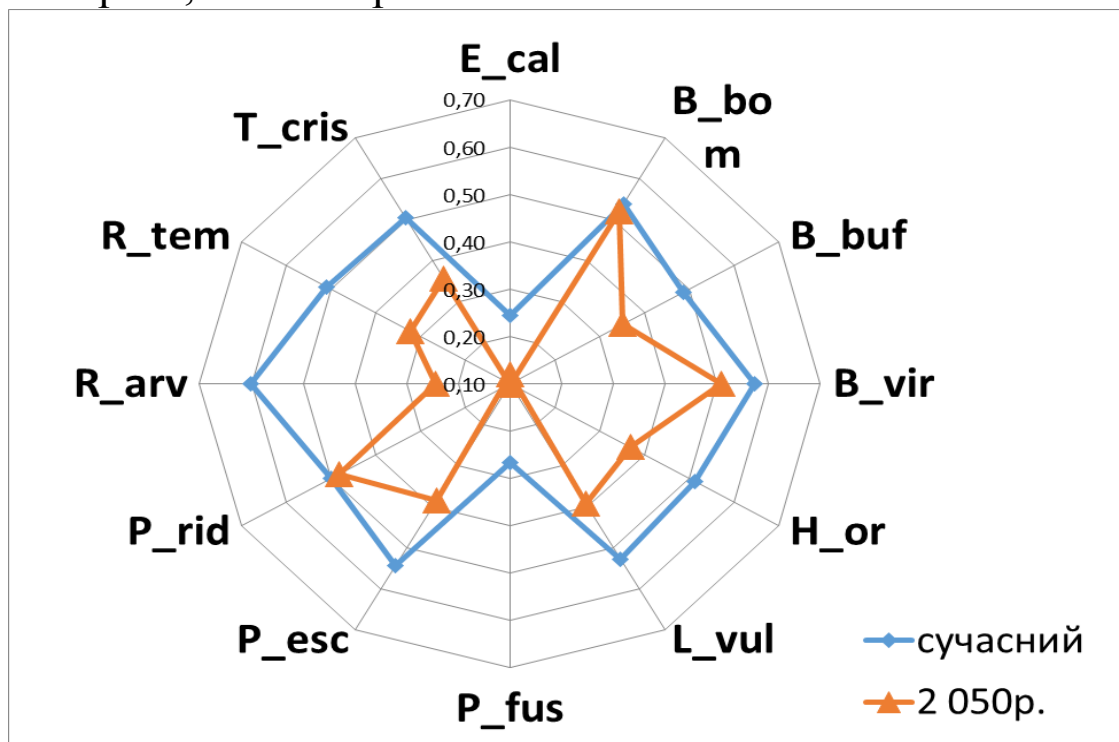


Рис. 4.2. Прогнозовані показники біокліматичних змін у Поліському ПЗ до 2050 р.

Як приклад на круговій діаграмі для Поліського ПЗ зазначено наскільки сучасні (квадратні позначки) та майбутні (трикутні позначки) біокліматичні умови сприятливі для всіх видів земноводних Полісся: **B_bom** – *B. bombina*, **B_buf** – *B. bufo*, **B_vir** – *B. viridis*, **E_cal** – *E. calamita*, **H_arb** – *H. orientalis*, **L_vul** – *L. vulgaris*, **P_esc** – *Pelophylax kl. esculentus/lessonae*, **P_fus** – *P. fuscus*, **P_rid** – *P. ridibundus*, **R_arv** – *R. arvalis*, **R_tem** – *R. temporaria*, **T_cris** – *T. cristatus*.

На діаграмі проілюстровано прогностні можливості присутності кожного із 12 видів земноводних в інтервалі ймовірностей від 0 до 1. Візуалізовані висновки придатності території Поліського ПЗ до 2050 р. будуть такими:

а) площа придатної для життя земноводних території загалом зменшиться;

б) майже не постраждають – *B. bombina*, *P. ridibundus*;

в) найвища динаміка погіршення – *R. arvalis*, *R. temporaria*;

г) потраплять у небезпечну зону – *E. calamita*, *R. arvalis*;

д) може зникнути з Поліського ПЗ – *P. fuscus*.

4.3. Ранжування модельних об'єктів природно-заповідної мережі Західного Полісся і збереження біологічного різноманіття батрахофауни

За прогнозом біокліматичних змін до 2050 р., умови перебування переважної більшості видів батрахофауни в усіх розглянутих об'єктах природно-заповідної мережі Західного регіону Полісся стануть гіршими. У середньому цей показник сьогодні складає $0,52 \pm 0,01$, а згідно з результатами моделювання до 2050 р. він знизиться до $0,41 \pm 0,01$ (критерій Ст'юдента становить 7,2 – достовірний, тобто $p < 0,01$).

Водночас погіршення екологічних умов проживання стосуватиметься не всіх видів амфібій. На усій території Західного Полісся зміна умов суттєво не вплине на перебування ропухи зеленої, кумки червоночеревої та жаби озерної. Значних територіальних і чисельних втрат на сході регіону може зазнати жаба гостроморда. На заході умови існування для цього виду за параметрами клімату 2050 р. залишаться задовільними і об'єкти природно-заповідної мережі на цій території слугуватимуть їй рефугіумом.

Негативні тенденції змін екосистеми найпотужніше торкнуться ропухи очеретяної. За прогнозом до 2050 р. її майже всюди очікує значне погіршення умов мешкання. Прогнозуємо, що найменші негативні зміни в екосистемах для існування цього виду відбудуться на території Шацького НПП. Для гарантованого збереження ропухи очеретяної на теренах України в довготривалій перспективі необхідно розширити площу Шацького НПП. До його складу необхідно включити території заліснених та відкритих біотопів з легкими піщаними ґрунтами. Насамперед це дюнні ділянки, околиці та галявини соснових лісів, парки, поля, городи, піщані кар'єри. Попри досить широкий ареал мешкання ропухи очеретяної виду притаманна певна об-

меженість екологічної пластичності. До спектру біотопів ропухи входять антропогенні ділянки – населені пункти, городи, картопляні поля, сади тощо. Натомість обов'язковим фактором існування виду є сполучення із легкими супіщаними ґрунтами, неглибокими водоймами та відкритими ділянками лісової зони чи місцями зведених лісів (Заброда, 1980).

Доцільно продовжити пошук нових територій для ропухи очеретяної в межах Волинської та Львівської обл. й удосконалювати чи створювати там природно-заповідні об'єкти.

З точки зору менеджменту важливо зосередити кошти й зусилля на сталому збереженні популяцій ропухи очеретяної в Шацькому НПП та на прилеглих до парку територіях. За нашим прогнозом імовірність успішного перебування виду тут до 2050 р. буде найвищою.

Результати «моделювання екологічної ніші» різного ступеня втрат батрахофауни деяких природно-заповідних об'єктів України засвідчили, що існуючі види земноводних на різних територіях будуть реагувати на майбутні кліматичні зміни видоспецифічно.

Для виявлення опірності екосистем майбутнім кліматичним змінам та придатності об'єктів-територій до збереження необхідних екологічних умов для існування холонокровних хребетних тварин в методологію дослідження необхідно широко упроваджувати зазначений вище інтегральний показник. Він оптимізує організаційні, фінансові та наукові зусилля стосовно головного призначення природоохоронних об'єктів – довготривалого збереження біологічного різноманіття та забезпечення його від локального вимирання.

Інформація (*об'єкти – види – прогнозована придатність середовища*) знаходиться в матричному вигляді у таблицях і опрацьована факторним аналізом. Перша компонента пояснює майже 89% сумарної дисперсії вихідних

величин, тому ми можемо обмежитися нею для відповідної інтегральної характеристики зазначених об'єктів. Її можна додатково розглядати ще й як вектор «сприятливості». Амплітуда змін – від негативних величин з майбутніми «мало сприятливими» біокліматичними змінами для батрахофауни, до позитивних – де вони будуть «сприятливішими» і умови перебування амфібій залишаться задовільнішими.

Розподіл придатності природоохоронних територій за інтегральним показником (Рис. 4.3.) дає підстави для

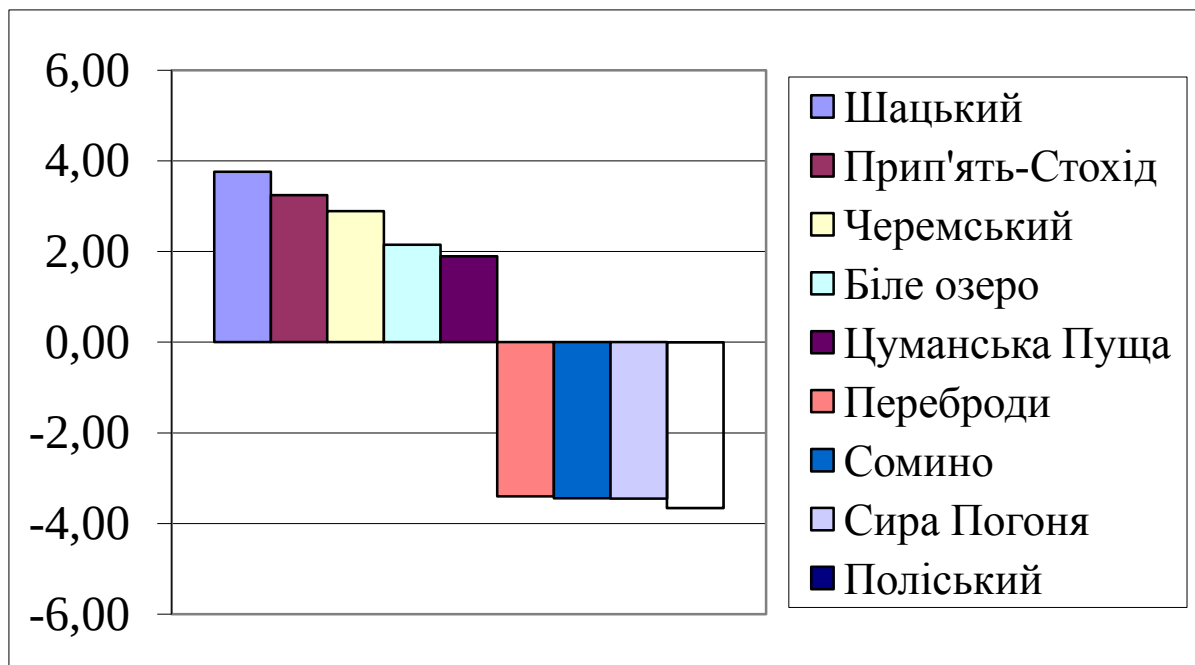


Рис. 4.3. Ранжування об'єктів природно-заповідної мережі Західного Полісся за інтегральним показником «сприятливості» батрахофауни в умовах біокліматичних змін до 2050 р.

попереднього висновку, що найкращі умови для мешкання земноводних залишаться в Шацькому НПП. Придатність оселищ через 30 років послідовно знизиться від кращого до гіршого: НПП Прип'ять-Стохід, Черемський ПЗ, відділення «Біле озеро» Рівненського ПЗ та НПП Цуманська Пуща. Водночас зі зміною клімату ще гірша еко-

логічна ситуація складеться для земноводних у Поліському ПЗ та відділеннях – «Сомине», «Сира Погоня» та «Переброди» Рівненського ПЗ.

Проведене ранжування зазначених об'єктів показує, що в перспективі за умов кліматичних змін (до 2050 р.) вищі потенції бути функціонально успішними і забезпечувати довготривале збереження біологічного різноманіття батрахофауни Західного Полісся мають НПП Шацький та Прип'ять-Стохід, Черемський ПЗ, відділення «Біле озеро» Рівненського ПЗ та НПП «Цуманська Пуща». Тому саме на цих об'єктах необхідно зосередити увагу й посилити організаційно-менеджерську, фінансову та наукову роботу, яка забезпечить успішну адаптацію батрахофауни до кліматичних змін наступного тридцятиріччя.

4.4. Рекомендації та прогнози щодо створення природно-охоронної мережі та територій-рефугіумів

Найактуальнішим напрямом збереження популяцій вразливих тварин Червоної Книги України є створення та розширення об'єктів Смарагдової мережі (Emerald Network EN). Резолюції №4 та №6 Бернської конвенції (1979 р.) передбачають охорону близько 25% видів тварин та рослин, які входять до ЧКУ на територіях мереж Смарагдової (Емеральд) та Натура 2000 (Natura 2000). У списках фауни «Резолюцій...» переважають хребетні тварини. Тому мережі Смарагдова та Натура 2000 залишаються надзвичайно важливим інструментом для збереження територій з великою екологічною цінністю. Вони складають основу для співпраці в рамках спільної мережі, яка охоплює всю Європу. В Україні Мережу Емеральд створюють у зв'язку із зобов'язаннями в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. На сьогоднішній день Мережа Емеральд займає близько 8% території нашої країни. У її складі близько 50% ПЗФ України. Це переважно природні та біосферні заповідники, регіонально-ландшафтні парки, заказники, національні природні парки тощо. За вимогами ЄС Мережа Емеральд має покривати 25% території України. Її перевага полягає у комплексній охороні видів і важливих для них оселищ. Менеджмент-плани необхідно розробляти для кожної території й виду окремо. У ході досліджень було виявлено, що найціннішими територіями-рефугіумами стануть долини річок оскільки вони найменш антропогенно-трансформовані (Некрасова, Титар, 2016). Річкові долини нерозорані й можливостей для їх сільськогосподарського використання значно менше, ніж на інших територіях. На подолі зосереджене значне біорізноманіття тому, що більшість прирічкових зон важкодоступні для людини. Вони служать екологічними ко-

ридорами на шляхах міграцій великих хребетних тварин. Долини великих річок – перспективний прихисток і місце розмноження амфібій. На фоні тенденції висихання дрібних водних артерій внаслідок потепління та діяльності людини значення низькоділь з часом зростає. У долинах річок вразливі амфібії першими реагують на зміни довкілля але можуть ще упродовж тривалого історичного проміжку часу підтримувати необхідну чисельність своїх популяцій. Розробка нових та розширення існуючих об'єктів EN важливий і один із перших кроків збереження біорізноманіття на цих територіях. До того ж розширення EN – безпосереднє завдання України щодо виконання своїх зобов'язань перед ЄС.

Проте визначення і обґрунтування нових територій не вичерпує перелік усіх зусиль щодо охорони біорізноманіття. До важливих природоохоронних заходів також належать: екологічна просвітницько-роз'яснювальна робота з місцевим населенням на місцях (екскурсії, банери, екос-тежки, лекції в місцевих закладах початкової освіти, залучення волонтерів та налагодження каналів зв'язку між місцевими жителями і відповідними науковими структурами) та через мас-медіа (соціальні фільми, відео-уроки, ролики, телепередачі тощо). Охорона природи має стати загальнонаціональним трендом і бути в моді.

На регіональному та загальнодержавному рівні важливо створювати так звані буферні зони навколо об'єктів ПЗФ. Розширення території об'єктів ПЗФ, створення охоронних зон навколо місць гніздування птахів, нересту амфібій та риб, адаптація дорожньої інфраструктури до зменшення рівня фрагментарності природних ареалів тварин і розриву популяцій з метою забезпечення генетичного обміну та підтримання необхідного рівня мінливості для існування стабільних популяцій – перспективний і необхідний напрям охорони біорізноманіття. Важливим

кроком на шляху до реалізації цього напрямку є розробка відповідного законодавства з імплементації норм Смарагдової мережі (EN) й адаптація Українського законодавства до реалій сьогодення.

Для збереження червонокнижних видів потрібно розширювати існуючі та створювати нові крупні об'єкти ПЗФ. Організація розширених моніторингових досліджень на території цих об'єктів із залученням коштів для роботи біологів, екологів України та експертів грантових програм оптимізує природоохоронну діяльність. Залучення сучасних технологій стеження й мічення тварин суттєво поліпшить адекватну оцінку динаміки популяцій. Участь експертів профільних установ з геоінформаційного моделювання та інших фахівців небіологічного спрямування розширяють рамки всебічного вирішення поставлених завдань збереження біорізноманіття. В умовах масштабних кліматичних змін розширення мережі природоохоронних об'єктів та дотримання природоохоронних режимів сприятиме захисту рідкісних видів від прямого антропогенного пресу, оскільки вирішення кліматичної проблеми є надзвичайно тривалим процесом.

У прогресивній природоохоронній практиці широко використовують розробку програм зі штучного розведення й підтримки диких популяцій тварин шляхом реінтродукції. Штучне розведення риб та ссавців складне і занадто дороге. Натомість створення ергономічних лабораторій з розведення рептилій, амфібій та інших дрібних видів сприятиме ефективному збереженню та відтворенню природних популяцій тварин. Позитивним прикладом природоохоронних зусиль стали програми боротьби з наслідками епідемії хітридіомікозу земноводних. Хвороба, спричинена грибом *Batrachochytrium dendrobatidis* (хітридіомікоз), знищила безліч популяцій амфібій в США, Латинській Америці та Австралії. Вона була зареєстрована

на навіть у Польщі та Латвії. Ситуація із збудником епідемії земноводних в Україні поки що невідома.

