

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ВИВІРКИ ЗВИЧАЙНОЇ (*SCIURUS VULGARIS*) У СХІДНІЙ ЄВРОПІ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ, ЗГІДНО ЗІ СЦЕНАРІЯМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ (SSP) ДО 2100 РОКУ

Григорій Коломицев^{1,3,4}, Василь Придатко-Долін^{2,3,5}

¹ Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України (Київ, Україна)

² МА Український центр менеджменту землі і ресурсів (Київ, Україна)

³ Група з питань біотогоеоінформатики — ULRMC Biotic GIS Group (BioModel)

⁴ ГО Українська природоохоронна група

⁵ Національний університет біоресурсів і природокористування України (Київ, Україна)

Red squirrel (*Sciurus vulgaris*) habitats change modelling in Eastern Europe in the scope of climate change according to new generation scenarios (SSPs) by 2100. — G. Kolomytsev, V. Prydatko-Dolin. —

In Ukraine during 2008–2010, the first SDM matched the red squirrel (*S. vulgaris*) based on GLM-by-2050, and which covered Eastern Europe, was developed and used by the Land and Resource Management Center (ULRMC, Kyiv). Our new study reveals further development of the analysis by using relevant IPCC climate change scenarios. We took into account materials on *S. vulgaris* (and *S. anomalus*) distribution, as well as selected associated species, and the WorldClim with respective maps and current bioclimatic variables, and its projections for four relevant scenarios which combined SSPs & RCPs by 2100. The simulations of scenario SSP1 & RCP2.6 associated with an average temperature increase of 1.5 °C show that climate change could cause the loss of 12 % of suitable habitats of the species in Eastern Europe and 49 % in Ukraine. The simulations for SSP2 & RCP4.5 (with average temperature increase of 1.8 °C) demonstrates, respectively, a potential loss of 14 % and 57 % of suitable habitats. Simulations of SSP3 & RCP7.0 and SSP5 & RCP8.5 scenario (with average temperature increase of >> 2 °C) shows a loss of 30 % and 41 % of suitable habitats within Eastern Europe, and more than 90 % in Ukraine. Since each percent of such changes provokes enormous losses in ecosystems and biodiversity, we emphasize the current need for countries to aim and achieve the most ambitious climate change commitments to stabilize the increase of temperature, i.e. within 1.5 °C. Our comparison platform included also SDMs of some trees (oak, beech, spruce, pine, linden, and birch — *Quercus robur*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Pinus silvestris*, *Tilia cordata*, *Betula* spp.), as well as SDM for the marten (*Martes martes*), for all of which we had already developed GLM-by-2050. Consequently, the new projections demonstrated that all habitats of the red squirrel and associated species are expected to shift mostly 'to the north' by 2100, and their localities in the Caucasus Mountain areas might be fragmented. Most likely, in nature, this complicated displacement revealed by the mentioned modelling will happen not in the form of direct migration of individuals 'to the north', but through active synanthropization of the red squirrel. How durable and satisfactory this mechanism is for natural selection remains a mystery. The territories from which *S. v. ukrainicus* (Mygulin, 1928) historically originated and was described have changed significantly: the respective landscape ecosystem losses have reached up to 50 % and more. By 2100, significant habitat changes are likely to be also demonstrated by beech and birch. This research can be used by educators in teaching the history of science, applied ecology, nature conservation, and geoinformatics in biology. This research is dedicated to the Squirrel Year 2020.

Key words: red squirrel, *Sciurus vulgaris*, SDM, WorldClim, SSP, RCP, Ukraine, Eastern Europe.

Correspondence to: Grygoriy Kolomytsev; I. I. Schmalhausen Institute of Zoology, NAS of Ukraine, 15 Bohdan Khmelnytsky St, Kyiv, 01030 Ukraine; e-mail: gk@uncg.org.ua; orcid: 0000-0002-0747-8600

Вступ

Вивірка звичайна (*Sciurus vulgaris*, L. 1758) — широко розповсюджений в Євразії вид, що віддзеркалилося в одній із домінуючих вернакулярних назв тварини — *вивірка руда євразійська*¹. Із відповідною англомовною назвою, Eurasian Red Squirrel, тварину внесли, в тому числі, в міжнародний «червоний» список, оздоблений потужною картою (Shar *et al.* 2016)

¹ BioLib називає тварину Ukrainian rust-colored Squirrel, інакше — українською іржаво-рудю вивіркою.

(рис. 1). В Україні вид отримав охоронний статус (b3) в 1996 році¹, з моменту приєднання держави до Бернської конвенції (*Sciurus vulgaris*... 1996). Натомість, прискіпливий дослідник охоче зверне увагу на чимало надважливих деталей. Зокрема, на обіг значно ширшого переліку зоономенів, наприклад, в Україні, серед яких є дуже древній, рідкісний, слово-о-полку-ігорівський, «мись» (Зізда & Загороднюк 2020), втім як і **бъл[ь]** та **въвъриц[я]**. І на те що історія пізнання вивірки в Україні не є звичайною, адже тут поширені декілька підвидів, один із яких є прикметним — це *Sciurus (Sciurus) vulgaris ukrainicus* Migulin 1928 (Мигулін 1938: 348²; Wilson & Reeder 2005: 764)³, і стосовно якого існують різні точки зору. І на те, що узгалянена сучасна мапа від Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) є актуальною на 2014 рік та має позначку Version 2020-3. До того ж, на цій мапі ареал вивірки, яка мешкає, приміром в Україні, є зсунутим на північ (рис. 1). Але з якої причини? МСОП не конкретизує як саме була отримана мапа, хоча у легенді називає 18 джерел інформації. З огляду на згадування там ESRI та назв різних громад, це ймовірно, було результатом адміністративно-орієнтованих і точково-маршрутних обліків. Головним відлиском, важливим для нашого дослідження, є те, що навіть у зведенні рівня МСОП немає моделей, а у видовому нарисі фігурує лише зазначений тренд зниження (↓). Натомість, у цифрову епоху, моделювання та імітації, на нашу думку, мають стати невід'ємною частиною процесу прийняття рішень, адже облік вивірки методом підрахунку здобичі у мисливських сумках давно пішов у небуття, а інший, маршрутний, завжди залишатиметься проблемним, з огляду на витратність і величезні площі, де ще мешкає ця популярна, корисна тварина.

В Україні вперше симуляції щодо поширення вивірки (у цифровому середовищі, у вигляді серії мап, а потім і результатів моделювання з використанням підходу генералізованих лінійних моделей (GLM), зібраних в GIF-анімацію) були оприлюднені групою BioModel Українського центру менеджменту землі і ресурсів (ULRMC) в 2008–2010 роках, у т.ч. для Східної Європи. За 11 літ в Україні ніхто не створив нічого подібного, і не запропонував іншої альтернативи⁴. Отому ми вирішили провести модернове дослідження із використанням просторового моделювання, що враховуватиме визначальні релевантні сценарії і симуляції зміни клімату, випродуковані Міжурядовою групою експертів з питань зміни клімату (IPCC).



Рис. 1. Частина ареалу вивірки (*S. vulgaris*), за даними МСОП — див. текст. Фото О. Різника (парк «Перемоги», м. Черкаси, Україна (2020)).

Fig. 1. The Eurasian Red Squirrel (*S. vulgaris*) areal fragment based on IUCN data — see the text. The photo by A. Riznyk (Pentax K5-II, Pentax DA300*/4; the 'Peremoghy' Park in Cherkasy, Ukraine (2020)).

¹ В 1938 році в УРСР діяла заборона на добування (Мигулін 1938:352).

² Як правило, при згадуванні про *S. v. ukrainicus* посилаються на працю О. Мигуліна (1938). Насправді ж, на сторінці 347-й автор згадує про власний твір «Обзор грызунов Украины». У списку літератури — це «Мигулін А. А. Обзор грызунов Украины. ЗР. 1928». За люб'язним роз'ясненням І. Загороднюка, мається на увазі: Мигулін, А. А. 1928. Обзор грызунов Украины. *Захист рослин*. Харків, 3–4: 1–15.

³ Іноді — *Sciurus vulgaris* subsp. *ukrainicus* Migulin, 1928, а також «раніше *S. v. kessleri*».

⁴ У ті ж роки В.Титар (2011) оприлюднив приклади моделювання екологічної ніші, із використанням DIVA-GIS та даних World Clim.

Мета — дослідити поширення вивірки у Східній Європі й імітувати у цифровому середовищі напрямки і масштаби потенційних змін її ареалу до 2100 року, за умов реалізації країнами світу різної кліматичної політики. Інакше кажучи, — врахувати сценарії очікуваних соціально-економічних глобальних змін (SSP), поєднанні із сценаріями викидів парникових газів (RCP), запропонованих IPCC. Базовими були 4 сценарії (див. нижче). Такий досвід, а також залучення в якості порівняльного матеріалу симуляцій поширення видів, асоційованих із вивіркою, дозволив би впевненіше зіставляти результати обліку і оцінки вивірки на місцевому, регіональному і глобальному рівнях, беручи до уваги, у тому числі, зведення МСОП та інших міжнародних інституцій, де підсумкові висновки формуються колективною роботою експертів.

Додатковим поштовхом було й те, що шановна теріологічна громада запропонувала оголосити 2020-й Роком вивірки. Заразом, наше дослідження сприятиме й подальшому розвитку біогеоінформатики в Україні.

Вивірка: 1915–2100

Об'єкти дослідження

Основним об'єктом розвідки є *вивірка руда євразійська* (*Sciurus vulgaris*, L. 1758). Наявність підвидів — додаткова складність, адже не існує якоїсь формули, яка би дозволила впевнено перевести «адреси» усіх підвидів на мову цифрової карти. Одне із наближень — це врахування вимог виду до середовищ існування, наприклад, у контексті класів земної поверхні (LCC). У свою чергу, вони помітно змінюються, перетворюючись на складну мозаїку. Натомість, за багато років колективний досвід дозволив створити схему розповсюдження підвидів, яку можна накладати на відповідну мозаїку, тим самим створюючи підґрунтя для імітації розповсюдження виду, і відповідно, прогнозуючи зміни у просторі і часі.

З історико-пізнавальної точки зору, в межах України, дослідники мають діло із декількома підвидами вивірки. Згідно з О. Мигуліним (1938) — із трьома: українською (*S. v. ukrainicus*), Кесслера (*S. v. kessleri*) та середньоросійською (*S. v. ognevi*). За К. Татариним (1956) — із чотирма, а саме: *S. v. varius*, *S. v. kessleri*, *S. v. carpathicus*, *S. v. fuscoater*. Ретельний перегляд поширення підвидів *S. vulgaris* в Україні здійснила Ю. Зізда (2008), яка показала, що в публікаціях 1938-2007 років, за оцінками різних авторів, в Україні і суміжних з нею регіонах, мешкали/мешкають 3-8 підвидів: *S. v. carpathicus*, *S. v. fuscoater*, *S. v. varius*, *S. v. kessleri*, *S. v. ognevi*, *S. v. ukrainicus*, *S. v. fedjushini* та *S. v. formozovi*, а межі поширення більшості підвидів є розмитими. Аналогічну спробу із ретельного вивчення стану справ здійснив В. Цюпка (2012), який оцінив щільність і чисельність вивірки в Україні, а також підсумував, що ареал зсувається на північ. Схожий огляд, на основі публікацій 1938-2005 рр., знаходимо у Ю. Войнарович (2020). Одночасно, дослідниця виявила, що коричнева та червона форма тяжіє до перебування у мішаних лісах, чорна — хвойних, а дві форми — у містах, і що кольорові форми вивірок можна розрізнити за низкою морфометричних ознак. Інші автори, на прикладі вивірок Західної України, дослідили що репродуктивна ізоляція між рудою і чорною формами *S. vulgaris* відсутня (Білоконь *et al.* 2014). Згідно із зведенням, виконаним в США (Wilson & DeeAnn 2005), маємо справу із 4-ма підвидами із 23-х відомих для Євразії, серед яких називають також *S. v. ukrainicus* (замість¹ *S. v. kessleri*). Так само — R. Thorington & R. Hoffman (2005), і вони вказали у своєму списку *S. v. vulgaris* (замість *S. v. carpathicus*).

Щодо публічно доступних, «народних» знань, то в україномовній «Вікіпедії», навкір англomовній, немає посилання на джерело інформації, і тому важко зрозуміти мотив, з якого у списку підвидів взагалі не згадують *S. v. ukrainicus* та близький *S. v. kessleri*. Хоча потім, обидва підвиди все ж таки називають як окремі, і розміщують поряд із «телеуткою» (акліматизованим підвидом) та «карпатською» вивіркою. Іще один приклад: в україномовному вікіпедій-

¹ При уважному прочитанні слово «замість» має викликати подив. Обидва підвиди описав саме О. Мигулін, зокрема: білка Кесслера або правобережна це — «1928 — *Sciurus vulgaris kessleri* Mig.» та/чи «*S. v. kessleri* Mig., 1928 р.» (Мигулін 1938: 347, 350).