Створення і підтримку баз даних щодо розповсюдження рідкісних видів вважають важливими складовими природоохоронної роботи. Вони необхідні для моделювання пріоритетності найцінніших територій, збереження біорізноманіття, прийняття вчасних заходів для їх охорони. Такі бази будуть підґрунтям для відслідковування динаміки поширення певних видів і обґрунтування рішення з надання їм особливих охоронних статусів.

Завдяки консолідації зусиль фахівців з різних сфер, популяризації охорони видів серед місцевого населення та комплексній роботі з розширення і створення нових об'єктів державою та приватними особами на місцях програма збереження біорізноманіття матиме реальні інструменти для виконання своїх функцій.

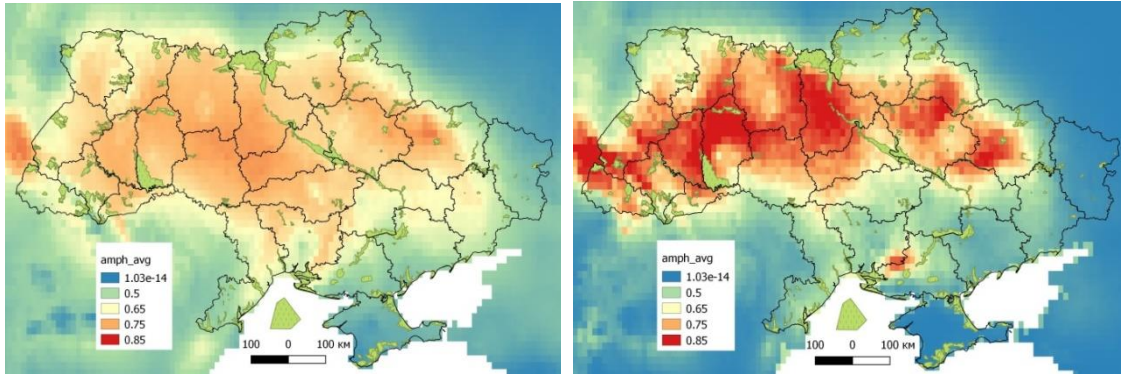
Земноводні, Amphibia

На прикладі модельних раритетних видів амфібій ми показали, що кліматичні зміни в майбутньому негативно вплинуть на ареали їх поширення. За прогнозом площа потенційно придатних для мешкання оселищ всіх червонокнижних видів амфібій скоротиться удвічі. На Півдні України вони зникнуть майже повністю (ГІС-карта 4.4.). Скоротяться ареали маргінальних видів – ропухи очеретяної, тритонів, кумки. У найзагрозливішому стані опиняться тритони *T. dobrogicus*, *T. cristatus*, *T. karelinii*, *L. montandoni* та *S. salamandra*. Тому для збереження популяцій амфібій надважливим є захист від меліоративного осушення водно-болотного комплексу Київської, Житомирської, Вінницької, Тернопільської, Хмельницької, Полтавської, Харківської областей, територій Пониззя Дніпра й Карпат. Погіршиться біокліматична характеристика Південних Приморських регіонів. Для цих територій

потрібно впроваджувати план активних дій щодо збереження водно-болотного комплексу (охорона долин річок та джерел, які наразі мають сильний антропогенний прес тощо) та розширення мережі ПЗФ.

А

Б



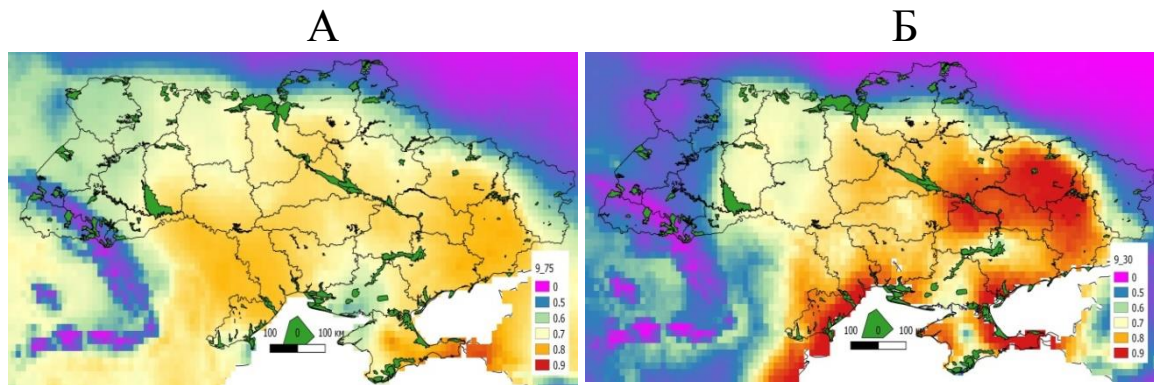
ГІС-карта 4.4. Комп'ютерні моделі поширення червонокнижних видів земноводних в Україні за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б).

Території, де біокліматичні умови сприятливі для виду, позначені червоним та помаранчевим кольорами.

Плазуни, Reptilia

Аналогічні тенденції розвитку подій передбачаємо щодо поширення червонокнижних видів плазунів. Очікуємо майже дворазове скорочення територій зі сприятливими біокліматичними для них умовами (ГІС-карта 4.5.). Але більшість червонокнижних плазунів мешкає на Півдні України. Тому найціннішими у майбутньому будуть Приморські узбережжя лиманів та естуарії річок Південний Буг, Дністер, Дніпро, а на Сході України – Сіверський Донець. Втратять свою привабливість для герпетофауни території центральної частини Кіровоградської та Запорізької областей. У найзагрозливішому стані опиняться популяції рептилій – *Z. longissimus*, *V. b. nikolskii*, *C. austriaca*, та *L. viridis*. Ми з'ясували, що більшість плазунів мешкає на екотоних ділянках із найсильнішим ан-

тропогенним навантаженням. Тому при плануванні заповідних територій необхідно враховувати цей чинник і розробляти активний план щодо збереження цінних територій.



ГІС-карта 4.5. Комп'ютерні моделі поширення червонокнижних видів плазунів в Україні за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б). Території, де біокліматичні умови сприятливі для виду, позначені насиченішим червоним та помаранчевим кольорами.

ПРИКІНЦЕВІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу літературних даних щодо прогностичних сценаріїв змін клімату в Україні виявлено особливості динаміки трансформацій кліматичних та зоогеографічних зон. За емпіричним сценарієм температура повітря наприкінці ХХІ ст. може бути вищою за сучасну взимку у зоні мішаних і широколистяних лісів, лісостепу в середньому місячному вирішенні на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, у степу на $1,2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. У весняні місяці підвищення проходитиме повільніше і складати за зонами від $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Літня температура буде вищою, порівняно з сьогоденням в зоні мішаних та широколистяних лісів на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, у лісостепу і степу до $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. За цим сценарієм осіннє зростання температури буде незначним. Статистична похибка розрахунків для зимових і літніх місяців складає близько $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, для весни трохи менша, для осені – не розраховували. На підставі аналізу меж зміни температури того чи іншого місяця зроблено висновки, що окремі місяці до 2030 року можуть залишатися стабільними. Частіше траплятимуться аномальні кліматичні показники в різні сезони, але загальний температурний довгостроковий тренд буде відображати потепління. Зазначені особливості зміни клімату в Україні описано в Главі 1.

Для вирішення актуальних природоохоронних проблем, пов'язаних із впливом різних біокліматичних факторів на навколишнє середовище та вразливих видів амфібій та рептилій, ми використали різні ГІС технології. Найобґрунтованішим виявилось використання різних ГІС-програм для оцінки та прогнозу стану ареалів індикаторних видів амфібій та рептилій. Більшість ГІС-програм знаходяться у вільному використанні – **Maxent**, **Diva-GIS**, **SAGA GIS**, **QGIS**, **NextGIS**, **Google Планета Земля**, **GoogleMaps**. Їх опис зроблено у Главі 2. Останні дві про-

грами використовують для збору геокодованих даних та створення Баз Даних.

У результаті вивчення та практичного застосування вищеперерахованих ГІС-програм було проаналізовано понад 19 тис. геокодованих даних стосовно 17 видів тварин, занесених до Червоної книги України (2009) й міжнародних «червоних» списків та 12 видів батрахофауни природно-заповідних об'єктів Західного Полісся. Для 8 видів «червонокнижних» і вразливих до глобальних кліматичних змін батрахо- та 9 видів герпетофауни України було створено біокліматичні комп'ютерні ГІС-моделі їх поширення. Виявлено кліматичні ризики існування представників батрахо- і герпетофауни України у найближчій перспективі (до 2030 та 2050 рр.), які описано у Главі 3. За нашими даними для кожного вразливого виду необхідно розробити окремий план охоронних дій тому, що більшість видів амфібій та плазунів мешкає поза територією ПЗФ. Для встановлення ступеня загрози глобального потепління й адекватного визначення стану лабільно-нестійких популяцій необхідно в Карпатах та на Півдні України розпочати програму моніторингу стану їх популяцій в характерних для них оселищах. Ідентифікація, моніторинг, цілеспрямовані наукові, організаційні, фінансові зусилля допоможуть розробити низку адаптаційних заходів стосовно збереження вразливих тварин України та їх оселищ.

Останнім часом особливого значення набуває нова для України форма охорони природи – Мережа Емеральд **EN** (Смарагдова мережа, яка є продовженням Natura 2000). Використання ГІС-технологій може забезпечити належний рівень щодо її розробки та створення необхідної бази даних. Методологію використання ГІС-програм для природо-охоронних цілей описано в Главі 4.

На прикладі Полісся показано, що у майбутньому найбільш постраждають види, які мешкають в лісових біотопах. За очікуваних до 2050 р. біокліматичних змін, умови перебування переважної більшості видів батрахофауни в усіх розглянутих об'єктах природно-заповідної мережі Західного регіону Полісся погіршаться. В умовах кліматичних трансформацій до 2050 р. найкращі природоохоронні перспективи у забезпеченні довготривалого збереження біологічного різноманіття батрахофауни та його збереження від локального вимирання мають – НПП Шацький та Прип'ять-Стохід, Черемського ПЗ, відділення «Біле озеро» Рівненського ПЗ та НПП Цуманська Пуща. На цих об'єктах необхідно зосередити наукові, організаційні та фінансові зусилля для збереження батрахо- і герпетофауни України. У майбутньому можуть бути функціонально успішними НПП – Шацький та Прип'ять-Стохід, а негативну ситуацію очікуємо у заповідниках – Поліський та ін. Відповідні об'єкти природно-заповідної мережі краю можуть слугувати рефугіумом для вразливих видів тварин за умов розробки відповідних планів щодо їх збереження. Тому саме на цих об'єктах необхідно запровадити ефективні заходи менеджменту, зосередити організаційно-адаптаційні зусилля до майбутніх кліматичних змін, здійснити територіальну оптимізацію (у т. ч. розширення).

Практична значимість виконаної роботи полягає у тому, що започатковано та розроблено методику, яку можна використовувати для отримання аналітичних прогнозів щодо стану та поширення червонокнижних та інших рідкісних видів тварин. Результати можуть бути використані Національною Комісією з Ведення Червоної книги України, Міністерством охорони навколишнього середовища для розробки заходів щодо збереження рідкісних видів тварин України, у звітах стосовно міжнародних зобов'язань.

ЗАКЛЮЧНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті студіювання з різними ГІС-програмами ми прийшли до висновку, що залежно від поставлених завдань та етапів їх реалізації необхідно здійснювати диференційований підхід до набору інструментів, доповнювати і перевіряти отримані результати.

2. На основі «моделювання екологічної ніші» було встановлено, що для всіх видів земноводних України площа ареалу у найближчому майбутньому скоротиться від 1,5 до 5 разів. У найзагрозливішому стані опиниться весь комплекс тритонів *Triturus cristatus*, насамперед тритон дунайський (*T. dobrogicus*), карпатський (*L. montandoni*) та саламандра плямиста (*S. salamandra*).

3. У зв'язку зі швидкими темпами скороченням ареалів представників комплексу *Triturus cristatus*, насамперед тритона гребінчастого, вже сьогодні та на найближчі 30 років цей вид необхідно включити до Червоної книги України.

4. З'ясовано, що для більшості видів плазунів зміни клімату в сторону потепління призведуть до різноманітних ефектів. Південні середземноморські види можуть розширити ареали свого мешкання шляхом просунення на Північ вздовж екокоридору Дніпра. Натомість північні чи лісові види скоротять території свого мешкання або можуть зникнути з більшості регіонів України взагалі.

5. В умовах глобального і регіонального потепління упродовж наступних 30 років скоротяться ареали деяких вразливих видів плазунів, зокрема: полоза лісового (ескулапового, *Z. longissimus*), гадюки Нікольського (*V. b. nikolskii*), мідянки (*C. austriaca*) та ящірки зеленої (*L. viridis*).

6. Існування полоза лісового *Z. longissimus* на теренах України знаходиться під загрозою. Для його збереження необхідно запровадити своєчасний і детальний моніторинг з перспективою розширення чи створення об'єктів

природно-заповідного фонду на всіх територіях, де він мешкає.

7. На прикладі модельних об'єктів ПЗФ Західного регіону Полісся здійснено аналіз поширення раритетних холонокровних тварин і виявлено, що в перспективі за умов кліматичних змін (до 2050 р.) можуть бути функціонально успішними НПП – «Шацький» та «Прип'ять-Стохід», а свою теперішню значимість втратить заповідник «Поліський» та ін.

8. Показано, що до 2030–2050 рр. «червонокнижну» ропуху очеретяну майже всюди очікує значне погіршення умов існування. Для гарантованого збереження виду в Україні на довготривалу перспективу необхідно розширити площу Шацького НПП.

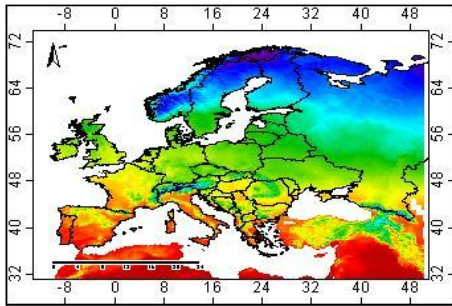
9. Проведено ранжування об'єктів природно-заповідної мережі України, придатних для мешкання холонокровних хребетних тварин. Довготривале збереження біологічного різноманіття батрахофауни та порятунків від локального вимирання можуть здійснити: НПП – «Шацький» та «Прип'ять-Стохід», Черемський ПЗ, відділення «Біле Озеро» Рівненського ПЗ та НПП «Цуманська Пуща».

10. Загалом наступні тридцятирічні кліматичні зміни вплинуть на поширення 8-и вразливих видів земноводних. Найбільше постраждають амфібії Півдня України. Для 9-и вразливих видів плазунів найгірші умови можуть скластися на Правобережжі України. На зазначених територіях необхідно розробити і здійснювати додаткові заходи щодо охорони вразливих земноводних і плазунів.

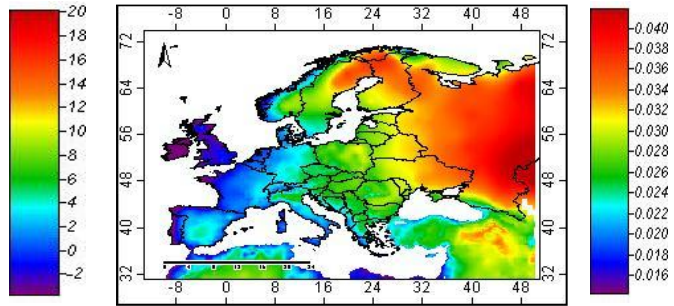
ДОДАТОК А

Растрові карти сучасного клімату (А.1) і прогнозованого на 2030 рік (А.2)

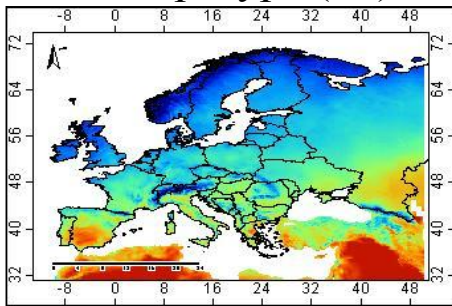
Растрові карти сучасного клімату (А.1.)



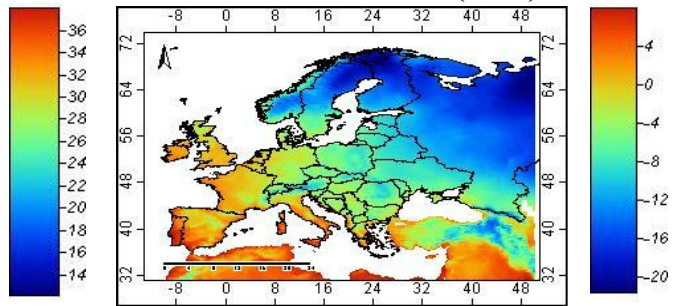
Віо01. Середня річна температура (°C)



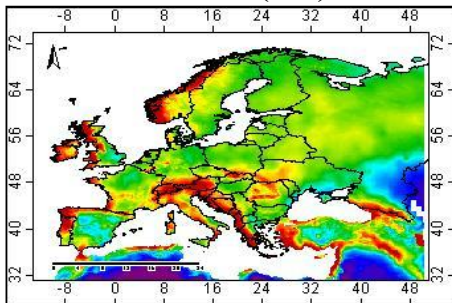
Віо04. Температурна сезонність (CV)



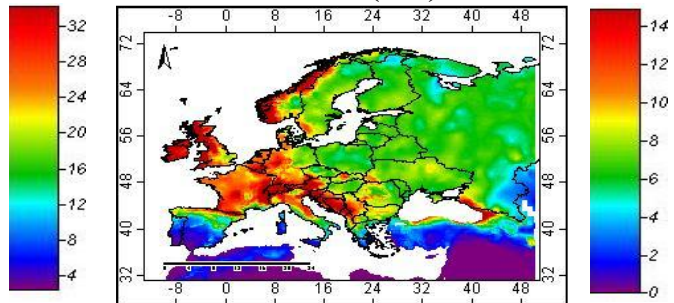
Віо05. Максимальна температура найтеплішого тижня (°C)



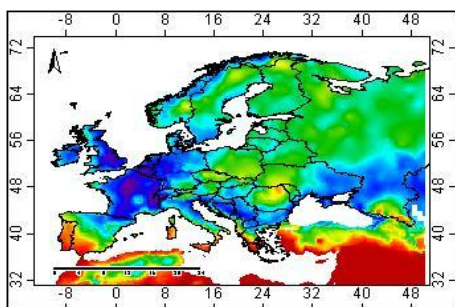
Віо06. Мінімальна температура найхолоднішого тижня (°C)



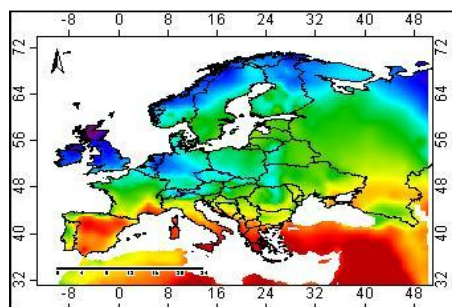
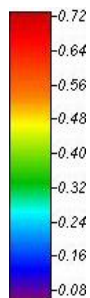
Віо13. Опади найвологішого тижня (мм)



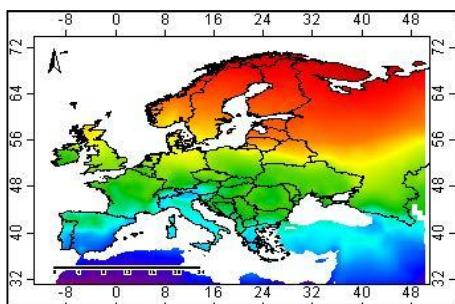
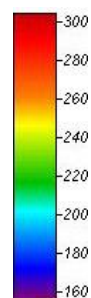
Віо14. Опади найсухішого тижня (мм)



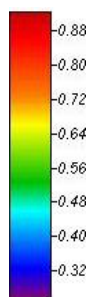
Віо15. Сезонність
опадів (CV)



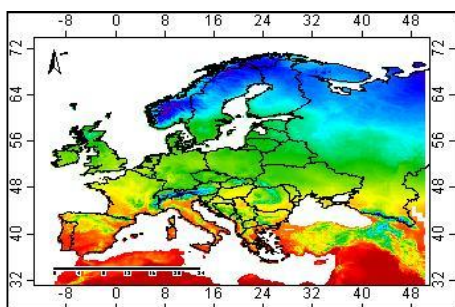
Віо21. Найбільша
щотижнева сонячна
радіація



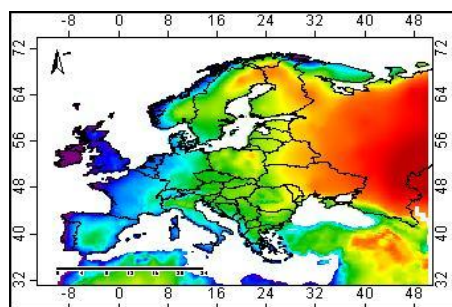
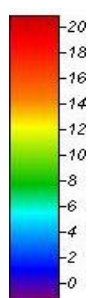
Віо23. Сезонність сонячної радіації (CV)



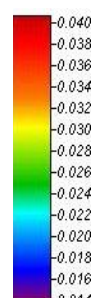
Прогнозні растрові карти клімату 2030 року (А. 2)

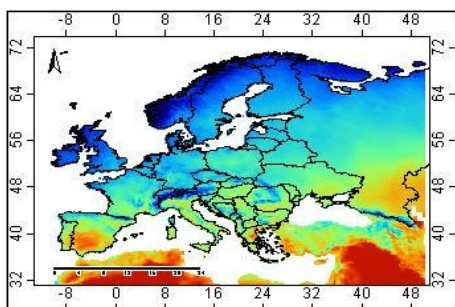


Віо01. Середня річна
температура (°C)

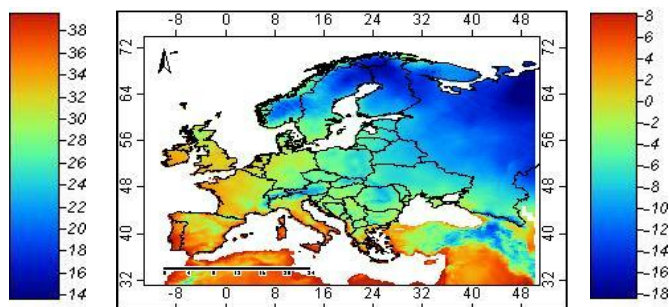


Віо04. Температурна
сезонність (коефіцієнт
варіації)

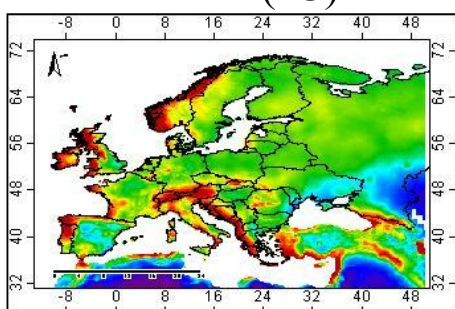




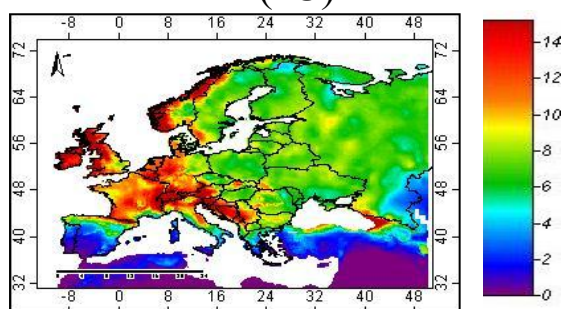
Віо05. Максимальна температура
Найтеплішого тижня (°C)



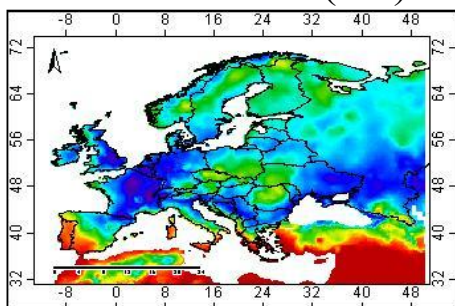
Віо06. Мінімальна температура
найхолоднішого тижня (°C)



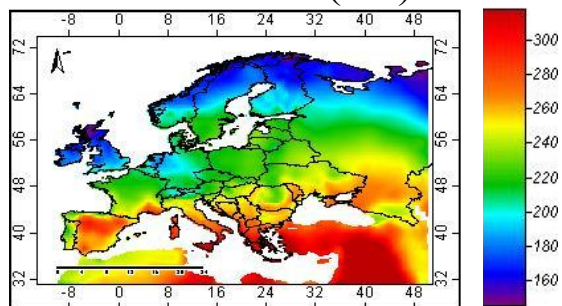
Віо13. Опади найвологішого тижня (мм)



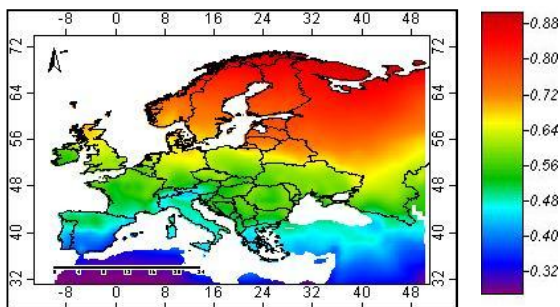
Віо14. Опади найсухішого тижня (мм)



Віо15. Сезонність опадів (CV)



Віо21. Найбільша щотижнева сонячна радіація

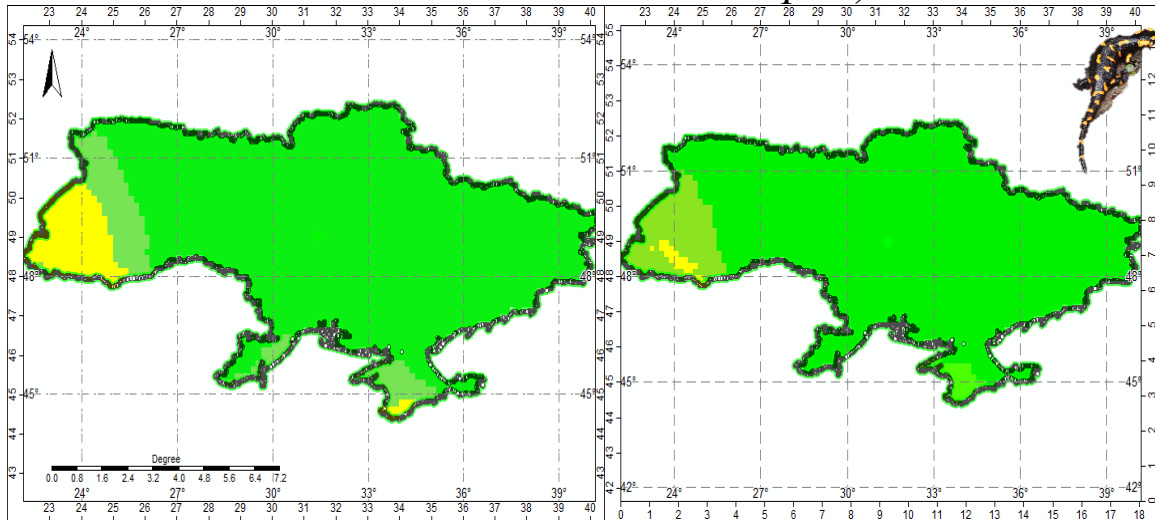


Віо23. Сезонність сонячної радіації (CV)

ДОДАТОК Б

Комп'ютерні моделі поширення земноводних України за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б)

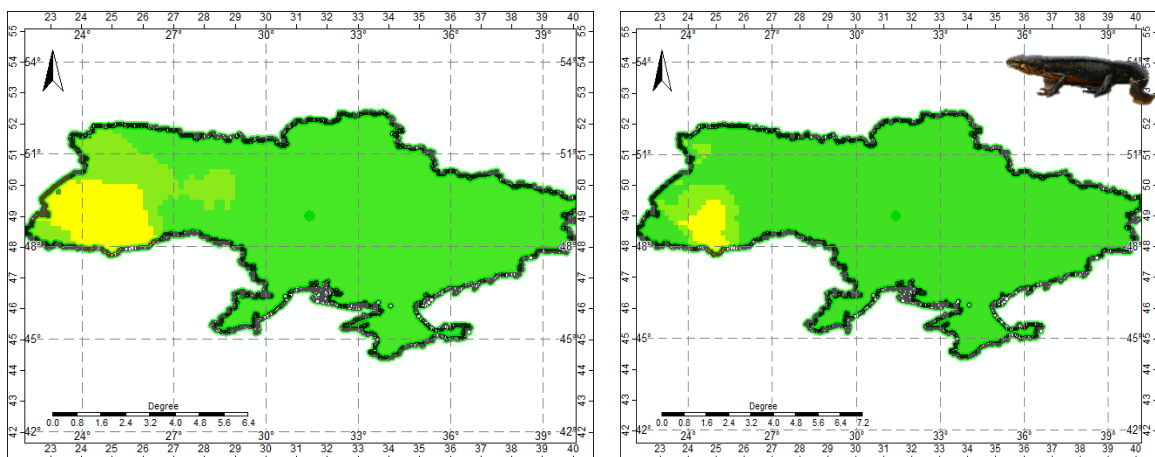
(території, де біокліматичні умови сприятливі для виду,
позначені жовтим кольором)



А

Б

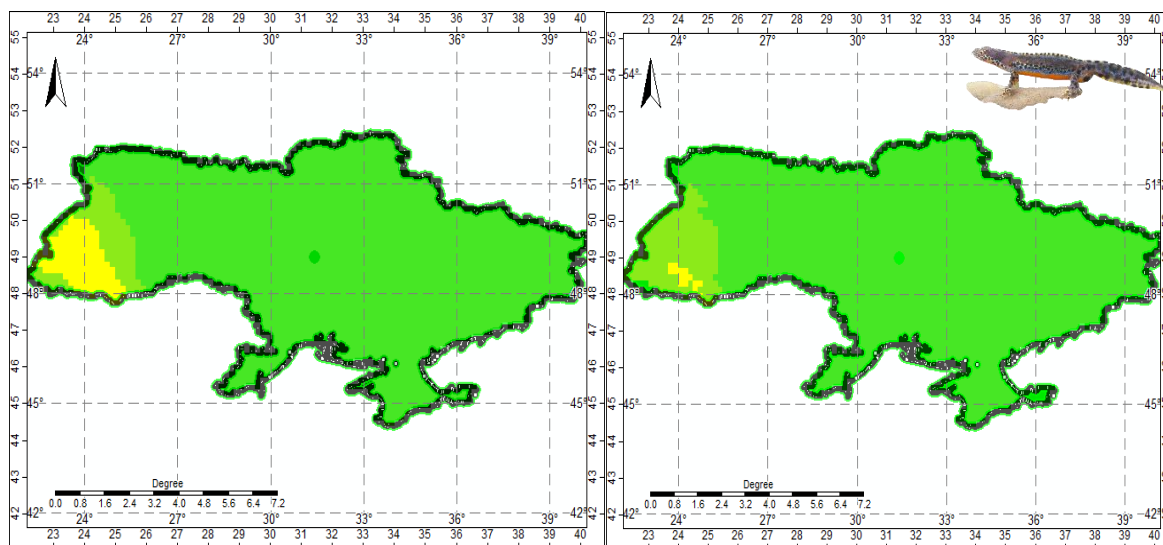
ГІС-карта 3.1.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Salamandra salamandra*.



А

Б

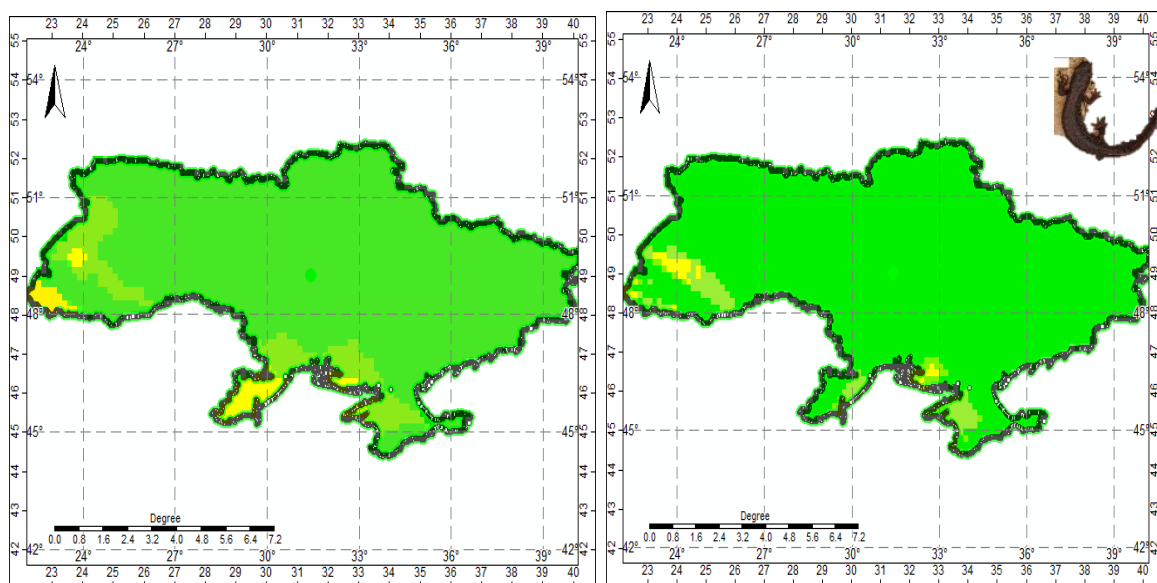
ГІС-карта 3.2.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Lissotriton montandoni*.