ному нарисі про О. Мигуліна є повний список таксонів, описаних О. Мигуліним (із посиланням на огляд І. Загороднюка 1992), але без згадки *S. v. ukrainicus* і без розуміння того, що у згаданій статті 1992 р. мова йшла про таксони Muroidea, але не Sciuridae. Отже, науковій громаді завше є і буде над чим працювати, у т.ч. у питаннях просвіти.

Біологія вивірки тісно пов'язана з угрупованнями деревних рослин. Як писав О. Мигулін (1938: 351, 411), вивірка — «типовий звір лісової зони, усе життя якого пов'язане з деревною рослинністю», «в умовах УРСР <...> в листяних <...> і в хвойних лісах», «придерживається виключительно лесов», «в степную зону заходить лишь по лесам». У класифікації І. Г. Серебрякова (щодо лісу) — це дерева, чагарники, чагарнички. Так чи інакше, в сьому середовищі вид годується, розмножується, пересувається, рятується від хижаків, змагається із природнім добром, еволюціонує. Переведення таких вимог вивірки на мову цифрової карти¹, та ще й на такій величезній площі, як Східна Європа, не було простою задачею. Лише якась частина інформації потрапляла в популярні географічні карти, і, звичайно, масштаб карт ніколи не дозволяв побачити усю мозаїку деревного світу і того, що з ним асоціюється, ще й у динаміці.

У своєму новому дослідженні ми вирішили додати до переліку видів (із якими доцільно було сумістити сценарій очікуваного зміщення кліматично придатних територій для існування вивірки), асоційовані види деревних рослин, для яких ми раніше вже створили просторові моделі поширення, а саме: дуб звичайний (*Quercus robur*), бук звичайний (*Fagus sylvatica*), каштан їстівний (*Castanea sativa*), ялина звичайна (*Picea abies*), сосна звичайна (*Pinus silvestris*), липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), береза (*Betula* — *B. pendula*, *B. microlepis*, *B. pubescens*, *B. humilis**, *B. klokovii**, *B. obscura**, *B. borysthena**), а також куницю лісову (*Martes martes*), яка є природнім ворогом вивірки. Зірочкою увиразнено види із Червоної книги України: *береза низька*, *береза Клокова*, *береза темна*, *береза дніпровська*. Не виключено, що в територію моделювання потрапили також локації дуба австрійського (*Quercus austriaca*) та інших охоронюваних рослин. На практиці, більшість видів дерев в Україні зберігають та/або використовують із обмеженнями, точніше, мали би так робити.

Територія дослідження

Простір, у межах якого ми досліджували поширення видів і здійснювали їх просторове моделювання, охоплював значну частину Східної Європи, зокрема (скорочено): Вірменії, Азербайджану, Білорусі, Грузії, Казахстану, Молдови, Росії (європейської її частини) та України. Вибір був зумовлений вимогами конкретних проектів, профінансованих в 2005–2008 роках Агенцією з питань довкілля Королівства Нідерланди (The Netherlands Environmental Assessment Agency, PBL). Обраний масштаб досліджень виявився зручним і репрезентативним при визначенні комбінації коефіцієнтів кліматичних факторів, що визначають поширення видів. У подальшому, цей простір і відповідний IT-продукт назвали ЕЕВІО — від The Eastern European GLOBIO v 1.0. До 2008 року діяв зручний пошуковик ЕЕВІО Searchable service, із допомогою якого відкривався доступ як до вивірки, так і до асоційованих із нею видів рослин і тварин. Загальна інформація про проект і до цього часу є доступною на старій веб-сторінці ULRMC. Натомість, після завершення проекту, згаданий пошуковик перестав працювати, отому наша стаття частково допомагає відновити доступ до колишніх, дужих матеріалів моделювання.

Наявність адміністративної складової в ГІС, полегшила пошук низки векторизованих карт, прив'язаних до адміністративних одиниць, зокрема, з обліку лісів, а також карт із шарами, які маскували середовища існування, навпаки, не підходящі для існування вивірки. Разом із даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) це дало можливість досліджувати стан справ на величезній території (рис. 2–10). У базовій ГІС, яку ми спроектували із використанням тривимірної проекції WGS 1984, простір дослідження як би відрізувався від карти Євразії 70° Е, і що зменшувало і без того суттєвий об'єм ГІС.

¹ Мається на увазі не тільки векторність, тобто ГІС-формат, але й базування на даних дистанційного зондування Землі.

Також, дуже важливим було представити території суходолу і відповідні біокліматичні показники, тому вже згадану базову цифрову основу із архівів УЦМЗР, щодо деревних зеленіщ 1928–2008 років, доповнену й новими матеріалами, додатково опрацювали та вилучили великі поверхні, вкриті водою, у т.ч. Ладозьке і Онезьке озера (РФ) та ін..

Вхідні матеріали щодо поширення вивірки

Детальний матеріал щодо поширення виду, супровідні дані та алгоритми обробки даних — в наших звітах для PBL¹ та публікаціях (Придатко *et al.* 2010²; Коломицев 2010; Prydatko & Kolomytsev 2011; Коломицев 2012; Prydatko & Kolomytsev 2014). Лише в одній публікації (Prydatko *et al.* 2008), як частині звіту для PBL, містився перелік перших векторних карт, адаптованих нами вже 2007–2008 роках для завантаження в стартову, «вивіркову» ГІС. (Для роботи із кожним видом ми конструювали окрему ГІС, так як потужність комп'ютерів була не такою високою, як сьогодні.) Отже, в ГІС входили дані ДЗЗ і узагальнені, «вивіркові» векторні шари, в першу чергу, із архівів УЦМЗР (1992–2008), і на додаток, дуже приблизні, в розрізі «областей» — по BioDat (Пузаченко 1980), а також із бібліотеки МСОП 2007-х років, і вперше — векторизовані в ULRMC шари з видання «Атлас лесов СССР» (Николаюк 1973) та «Геоботаническая карта...» (Кузнецов 1932). В останньому випадку ми розбили на полігони та перевели в ГІС-формат карту 1928 року (рис. 2).

Зазначені радянські карти були корисні тим, що мали відношення як до мисливських видів тварин, так і до порід дерев. Документи «Атлас...» 1973-х та «Геоботаническая карта...» 1928-х віднайшов в Національній бібліотеці України імені В. І. Вернадського аспірант О. Калініченко, який проходив тоді практику в групі ULRMC-BioModel (сьогодні — він є співробітником Environmental Scientist, Canada). Бібліотека люб'язно дозволила ULRMC відсканувати карти та здійснити оцифровку. В оцифровці брали участь В. Придатко, О. Калініченко та О. Ішук. (На жаль, в центрі геоботаничної карти 1928 року зяяла пропалина, що потім прийшлося компенсувати іншими, супутніми даними.)

Зрозуміло, що ми намагались завантажити в ГІС, в першу чергу, усю мозаїку класів земної поверхні (LCC), пов'язану із розповсюдженням деревних порід, в тому числі, у містах, уздовж доріг і таке інше. Зауважимо, що в ті роки дані дистанційного зондування Землі та відповідні програми обробки іще не дозволяли впевнено виокремлювати, наприклад, усю мозаїку «островів» і павутиння лісосмуг.

В 2005 році Ю. Штепа запропонував використовувати для цієї мети зимові зображення, отримані із супутника Terra ASTER (Штепа & Придатко 2005), із допомогою чого ми внесли уточнення в карти Сумської, Кіровоградської та Полтавської областей України. В тій же публікації містилася цікава нотатка про можливості геоінформатиків тих часів: обставини дозволяли завантажувати в ГІС, окремо або комбіновано, лише «ліс», «переважно хвойний ліс», «переважно листяний ліс», «лісостепові асоціації», «розріджений лісовий масив», «гірські лісостепові асоціації», «хвойний ліс», «листяний ліс», «чагарники і рідколісся» і таке інше. Окремі врізки, із уточненнями, були отримані нами також для території Кримського півострова в Україні (Придатко & Штепа 2002).

Колосальну роботу здійснив О. Калініченко, дешифруючи інформацію щодо складу фіс-ташкових (*Pistacia mutica*) та інших рідколіс на крутосхилах в Криму; він же зібрав та звів воедино всю інформацію, яка стосувалася поширення їстівного каштана — *Castanea sativa* (Kalynychenko 2006).

¹ 'Developing a Species Based Model for Biodiversity Assessment in "Russian Speaking" Countries of the Pan-European Region' (August, 2005 — March, 2006), 'Projection of Species- and Species-Climate Based Models on to the GLOBIO Ukraine Region, and Scenarios Development' (November 14, 2007 — July 14, 2008).

² В цій роботі занотували, що повний перелік засобів ДЗЗ за 1969–2005 рр., використаних нами для роботи із територією ЕЕБІО, включав: AVHRR, NOAA, SPOT, CORONA, Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Terra MODIS (250, 500), Terra ASTER; об'єктивна роздільна здатність сукупного продукту коливалась в інтервалі 10 м ... 5 км.

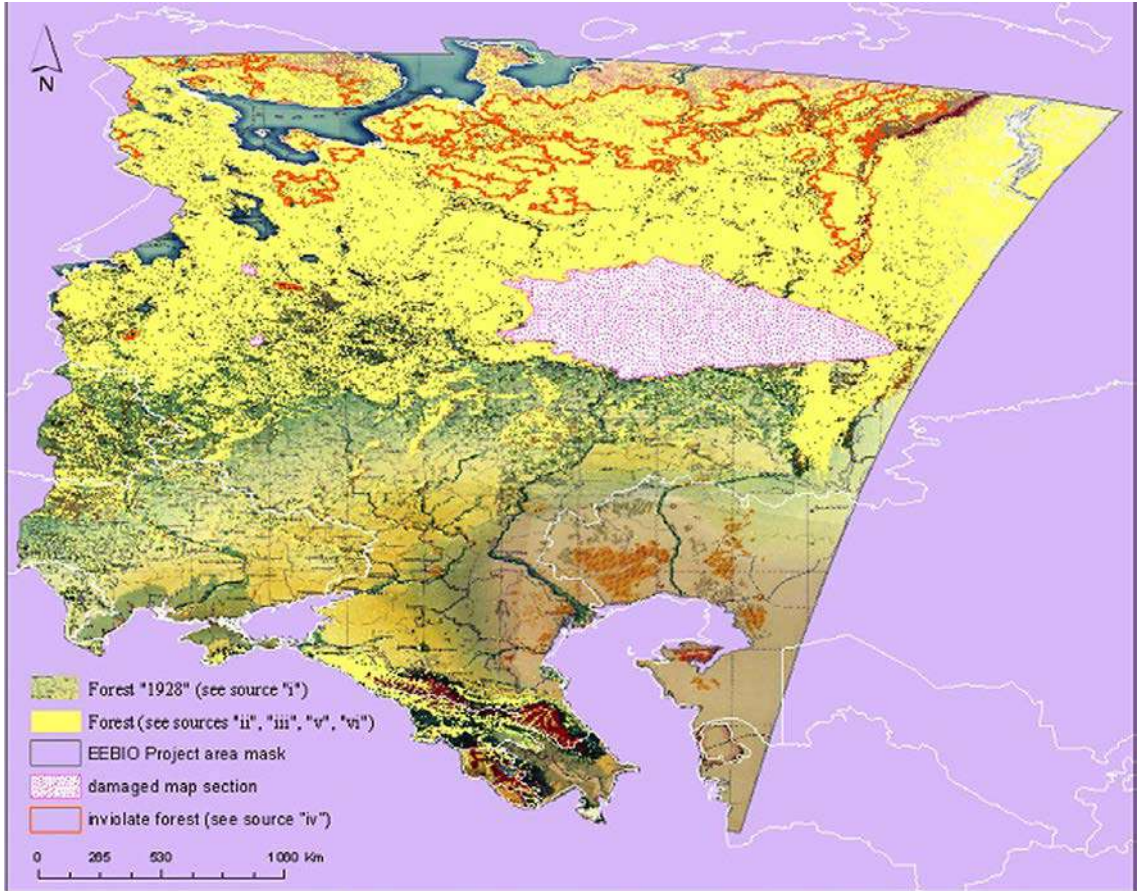


Рис. 2. Із архівів УЦМЗР (спрощена версія): накладання на геоботанічну карту 1928 років даних про ліси, з карт 2000–2004-х та даних ДЗЗ 2000–2002 рр. — показано жовтим; незаймані ліси виокремлено червоним.

Fig. 2. The ULRMC archive data (simplified version): overlay of the Geobotanical Map (1928) and forest cover data using maps of 2000–2004 and remote sensing images of 2000–2002 years shown in yellow; virgin forests highlighted in red.