А

Б

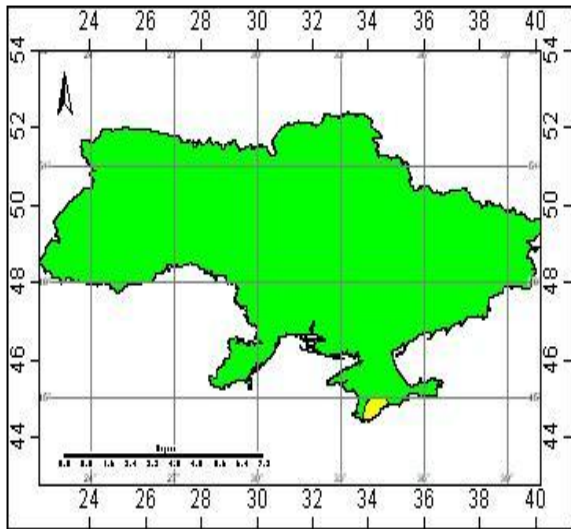
**ГІС-карта 3.3.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
Ichthyosaura alpestris.**



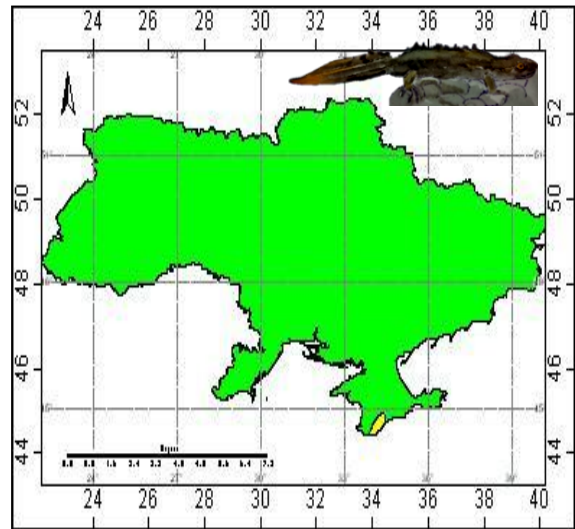
А

Б

**ГІС-карта 3.4.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
Triturus dobrogicus.**

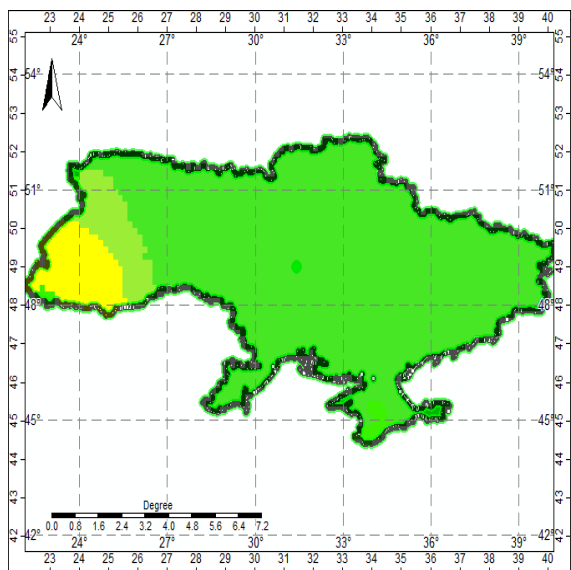


А

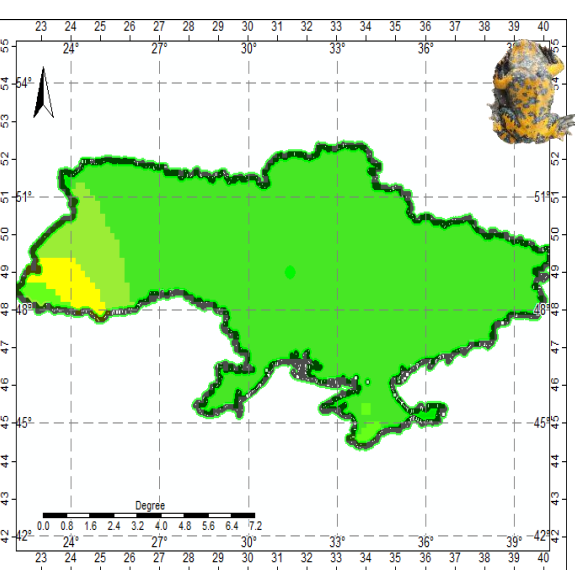


Б

**ГІС-карта 3.5.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
Triturus karelinii.**

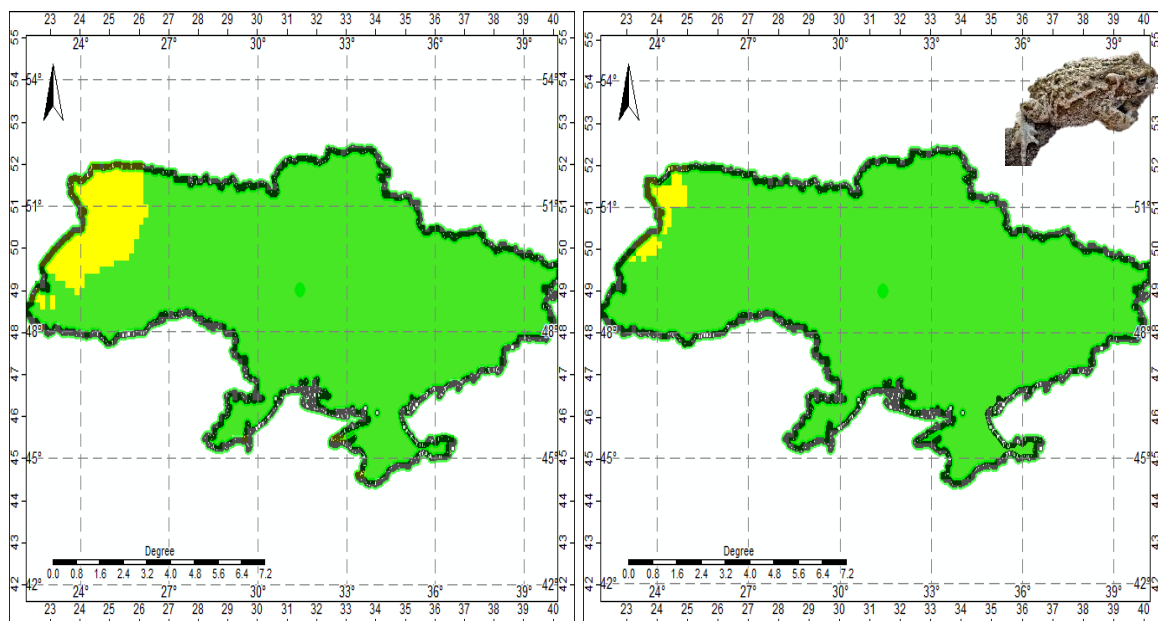


А



Б

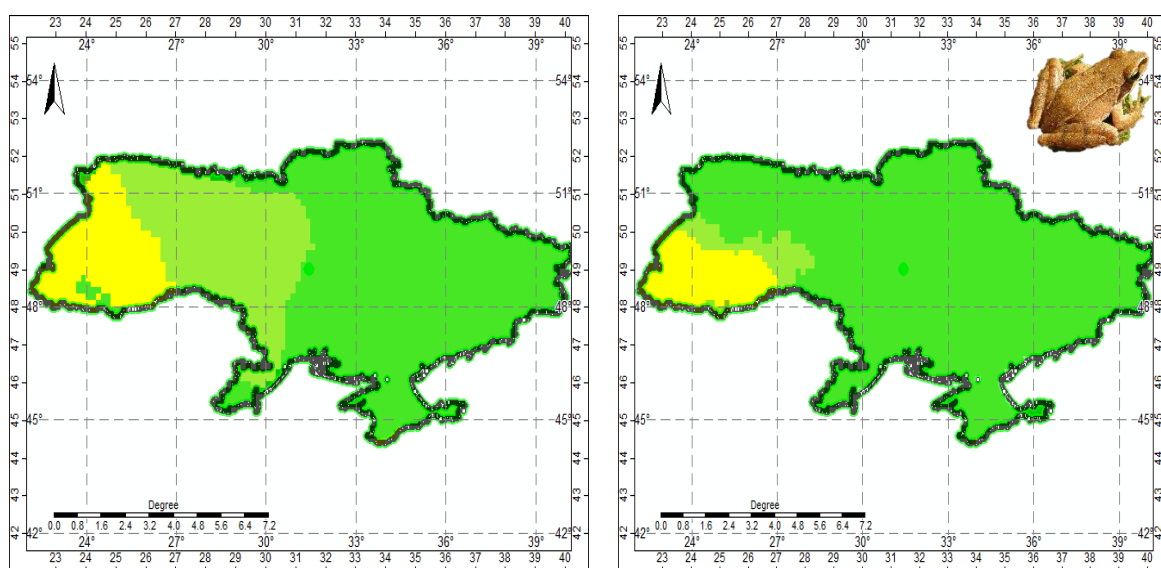
**ГІС-карта 3.6.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
Bombina variegata.**



А

Б

ГІС-карта 3.7.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Epidalia calamita*.

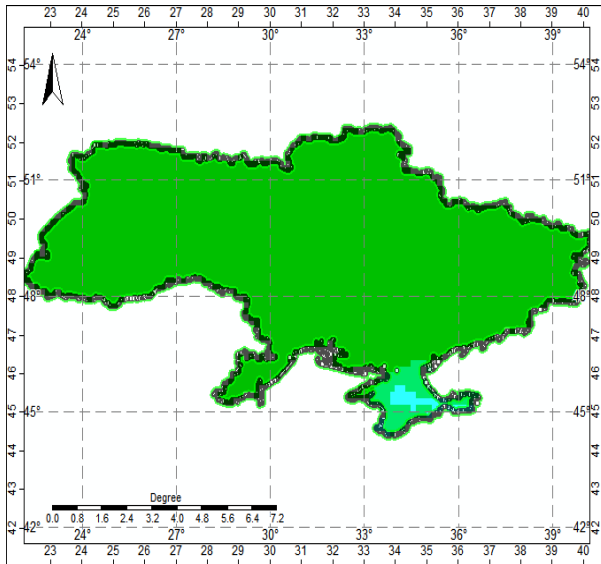


А

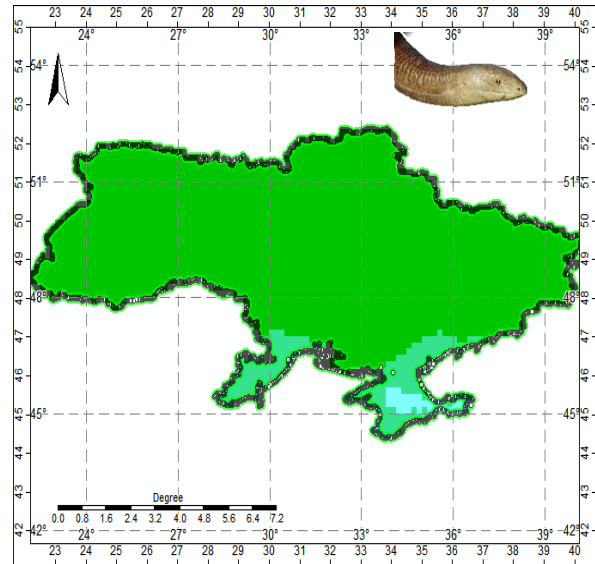
Б

ГІС-карта 3.8.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Rana dalmatina*.

Комп'ютерні моделі поширення плазунів України за сучасних кліматичних умов (А) та 2030 р. (Б)
(території, де біокліматичні умови сприятливі для виду, позначені блакитним кольором)

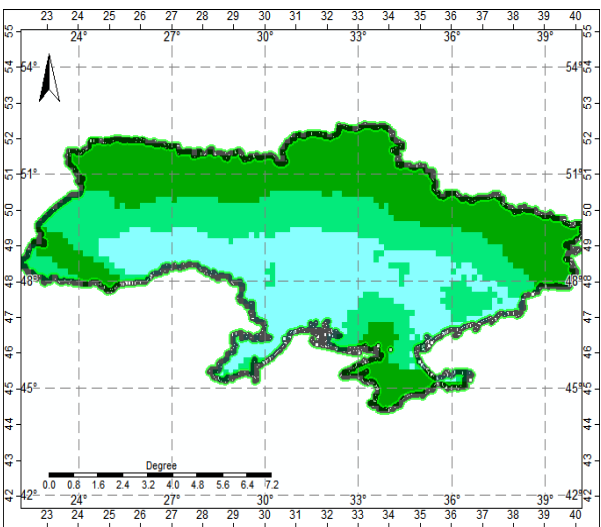


А

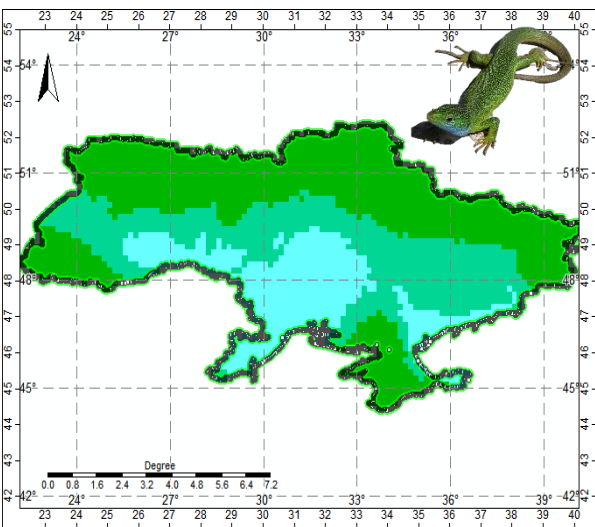


Б

ГІС-карта 3.9.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Pseudopus apodus*

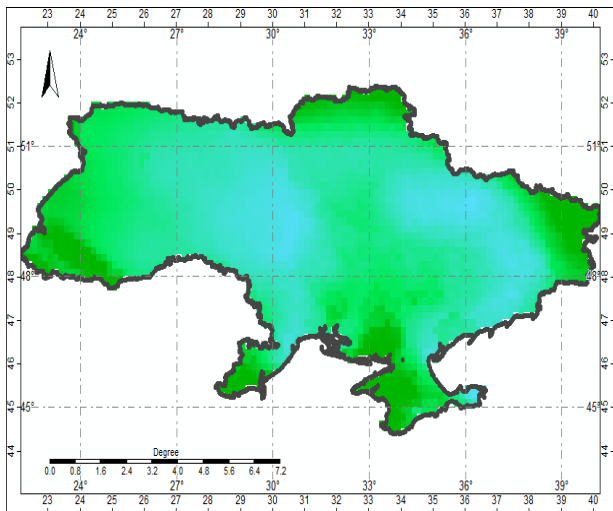


А

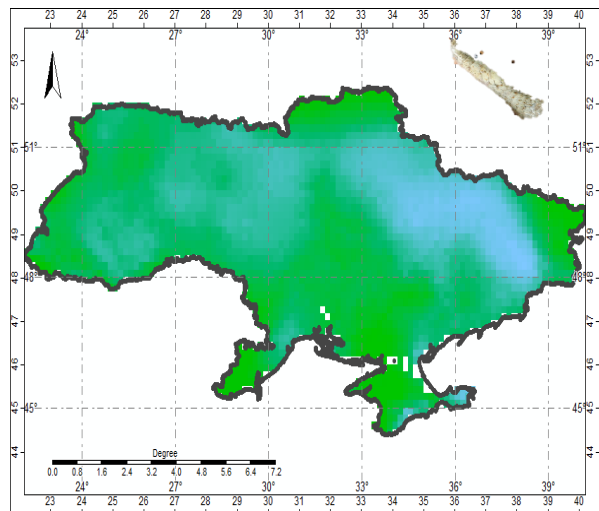


Б

ГІС-карта 3.10.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Lacerta viridis*

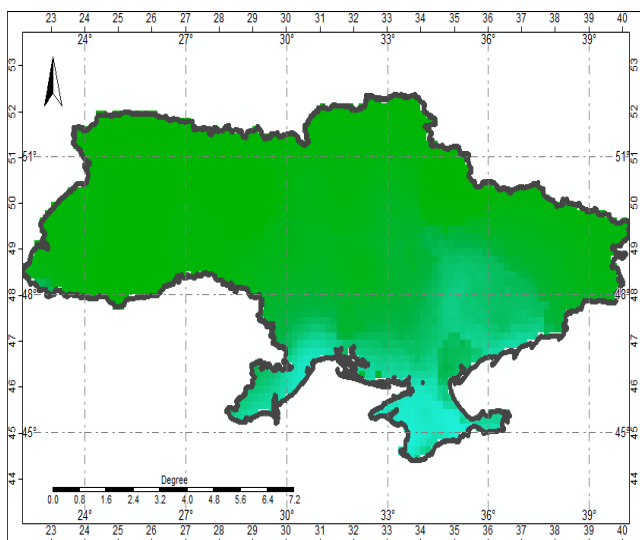


А

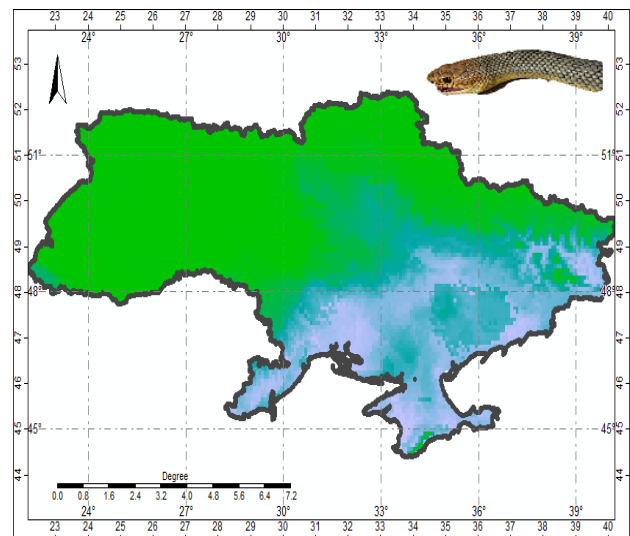


Б

**ГІС-карта 3.11.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
*Coronella austriaca***

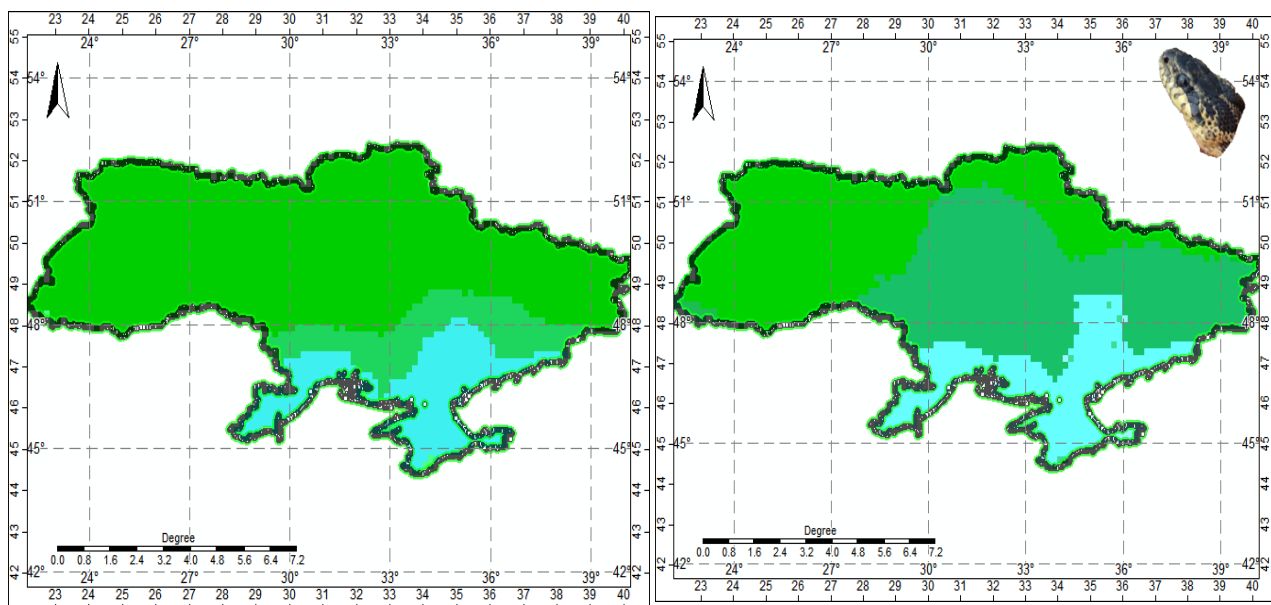


А



Б

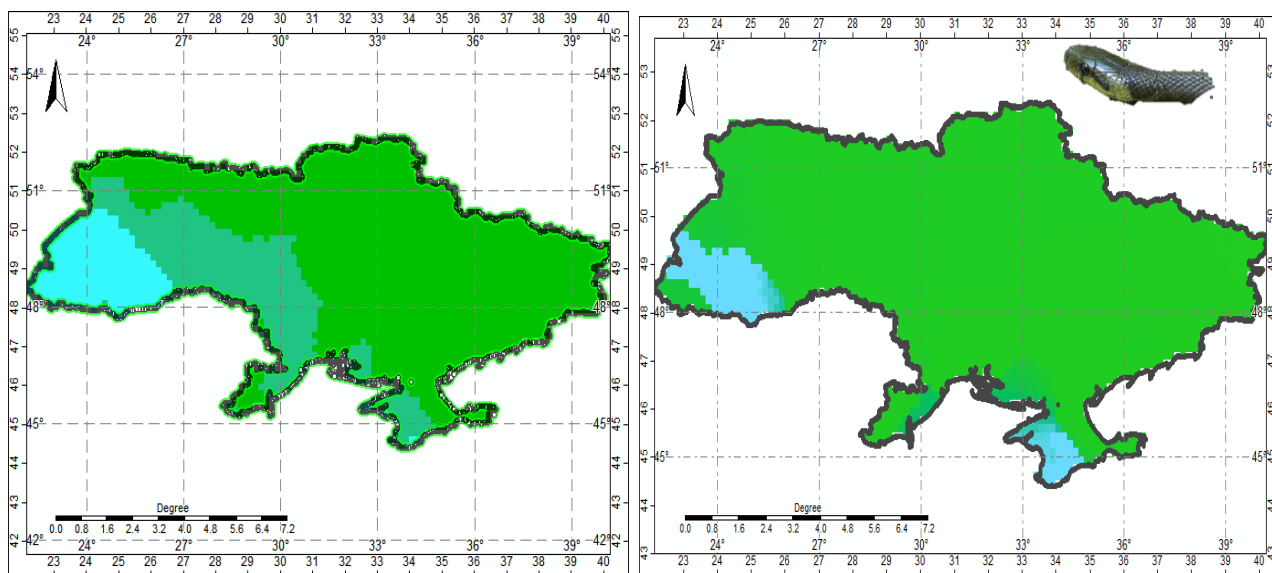
**ГІС-карта 3.12.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
*Dolichophis caspius***



А

Б

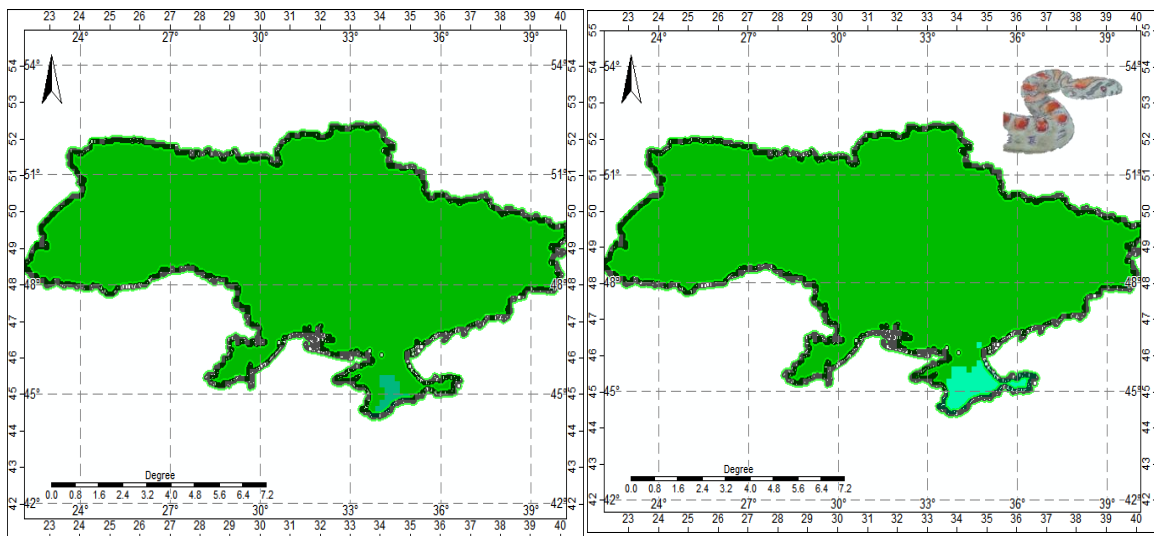
ГІС-карта 3.13.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Elaphe sauromates*



А

Б

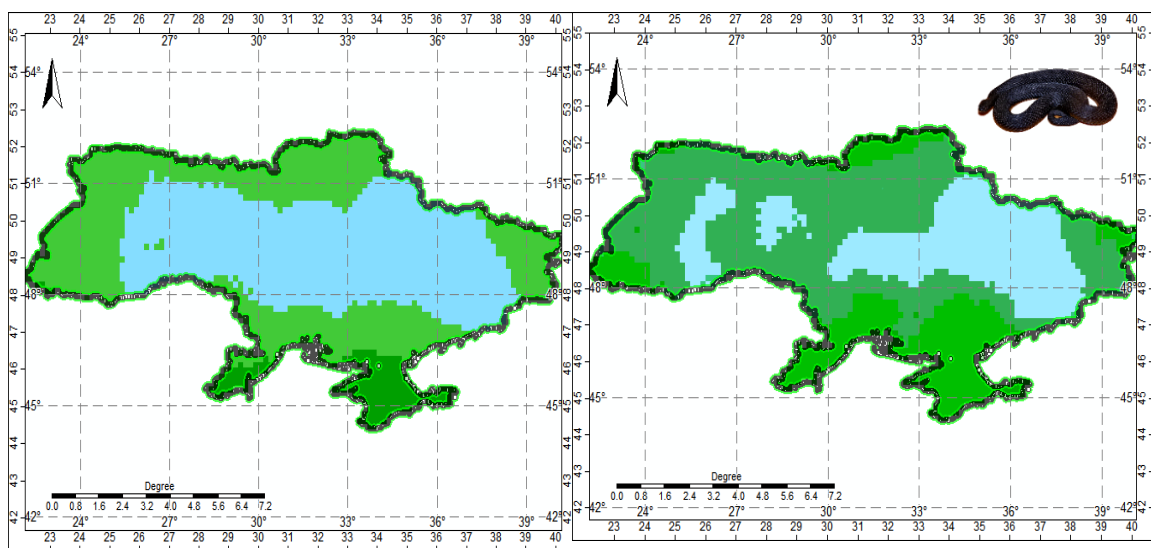
ГІС-карта 3.14.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Zamenis longissimus*



А

Б

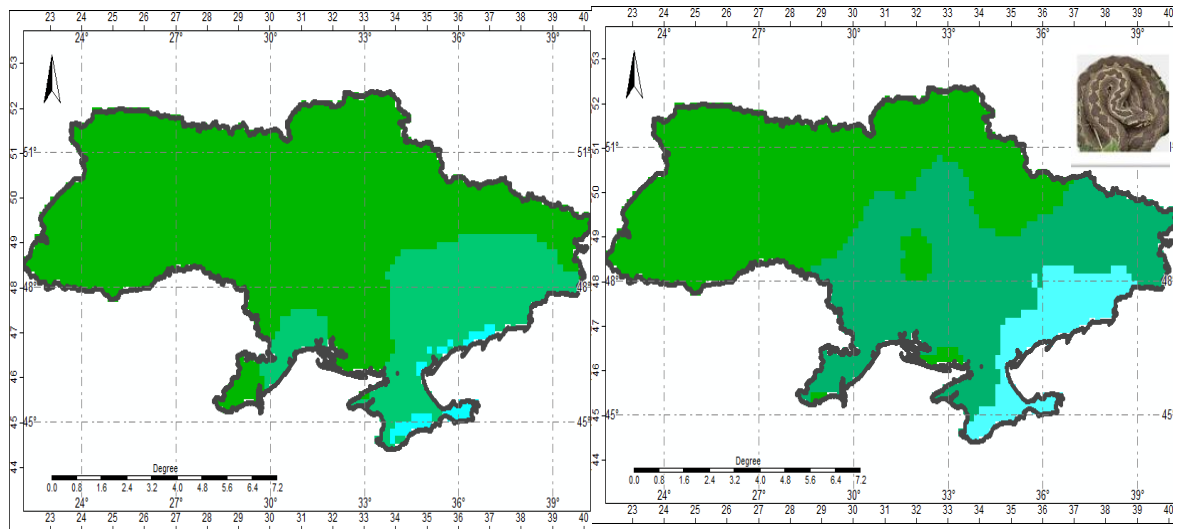
**ГІС-карта 3.15.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
*Zamenis situla***



А

Б

**ГІС-карта 3.16.Д. – Комп'ютерні моделі поширення
*Vipera berus nikolskii***



Б

ГІС-карта 3.17.Д. – Комп'ютерні моделі поширення *Vipera renardi*

Примітка.

*Ілюстрації тварин (фото) зробили: Некрасова О.Д.,
Смірнов Н.А., Кузьмін Ю.І., Радченко О.Г., Болото-
ва К.М.*

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Атлас України. Пілотний проект електронної версії Національного атласу України. Інститут географії НАН України. ТОВ «Інтелектуальні системи ГЕО». Київ, 2000.
2. Афонин А. Н., Соколова Ю. В. Эколого-географический анализ и моделирование распространения биологических объектов с использованием ГИС / Учебное пособие, СПб, 2018. – 221 с.
3. Барабаш М. Б. Сценарії режиму температури повітря в перші три десятиріччя ХХІ ст. за фізико географічними зонами України / М. Б. Барабаш, Л. О. Ткач // Водне господарство України. – 2005. – №3. – С. 5–12.
4. Барабаш М. Б. Імовірна характеристика частоти засух в Україні в умовах існуючої тенденції потепління на межі ХХ і ХХІ століть / М. Б. Барабаш, Т. В. Корж, Т. І. Адаменко // Клімат України: у минулому... майбутньому? – К.: Сталь, 2009. – С. 175–181.
5. Болтачов О. Р., Дідух Я. П., Дудкін О. В. та ін. Смагдава мережа в Україні. Під редакцією Л. Д. Проценка. – Київ: Хімджест, 2011. – 192 с.
6. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. – 2013. – 290 с.
7. Ведмедеря В. И., Грубант В. Н., Рудаева А. В. К вопросу о названии черной гадюки лесостепи европейской части СССР // Вестник Харьковского университета. – 1986. – №288. – С. 83–85.
8. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.
9. Гадюки (Reptilia: Serpentes: Viperidae: *Vipera*) Волжского бассейна. Ч. 1 / А. Г. Бакиев, В. И. Гаранин і ін. – Тольятти: Кассандра, 2015. – 234 с.

10. Гащак С. П., Вишневський Д. О., Заліський О. О. Фауна хребетних тварин Чорнобильської зони відчуження (Україна). – 2006. – 100 с.
11. Гиляров А. М. От ниш к нейтральности в биологическом сообществе // Природа. – 2007. – №11. – С. 29–37.
12. Гиляров А. М. Перестройка в экологии: от описания видимого к пониманию скрытого // Вестник Российской академии наук. – 2005. – 75(3). – С. 214–223.
13. «ГИС-натуралист» / блог Биатова А. <https://gis-naturalist.blogspot.com>
14. Говоров М. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних: у шести томах. Том 3: Просторові кадастрові інформаційні системи для інфраструктури просторових даних. Навчальний посібник / М. Говоров, А. А. Лященко, Д. Кейк, П. Зандберген, М. А. Молочко, Л. Бевайніс, Л. М. Даценко, В. В. Путренко – К.: Планета-Прінт, 2017. – 520 с.
15. Горбань Л. І. Земноводні Шацького національного природного парку та їх охорона // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Сер.: Біологічні науки. – 2009. – №2. – С. 198–200.
16. Дажо Р. Основы экологии. – Москва: Прогресс, 1975. – 415 с.
17. Дейлі Г. Економічна теорія сталого розвитку. – К.: Інтелсфера, 2002. – 312 с.
18. Доронин И. В., Мазанаева Л. Ф., Доронина М. А. Использование ГИС-моделирования для анализа распространения средней ящерицы, *Lacerta media* Lantz et Syren, 1920, на территории Дагестана (Россия) // Труды Зоологического института РАН. – Т. 322, №4. – 2018. – С. 463–480. [10.31610/trudyzin/2018.322.4.463](https://doi.org/10.31610/trudyzin/2018.322.4.463)
19. Заброта С. Н. К распространению и численности камышовой жабы (*Bufo calamita aurenti*) на Украине // Вест. зоологии. – 1980. – №6. – С. 88–91.