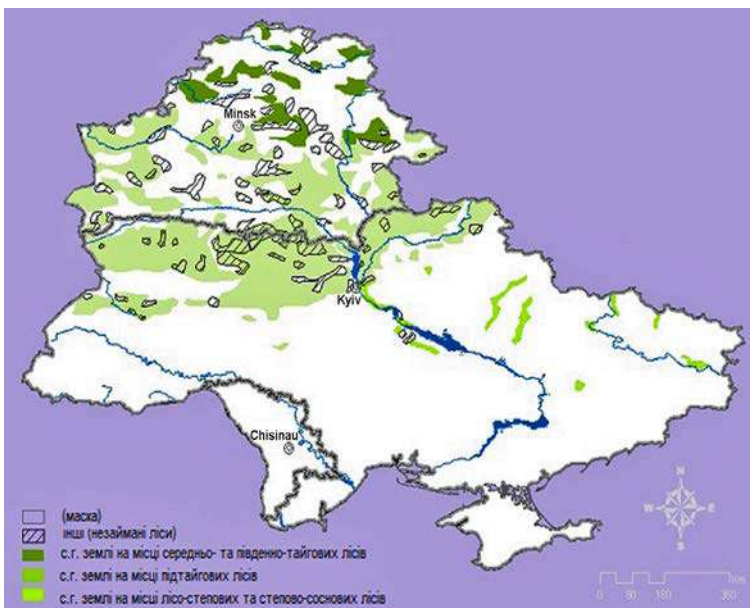


Рис. 3. Із архівів УЦМЗР (спрощена версія, фрагмент): заміщення лісовкритих площ сільськогосподарськими угіддями в 1980-х — зафарбовано (за: Грибова *et al.* 1980, у перекладі; переоцифровка УЦМЗР), див. текст.

Fig. 3. The ULRMC digitized archive data extract (simplified version): replacement of forested areas with agricultural lands in the 1980s — painted (according to Gribova *et al.* 1980), see the text.

Вся ця складана мозаїка лягла в основу стартової, «вивіркової» ГІС та супутніх ГІС, і стала в нагоді для знаходження трендів (табл. 1). (Наприклад, GIF-анімація сценарію зміщення ареалу *Fagus sylvatica*, що і зараз є доступною на веб-сторінці BioModel, стартує з 1928 і закінчується 2050 роком — див. табл. 2).

Аналіз поширення вивірки та деяких асоційованих із нею видів

У перші роки нашої роботи із моделями щодо ссавців, в ULRMC був накопичений чималий матеріал, щодо України, про зміну, в першу чергу, лісовкритих площ, а також агроландшафтів і який базувався на даних ДЗЗ. Серед всього цього — окремі дослідження щодо статистики і сталого управління лісами (Кравець 2005), вивчення хребетних тварин міських агломерацій (Коломицев *et al.* 2005), дендрофільних фауністичних комплексів агроценозів (Гавриш 2005), оцінювання видового багатства ссавців агроландшафтів (Крижанівський 2005), індикатори та індекси (щодо лісових насаджень-та-полезахисних лісосмуг, фрагментації ландшафтів тощо (див.: Созінов *et al.* 2005 а, б). Тоді ж було перевірено у маршрутних обліках, що вивірка не вписується в лісосмугову складову агроценозів, на відміну від кам'яної куниці (*Martes foina* Erxleben, 1777). Інакше кажучи, агроландшафти виконували і продовжують виконувати від'ємну роль у поглинанні, зведенні нанівець, середовищ існування вивірки, а захисні лісопосадкові коридори, зосереджені там, не були привабливими для неї.

Тим не менше, ми не відмовились від збереження павутиння лісосмуг в складі тематичних шарів ГІС, розуміючи, що їхній порідний склад не є одноманітним, і що так чи інакше, вони представляють собою екологічні коридори, і що їхня присутність розширюватиме поле моделі, а головне, — мереживо комірок, в які інкорпороватимуться потім дані WorldClim. Пізніше ми переконались у тому, що це було правильним кроком, так як «острови» і «коридори» проявили себе в завершальній версії GLM. Інша справа, — видалити із складу тематичних шарів, і відповідно, із ІТ-простору, наприклад, великі водойми (водосховища, озера). Звідси, у підсумковій карті з'явилися правильні пустоти. Питання про те, чи видаляти населені пункти не обговорювалось, адже «мішеннями» були, по факту, усі зелені зони, зайняті деревними рослинами, де б вони не знаходилися.

Звичайно, маючи такий мозаїчний базис, ми покроково отримували спочатку універсальний продукт (рис. 2, 3), а потім, наприклад, «куницевий» чи «вивірковий». Лісова куниця є видом, із вимогами до середовищ існування близькими до вивіркових. Більше того, як давно помічено, зокрема О. Мигуліним (1938: 164), «кількість [куниці] у великій мірі залежить від наявності білок». Там же, дослідник відмітив: «в останнє десятиріччя кількість білок у лісах УРСР зменшилася, разом з цим значно зменшилася і кількість куниць». Яке десятиріччя? Підвиди вивірок, притаманних Україні, О. Мигулін описував у 1928-му, і вірогідно тоді ж розпочав роботу над монографією, отже під десятиріччям мав на увазі, десь 1928...1938 роки. І тут же додав мов з 1934 року помітив значне збільшення кількості білок у лісах Харківської та Донецької областей. Із цього видно, як зоологам минулого не вистачало таких потужних технологій, які є доступними зараз (рис. 2–5). Для порівняння, найновіші ІТ-підходи допомагали нам не тільки побачити все у динаміці, але й вирахувати дещо зовсім надскладне, наприклад те, що упродовж 1988–2000 рр. на Закарпатті знеліснення охопило 2 %, а заліснення 0.6 % площі лісів, а в Криму (Україна), 0.4 % і 0.4 % відповідно (Prydatko 2002). При цьому, мова йшла, переважно, про природні, самопливні процеси. Таке раніше ніхто не вивчав. Не вистачало лише моделей, хоча загальна тенденція вже стала зрозумілою: кількість і якість лісів в Україні почала невпинно зменшуватися, а порідний склад — змінюватися.

У 2007–2008 роках ми створили також окрему ГІС щодо *куниці лісової*. Поштовхом було те, що куниці присвячували чимало окремих, тематичних географічних карт. Тобто, ці тварини могли добре послугувати для дешифровки даних ДЗЗ. В результаті, була отримана майже повна карта ареалу куниці, в межах проекту, близька, що дуже ймовірно, до частини ареалу вивірки, та із мозаїкою, уточненою з допомогою даних ДЗЗ (рис. 4). Поточно, за сценарієм #1, ми врахували наступні типи середовищ, притаманні куниці: 8, 9, 9а, 13, 14, а також 18 (рис. 4). За сценарієм #2 використовували схожі типи, але із додаванням: 3, 4, 15, 24 та 25

(рис. 4). Все — згідно з легендою до карти лісових мисливсько-промислових птахів і тварин із «Атлас...» (Николаюк 1973). Прикметно, що для всіх лісів України такої підсумовуючої оглядової карти не було в нашому розпорядженні¹, тому для «вивіркової» ГІС ми доповнювали картографічні дані іншими, у т.ч. власноруч зробленими². В сучасних публікаціях куниця лісова і вивірка давно названі «взаємодіючою парою», подібно до моделі «хижак-жертва» Лотки-Вольтерри (Войнарович 2020). Тому й здійснюють їх щорічний облік. За даними Держкомстату України, у 2006 р. чисельність куниці сягала 60 тис., а вивірки 61 тис. голів.³

Ще на підготовчих стадіях створення «вивіркової» ГІС нами було отримано карти щодо помітної зміни лісовкритих площ і, відповідно, щодо причин очікуваного зміщення ареалу вивірки «на північ», зокрема, на прикладі карт 1928–2004 років, із уточненнями на основі даних ДЗЗ (рис. 2). Не дивно, що вже в 1940-х на схемах С. Огнєва (за: Зізда 2008: 315) ареали вивірки «дещо змістилися на північ». Так само вражаючими були тематичні карти щодо зміщення лісовкритих площ сільськогосподарськими угіддями, і які увійшли в атлас рослинності Європейської частини СРСР (Грибова *et al.* 1980; рис. 3). (Нижче, у нотатках щодо *S. v. ukrainicus* ми підсумували, чим завершилися відповідні масштабні ландшафтно-екологічні зміни.)

У 2008-х роках перехід від пласких зображень до симуляції поширення, завершився створенням просторової моделі розповсюдження вивірки з використанням генералізованої лінійної моделі (GLM) до 2050 року. При цьому, перший її варіант був оприлюднений нами в 2010–2011 роках, в декількох публікаціях, які й до цього часу є доступними на веб-сторінці BioModel (табл. 1), у тому числі у вигляді рухомої GIF-анімації (табл. 2).

Сьогодні, ми маємо у добутку й приклад значно покращеної симуляції, до 2100 р. (рис. 6–9). При цьому є сенс порівняти результат із зведенням за 1932...1938 роки (щодо поширення підвидів вивірки в Україні), розробленим Ю. Зіздою (2008), доповнений нашими даними щодо локацій збирання музейних зразків, і виправлений (рис. 5). Співставлення допомагає зрозуміти: у цифровому просторі, в межах України, за останні 90 років, південна частина ареалу вивірки, зникла. У 2000-х роках, в просторі симуляції, проглядали лише її рештки.

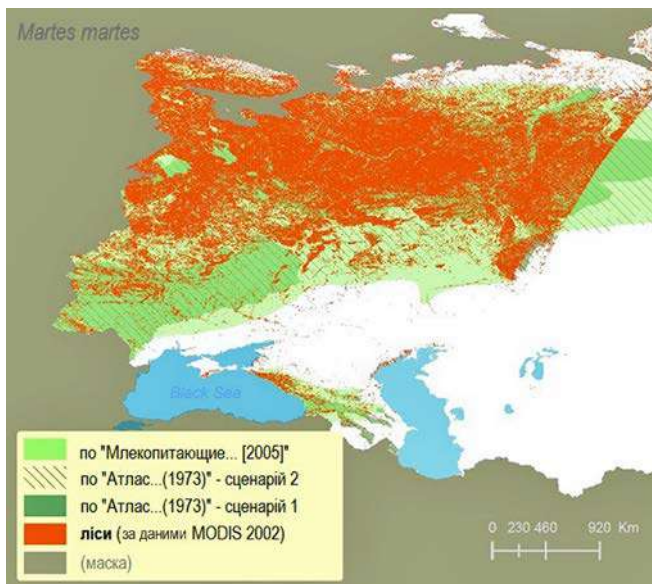


Рис. 4. Із архівів УЦМЗР (спрощена версія): зведення щодо розповсюдження куниці лісової (*Martes martes*) в ГІС просторі, із використанням «Атлас...» (Николаюк 1973), «*Martes...*» (Петросян 2005) та даних про ліси (MODIS LCC 2002) — див. текст.

Fig. 4. The ULRMC archives data (simplified version): the pine marten (*Martes martes*) distribution summary in GIS area based on 'Atlas...' (Nikolayuk 1973), '*Martes...*' (Petrosyan 2005) and forest data (MODIS LCC 2002); see the text.

¹ Зазвичай в кожному окремому лісгоспі існував пакет документів, який включав у т.ч. карту експлікації земель та типології угідь (по бонітетях). Там обов'язково вказували порідний склад перелік домінуючих видів тварин. Ми переконалися в тому, що господарники не охоче ділилися відповідними картами.

² Для картування такої великої території ми використовували одну із стандартних проекцій — WGS 1984. При уживанні UTM (для України — UTM Zone 36N) це, та інші зображення матимуть дещо інший вигляд.

³ Детальніша інформація є на веб-сторінці Української природоохоронної групи. <https://bit.ly/3ngEYxt>.

Натомість, якщо у середовищі науковців ХХІ ст. це може бути інтерпретовано лінійно, як помітна зміна геометрії ареалів підвидів (на картах), то «в офісі» природного відбору, ймовірно, відповідь була реалізована зовсім інакше: введенням в дію механізму активної синантропізації, але не відвертої міграції особин саме «на північ». (На схожі, але інші за знаком випадки, що виникають при моделюванні «фундаментальної ніші», звертав увагу п. В. Титар, а саме на прогнози про перебування виду на території, де того виду насправді немає, *overprediction* (Титар 2011: 24)).

Про схильність вивірки звичайної селитися у містах нещодавно написала Ю. Войнарович (2020). Зокрема, дослідниця виявила, що в урболандшафтах Закарпатської області вивірка була чисельнішою, ніж у природних місцезнаходженнях, ба більше — в синантропному середовищі різноманіття кольорових форм вивірки було помітнішим. У зв'язку із цим, звернімо увагу на перелік того, що вивірки, із різних місць світу, взагалі намагаються поцупити у людини (за матеріалами із YouTube): відео-камеру GoPro, дорогі товари від Amazon, плитку шоколаду, жолуді (одна у одній), цукерки (в торгівельному автоматі), сендвіч, пакетик із горіхами, піцу, шоколад (у магазині), пончик (у копа), насіння (в годувальниці для птахів), запальничку, томати (із сумки господині), панчошу (на ганку), пташенят, пташині яйця, хліб, декоративні кошики, полотно (в саду), печиво, тенісний м'яч, сухий сніданок, вафлі, чіпси, іграшку, серветку, кукурудзу, горіхове масло (із туби), ганчірку, полуницю (на городі), їжу із сміттєвого бака і таке інше. Отже, синантропізація вивірки є очевидним повсюдним явищем. Замість висаджувати саджанці у лісі, як ми очікуємо від вивірок, вони не проти змінити спосіб життя.

На додаток, в 2011 році ми оприлюднили зведення щодо очікуваних напрямків змін ареалів 54 видів рослин і тварин (Prydatko & Kolomytsev 2011), фрагмент якого наводимо нижче, із змінами та з огляду на тему, яку розглядаємо у статті (табл. 1). Тренд «північ» тут домінує (окрім прикладу із *Picea abies*).

Одночасне виведення на екран комп'ютера усіх, причетних до теми вивірки GLM-сценаріїв, у вигляді GIF-анімацій, дозволяє відчувати «потужність» очікуваних змін. (Із цього списку, станом на 2020 р. відвідувачам веб-сторінки BioModel доступні GIF-анімації щодо вивірки, бука, дубу, ялини, сосни і липи: табл. 2.) Вражаючих змін зазнав і зазнаватиме бук, при цьому, саме геоботанічна карта 1928-х років, відживлена нами у новішій моделі, підказала, як активно вид залишатиме Кавказ і намагатиметься зміститися північніше, наприклад, у Карпатах. (Які вже там рубки чи то заготівля деревини?) Зміщення і подрібненість ареалу демонструватиме дуб і ялина. Менш масштабні зміни демонструватимуть сосна і липа.

Таблиця 1. Фрагмент зведення щодо очікуваних змін ареалів вивірки і асоційованих видів до 2050 року, по V. Prydatko & G. Kolomytsev (2011), із виправленнями та доповненнями







Table 1. Summary on habitat changes of the red squirrel and associated species by V. Prydatko & G. Kolomytsev (2011), with corrections and updates (fragment).

Назва (англ.)	Назва (лат.)	«Клас» (в ГІС)	Домінуючий фактор впливу*	Очікуваний напрямок зміни ареалу до 2050**
Red Squirrel	<i>Sciurus vulgaris</i>	mamm	LUC	N та перерозподіл в межах Кавказу
Shrubby Birch	<i>Betula humilis</i>	plant	CC	Очевидно, не зазнає суттєвих змін
Klokovii Birch	<i>Betula klokovii</i>	plant	LUC	Очевидно, перебуватиме в занедбаному стані
Elegant Birch	<i>Betula microlepis</i>	plant	LUC	N
River Birch	<i>Betula obscura</i>	plant	LUC	N
Silver Birch	<i>Betula pendula</i>	plant	LUC	N
Downy Birch	<i>Betula pubescens</i>	plant	CC	N
Betula sp. (7 species)	<i>Betula</i> sp.	plant	LUC	N
Beech	<i>Fagus sylvatica</i>	plant	CC	S
Norway Spruce	<i>Picea abies</i>	plant	CC	SW
Pedunculate Oak	<i>Quercus robur</i>	plant	CC	NE

* LUC — зміни у землекористуванні, CC — зміни клімату. ** За сторонами світу.

Таблиця 2. Активні QR-коди деяких просторових моделей поширення видів, розроблених BioModel

Table 2. Active QR codes of some SDMs developed by BioModel

<i>Sciurus vulgaris</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus silvestris</i>	<i>Quercus robur</i>	<i>Tilia cordata</i>
					

У переліку доступних на сайті BioModel GIF-анімацій немає берези, зате нами був оприлюднений підсумок у вигляді GLM-сценарію, згідно із якими береза, взагалі, може зміститися за межі України. Зайвий раз стає зрозумілим, що напрямки N, S чи NE, і так далі, відображені у табличній формі, є просто зручними експрес-узагальненнями. На цьому фоні очікувані, симульовані зміни ареалу вивірки хоч і є помітними, та демонструють втікання виду «на північ», і перерозподіл в межах Кавказу, як би не є такими вражаючими, як, наприклад, сценарій щодо бука. Можливо, вони навіть не викликать занепокоєння у тих, хто опікується в Україні Бернською конвенцією, питаннями охорони і збереження ссавців, допоки ми не звернемо увагу управлінців на зміни, які відбулися, наприклад, у відношенні *S. v. ukrainicus* — з років опису цього гарного підвиду і до нашого часу.

Нотатки щодо стану ареалу *Sciurus vulgaris ukrainicus* (Migulin, 1928)

Зручне зведення щодо поглядів на поширення підвиду *S. v. ukrainicus*, у вигляді карт-схем, було оприлюднено Ю. Зіздою (2008: 215), із нашим доповненням (рис. 5, фрагмент). В цілому — це північний-схід України, причому, як вважав О. Мигулін, у 1930-х мало місце суттєве звуження ареалу — десь на широті Дніпропетровська; далі, на південь, ареал розширювався і доходив до приморської рівнини. Нагадаємо, для опису цього підвиду О. Мигулін (1938: 353) використав зразки, зібрані у 1914–1915 рр. — в Сумському¹, Валківському та Зміївському районах Харківської області. При цьому, на «1914–1915» пізніші дослідники якимось не звертали увагу. Згідно з The Catalogue of Life, який існує під егідою GBIF, один із екземплярів *S. v. ukrainicus* зберігається в мамологічній колекції Інституту біорізноманіття Канзаського університету (KUBI, USA). Вивірка була добута в грудні 1960 року в точці із координатами 49.1 N, 31.0 E (Sciurus... 2019).

Як приклад, сьогодні — це острівний лісовий масив 400 x 700 м, в оточенні сільськогосподарських угідь, неподалік від декількох сіл (Стебне та Скаливатка), в 13 км від Хліпнівського лісу. Село Хліпнівка знаходиться у Звенигородському районі Черкаської області, Україна. (1828 року 14-тирічний Тарас Шевченко два тижні навчався тут малювання в місцевого маляра²). У післявоєнний час у селі заснували колективне господарство під назвою «Серп і Молот», яке пізніше перейменували у колгосп «1 Травня». Далі можна не продовжувати. Схоже становище — у вже названих локація Харківської та Сумської областей.

Як свідчить запропоновані нами моделі поширення виду та супровідні картографічні матеріали, історичний ареал (мозаїчність якого маркує відповідна «лісовкрита площа»), та із якого походить первинний опис *S. v. ukrainicus*, вже багато десятиків років як зміщується північніше, і подрібнюється. Нам не відомо, щоби хтось піднімав у наукових колах питання про стан ландшафтних екосистем, із яких походили екземпляри вивірок, використаних потім для опису підвиду *Sciurus (Sciurus) vulgaris ukrainicus* Migulin, 1928, але є очевидним, що з часів першовідкривача, О. Мигуліна, первинні середовища існування підвиду зазнали суттєвих змін: лісовий ландшафт був значною мірою поглинутий сільськогосподарським.

¹ З 1939 року — у складі Сумської області.

² Про цю подію є згадка в документі «Дати життя і творчості Т. Г. Шевченка» (ІЗБОРНИК) — <https://bit.ly/2QwMrwn>. Перевірено: 30 березня 2020.



Рис. 5. Комп'ютерна імітація поширення вивірок в Східній Європі, із використанням SSP1 & RCP 2.6 до 2100 року:

1 — присутність виду;
 2 — відсутність виду;
 3 — узагальнення щодо контурів ареалів підвидів вивірки звичайної (за Огневим*; інші авт.) та вивірки кавказької (у 1940-х); 4 — ареал вивірки української (за Мигуліним, з нашими уточненнями); 5 — локації, в яких раніше отримували зразки вивірки української. *Включаючи ареал вивірки української (крапковий контур).

Fig. 5. Computer simulation of squirrel distribution in Eastern Europe using SSP1 & RCP2.6 data by 2100: 1 — presence of the species; 2 — lack of the species; 3 — generalised contours of habitats of subspecies of the red squirrel (according to Ognev*; others) and of the Caucasian squirrel (in the 1940s); 4 — species range of the Ukrainian squirrel (according to Migulin, with clarification by the authors); 5 — locations in which samples of the Ukrainian squirrel were collected previously. *Including the range of the Ukrainian squirrel (dotted contour).

Рівнинно-горбково-річково-лісовий краєвид змінився на рівнинно-вирівняно-горбково-річковий сільськогосподарський подрібнено-лісовий. (Довідково: на сторінках ресурсу «Млекопитающие России», до якого ми зверталися 2008 року, і який продовжує оновлюватися, і про який ми згадували тепер у зв'язку із куницею, навіть спомину про *S. v. ukrainicus* вже немає. Зате, хоч на веб-ресурсі Центру охорони дикої природи (РФ) іще вказано по-старому, радянському, що *S. v. ukrainicus* мешкає в «Смоленской, Полтавской и Харьковская обл., островных лесах Воронежской обл.».)

Вхідні кліматичні дані та їх проєкції відповідно до сценаріїв нового покоління

Для створення просторових моделей поширення виду і симуляції сценаріїв зміни клімату ми використовували банк кліматичних даних Worldclim (Swart *et al.* 2019), в якому взяли мапи у роздільній здатності 10' (кутових хвилин): 19 біокліматичних показників метеорологічних спостережень 1970–2000 років, а також симуляції потенційного клімату станом на 2041–2060 (надалі, умовно — 2060) і 2081–2100 (відповідно, 2100).

Із наявних 19 біокліматичних показників ми використали 5. Їх виокремили раніше, використовуючи метод головних компонент (Tang *et al.* 2018), і тому вважали репрезентативними. Це середньорічна температура, температурна сезонність, річна амплітуда температур, річні опади, сезонність опадів (коефіцієнт варіації).

Для імітації впливу змінюваного клімату ми взяли за основу чотири окремі сценарії нового покоління – SSP (O'Neill *et al.* 2014), поєднанні із представницькими шляхами концентрації парникових газів (RCP). В Україні, в середовищі зоологів, про них іще знають мало.

1) SSP1 & RCP2.6, умовно «супер-позитивний», спільний соціально економічний шлях, SSP «Поворот на зелений курс», за якого світ змінюється до більш стійкого шляху, керуючись досягненням цілей розвитку, в поєднанні із траєкторією представницького шляху концентрації (RCP) парникових газів 2.6 — за якого викиди вуглекислого газу (CO2) почали зменшуватися, до 2020 року, і прямували нуля, до 2100 року; очікуване середнє підвищення температури, до 2100 року — це 1,5 °C (IPCC 2013).

2) SSP2 & RCP4.5, умовно — «позитивний», спільний SSP «Посеред дороги», за якого використання ресурсів та енергії знижується в поєднанні із траєкторією представницького шляху концентрації (RCP) парникових газів 4.5 — проміжний; до 2040 року концентрація парникових досягатиме піку, і надалі знижуватиметься; очікуване середнє підвищення температури, до 2100 року — це 1,8 °C (IPCC 2013).

3) SSP3 & RCP7.0, умовно — «базовий», SSP «Регіональне суперництво», або «Кам'яниста дорога», за якого очікується орієнтування політики на питаннях національної і регіональної безпеки, через низький пріоритет питання довкілля нехтуються. При цьому, концентрація парникових газів RCP 7.0 демонструватиме зростання, підпорядковане нинішнім темпам, без змін.

4) SSP5 & RCP8.5, умовно — «негативний», SSP розвитку з вичерпним паливом, або «Шлях по шосе»; очікуване середнє підвищення температури до 2100 — це 3,7 °C (IPCC 2013).

Особливу увагу нам слід звернути на сценарій SSP1 & RCP2.6, оскільки SSP1 передбачає обмеження глобального потепління до 1.5°C, а проєкція його забезпечує людству понад 2/3 шансів утримати глобальне потепління на рівні, нижчому 2°C та із медіанним потеплінням 1.6°C, відносно 1850–1900 років, у 2100-му (IPCC 2018). Саме таких цілей прагне досягти міжнародна спільнота, підкреслюючи при цьому, що потепління на 1.5°C (що відповідає RCP2.6) матиме значно менше негативних наслідків, ніж 1.8°C (відповідає RCP4.5).

Інші IT-підходи й алгоритми

Моделювання поширення видів (SDM) базується на ідеї про суміщення стабільних поточних співвідношень (між поширенням виду та екологічними перемінними) та гіпотези щодо лімітуючої ролі кліматичних факторів, які впливають на середовища існування видів.

З огляду на історію отримання нашої цифрової основи (див. вище), просторова модель щодо вивірок відбиває як стан справ щодо природних популяцій, так і синантропізованих, поширених у населених пунктах.

Для побудови сценаріїв ми використали вже апробоване генералізоване лінійне моделювання (GLM), розрахунки здійснювали у програмному середовищі «R». Для управління табличними даними застосували програми пакету Microsoft Office (Access, Excel). Конвертацію просторових даних у таблиці та візуалізацію здійснювали засобами GIS ARCINFO (ArcMap 10x). Достовірність просторової моделі перевіряли із використанням інформаційного критерію Акайке — Akaike information criterion (AIC). Змістовну достовірність контролювали представленням анімації змін.