20. Залучення громадськості та науковців до проектування мережі Емеральд (Смарагдової мережі) в Україні / Полянська К. В., Борисенко К. А., Павлачик П. (Paweł Pawlaszyk), Василюк О. В., Марущак О. Ю., Ширяєва Д. В., Куземко А. А., Оскірко О. С., Некрасова О. Д. та ін. / під ред. д.б.н. А. Куземко. – Київ, 2017. – 304 с.

21. Зацерковний В. І., Тішаєв І. В., Віршило І. В., Демидов В. К. Геоінформаційні системи в науках про Землю : монографія. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.

22. Знахідки тварин Червоної книги України (Відп. ред. В. А. Костюшин). – К., 2008. – 418 с.

23. Инструментарий геоинформационных систем : справочное пособие / Б. С. Бусыгин, И. Н. Гаркуша, Е. С. Аредин, А. Ю. Гаевенко. – К.: ИРГ «ВБ», 2000. – 172 с.

24. Інформаційні системи і технології : навч. пос. для студ. вищ. навч. закладів / [Г. С. Карпенко, В. В. Пагов, Ю. А. Тарнавський, Г. А. Шпортюк]. – К. : МАУП, 2004. – 192 с.

25. Іщук О. О. Просторовий аналіз в ГІС : навч. посіб. / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков ; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2003. – 195 с.

26. Канарський Ю. В. Кліматичні зміни в регіоні Українських Карпат на початку ХХІ століття та їх вплив на біотичне різноманіття // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – 2016. – Т.7(14), №1. – С. 15–36.

27. Карпінський Ю. О. Геопросторовий аналіз: навч. посіб. / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Ю. В. Кравченко. – К.: КНУБА, 2016. – 184 с.

28. Катушков В. А., Денисюк Б. І. Технологія оброблення растрової інформації на цифровій фотограмметричній станції / В. А. Катушков, Б. І. Денисюк // Навч. посібн. МОНУ, КНУБА, К.: 2017, 113 с.

29. Кейк Д. Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних: у шести томах. Том 2: Системи керування базами геоданих для інфраструктури просторових даних. Навч. пос. / Д. Кейк, А. А. Лященко, В. В. Путренко, Ю. Хмелевський, К. С. Дорошенко, М. Говоров. – К.: Планета-Прінт, 2017. – 456 с.

30. Кукушкин О. В., Кушан Н. Б. Матеріали к изучению тритона Карелина (*Amphibia, Caudata, Salamandridae*) в Крыму // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. – 2015. – С. 141–151.

31. Клімат Києва / За ред. В. І. Осадчого та ін. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 320 с.

32. Клімат України / За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.

33. Клімат України: у минулому... і майбутньому? / М. І. Кульбіда, М. Б. Барабаш, Л. О. Єлістратова, Т. І. Адаменко, Н. П. Гребенюк, О. Г. Татарчук, Т. В. Корж / За ред. М. І. Кульбіди, М. Б. Барабаш : Моногр. – К.: Сталь, 2009. – 234 с.

34. Кліменко І. В. Технології електронного урядування : навч. посіб. / І. В. Кліменко, К. О. Линьов. – К. : ДУС, 2006. – 225 с.

35. Кохан С. С. Географічні інформаційні системи: посібник / за ред. М. Ван Мервіна / С. С. Кохан. – К.: НАУ, 2003. – 206 с.

36. Кузьмин С. Л. Земноводные бывшего СССР. Издание второе, переработанное. Товарищество научных изданий КМК. Москва, 2012. – 370 с.

37. Куйбіда В. В., Некрасова О. Д., Куцоконь Ю. К., Лопатинська В. В., Трускавецька І. Я. Випадок літнього замору риби у Канівському водосховищі // Гидробиологический журнал. – Т. 54, №5. – 2018. – С. 113–116.

38. Кульбіда М. І. Прогноз змін клімату України на початку ХХІ століття / М. І. Кульбіда, М. Б. Барабаш, Л. О. Єлістратова // Наукові записки Вінницького пед. університету. Сер. Географія. – 2011. – В. 23. – С. 11–12.

39. Кульбіда М. І. Сучасний стан клімату України / М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова, М. Б. Барабаш // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. – 2013. – В.35. – С. 118–130.

40. Куртяк Ф. Ф., Межжерин С. В. Изменчивость, распространение, численность гребенчатого, *Triturus cristatus*, и дунайского, *Triturus dobrogicus*, тритонов (Amphibia, Salamandridae) в Закарпатье // Вестн. зоологии. – 2005. – Т. 39, №5. – С. 49–57.

41. Ладичук Д. О. Базис геоінформаційних даних / Д. О. Ладичук, В. І. Пічура. – Херсон : ХДУ, 2007. – 103 с.

42. Леме Ж. Основы биогеографии. – Москва: Прогресс, 1976. – 309 с.

43. Литвинчук С. Н., Боркин Л. Я. Распространение, экология и охранный статус дунайского тритона, *Triturus dobrogicus* (Amphibia, Salamandridae), на территории Украины и Молдовы // Вестник зоологии. – 2002. – Т.36, №3. – С. 35–44.

44. Логвинов К. Т. Исследование периодических изменений температуры воздуха и осадков на Украине / К. Т. Логвинов, М. Б. Барабаш // Труды УкрНИГМИ. – 1987. – В.224. – С. 71–76.

45. Логинов В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 266 с.

46. Лялько В. І. Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки (Розділ 4, підрозд. 4.1–4.3) Особливості змін клімату в Україні на кінець ХХ – початок ХХІ ст. за наземними та супутниковими даними / В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апо-

столов, М. Б. Барабаш // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 2015. – №6. – С. 33–63.

47. Марков К. К., Величко А. А., Лазуков Г. И. и др. Плейстоцен. – М.: Высшая школа, 1968. – 304 с.

48. Маслов В. П. Інформаційні системи і технології в економіці / В. П. Маслов : навч. посібник. – К. Слово, 2005. – 264 с.

49. Матеріали до 4-го видання ЧКУ. Тваринний світ, 2018. – Т.1., Т.2.

50. Мельнічук М. М., Безсмертнюк Т. П. Рекреаційний потенціал природно-заповідного фонду північно-західного регіону України // Мат. міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні особливості формування і управління інноваційним потенціалом регіонального розвитку ...» (15–17 жовтня 2015, Україна). – Т.: ТНТУ, 2015. – С. 60–63.

51. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник / Д.В. Свідзінська. – К.: Логос, 2014. – 402 с.

52. Микитюк О. ІВА території України: території, важливі для збереження видового різноманіття та кількісного багатства птахів. К.: СофтАРТ. – 1999. – С. 10–21.

53. Митчелл Э. Руководство по ГИС анализу, Ч. 1: Пространственные модели и взаимосвязи : пер с англ. / Э. Митчел. – К. : ЗАО ЕКОММ Со; Стилос, 2000. – 198 с.

54. Мкртчян О. С. Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії / О. С. Мкртчян: навч. посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. – 119 с.

55. «Моніторинг біорізноманіття в Україні». <http://biomon.org>

56. Морозов В. В. Геоінформаційні системи в агросфері : навч. посібник / В. В. Морозов, Н. М. Шапоринська, О. В. Морозов, В. І. Пічура. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 269 с.

57. Морозов В. В. ГІС в управлінні водними і земельними ресурсами : навч. посібник / В. В. Морозов; Херсонський державний університет. – Херсон: Вид-во ХДУ, 2006. – 91 с.

58. Морозов-Леонов С. Ю., Межжерин С. В., Куртяк Ф. Ф. О гибридизации гребенчатого (*Triturus cristatus*) и дунайского (*Triturus dobrogicus*) тритонов в Закарпатье // Вестн. зоологии. – 2003. – Т.37, №2. – С. 88–91.

59. «Національна Мережа Інформації з Біорізноманіття (UkrBIN)». 2007-2019 UkrBIN Team. <http://ukrb.in.com>

60. Національний атлас України. – К. : ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.

61. Некрасова О. Д. Герпетофауна Полесского природного заповідника и его окрестностей (Украина) // Збірник праць Зоологічного музею. – 2015, №46. – С. 52–63.

62. Некрасова О. Д. Направления мониторинга амфибий водно-болотных экосистем // Наук. зап. Тернопільського нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2015. – №3-4 (64). – С. 499–503.

63. Некрасова О. Д. Ключові території водно-болотних угідь Київської області, цінні для охорони герпетокомплексів // Заповідна справа. – 1(21)/2015. – С. 73–78.

64. Некрасова О. Д. Біотопічний розподіл та склад герпетокомплексів Київської області // Природа західного Полісся та прилеглих територій – Луцьк : Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2015. – № 12. – С. 182–189.

65. Некрасова О. Д., Болотов М. Б. Знахідки тварин Червоної книги України в Полтавській та Харківській областях // Мат. до 4-го видання ЧКУ. Тваринний світ / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – В.7, Т.2. – Київ, Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН У, 2018. – С. 70–71.

66. Некрасова О. Д., Болотов М. Б., Куцоконь Ю. К. Випадки зустрічей рідкісних видів гідробіонтів, занесених до Червоної книги України // Мат. до 4-го видання ЧКУ. Тваринний світ / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – В.7, Т.2. – Київ, Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН У, 2018. – С. 72.

67. Некрасова О. Д., Куйбіда В. В. Комахи (Insecta) Червоної книги України Центрально-Українського біосферного природного ядра // Мат. до 4-го видання ЧКУ. Тваринний світ / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – В.7, Т.2. – Київ, Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН У, 2018. – С. 73–74.

68. Некрасова О. Д., Мішта А. В. Кадастр поселень бобра (*Castor fiber* Linnaeus, 1758) в басейні річки Тетерів // «Мережа NATURA 2000 як інноваційна система охор. рідк. видів та оселищ в Україні» Мат. наук.-практ. семінару (15 лютого 2017, м. Київ, Україна) / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – В.1. – Київ, 2017. – С. 118–119.

69. Некрасова О. Д., Мішта А. В., Оскірко О. С. Ключові території басейну річки Тетерів перспективні для включення до Смарагдової мережі України за результатами інвентаризації хребетних тварин (земноводних, плазунів та ссавців) // «Мережа NATURA 2000 як інноваційна система охор. рідк. видів та оселищ в Україні» Мат. наук.-практ. семінару (15 лютого 2017, м. Київ, Україна) / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – В.1. – Київ, 2017. – С. 112–117.

70. Некрасова О. Д., Оскірко О. С., Куйбіда В. В., Дубина А. Д. Распространение зеленой ящерицы *Lacerta viridis* (Laurenti, 1768) (Sauria: Lacertidae) в экокореидоре Днепра (Украина) // Збірник праць зоологічного музею. – Т. 48. – 2017. – С. 46–53.

71. Некрасова О. Д., Титар В. М. Обнаружение божьей коровки арлекина *Harmonia axyridis* (Coleoptera, Coccinellidae), в Киеве // Вестник зоологии. – 2009. – Т.43, №6. – С. 538.

72. Некрасова О.Д., Титар В.М. Моделирование и биоклиматический анализ изменений ареала ужа водяного *Natrix tessellata* (Reptilia, Colubridae) в Украине // Праці Укр. герп. товариства. – 2014. – №5. – С. 80–83.

73. Некрасова О. Д. Титар В. М. Значение водно-наземных экосистем в сохранении рептилий Украины // Мат. Міжнар. наук.-практ. конф. «Динаміка біологічного та ландшафтного різноманіття заповідних територій», (25–27 травня 2016 р. НПП «Подільські Товтри», Камінець Подільський, Україна) – Кам'янець-Подільський: «Друкарня Рута», 2016. – С. 141–144.

74. Некрасова О. Д., Титар В. М. Моделирование пространственной структуры популяций зеленой жабы (*Bufo viridis* (Laurenti, 1768)) и ее корреляция с антропогенной средой обитания // Мат. III міжнар. Наук.-практ. конф. «Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень» (13–14 травня 2016 р., смт. Путила, Чернівецька обл., Україна). – С. 35–37.

75. Некрасова О. Д., Титар В. М. Распространение, фенооблик и сезонные особенности инвазивного вида *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae) на территории Украины // Известия Харьковского энтомологического общества. – 2016. – Т.24, В.1. – С. 22–30.

76. Олейник Я. В., Некрасова О. Д. Новые данные о северной границе распространения гадюки Никольского *Vipera nikolskii* (Reptilia, Viperidae) в пределах Киевской области // Вестник зоологии. – 2012. – №3(46). – С. 258.

77. Осадчий В. І. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні / В. І. Осадчий, В. М. Бабіченко // Український географічний журнал. – 2012. – №4. – С. 8–9.

78. Основи інформаційних систем: навч. посібник. – Вид. 2-ге, перероб. і доп. / [В. Г. Ситник, Т. А. Писаревська, Н. В. Єрєміна, О. С. Краєва]; за ред. В. Ф. Ситника. – К.: КНЕУ, 2001. – 420 с.

79. Писанец Е. М. Каталог коллекций Зоологического музея ННПМ НАН Украины. Хвостатые земноводные (Amphibia: Caudata). – К.: Зоомузей ННПМ НАН Украины, 2003. – 148 с.

80. Писанець Є. М., Кукушкін О. В. Земноводні Криму. – Київ: ННПМ НАНУ. – 2016. – 320 с.

81. Писанец Е. М., Литвинчук С. Н., Куртяк Ф. Ф., Радченко В. И. Земноводные Красной книги Украины (справочник-кадастр). – К.: Зоомузей ННПМ НАН Украины, 2005. – 230 с.

82. Пітак І. В., Негадайлов А. А., Масікевич Ю. Г., Пляцук Л. Д., Шапоров В. П., Моїсєєв В. Ф. – Геоінформаційні технології в екології : Навч. пос.. – Чернівці, 2012. – 273 с.

83. Практикум з геоінформаційних систем. ArcGIS: методичні вказівки до виконання практичних робіт / Н. Ю. Лазоренко-Гевель, Б. І. Денисюк – К.: КНУБА, 2016. – 123 с.

84. Прикладне програмування в ГІС: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Н. Ю. Лазоренко-Гевель – К.: КНУБА, 2016. – 70 с.

85. Приходько М. М. Зміна клімату та її наслідки у Карпатському регіоні // Фізична географія та геоморфологія. – К.: ВГЛ «Обрії», 2012. – В.1(65). – С. 178–186.

86. Приходько М. М. Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих геосистем : монографія. – К.: Центр екологічної освіти та інформації. – 2013. – 201 с.

87. Приходько М. М. Причини, наслідки і шляхи протидії зміні клімату // Фізична географія. Наукові записки. – 2014. – №1. – С. 35–43.

88. Решетило О. С. Різноманіття угруповань земноводних у просторовому градієнті умов басейну верхів'я Прип'яті // Мат. наук. конф. «Стан і біорізноманіття екосистем Шацького НПП» (10-13 вересня 2009, Шацьк, Україна). – Львів, 2009. – С. 75–76.

89. Рудько Г. І. Геоінформаційні технології в надрокористуванні (на прикладі ГІС К–MINE) [Текст] / Г. І. Рудько, М. В. Назаренко. – К. : Академпрес, 2011. – 336 с.

90. Свідзінська Д. В. Методи геоекологічних досліджень: методичні рекомендації до проведення лекційних і практичних занять: Навч. видання / Д. В. Свідзінська. – К.: Логос, 2013. – 28 с.

91. Світличний О. О. Основи геоінформатики : навч. посібник / Щ. Щ. Світличний, С. В. Плотницький / за заг. ред. О. О. Світличного. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.

92. Скоринов Д. В., Литвинчук С. Н. Определение положения позднеплейстоценовых рефугиумов обыкновенного тритона (*Lissotriton vulgaris*) с помощью GIS-технологий // Biological Communications. – 2016. – №3. – С. 136–141.

93. Смирнов Н. А. Распространение *Rana dalmatina* (Ranidae, Anura) в Украине // Современная герпетология. – 2013. – Т.13. – №1–2. – С. 47–57.

94. Смирнов Н. А. Анализ распространения альпийского тритона, *Ichthyosaura alpestris* (Caudata, Salamandridae) в Украине // Праці Українського герпетологічного товариства. – 2013. – №4. – С. 156–164.

95. Смірнов Н. А. Поширення очеретяної ропухи – *Bufo (Epidalea) calamita* (Anura, Bufonidae) в Україні //

Збірник праць Зоологічного музею. – 2015. – 46. – С. 73–84.

96. Смирнов Н., Скильский И. Современное состояние популяций карпатского тритона *Lissotriton montandoni* (Caudata; Salamandridae) в Украине // Праці Українського герпетологічного товариства. – 2011. – №3. – С.169–185.

97. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) / За ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. – К. : Ніка-Центр, 2006. – 312 с.

98. Стойко С. М. Потенційні екологічні наслідки глобального потепління клімату в лісових формаціях Українських Карпат // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: НЛТУ України, 2009. – В.19(15). – С. 214–224.