Побудова просторової моделі складалася із декількох етапів: створення «кліматичного паспорта» виду, валідація моделі, екстраполяція «кліматичного паспорта» на прогностичні карти клімату. «Кліматичний паспорт» відбудовували шляхом співставлення, кореляційного аналізу кліматичних параметрів та даних щодо присутності або відсутності виду. У такий спосіб ми отримали набір індексів, який відтворював просторову структуру поширення виду на певній території.

Валідацію моделі виконали наступним чином: за «кліматичним паспортом» та кліматичними даними імітували осучаснене поширення виду, і далі порівняли це із картою фактичного розповсюдження (рис. 6). Лише після того, як валідація показала високий ступінь репрезентативності «кліматичного паспорта» виду, ми переходили до наступного етапу, а саме симуляції обраних сценаріїв, у межах обраних проміжків часу (років).

Для подальших розрахунків (і порівняння) ми вибрали у якості базових не лише ті території, де вид був виявлений, а також території, для яких симуляція вказувала на сприятливі умови для його існування. (Ми вважали що таке припущення є прийнятним, аби не втрачати навіть найменшу ймовірність перебування «вивірки» у просторі імітації.)

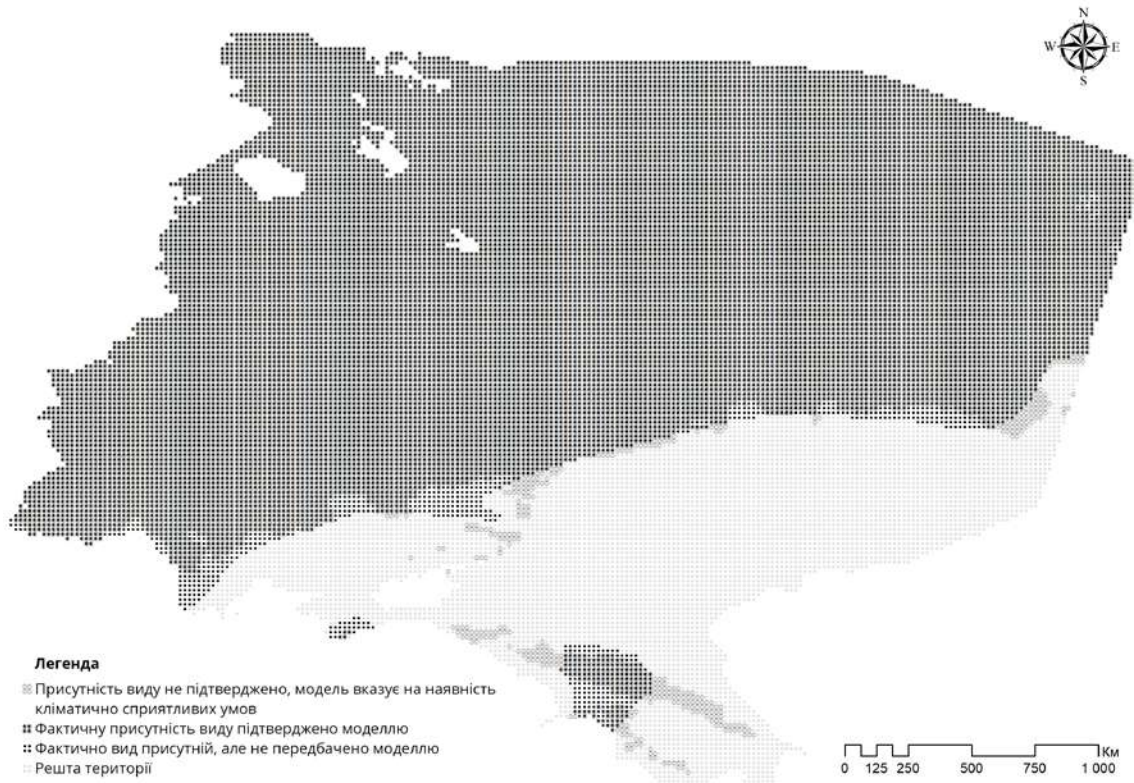


Рис. 6. Валідизація моделі поширення вивірки у Східній Європі.

Fig. 6. Validation of the red squirrel distribution model in Eastern Europe.

Далі, здійснювали диференційовані розрахунки щодо змін ареалу вивірки звичайної, згідно із наявними симуляціями та для усієї території Східної Європи, в межах простору «ЕЕВІО», включаючи Україну.

Винайдений підхід був спільним інформаційно-технічним здобутком PBL, Utrecht University (Нідерланди) та УЦМЗР (Україна), результати якого ми частково оприлюднили, зокрема, в монографії з ландшафтної екології (Придатко *et al.* 2008). Сьогодні, по факту — це є покращене надбання групи BioModel.

Результати і обговорення

За результатами моделювання ми отримали ряд симуляцій поширення вивірки звичайної (і супутніх видів) для різних часових проміжків та сценаріїв.

Відповідно до найбільш позитивного із перелічених вище сценаріїв, а саме **SSP1 & RCP2.6**, ареали вивірок очікують вражаючі за масштабами зміни (рис. 7): кліматично придатні території зміщуватимуться «на північ», а межа ареалу ставатиме нерівномірною; зате, ймовірно, у центрі території України зберігатиметься анклав кліматично сприятливих просторів. За цим сценарієм, до 2100 року, у Східній Європі, очікувана втрата ареалу вивірки звичайної може сягати 12 % (усієї території дослідження) і 49 % для території України (рис. 11). Така гучна відповідь вивірок, притаманних саме Україні, може пояснюватись тим, що тут проходить південна межа ареалу виду.

Звичайно, перспектива таких переінакшень до 2100 року, викликає серйозні побоювання щодо стану популяцій як вивірки звичайної, так і екосистем взагалі, однак підвищення середньої температури на 1,5 °C, відносно доіндустріального періоду, — це той мінімум кліматичних змін, якого може зазнати планета. Звісно, якщо країни невідкладно вживатимуть ефективні заходи зі скорочення викидів парникових газів.

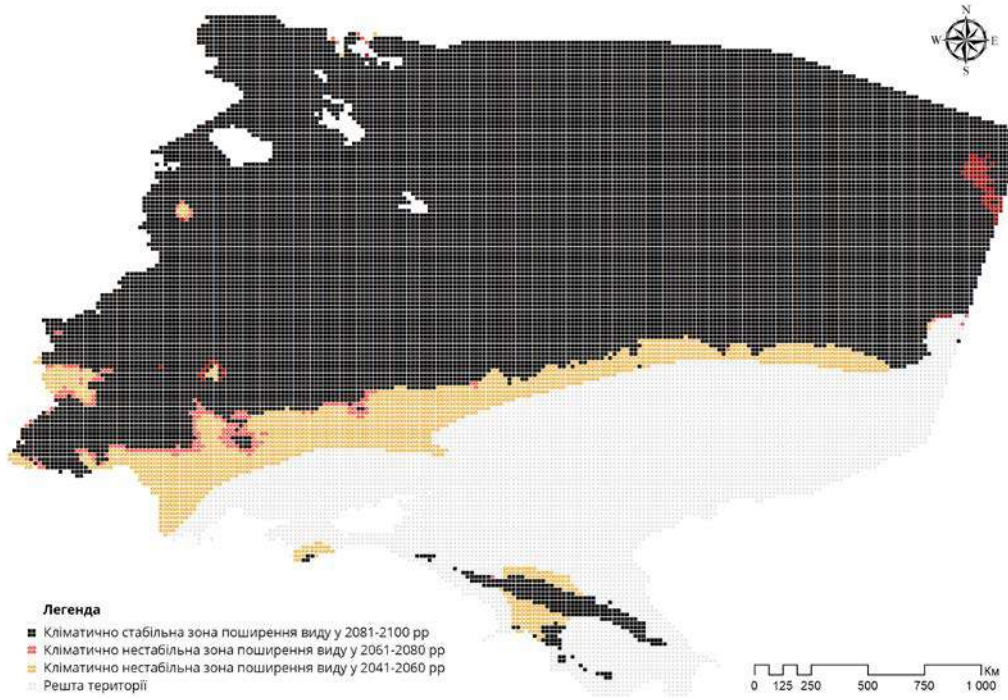


Рис. 7. Сучасне поширення вивірки звичайної і симуляція поширення згідно SSP1 & RCP 2.6 у Східній Європі до 2100 року.

Fig. 7. Current distribution and SDM of the red squirrel in Eastern Europe by 2100 according to SSP1 & RCP 2.6.

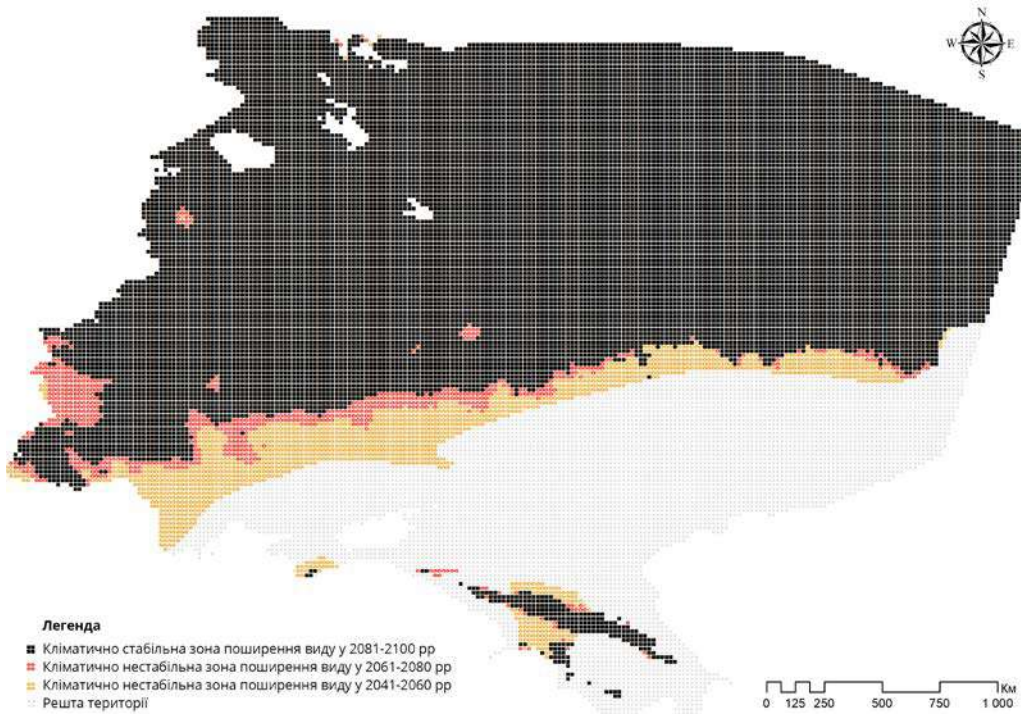


Рис. 8. Сучасне поширення вивірки звичайної і симуляція поширення згідно SSP2 & RCP 4.5 у Східній Європі до 2100 року.

Fig. 8. Current distribution and SDM of the red squirrel in Eastern Europe by 2100 according to SSP2 & RCP4.5.

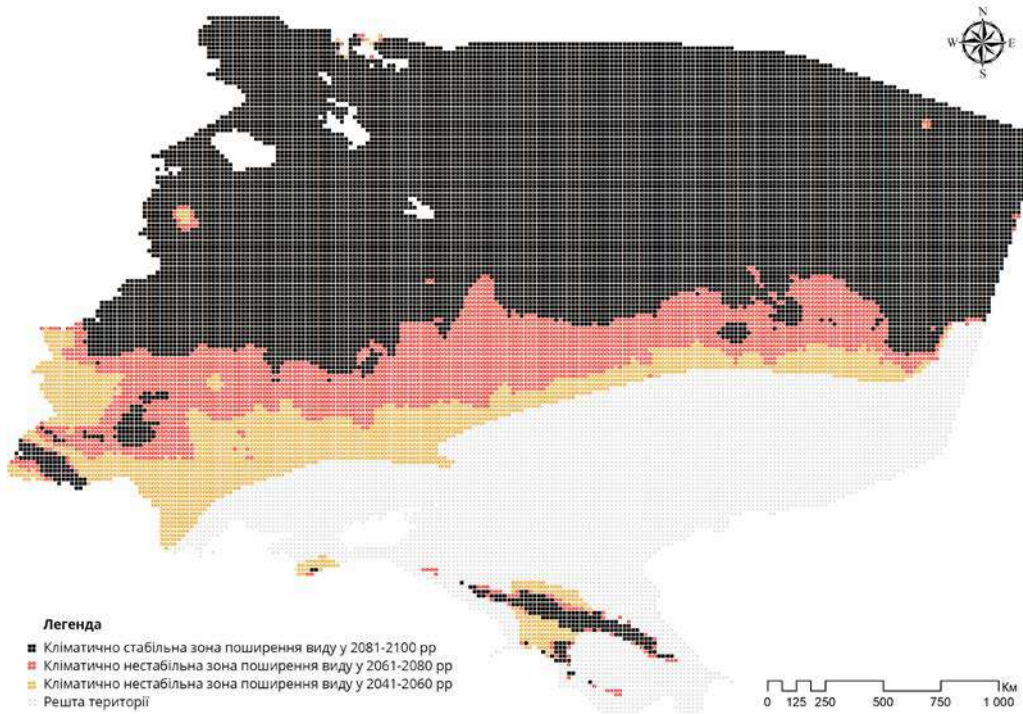


Рис. 9. Сучасне поширення вивірки звичайної і симуляція поширення згідно SSP3 & RCP 7.0 у Східній Європі до 2100 року.

Fig. 9. Current distribution and SDM of the red squirrel in Eastern Europe by 2100 according to SSP3 & RCP7.0.

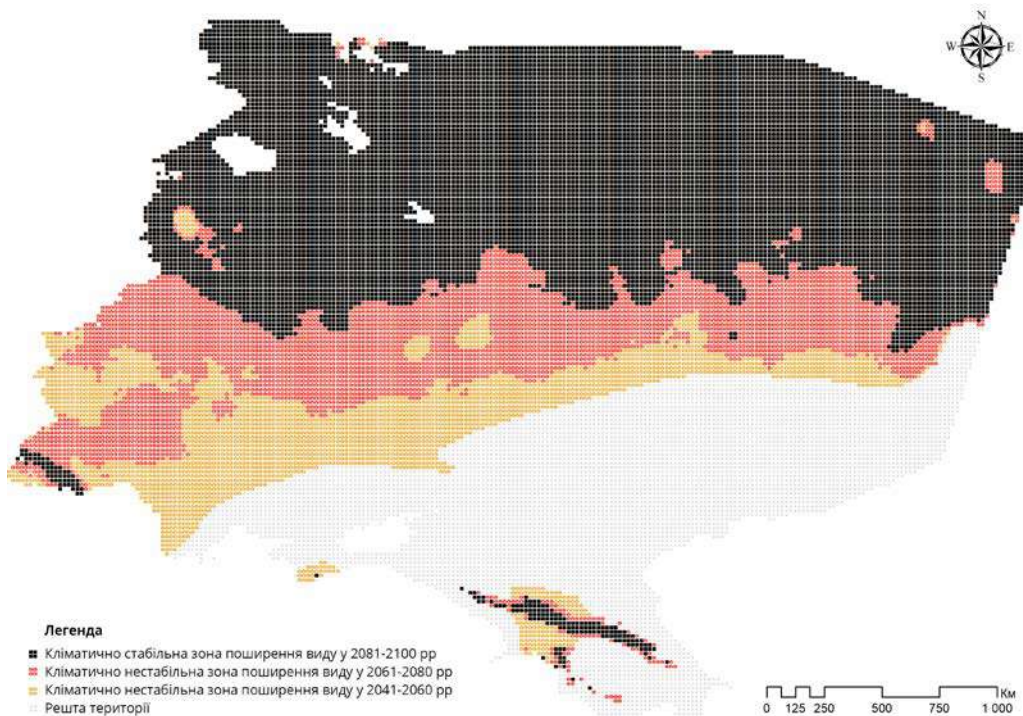


Рис. 10. Сучасне поширення вивірки звичайної і симуляція поширення згідно SSP5 & RCP 8.5 у Східній Європі до 2100 року.

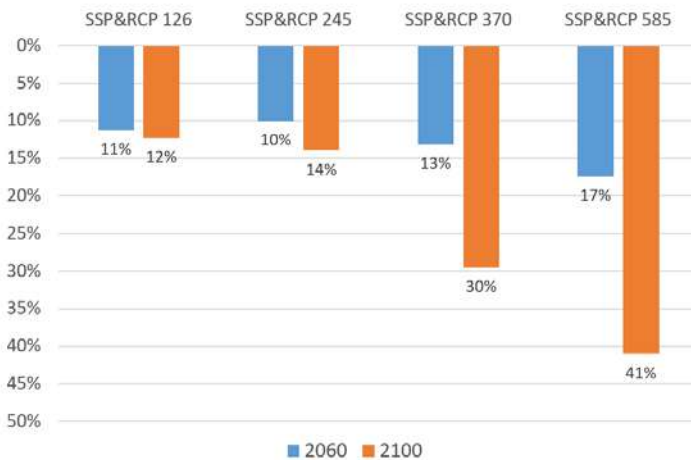
Fig. 10. Current distribution and SDM of the red squirrel in Eastern Europe by 2100 according to SSP5 & RCP 8.5.

Навіть зазначений варіант хоч і є тривожним, але не виглядає таким катастрофічним, як в інших сценаріях, за якими очікується більш істотне підвищення середньої температури.

Симуляція змін щодо кліматично сприятливих територій, **SSP2 & RCP4.5**, й імітація поширення вивірок за найбільш позитивним із представлених сценаріїв все одно вражатиме (рис. 8). Загальний тренд змищення кліматично сприятливих територій — північний, а загалом картина буде схожою на симуляцію із попереднього сценарію. Хоча змищення тут виглядатиме суттєвішим, і особливо помітними будуть подальші зміни ареалу в інтервалі 2081...2100 років. Очікувана втрата ареалу вивірки звичайної за цим сценарієм може становити для Східної Європи вже 14 % (усієї території дослідження) і 57 % для території України (рис. 11).

Однозначно, даний сценарій також не є сприятливим як для вивірки, так і для екосистем. Натомість, навіть для його втілення країнам потрібно буде добряче попрацювати, аби втримати підвищення середньої температури до 2100 року на рівні 1,8 °C, відносно доіндустріального періоду. Однак, враховуючи відчутну різницю у втратах ареалу, порівняно із першим сценарієм, і розуміючи, які колосальні втрати в екосистемах і біорізноманітті може принести любий відсоток змін, ми впевнені, що втримання зміни середньої температури навіть у межах 1.5 °C, вже є принциповою задачею для міжнародної спільноти.

Вся територія дослідження (Східна Європа)



Територія України

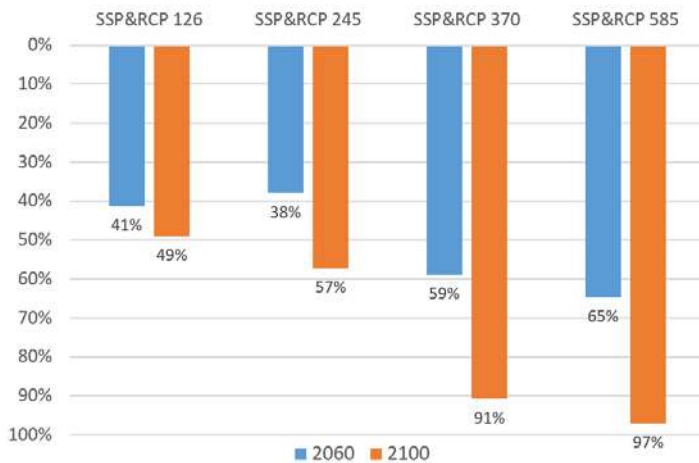


Рис. 11. Графіки зміни кліматично сприятливих територій поширення вивірки звичайної, що вказують на зменшення ареалу, відносно базового року, у Східній Європі та Україні, до 2060 та 2100 років (%).

Fig. 11. Changes in potential distribution of the red squirrel according to scenarios by 2060 and 2100, which indicate decrease of the species range in relation to the baseline in Eastern Europe and Ukraine (%).

Симуляції поширення вивірки звичайної за умовно базовим і негативним сценаріями, **SSP3 & RCP7.0** та **SSP5 & RCP8.5**, викриває безпрецедентне зміщення «на північ» територій, кліматично сприятливих для поширення виду, а також дозволяє уявити масштаби очікуваних втрат (рис. 9, 10). Очікується виключення майже усієї, або усієї рівнинної території України, із числа кліматично сприятливих щодо вивірки звичайної.

Розрахункова втрата ареалу, за цими сценаріями (за результатами моделювання), може становити 30 % і 41 % для Східної Європи і > 90 % для території України, до 2100 р. (рис. 11).

Безумовно, реалізація SSP3 & RCP7.0 та SSP5 & RCP8.5 може ввести популяції вивірок у стан, коли їм прийдеться просто вишукувати останні можливості для виживання на історичній місцевості у вкрай несприятливому природному середовищі. За таких умов, вивірки волітимуть залишатися майже виключно у доквіллі, яке підтримує людина і залежати від людини, що, погодимось, важко порівнювати із поточним, нехай і тривожним станом природних популяцій. При такому розвитку подій все інше (стан екосистем, екосистемних послуг і біорізноманіття) також не залишатиметься успішним, і що додатково вказує на життєву необхідність діяти, аби уникнути втрат.

Колись, аби допомогти студентам краще уявити масштаби змін, що відбуваються в лісових ландшафтних екосистемах, ми пропонували їм розрахувати індекс зміни природного капіталу (NCI), використовуючи припущення, що за часів князя Ярослава, в Русі (майб. Україні), лісовкритість могла сягати 55...75 %, у порівнянні із сьогоднішніми скромними 15,9 %. Студенти не були проти й ініціативно підказували застосувати й інші гарні індикатори та індекси, але гучно коментували: на вітчизняних управлінців, нажаль, і таке не справляє враження. Нова біда – вигадування: хто би міг подумати, що у 2020 році, під час жахливих лісових пожеж, що трапились на Луганщині, у службі рятування знайшлися люди, які підробили з чотири десятки протоколів про гасіння. Такою є нова правда. В законодавчому Уставі князя Ярослава та Володимира Всеволодовича навіть визначення для таких різновидів злочинів не було, хоча Устав і нагадує «<...> хто дворь зажжеть <...> 12 гривнь», або «Аще за какую вражду или заграблення ради огнемъ зажигаеть храмы въ градѣ или вънѣ града или въ веси, или села, или хлѣбы, или гумно, или ино что волею токмо, и иже зажигаеть, мечемъ усѣкается.» (Уставъ...[1950])¹. Чуєте, панове депутати: мечемъ усѣкается! Так чи інакше, боротися за зміни на краще не припиняємо.

Додатково, ми підготували графи щодо ймовірної трансформації (фактично — втрат) кліматично сприятливих територій поширення вивірки звичайної (рис. 11), для озвучених чотирьох сценаріїв, які мають прив'язку до двох проміжків часу (років).

Висновки

1. За результатами моделювання, згідно із найбільш м'яким сценарієм SSP1 & RCP2.6, і що відповідає середньому підвищенню температури у 1.5 °C, зміна клімату може спричинити втрату 12 % ареалу вивірки звичайної у Східній Європі до 2100 року. При цьому, на території України очікувана втрата ареалу може становити 49 %. Симуляція наступного сценарію, SSP2 & RCP4.5, що асоціюється із середнім підвищенням температури у 1.8 °C, вказує на потенційну втрату 14 % ареалу у Східній Європі і 57 % ареалу в Україні. Усвідомлюючи, як велике значення для стану екосистем та біорізноманіття має кожний відсоток таких втрат, ми впевнені, що втримання зміни середньої температури у межах 1.5°C є принциповою задачею для міжнародної спільноти.

2. Симуляція найменш сприятливих кліматичних сценаріїв, SSP3 & RCP7.0 та SSP5 & RCP8.5, асоційованих із середнім підвищенням температури більше ніж на 2 °C, вказує на можливі втрати 30 % і 41 % ареалу в межах Східної Європи, і понад 90 % для території України, до 2100 року. Реалізація цих сценаріїв, на нашу думку, введе популяції вивірок у стан, коли їм прийдеться вишукувати останні можливості для виживання на історичній місцевості у

¹ Устав Великого Князя Ярослава. Устав Володимирь Всеволодича. [1950]. В кн.: *Новгородская первая летопись старшего и младшего изводов*. Москва, Ленинград, 488–509.

вкрай несприятливому природному середовищі. За таких умов, вивірки волітимуть залишатись майже виключно у доквіллі, яке підтримує людина і залежати від людини. При такому розвитку подій все інше (стан екосистем, екосистемних послуг і біорізноманіття) також не залишатиметься успішним, і що додатково підштовхує діяти, аби уникнути втрат.

3. Очікувані, симульовані зміни ареалу вивірки в Східній Європі (в межах території проєкту) є помітними і демонструють продовження втікання середовищ існування виду «на північ», і, одночасно, перерозподіл в межах Кавказу. На перший погляд, сценарні зміни не є такими вражаючими, як наприклад, у бука. Можливо, тимчасово це і не викликати занепокоєння у тих хто приймають управлінські рішення та опікується питаннями охорони і збереження ссавців, допоки ми не звернемо їхню увагу на зміни, які зачепили, зокрема, ареал *S. v. ukrainicus* — це починаючи з 1930-х років, коли фактично підвид був вперше описаний О. Мигуліним, причому, саме на території України.