99. Стойко С. М. Екологічна безпека Українських Карпат в контексті сталого розвитку // Мат. Міжнар. наук.-практ. конф. «Сталий розвиток Карпат та інших гірських регіонів Європи» (8–10 вересня, 2010 р., м. Ужгород, Україна). – Ужгород, 2010. – С. 163–168.

100. Стойко С. М. Вплив глобального потепління та зміни клімату на сукцесії лісових формацій Карпат // Лісівнича академія наук України : бюлетень. – №3. – Львів: НЛТУ України, 2011. – С. 76.

101. Суховірський Б. І. Географічні інформаційні системи : навч. посіб. / Б. І. Суховірський. – Чернігів : ЧДІ-ЕУ, 2000. – 197 с.

102. Суховірський Б. І. Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку / Б. І. Суховірський. – К. : Знання України, 2002. – 210 с.

103. Табачишин В. Г., Завьялов Е. В. Распространение гадюки Никольского на юге Подольской возвышенности // Поволж. экол. журн. – 2003. – №2. – С. 202–203.

104. Титар В. М. Бабки (Odonata) острова Труханів: зміни за майже століття // Мат. VI з'їзда Українського ентомологічного т-ва. Тези доповідей. – Біла Церква, 2003. – С. 8–11.

105. Титар В. М. Аналіз ареалів видів: підхід, заснований на моделюванні екологічної ніші // Вестн. зоології. – 2011. – Отд. в. 25. – С. 1–93.

106. Титар В. М., Некрасова О. Д. К изучению раритетного биоразнообразия Подолья с помощью ГИС-моделирования на примере рептилий красной книги Украины // Мат. I міжнар. наук.-практ. конф. "Природа Волині і Поділля: дослідження та охорона" (3–5 червня 2015, Броди, Україна). – Броди, 2015. – С. 58–62.

107. Титар В. М., Некрасова О. Д. Определение территорий, важных для сохранения желтобрюхого полоза (*Dolichophis caspius*) в Украине: метод, основанный на моделировании экологической ниши // Мат. IV Всеукраїнських наук. читань пам'яті С. Тарашука. До 60-річчя від дня н. (23-24 квітня 2015, Миколаїв, Україна). – Миколаїв: ЧДУ ім. П. Могили, 2015. – С. 217–223.

108. Титар В. М., Некрасова О. Д., Марущак О. Ю. Використання геоінформаційних систем (ГІС) у дослідженнях популяцій амфібій у зв'язку зі змінами клімату на прикладі очеретяної ропухи (*Epidalea calamita* (Laurenti, 1768)) // Мат. V міжнар. наук.-пр. конф. «Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень», (19 квітня 2018 р., Чернівці, Україна). – Чернівці. – 2018. – С. 90–92.

109. Тлумачний посібник оселищ Резолюції №4 Бернської конвенції, що знаходяться під загрозою і потребують спеціальних заходів охорони. I версія адапт. неофіц. перекл. з англ. (III проекту офіційної версії 2015 р.) / А. Куземко, С. Садогурська, О. Василюк. – Київ, 2017. – 124 с.

110. Ушкаренко В. О. Системи управління базами даних ГІС для моніторингу ґрунтів / В. О. Ушкаренко, В. В. Морозов, О. В. Морозов та ін. – Херсон : ХДУ, 2007. – 112 с.

111. Червона книга України (ЧКУ). Тваринний світ / ред. І. А. Акімов. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – С. 390.

112. Шарлемань Э. В., Артоболевский Г. В. Материалы к фауне стрекоз окрестностей Киева // Материалы к познанию фауны Юго-Западной России. – 1915. – 1. – С. 1–25.

113. Шеляг-Сосонко Ю. Р. Головні риси екомережі України. – Розбудова екомережі України. – Київ. – 1999. – С. 13–22.

114. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко. – Харків : ХНАМГ, ХНУРЕ, 2009. – 158 с.

115. Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. – 2013.

116. Шмидт-Ниельсен К. Физиология животных. Приспособление и среда. М.: «Мир», 1982. – Т.1. – 800 с.

117. Шумаков Ф. Т. Збірник лабораторних робіт з геоінформатики / Ф. Т. Шумаков. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 123 с.

118. Щербак Н. Н., Щербань М. И. Земноводные и пресмыкающиеся Украинских Карпат. – Киев : Наук. Думка, 1980. – 268 с.

119. Ямелинець Т. С. Застосування географічних інформаційних систем у ґрунтознавстві : навч. посіб. / Т. С. Ямелинець. – Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008. – 196 с.

120. American Museum of Natural History AMNH <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/index.php>

121. AmphibiaWeb. 2019. <<http://amphibiaweb.org>> University of California, Berkeley, CA, USA. Accessed 24 May 2019.
122. Angilletta M. J., Niewiarowski P. H., Navas C. A. The evolution of thermal physiology in ectotherms // *J. Therm. Biol.* – 2002. – Vol.27. – P. 249–268.
123. Araújo M. B. et al. Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods // *Global change biology*. – 2004. – Vol.10, №9. – C. 1618–1626.
124. Araújo M. B., Alagador D., Cabeza M., et al. Climate change threatens European conservation areas // *Ecology Letters*. Araújo M. B., Alagador D., Cabeza M., et al. Climate change threatens European conservation areas 2011. – Vol.14. – P. 484–492.
125. Araujo M. B., Thuiller W., Pearson R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe // *Journal of Biogeography*. – 2006. – Vol.33, No.10. – P. 1712–1728.
126. Bakkenes, M. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050 / Bakkenes, M., Alkemade, J. R. M., Ihle, et. al. // *Global Change Biology*. – 2002. – Vol.8. – P. 390–407.
127. Beaumont L. J., Hughes L., Poulsen M. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions // *Ecological modelling*. – 2005. – Vol.186, №2. – P. 251–270.
128. Beever E. A., Belant J. L. 13 Ecological Consequences of Climate Change // *Ecological Consequences of Climate Change: Mechanisms, Conservation, and Management*. – 2011. – P. 285.

129. Bennett L. Deforestation and Climate Change // The Climate Institute. – 2017. – 17 p.
130. Bergstrom D.M., Chown S.L. Life at the front: history ecology and change in the Southern Ocean islands // Trends in Ecology and Evolution. – 1999. – Vol.14, №12. – P. 472–477.
131. Blaustein A. R., Belden L. K., Olson D. H. et al. Amphibian breeding and climate change // Conserv. Biol. – 2001. – Vol.15(6). – P. 1804–1809.
132. Bradshaw W. E., Holzapfel C. M. Evolutionary response to rapid climate change // Science. – 2006. – Vol.312, №5779. – P. 1477–1478.
133. Brotons L. et al. Presence- absence versus presence- only modelling methods for predicting bird habitat suitability // Ecography. – 2004. – Vol.27, №4. – P. 437–448.
134. Brown J. H. Macroecology. University of Chicago Press, 1995.
135. Butchart S. H. M., Scharlemann J. P. W., Evans M. I. Protecting Important Sites for Biodiversity Contributes to Meeting Global Conservation Targets // PLoS ONE. – 2012. – Vol.7, No.3. – P. e32529.
136. Cammell M. E., Knight J. D. Effects of climatic change on the population dynamics of crop pests // Advances in Ecological Research. Academic Press. – 1992. – P. 117–162.
137. Carpenter G., Gillison A. N., & Winter J. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals // Biodiversity & Conservation. – 1993. – 2(6). – P. 667–680.
138. Chapin F. S., Zavaleta E. S., Eviner V. T. et al. Consequences of changing biodiversity // Nature. – 2000. – Vol.405, №6783. – P. 234–242.
139. Chapman A. D., Busby J. R. Linking plant species information to continental biodiversity inventory, climate

modeling and environmental monitoring // Mapping the diversity of nature. – Springer, Dordrecht, 1994. – P. 179–195.

140. Chapman A. D., Milne D. J. The Impact of global warming on the distribution of selected Australian plant and animal species in relation to soils and vegetation. – 1998.

141. Chapman A. D. Quality control and validation of point-sourced environmental resource data // Spatial accuracy assessment: Land information uncertainty in natural resources. – 1999. – Vol.409. – P. 418.

142. Climate Change 2007. The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment // Report of the IPCC WMO, UNEP. 2007. – 142 p.

143. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. – 18 p.

144. Conrad O., Bechtel B., Bock M. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v.2.1.4. // Geoscientific Model Development Discussions. – 2015. – 8(2). – P. 2271–2312.

145. Duckworth W. D., Genoways H. H., Rose C. L. Preserving natural science collections: chronicle of our environmental heritage. – 1993.

146. Dukes J. S., Mooney H. A. Does global change increase the success of biological invaders? // Trends in Ecology and Evolution. – 1999. – Vol.14, №4. – P. 135–139.

147. Elith J., Graham C. H., Anderson R. P. et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data // Ecography. – 2006. – Vol.29(2). – P. 129–151.

148. Elith J., Kearney M., Phillips S.J. The art of modelling range-shifting species // Methods Ecol. Evol. – 2010. – Vol.1, Is.4. – P. 330–342.

149. Elith J., Phillips S. J., Hastie T. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists // Diversity and Distributions. – 2011. – Vol.11. – P. 43–57.
150. Elton C. S. Animal ecology: London. Sidgwick and Jackson, Ltd, 1927.
151. Fick S. E. and Hijmans R. J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology. – 2017. – 37. – P. 4302–4315.
152. Franklin J. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. – Cambridge University Press, 2010.
153. Gaston K. J. The structure and dynamics of geographic ranges. Oxford University Press on Demand, 2003.
154. Geiger, R. Landolt-Börnstein – Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3, Ch. Klassifikation der Klimate nach W. Köppen. – Springer, Berlin, 1954. – P. 603–607.
155. Ghisla, A., Rocchini, D., Neteler, M., Forster, M., & Kleinschmit, B. Species distribution modelling and open source GIS: why are they still so loosely connected?. – Conference: 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software. 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software. – 2012. – P. 1–8.
156. Goodchild M. F. Geographic information systems // Progress in Human geography. – 1991. – Vol.15, №2. – P. 194–200.
157. Grinnell J. Barriers to distribution as regards birds and mammals // Am. Nat. – 1914. – 48. – P. 248–254.
158. Guisan A., Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than single habitat models // Ecology Letters. – 2005. – Vol.8, №9. – P. 993–1009.

159. Guisan A., Zimmermann N. E. Predictive habitat distribution models in ecology // *Ecological modelling*. – 2000. – Vol.135, №2-3. – P. 147–186.

160. Halpin P. N. Global climate change and natural area protection: management responses and research directions // *Ecological Applications*. – 1997. – Vol.7, №3. – P. 828–843.

161. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. – 2001. – Vol.4 (1). – 9 p.

162. Hannah L., Midgley G., Anelman S., et al. Protected area needs in a changing climate // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2007. – Vol.5. – P. 131–138.

163. Harris R.M.B., Grose M.R., Lee G. et al. Climate projections for ecologists. *WIREs Clim. Change*. – 2014. – No.5. – P. 621–637.

164. Hartel T., von Wehrden H. Farmed areas predict the distribution of amphibian ponds in a traditional rural landscape // *PLoS One*. – 2013. – Vol.8, №5. – P. 649.

165. Hewitt G. The genetic legacy of the Quaternary ice ages // *Nature*. – 2000. – Vol.405, №6789. – P. 907–913.

166. Hickling R., Roy D. B., Hill J. K., Fox R., & Thomas C. D. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards // *Global change biology*. – 2006. – 12(3). – P. 450–455.

167. Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. – 2005. – Vol.25, №15. – P. 1965–1978.

168. Hijmans R. J., Guarino L., Bussink C., Mathur P., Cruz M., Barrentes I., & Rojas E. DIVA-GIS: A geographic information system for the analysis of species distribution data. – 2012. – Vol.7. – P. 476–486.

169. Hijmans R. J., Guarino L., Mathur P. DIVA GIS vs 7.5. A geographic information system for the analysis of species distribution data. – 2012. – 77 p. (Software and manual available at www.diva-gis.org).

170. Hubbell S. P. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography (MPB-32). Princeton University Press. 2001.

171. Humboldt A. von. Cosmos: a sketch of the physical description of the Universe. Trans E, C, Otte. – Vol.1. – New York: Harper & Brothers, 1858.

172. Hutchinson G. E. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symp Quant Biol. – 1957. – 22. – P. 415–427.

173. Hutchinson M., Xu T., Houlder D., Nix H. & McMahon J. *ANUCLIM 6.0 User's Guide*. Australian National University, Fenner School of Environment and Society. – 2009.

174. IIASA/FAO. Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO. – 2012. – Rome, Italy. <http://www.fao.org/nr/gaez/en/>.

175. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 1996. – 879 p.

176. IUCN (4C MCOII): The IUCN Red List of Threatened Species 2009. <https://www.iucnredlist.org/>

177. Jandzik D. et al. Pleistocene extinctions and recent expansions in an anguid lizard of the genus *Pseudopus* // Zoologica Scripta. – 2018. – Vol.47, №1. – P. 21-32.

178. Janzen F. J. Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles // Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A. – 1994. – Vol.91, №16. – P. 7487–7490.

179. Jenkins C. N., Joppa L. Expansion of the global terrestrial protected area system // *Biological Conservation*. – 2009. – Vol.142. – P. 2166–2174.

180. Jezkova T., Wiens J.J. Rates of change in climatic niches in plant and animal populations are much slower than projected climate change // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2016. – Vol.283. – Is.1843. DOI: 10.1098/rspb.2016.2104.

181. Kapos V. Original Forest Cover Map, Cambridge, UK: UNEP-WCMC, 2000.

182. Köppen, W. The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and of the impact of heat on the organic world, *Meteorol. Z.*, 1, 1884. – P. 215–226 (translated and edited by Volken, E. and S. Brönnimann). *Meteorol. Z.*, 20. – P. 351–360.

183. Köppen, W. Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie* (ed. by W. Köppen and R. Geiger), 1936. – Vol.1, Part C. – P. 1–44. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.

184. Köppen, W., Geiger R. *Klima der Erde* (Climate of the earth). Wall Map 1:16 Mill. Klett-Perthes, Gotha, 1954. map

185. Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* – 15. – P. 259–263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

186. Kriticos D. J., Webber B. L., Leriche A. et al. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2012. – Vol.3. – P. 53–64.

187. Kriticos D. J., Jarošik V. and Ota N. Extending the suite of Bioclim variables: a proposed registry system and case study using principal components analysis // *Methods in*

Ecology and Evolution. – 2014. – Online Early, DOI: 10.1111/2041-210X.12244

188. Kriticos D. J., Webber B. L., Leriche A., Ota N., Macadam I., Bathols J. & Scott J. K. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 2012. – Vol.3. – P. 53–64. DOI: 10.1111/j.2041-210X.2011.00134.x

189. Kuybida V. V., Nekrasova O. D., Kutsokon Y. K., & Lopatynska V. V. Summer Fish Kills in the Kaniv Reservoir // *Hydrobiological Journal*. – 2019. – Vol.55, №1. – P. 103–106. DOI: 10.1615/HydrobJ.v55.i1.110

190. Lambin E. F., Turner B. L. II, Geist H. J. et al. The Causes of Land-Use and Land-Cover Change: Moving Beyond the Myths // *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*. – 2001. – Vol.11, №4. – P. 5–13.

191. Lemes P., Melo A. S., Loyola R. D. Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest // *Biodiversity and Conservation*. – 2014. – Vol.23. – P. 357–368.

192. Lenoir J., Svenning J. C. Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions // *Ecography*. – 2015. – Vol.38. – P. 15–28.

193. Lindgren E., Tälleklint L., & Polfeldt T. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus* // *Environmental health perspectives*. – 2000. – 108(2). – P. 119–123.

194. Liu C., Newell G., White M. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data // *Ecology and Evolution*. – 2016. – Vol.6, №1. – P. 337–348.

195. Malcolm J. R., Liu C., Miller L. B. et al. Habitats at Risk: Global Warming and Species Loss in Globally

Significant Terrestrial Ecosystems // Gland, Switzerland: Worldwide Fund for Nature (WWF). – 2002. – 40 p.

196. Malcolm J. R., Liu C., Neilson R. P. et al. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots // *Conservation Biology*. – 2006. – Vol.20, №2. – P. 538–548.

197. Malcolm J. R., Markham A. Global Warming and Terrestrial Biodiversity Decline // WWF: Gland. – 2000. – 23 p.

198. Margules C. R., Pressey R. L. Systematic conservation planning // *Nature*. – 2000. – Vol. 405, №6783. – P. 243.

199. Márquez J. R. G. Multi-scale assessment of the potential distribution of two herpetofaunal species. – ITC, 2006.

200. Markham A. Potential impacts of climate change on ecosystems: a review of implications for policymakers and conservation biologists // *Climate Research*. – 1996. – Vol.6, №2. – P. 179–191.