4. Симуляційні сценарії, виконані із використанням WorldClim, R+, GLM — до 2050 і далі, що враховують, в нашому випадку, історико-картографічний стан справ за 1928–2020, підказують: майже за сторіччя ландшафтні екосистеми, в яких вперше було описаний підвид *S. v. ukrainicus*, суттєво потерпіли від впливу людини. Лісовий ландшафт був поглинутий сільськогосподарським, рівнинно-горбково-річково-лісовий краєвид змінився на рівнинно-вирівняно-горбково-річковий сільськогосподарський подрібнено-лісовий. Зміни ареалу склали більше 50 %. І якщо про чисельність популяції сказати щось конкретне модель не може (хіба що, у вигляді екстраполяції), то про очевидну зміну мозаїчності і порідного складу зеленого покриву, необхідного вивірці, уяву дає.

5. До створення «вивіркової» ГІС і подальшого моделювання із використанням WorldClim, R+, GLM, нам вдалося долучити не тільки оцифровані мапи 1928–2008-х років, і новіші, але й матеріали ДЗЗ, отримані із 7 супутників. Тому, вже в 2008 році об'єктивна роздільна здатність сукупного вхідного продукту досягала 10 м...5 км; перелік видів, охоплений дослідженням історії 3–8 підвидів *Sciurus vulgaris*, включав також асоційовані види: лісову куницю (*Martes martes*) та деревні рослини *Quercus robur*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Pinus silvestris*, *Tilia cordata*, *Castanea sativa*, *Betula* spp. (7 видів).

6. Так як куниця лісова і вивірка є так званою «взаємодіючою парою», близькою до моделі «хижак-жертва» Лотки-Вольтерри, і що вже знайшло відображення в дослідженні південно-західного макросхилу Українських Карпат (Войнарович 2020), запропонований нами GLM-сценарій щодо вивірки може бути використаний й по відношенню до лісової куниці.

7. Очевидна тенденція зміну ареалу вивірки (подрібнювання середовищ існування, зникнення в деяких локалітетах, і навпаки, поява в інших, загальне зміщення «на північ», але із «присутністю на Кавказі», помічене нами ще в 2008–2010-х роках, знайшло відбиток у зведенні МСОП 2014 року у вигляді карти, але отриманій не методами симуляції, а в інший спосіб. Моделювання ця поважна інституція поки-що не використовує, хоча маркує тренд символом ↓. Наша модель (і допоміжні вхідні дані), підказують: рух основних середовищ існування вивірки «на північ», а з ними і ареалу, розпочався давно, з часів коли людина почала руйнувати ліси. І якщо у середовищі науковців в XXI ст. це може бути інтерпретовано лінійно, як помітна зміна геометрії ареалів підвидів (на картах), то «в офісі» природного відбору відповідь була реалізована інакше: введенням в дію механізму активної синантропізації, але не відвертої міграції особин саме «на північ». Наскільки витривалим і задовільним для природнього відбору є цей механізм, залишається загадкою.

8. Вважаємо за важливе нагадати громаді, що оприлюднення опису підвиду *S. v. ukrainicus* відбулось у 1928 році (Мигулін 1928: 1–15) і утвердилось у 1938 році (Мигулін 1938: 347–348) як «Білка українська», поширена «на схід від Дніпра», на протигагу відкритій ним же тварині — «Білка Кесслера, або правобережна». (Як нами доведено, у 1914–1915-х роках «майбутню» *S. v. ukrainicus* добували й на правобережжі: Рис. 5.) З якоїсь причини, у всерадянському зведенні 1933-х років відкриття О. Мигуліна не помітили, вважаючи що на південь від *S. v. varius* мешкає *S. v. fuscoater* (Виноградов 1933: 17). Натомість, згадали про відкриття

О. Мигуліна і прийняли його лише в наступному всерадянському зведенні (Виноградов & Громов 1952: 91–92, 295), де окрім домінуючого (і правильного) написання *ukrainicus* можна знайти й помилкове — "*ucrainicus*". У зведенні «Види ссавців світу» (Wilson & Reeder 2005: 764) підвид *S. v. ukrainicus* перелічено серед визнаних.

9. Наведені нами переконливі дані щодо помітної мозаїчності та мінливості середовищ існування вивірки звичайної, зокрема, в Україні, підказують, що намагання окремих дослідників бути точними, але спиратись при цьому не на результати обліку тварин у зеленій ГИС-мозаїці, а «в розрізі» адміністративних одиниць, а що іще дивніше, «в розрізі» областей, є м'яко кажучи, кроком далеким від ландшафтної екології. Це лише допомагає несвідомій частині управлінців продовжувати вірити в ефективність адміністративного підходу, і на наш погляд, є різновидом якщо не прямого, то опосередкованого підігрування прихильникам виснажливого «споживацького природокористування».

10. Прикладом того, у що, бувало, трансформувались подібні «адміністративні» підігрування, є кількість особин на гектар. Якщо на тематичних лісгосподарських картах часів СРСР 1973-х років, можна зустріти показник 1000 ос. на 1000 га (див.: Цюпка 2012: 43), тобто ≈ 1 ос./га, то статистичний ряд, який можна вибудувати за сучасними результатами обліку вивірок, зокрема, у мисливських угіддях, дібравах, зелених зонах міст, лісах тощо (спираючись, наприклад, на фрагменти із текстів за: Цюпка 2012; Зізда 2009; Войнарович 2020 та ін.), частіше даватиме показник $\ll 1$. Може тому, в СРСР, настільки неймовірними були й об'єми добування вивірок, що таксаційні дані завищували: обліковці та бонітувальники підігрували промисловцям, а промисловці фінансували обліковців? Підсумок відомий — виснаження багатьох угідь. Додатковий наслідок (і, одночасно, доказ) — синантропізація, яку тепер маємо.

11. При всій технічній складності, симуляція поширення виду в IT-середовищі, конструювання генералізованих лінійних моделей (GLM), із використанням WorldClim, R+, та із залученням даних дистанційного зондування Землі, є корисним інструментом, який дозволяє вивчати зміни середовищ існування рослин і тварин на таких великих площах, які неможливо осягти в ході експедиційних розвідок.

12. Дослідження матиме пізнавальне і попереджувальне значення — для науковців, законодавців, і тих хто приймає управлінські рішення та має відношення, зокрема, до Бернської конвенції, Смарагдової мережі, природно-заповідного фонду, т.з. екологічної мережі, до збереження лісів, лісосмуг, «екологічних коридорів», охорони природи у містах, а також до збереження біорізноманіття. Дані можуть бути використані в галузі освіти, зокрема, там де викладають історію науки, геоінформатику, прикладну екологію, заповідну справу.

Подяки

Автори висловлюють подяку усім, хто брав участь у створенні повидових геоінформаційних систем та окремих робочих шарів ГИСі за часів роботи УЦМЗР, обробляючи дані, та/або допомагаючи оцифровувати паперові карти, та/чи виконуючи ГИС-орієнтовані завдання під час польових досліджень, зокрема, в сільськогосподарських ландшафтах: д.б.н. Р. Бурді, к.б.н. О. Калініченку, к.б.н. А. Козловій, к.б.н. Г. Гаврися, В. Макаренку, О. Ішуку, Ю. Апетовій. Дякуємо к.б.н. І. Загороднюку, який постійно докладав чималих зусиль, аби якомога більше людей дізналися про результати моделювання, а також к.б.н. Ю. Зізді — за допомогу в уточненні локацій, з яких О. Мигулін отримав зразки для опису підвидів, участь в уточненні ареалу *S. v. ukrainicus*. Пам'ятаємо про внесок к.б.н. В. Стівчатого та к.б.н. В. Крижанівського, які, на жаль, вже пішли засвіти. Всі разом — представники української школи екологів, які сприяли розвитку і становленню вітчизняної геоінформатики та її прикладного сегменту — біотогеоінформатики. Ми також вдячні пану О. Різнику за фотозображення вивірки, люб'язно передане в наше розпорядження, тим більше, що йому вдалося сфотографувати такого помітного, яскраво-рудого представника вивірок України.

Література • References

Білоконь, С., Белоконь, М., І. Дикий. 2014. Мінливість вивірки звичайної (*Sciurus vulgaris* L.) Заходу України за мікросателітними локусами. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, **65**: 296–305.

Bilokon, S., M. Belokon, I. Dykyu. 2014. Genetic diversity of Red Squirrel (*Sciurus vulgaris* L.) from Western Ukraine by SSR LOCI. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, **65**: 296–305. (In Ukrainian)

- Виноградов, Б. С. 1933. Род *Sciurus L.* — белки. *Грызуны. Млекопитающие СССР*. Изд. АН СССР, Ленинград, 1–98.
- Vinogradov, B. S. 1933. Genus *Sciurus L.* — squirrels. *Rodents. Mammals of USSR*. Ed. Academy of Sciences of the USSR, Leningrad, 1–98. (In Russian)
- Виноградов, Б. С., И. М. Громов. 1952. Сем. Sciuridae — белки. В кн.: *Грызуны фауны СССР*. Изд-во АН СССР, Москва, 88–93.
- Vinogradov, B. S., I. M. Gromov. 1952. Genus *Sciurus L.* Family. Sciuridae — squirrels. *Rodents of the fauna of the USSR*. Ed. Academy of Sciences of the USSR. Moscow, Leningrad, 88–93. (In Russian)
- Войнарович, Ю. Е. 2020. *Аутекологічні особливості Sciurus vulgaris в умовах синантропізації рослинного покриву південно-західного макросхилу Українських Карпат*. Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16 "Екологія". Інститут екології Карпат НАНУ, Львів, 1–254.
- Voynarovich, Yu. E. 2020. *Autecological speciality of Sciurus vulgaris in conditions of the vegetation cover synanthropization in the southwestern macroslope of the Ukrainian Carpathians*. Abstract of the Diss. ... Cand. Biol. Sciences, specialty 03.00.16 "Ecology". Institute of Ecology of the Carpathians NASU, Lviv, 1–254. (In Ukrainian)
- Гаврис, Г. Приватизація землі та змінюваність фауністичних комплексів хребетних тварин агроценозів. В кн.: *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ "Нічлава", Київ, 2: 140–165. ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Gavryts', G. 2005. Lands privatization and variability of vertebrates' fauna aggregations in agrocenoses. In: *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. ZAT Nichlava, Kyiv, 2: 140–165. (In Ukrainian) ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Грибова, С. А., Т. И. Исаченко, Е. М. Лавренко. 1980. *Растительность Европейской части СССР*. Наука, Ленинград, 1–236.
- Gribova, S. A., T. I. Isachenko, E. M. Lavrenko. 1980. *Vegetation of the European Part of the USSR*. Nauka, Leningrad, 1–236.
- Загороднюк, И., В. 1992. Обзор рецентных таксонов Mammalia (Mammalia), описанных с территории Украины (1777–1990). *Вестник зоологии*, 26 (2): 39–48.
- Zagorodniuk, I. 1992. A review of the recent taxa of Mammalia (Mammalia), described from the territory of Ukraine: 1977–1990. *Vestnik Zoologii*, 26 (2): 39–48. (In Russian) <https://bit.ly/3guc8s8>
- Зізда, Ю., Загороднюк, І. 2020. 21 цікавинка про вивірку. *Види символи: 2020 рік вивірки (Sciurus vulgaris) в Україні*. Веб-сайт Українського териологічного товариства НАНУ. <https://bit.ly/3v79ZXg>
- Zizda, Yu., Zagorodniuk, I. 2020. 21 interesting facts about squirrel. Types of symbols: 2020 year of squirrel (*Sciurus vulgaris*) in Ukraine. *Website of the Ukrainian Theriological Society of NASU*. (In Ukrainian) <https://bit.ly/3v79ZXg>
- Зізда, Ю. Е. 2008. Мінливість забарвлення хутра та аналіз поширення різних підвидів *Sciurus vulgaris*. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*, 22: 212–218.
- Zizda, Yu. 2008. Changeability of colouring of fur and analysis of distribution of different subspecies of *Sciurus vulgaris*. *Scientific Bulletin of the Uzhgorod University. Series Biology*, 22: 212–218. (In Ukrainian)
- Коломыцев, Г. 2010. Моделирование распространения видов флоры и фауны на территории Восточной Европы в условиях изменения климата. *Сб. тезисов XVII Межд. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых — "Ломоносов"*. Секция «Биология». 12 и 15 апреля. МГУ им. М. В. Ломоносова, МАКС Пресс, Москва, б/д. Продублировано на вебсайте BioModel: <https://bit.ly/3ekR0Sm>
- Kolomytsev, G. 2010. Modeling of flora and fauna species distribution in Eastern Europe under climate change. In: *Collection of abstracts of the XVII International conf. of students, graduate students and young scientists 'Lomonosov'*. Section 'Biology'. April 12–15. Moscow State University of M. V. Lomonosov, MAKS Press, Moscow, n/a. Duplicated at BioModel website. (In Russian) <https://bit.ly/3ekR0Sm>
- Коломицев, Г., В. Придатко, С. Лопарьов. 2005. Метод отримання узагальнюючого тренду щодо зміни середовищ існування хребетних тварин міських агломерацій. В кн.: *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ "Нічлава", Київ, 2: 228–248. ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Kolomytsev, G., V. Prydatko, S. Lopariov. 2005. Development of the method on obtaining a generalized trend on vertebrates' habitat changes in town agglomerations. In: *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. ZAT 'Nichlava', Kyiv, 2: 228–248. (In Ukrainian). ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Коломицев, Г. О. 2012. Вплив зміни клімату на поширення вивірки (*Sciurus vulgaris*) у Східній Європі до 2050 р. Наукові доповіді НУБіП, Київ, 2: 31. <https://bit.ly/3tH50Mv>
- Kolomytsev, G. 2012. The impact of climate change on Squirrels (*Sciurus vulgaris*) spreading in Eastern Europe by 2050. Scientific reports of NULES, Kyiv, 2: 31. (In Ukrainian) <https://bit.ly/3tH50Mv>
- Кравець, П. 2005. Критерії та індикатори сталого управління лісами України в контексті оцінки агробіорізноманіття. В кн.: *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ "Нічлава", Київ, 2: 389–418. ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Kravets, P. 2005. Criteria and indicators for sustainable forest management in Ukraine matched agrobiodiversity assessment purposes. In: *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. ZAT 'Nichlava', Kyiv, 2: 389–418. (In Ukrainian)
- Крижанівський, В. І. 2005. Матеріали для оцінювання видового багатства ссавців, асоційованих з агроландшафтами України. В кн.: *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ "Нічлава", Київ, 1: 114–128. ISBN 966-7317-95-1. <https://bit.ly/3lzY8xp>
- Kryzhanivsky, V. I. 2005. Resources for estimating richness of mammal species associated with agricultural landscapes in Ukraine. In: *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. ZAT 'Nichlava', Kyiv, 1: 114–128. (In Ukrainian) ISBN 966-7317-95-1. <https://bit.ly/3lzY8xp>
- Кузнецов, Н. И. 1932. Геоботаническая карта европейской части СССР. М. 1:1050000. л. 15, 16 (1928).
- Kuznetsov, N. I. 1932. *Geobotanical map of the European part of the USSR*. М. 1:1050000. Map 15, 16 (1928). (In Russian)
- Мигулін, О. О. 1938. *Звіри УРСР (матеріали до фауни)*. Вид-во АН УРСР, Київ, 1–426.
- Migulin, O. O. 1938. *Zviri URSR (Materials to Fauna)*. NAS USSR Publishing House, Kyiv, 1–426. (In Ukrainian)
- Николаюк, В. А. (Ред., предс.). 1973. *Атлас лесов СССР*. Гос. ком. лесного хозяйства СМ СССР, Всес. Гос. ПНИ «Союзгипролесхоз»; ГУГК при СМ СССР, Москва, 1–222.
- Nikolayuk, V. A. (Ed). 1973. *Atlas of the USSR Forests*. The State Forestry Committee of the USSR Council of Ministers, the All-Union State Design and Research Institute 'Soyuzgiproleskhoz'; GUGK of the Council of Ministers of the USSR, Moscow, 1–222. (In Russian)
- Петросян, В. Г. (отв. исп.). 2005. *Martes martes Linnaeus, 1758 — куница лесная*. В кн.: *Млекопитающие России. Позвоночные животные России*. Вебсайт ИСИБД ФЦНТИ Минпромнауки России. ОБН РАН.

- Petrosyan, V. G. (Ed). 2005. Martes martes Linnaeus, 1758 — Wood marten. In: *Mammals of Russia. Vertebrates of Russia*. Website of the Russia Ministry of Industry and Sciences, OBN RAS. Retrieved (in 2007).
- Придатко, В. И., Ю. Н. Штепа, А. А. Ишук, 2002. Опыт применения ERDAS Imagine для анализа изменений лесов горного Крыма в 1988—2001 гг. с использованием снимков Landsat. *Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием*. Материалы Пятой Междунар. конф. 27—31 мая 2002. ECOMM, Партеит (АР Крым, Украина). CD. <https://bit.ly/2P9gAkC>
- Prydatko, V. I., Yu. N. Shtepa, A. A. Ishchuk. 2002. ERDAS Imagine usage experience on analysis of changes in Mountain Forests of Crimea in 1988—2001 years based on Landsat imageries. In: *Geoinformation technologies in the management of territorial development*. Materials of the Fifth International Conference. ECOMM, Partenit (AR Crimea, Ukraine). CD. (In Russian) <https://bit.ly/2P9gAkC>
- Придатко, В. И., Г. О. Коломицев, Р. И. Бурда, С. М. Чумаченко. 2008. Ландшафтная экология: методичне керівництво з моделювання біорізноманіття із врахування впливів на нього (для освітніх цілей національного та регіонального рівнів). Ч. 1. Моделювання біорізноманіття: приклад регіону GLOBIO-Україна. Ч. 2. Робочий зошит студента. НАУ, Київ, 1–174.
- Prydatko, V. I., G. O. Kolomytsev, R. I. Burdaand, S. M. Chumachenko. 2008. Landscape Ecology: textbook on application of pressure-based biodiversity modeling for national and regional educational purposes. Part 1, 2. NAU, Kyiv, 1–174. (In Ukrainian)
- Придатко, В., Г. Коломицев, В. Макаренко. 2010. Про масштаби історичного й очікуваного розповсюдження ссавців у Східній Євразії за моделлю EEVIO (GLOBIO). *Праці Теріологічної школи*, **10**: 40–46. <https://bit.ly/3tH7oTw>
- Prydatko V., G. Kolomytsev, V. Makarenko. 2010. Magnitude of historical and expected changes of mammals' natural habitats in Eastern Eurasia based on the EEVIO (GLOBIO) modelling approach. *Proceedings of the Theriological School*, **10**: 40–46. (In Ukrainian) [CrossRef](#)
- Пузаченко, А. Ю. (ред.). 1980. Обыкновенная белка — *S. vulgaris*. Виды млекопитающих. Ареалы животных и растений. Веб-ресурс BioDat. <https://bit.ly/3dDmlR2>.
- Puzachenko, A. Yu. (Ed). 1980. Common Squirrel, *S. vulgaris*. In: *Mammal Species. Areas of animals and plants*. BioDat website. (In Russian) <https://bit.ly/3dDmlR2>
- Созінов, О. О., В. І. Придатко (ред.). 2005 а. *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ "Нічлава", Київ, **1**: 1–384. ISBN 966-7317-95-1. <https://bit.ly/3lzY8xp>
- Sozinov, O. O. & V. I. Prydatko (Eds). 2005. *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. CJSC 'Nichlava', Kyiv, **1**: 1–384. (In Ukrainian) ISBN 966-7317-95-1. <https://bit.ly/3lzY8xp>
- Созінов, О. О., В. І. Придатко та О. І. Лисенко (ред.). 2005 б. *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ Нічлава, Київ, **2**: 1–592. ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Sozinov, O. O., V. I. Prydatko and O. I. Lysenko (Eds). 2005. *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. CJSC 'Nichlava', Kyiv, **2**: 1–592. (In Ukrainian). ISBN 966-8939-01-8. <http://bit.ly/3cPdpXg>
- Татаринов К. А. 1956. *Звірі західних областей України*. Видавництво АН УРСР, Київ, 1–188.
- Tatarinov, K. A. 1956. *Animals of the Western Regions of Ukraine*. Publishing house of the USSR Academy of Sciences, Kyiv, 1–188. (In Ukrainian)
- Титар, В. М. 2011. *Аналіз ареалів видів: підхід, заснований на моделюванні екологічної ніші*. Інститут зоології ім. І. Шмальгаузена НАНУ, Київ, 1–93. (Серія: Вестник зоології. Отдельный выпуск, № 25).
- Tytar, V. M. 2011. *Analysis of species habitats: an approach based on modeling of ecological niche*. I. Schmalhausen Institute of Zoology, Kyiv, 1–93. (Series: Vestnik Zoologii, Supplements, No 25). (In Ukrainian)
- Цюпка, В. О. 2012. Білка звичайна, *Sciurus vulgaris* L. (Rodentia, Sciuridae) в Україні (сучасний стан популяції, проблеми внутрішньовидової структури). *Вісник Національного науково-природничого музею*, **10**: 42–52.
- Tsjupka, V. O. 2012. Squirrel, *Sciurus vulgaris* L. (Rodentia, Sciuridae) in Ukraine (Modern State of the Population, the Problems Intraspecific Structure). *Proceedings of the National Museum of Natural History*, **10**: 42–52. (In Ukrainian)
- Штепа, Ю., В. Придатко. 2005. Інвентаризація островів природних територій з використанням зимних космоснимків Terra (ASTER). В кн.: *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. ЗАТ "Нічлава", Київ, **2**: 424–428. ISBN 966-8939-01-8.
- Shtepa, Yu., V. Prydatko. 2005. Inventory of islands in natural areas using the Terra (ASTER) winter satellite imagery. In: *Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators and Examples*. ZAT 'Nichlava', Kyiv, **2**: 424–428. (In Ukrainian)
- Collins, M., T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, et al. (Eds). 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge, New York, 1029–1136. [CrossRef](#)
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen et al. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skeat et al. (Eds).
- Kalynychenko, O., V. Prydatko. 2006. Chestnut (*Castanea sativa*), GLM. *BioModel website*: <https://bit.ly/3xnpfkX>. Retrieved March 23, 2021.
- O'Neill, B. C., E. Kriegler, K. Riahi, et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, **122**, 387–400. [CrossRef](#)
- Prydatko, V. 2002. Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) as New Tools for Improvement of Woodland Inventory, Management and Woodland Protected Areas Development in Ukraine. In: *Short Summary of the Presentation at the International Conference on Woodland Key Habitats, their Management and Conservation*. October 16–20, 2002, Bialowiza, Poland. <https://bit.ly/3U7KJp>
- Prydatko, V. I., G. O. Kolomytsev, R. I. Burda, S. M. Chumachenko. 2008. Landscape Ecology: textbook on application of pressure-based biodiversity modeling for national and regional educational purposes. Part 1, 2. NAU, Kyiv, 1–174. (In Ukrainian)
- Prydatko, V., G. Kolomytsev. 2011. Biodiversity Modelling Experiences in Ukraine. In: *Land Use, Climate Change and Biodiversity Modeling: Perspectives and Applications*. Y. Trisurat, R. P. Shrestha, R. Alkemade (Eds), 248–264. Accessed December 23, 2014. Abstract. [CrossRef](#)
- Prydatko, V., G. Kolomytsev. 2014. Biodiversity and Habitat

- Changes Modelling Experiences in Ukraine and Eastern Europe Countries. *IJMTIE*, **3.2** (2013): 44–62. Web. 23 Dec. 2014. Abstract. [CrossRef](#)
- Prydatko, V., G. Kolomytsev and V. Makarenko. 2008. Red squirrel (*Sciurus vulgaris*) habitats change modelling in EEBO Region in scope of the IMAGE climate change data: GLM-scenario by 2050. In: 'Projection of Species- and Species-Climate Based Models on to the GLOBIO Ukraine Region, and Scenarios Development' Project according to the Contract E/555050/01/MO (2006). BioModel website: <https://bit.ly/3eBaG4H>
- Sciurus vulgaris. Додаток III. (Про приєднання із застереженнями до Конвенції див. Закон N436/96-ВР (436/96-ВР) від 29.10.96). Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі Берн, 19 вересня 1979 року. Законодавство України. Верховна Рада України. <https://bit.ly/32HVDjM>
- Sciurus... 1979. *Sciurus vulgaris*. Annex III. (On accession with reservations to the Convention, see Law N436 / 96-VR (436/96-VR) of 29.10.96). Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Bern, 19 September 1979. *Legislation of Ukraine. Verkhovna Rada of Ukraine*. (In Ukrainian)
- Sciurus vulgaris subsp. ukrainicus Migulin, 1928 in GBIF Secretariat (2019). *GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset*. [CrossRef](#)
- Shar, S., D. Lkhagvasuren, S. Bertolino, H. Henttonen, B. Kryštufek and H. Meinig. 2016. *Sciurus vulgaris* (errata version published in 2017). *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*: e.T20025A115155900. <https://bit.ly/32HVDjM>
- Thorington, R. W., Jr., R. S. Hoffman 2005. *Sciurus (Sciurus) vulgaris*. In: *Wilson, D. E., Reeder, D. M. (Eds). Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference (3rd ed.)*. Johns Hopkins University Press, 764. ISBN 978-0-8018-8221-0. OCLC 62265494.
- Swart, N. C. et al. 2019. *CCCma CanESM5 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP*. Version 20210320. Earth System Grid Federation. [CrossRef](#)
- Tang, Y., J. A. Winkler, A. Viña, J. Liu, Y. Zhang, X. Zhang, X. et al. 2018. Uncertainty of future projections of species distributions in mountainous regions. *PLoS ONE*, **13** (1): e0189496. [CrossRef](#)
- Wilson, D. E., D.-A. M. Reeder (eds). 2005. *Sciurus (Sciurus) vulgaris ukrainicus*. In: *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference (3rd ed.)*. J. Hopkins University Press, 1–2142. (Available from J. Hopkins University Press, <http://www.press.jhu.edu>). Retrieved March 17, 2021. ISBN 1-800-537-5487