201. Martinez-Meyer E. Climate change and biodiversity: some considerations in forecasting shifts in species' potential distributions // *Biodiversity Informatics*. – 2005. – Vol.2. – P. 42–55. DOI <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.8>

202. McCarty J. P. Ecological consequences of recent climate change // *Conservation Biology*. – 2001. – Vol.15, No2. – P. 320–331.

203. Meinshausen M., Smith S. J., Calvin K. et al. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300 // *Climatic change*. – 2011. – Vol.109, №1–2. – P. 213–241.

204. Naimi B., Hamm N. A. S., Groen T. A. et al. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? // *Ecography*. – 2014. – Vol.37(2). – P. 191–203.

205. Nasrabadi R., Rastegar-Pouyani N., Pouyani E. R., Kami H. G., Gharzi A. and Yousefkhani S. H. The effects of climate change on the distribution of European glass lizard *Pseudopus apodus* (Pallas, 1775) in Eurasia // Ecological research. – 2018. – 33(1). – P. 199–204.

206. Nekrasova O. Distributions of *Coronella austriaca* Laurenti, 1768 in Ukraine: modeling and prediction // Herpetological Facts Journal. 2014, Supplement 1: Proceedings of the 2nd international Scientific Conference – Workshop “Research and conservation of European herpetofauna and its environment: *Bombina bombina*, *Emys orbicularis*, and *Coronella austriaca*”, 2014. – P. 61–66.

207. Nekrasova O. D., Gavris G. G., Kuybida V. V. Changes in the Northern Border of the Home Range of the Dice Snake, *Natrix tessellata* (Reptilia, Colubridae), in the Dnipro Basin (Ukraine) // Vestnik zoologii. – 2013. – 47(5). – P. 475–479. DOI: <https://doi.org/10.2478/vzoo-2013-0050>

208. Nekrasova O. D., Kuibida V. V. Researching Malformations in Frogs of the *Pelophylax esculentus* complex (Amphibia: Anura) in the Natural Populations of the Trakhtemyriv Peninsula (Ukraine) // in The Second International conference “Amphibian and reptiles anomalies and pathology: methodology, evolutionary significance, monitoring and environmental health”, KnE Life Sciences, 2018. – P. 117–122. DOI 10.18502/kls.v4i3.2112

209. Nekrasova O., Marushchak O., Tytar V., Oskyrko O., Dubina N. Current Trends in the Manifestation of External Morphological Anomalies in Representatives of the Herpetofauna of Ukraine under Anthropogenic Influence and Climate Change // The 4rd International Symposium on EuroAsian Biodiversity. SEAB. (03-06 July 2018, Kiev, Ukraine), 2018. – P. 101.

210. Nekrasova O., Tytar V., Kuibida V., Marushchak O., Oskyrko O. A GIS modeling approach to the Investigation of

rare amphibians and reptiles in Ukraine under climate change // The 4rd International Symposium on EuroAsian Biodiversity. SEAB. (03-06 July 2018, Kiev, Ukraine), 2018. – P. 100.

211. Nicholls N. Increased Australian wheat yield due to recent climate trends // *Nature*. – 1997. – Vol.387, №6632. – P. 484.

212. Nix H. A., Busby J. BIOCLIM, a bioclimatic analysis and prediction system // Division of Water and Land Resources: Canberra. – 1986.

213. Olivero J. et al. Testing the efficacy of downscaling in species distribution modelling: a comparison between MaxEnt and Favourability Function models // *Animal biodiversity and conservation*. – 2016. – Vol.39, №1. – P. 99–114.

214. Ott J. The effects of Climatic Changes for the distribution of dragonflies in Europe and their possible effects on the biocoenosis of the waters // Abstracts Book 4th WDA International Symposium of Odonatology. – Pontevedra, 2005. – P. 49.

215. Ott J. (ed). Monitoring climate change with dragonflies. Series Faunistica 81. Pensoft, Sofia. Cannon R.J.C. (1998). The implications of predicted climate change in the UK, with emphasis on non-indigenous species // *Global Change Biology*. – 2008. – 4. – P. 785–796.

216. Panetta F. D., Mitchell N. D. Bioclimatic prediction of the potential distributions of some weed species prohibited entry to New Zealand // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. – 1991. – Vol.34, №3. – P. 341–350.

217. Parmesan C., Ryrholm N., Stefanescu C., et al. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming // *Nature*. – 1999. – Vol.399. – P. 579–583.

218. Parmesan C., Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems // *Nature*. – 2003. – Vol.421. – P. 37–42.

219. Pearson R. G., Dawson T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimatic envelope models useful? // *Global Ecology and Biogeography*. – 2003. – Vol.12, №5. – P. 361–371.

220. Pecl G. T., Araújo M. B., Bell J. D. et al. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being // *Science*. – 2017. – Vol.355(6332). – P. 9214.

221. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Updated world map of the Koeppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 2007. – 4(2). – P. 439–473.

222. Perry A. L., Low P. J., Ellis J. R., et al. Climate change and distribution shifts in marine fishes // *Science*. – 2005. – Vol.308. – P. 1912–1915.

223. Peterson A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling // *Quarterly Review of Biology*. – 2003. – Vol.78, №4. – P. 419–433.

224. Peterson A. T. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models // *Biodiversity Informatics*. – 2006. – Vol.3. – P. 59–72.

225. Peterson A. T. et al. *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. – Princeton University Press, 2011. – Vol.56.

226. Peterson A. T., Soberón J., Sánchez-Cordero V. Conservatism of ecological niches in evolutionary time // *Science*. – 1999. – Vol.285, №5431. – P. 1265–1267.

227. Peterson A. T., Vieglais D. A. Predicting Species Invasions Using Ecological Niche Modeling: New Approaches from Bioinformatics Attack a Pressing Problem: A new approach to ecological niche modeling, based on new

tools drawn from biodiversity informatics, is applied to the challenge of predicting potential species' invasions // BioScience. – 2001. – Vol.51, №5. – P. 363–371.

228. Phillips S. J. A Brief Tutorial on Maxent. – 2017. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2018-12-23.

229. Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modelling. – 2006. – Vol.190, №3-4. – P. 231–259.

230. Phillips S. J., Dudík M., Schapire R. E. A maximum entropy approach to species distribution modeling // Proceedings of the 21st Intern. Conf. on Machine learning. – New York: ACM Press. – 2004. – P. 655–662.

231. Pouliquen-Young O., Newman P. The Implications of Climate Change for Land-Based Nature Conservation Strategies. Perth, Australia, Australian Greenhouse Office, Environment Australia, Canberra // Institute for Sustainability and Technology Policy, Murdoch University. – 1999. – Vol. 91.

232. Pounds J. A., Fogden M. P. L., Campbell J. H. Biological responses to climate change on a tropical mountain // Nature. – 1999. – Vol.398, №6728. – P. 611–615.

233. Pulliam H. R. On the relationship between niche and distribution // Ecology letters. – 2000. – Vol.3, №4. – P. 349–361.

234. Pupina A., Pupins M., Nekrasova O., Tytar V., Kozynenko I., Marushchak O. Species distribution modelling: *Bombina bombina* (Linnaeus, 1761) and its important invasive threat *Perccottus glenii* (Dybowski, 1877) in Latvia under global climate change // Journal of Environmental Research, Engineering and Management. – 2018. – Vol.74, No.4 – P. 79–86. DOI 10.2478/vzoo-2014-0053

235. Ramsfield T. D., Bentz B. J., Faccoli M. et al. Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts // Forestry. – 2016. – Vol.89(3). – P. 245–253.

236. Redon M., Luque S. Presence-only modelling for indicator species distribution: biodiversity monitoring in the French Alps // 6th Spatial Analysis and Geomatics international conference (SAGEO 2010). Toulouse, France. Université de Toulouse. – 2010. – No.1. – P. 42–55.

237. Research Fronts 2014. Reuters Thomson: 100 Top Ranked Specialties in the Sciences and Social Sciences. Recuperado de <https://bit.ly/2MSbbrJ>, 2014.

238. Romero D., Olivero J., Real R. Comparative assessment of different methods for using land-cover variables for distribution modelling of *Salamandra salamandra longirotris* // Environmental conservation. – 2013. – Vol.40, № 1. – P. 48–59.

239. Roques A., Auger-Rozenberg M.-A. Climate change and globalization, drivers of insect invasions, Encyclopedia of the Environment, 2019 [online ISSN 2555-0950] url : <https://www.encyclopédie-environnement.org/en/life/climate-change-globalization-drivers-of-insect-invasions/>.

240. Rubel F., and M. Kottek Comments on: The thermal zones of the Earth by Wladimir Köppen (1884). Meteorol. Z., 2011. – 20. – P. 361–365.

241. Rubel F., and M. Kottek. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. Meteorol. Z., 2010. – 19. – P. 135–141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.

242. Ruttner F. Fundamentals of limnology. – Toronto: Univ. of Toronto press, 1953. – 295 p.

243. Sahlean T. C. et al. Refining climate change projections for organisms with low dispersal abilities: a case study of the Caspian whip snake // PloSone. – 2014. – Vol.9, №3. – e91994.

244. Sala O. E., Chapin F. S., Armesto J. J. et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100 // *Science*. – 2000. – Vol.287, №5459. – P. 1770–1774.

245. Scheldeman X. and van Zonneveld M. *Training Manual on Spatial Analysis of Plant Diversity and Distribution*. Bioversity International, Rome, 2010. – P. 1–179.

[http://www.bioversityinternational.org/index.php?id=19&user_bioversitypublications_pi1\[showUid\]=5052](http://www.bioversityinternational.org/index.php?id=19&user_bioversitypublications_pi1[showUid]=5052)

246. Sherman G. *Desktop GIS: mapping the planet with open source tools*. Pragmatic Bookshelf. – 2008. – 368 p.

247. Sillero N. J., Campos A., Bonardi C. et al. Updated distribution and biogeography of amphibians and reptiles of Europe // *Amphibia-Reptilia*. – 2014. – Vol.35. – P. 1–31.

248. Soberon J., & Peterson A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas // *Biodiversity Informatics*. – 2005. – Vol.2. – P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>

249. Stockwell D. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction // *International journal of geographical information science*. – 1999. – Vol.13, №2. – P. 143–158.

250. Stuart S., Chanson J., Cox N., Young B., Rodrigues A. S. L., Fischman D., Waller R. Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide // *Science*. – 2004. – Vol.306(5702). – P. 1783–1786.

251. Suarez A. V., & Tsutsui N. D. The value of museum collections for research and society // *BioScience*. – 2004. – 54(1). – P. 66–74.

252. Swets J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems // *Science*. – 1988. – Vol.240(4857). – P. 1285–1293.

253. Tenow O., Nilssen A. C., Holmgren B. et al. An insect (*Argyresthia retinella*, Lep. Yponomeutidae) outbreak in northern birch forests, released by climatic changes? // *Journal of Applied Ecology*. – 1999. – Vol.36., №1. – P. 111–122.

254. Thomas C. D., Lennon J. J. Birds extend their ranges northwards // *Nature*. – 1999. – 399(6733). – P. 213.

255. Tilman D., Fargione J., Wolff B. et al. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change // *Science*. – 2001. – Vol.292., №5515. – P. 282–284.

256. Title P. O., Bemmels J. B. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling // *Ecography*. – 2018. – Vol.41. – P. 291–307.

257. Tytar V. M., Nekrasova O. D. Species distribution modeling of the Caspian Whip Snake *Dolichophis caspius* (Squamata: Serpentes): a tool for ranking conservation priorities in the western Pontic Steppe // *Biological Communications*. – 2016. – Vol.3. – P. 143–148. DOI: 10.21638/11701/spbu03.2016.324

258. Tytar V. M., Nekrasova O. D. and Marushchak A. Yu. Ecological and Geographical Gis-Analysis of Anomalies in Amphibians of Ukraine // in The Second International conference “Amphibian and reptiles anomalies and pathology: methodology, evolutionary significance, monitoring and environmental health”, KnE Life Sciences, 2018. – P. 42–48. DOI: 10.18502/cls.v4i3.2101

259. Tytar V., Mezhzherin S., Sobolenko L. Using Ecological Niche Modeling for Biodiversity Conservation Guidance in the Western Podillya (Ukraine): Amphibians // *Vestnik Zoologii*. – 2015. – 49(2). – P. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.1515/vzoo-2015-0015>

260. Tytar V., Nekrasova O., Pupina A., Pupins M. Distribution modeling of the Fire-bellied toad, *Bombina bombina*, as a tool for conservation planning under global climate change // 8th European Pond Conservation Network Workshop (21–25 May 2018, Torroella de Montgrí, Spain), 2018. – P. 54.

261. Tytar V., Nekrasova O., Pupina A., Pupins M., Oskyrko O. Long-term bioclimatic modelling the distribution of the fire-bellied toad, *Bombina bombina*, under the Influence of global climate change // Vestnik Zoologii. – 2018. – 52(4). – P. 553–556. DOI 10.2478/vzoo-2014-0053

262. Tytar V., Sobolenko L., Nekrasova O., Mezhzherin S. Using ecological niche modeling for biodiversity conservation guidance in the Western Podillya (Ukraine): Reptiles // Vestnik Zoologii. – 2015. – 49(6). – P. 551–558. DOI: 10.1515/vzoo-2015-0065

263. Usher M. B. Conserving European biodiversity in the context of climate change. – Strasbourg: Committee for the activities of the COE in the field of biological and landscape diversity, 2005. – 27 p.

264. UNCG. (Ukrainian Nature Conservation Group). “Підтримка залучення громадськості до побудови системи моніторингу біорізноманіття в Україні”. <http://uncg.org.ua/projects/zaluchennya-gromadskosti/>

265. Vasyliuk O. V., Nekrasova O. D., Shyriaieva D. V., Kolomytsev G. O. A review of major impact factors of hostilities influencing biodiversity in the eastern Ukraine (modeled on selected animal species) // Vestnik zoologii. – 2015. – 49(2). – P. 145–158. DOI: 10.1515/vzoo-2015-0016

266. Vega G. C. et al. MERRAclim, a high-resolution global dataset of remotely sensed bioclimatic variables for ecological modelling. Sci. Data 4:170078 DOI: 10.1038/sdata.2017.78 (2017).

267. Vitousek P. M., Mooney H. A., Lubchenco J. et al. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems // Science. – 1997. – Vol.277, №5325. – P. 494–499.

268. Walther G. R., Post E., Convery P., et al. Ecological responses to recent climate change // Nature. – 2002. – Vol.416. – P. 389–395.

269. Walker B., Steffen W. An Overview of the Implications of Global Change for Natural and Managed Terrestrial Ecosystems // Conservation Ecology. – 1997. – Vol.1, №2. – P. 329–345.

270. Warren D. L., Glor R. E., & Turelli M. ENMTTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models // Ecography. – 2010. – 33(3) . – P. 607–611.

271. West R. G. Pleistocene Geology and Biology. – London: Longmans, 1968. – 377 p.

272. Whittaker J. B., Tribe N. P. Predicting numbers of an insect (*Neophilaenus lineatus*: Homoptera) in a changing climate // Journal of Animal Ecology. – 1998. – 67(6). – P. 987–991.

273. Wielstra B. et al. Tracing glacial refugia of Triturus newts based on mitochondrial DNA phylogeography and species distribution modeling // Frontiers in Zoology. – 2013. – Vol.10, №1. – P. 13.

274. Wiens J. J., Graham C. H. Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology // Rev. Ecol. Evol. Syst. – 2005. – Vol.36. – P. 519–539.

275. World Maps of Koeppen-Geiger Climate Classification – <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>.

276. Xin X., Wu X. The Practice of Outreach Services in Chinese Special Libraries // In: Academic Library Development and Administration in China. – 2017. – 16 p.

277. Zieliński P. et al. No evidence for nuclear introgression despite complete mt DNA replacement in the Carpathian newt (*Lissotriton montandoni*) // Molecular Ecology. – 2013. – Vol.22, №7. – P. 1884–1903.

278. Zinenko O., Țurcanu V., & Strugariu A. Distribution and morphological variation of *Vipera berus nikolskii* Vedmederja, Grubantet Rudaeva, 1986 in Western Ukraine, the Republic of Moldova and Romania // Amphibia-Reptilia, 2010. – 31(1). – P. 51–67.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НЕКРАСОВА Оксана Дмитрівна
ТИТАР Володимир Михайлович
КУЙБІДА Віктор Віталійович

**ГІС-моделювання поширення
вразливих до змін клімату
земноводних та плазунів України**

Відповідальний редактор Межжерін С. В.

Підп. до друку 20.08.2019. Формат 60х84/ 16. Папір офсет.

Обл. вид. арк. 8,07. Ум. друк. арк. 8,13.

Наклад 100 прим. Зам. 495.

Виготівник ФОП І.В. Майдаченко,
свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої
продукції ДК №5349 від 18.05.2017 р.

19400, Черкаська обл.,
м. Корсунь-Шевченківський,
вул. Ярослава Мудрого, 22,
e-mail: irena22@ukr.net