

DOI: <https://doi.org/10.36885/nzdpm.2023.39.19-30>

УДК 57.082+57.087.3

Новіков А.В.^{1*}, Гуштан Г.Г.¹, Гуштан К.В.¹, Кузярін О.Т.¹, Лелека Д.Ю.²,
Начичко В.О.³, Проць Б.Г.^{1,4}, Різун В.Б.¹, Савицька А.Г.¹, Сусуловська С.А.³,
Сусуловський А.С.¹

ОКРЕСЛЕННЯ ЦІЛЕЙ І ФОРМАТУ ПРОЄКТУ «ОЦИФРУВАННЯ ПРИРОДНИЧИХ КОЛЕКЦІЙ, ЩО ЗАЗНАЛИ УШКОДЖЕННЯ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ І СУПУТНИХ ФАКТОРІВ: РОЗРОБКА ПРОТОКОЛІВ І ВПРОВАДЖЕННЯ НА БАЗІ ДЕРЖАВНОГО ПРИРОДОЗНАВЧОГО МУЗЕЮ НАН УКРАЇНИ»

У цій статті представлено формат, а також окреслено цілі і завдання проєкту «Оцифрування природничих колекцій, що зазнали ушкодження внаслідок бойових дій і супутніх факторів: розробка протоколів і впровадження на базі Державного природознавчого музею НАН України». Цей проєкт, що фінансується Національним фондом досліджень України в рамках конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди», передбачає розробку протоколів і відпрацювання технологій оцифрування уразливих природничих музейних колекцій і реалізовуватиметься у 2023–2024 роках. Для відпрацювання протоколів буде використано колекції Державного природознавчого музею НАН України, але загалом проєкт має більш широкі завдання і націлений в першу чергу на оцифрування і віртуальне уодступнення природничих колекцій, які вже зазнали ушкодження внаслідок бойових дій та супутніх факторів, або ж потенційно можуть бути ушкоджені чи втрачені найближчим часом. Серед найбільш уразливих колекцій розглядаються такі, що вимагають ретельного дотримання режиму зберігання і першими зазнають руйнування, або ж можуть бути легко втрачені внаслідок прямих ушкоджень (наприклад, пожежі). Серед таких колекцій Державного природознавчого музею НАН України визначено колекції безхребетних тварин та фонди гербарію, які формувалися починаючи з 1870 року і на сьогоднішній день становлять об'єкт національного надбання України. Ці колекції є унікальними з огляду репрезентативності західного регіону України, хоча й не обмежуються ним. При втраті цих колекцій відновити їх чи замінити пошкоджені зразки рівноцінними неможливо. Наслідком втрати чи ушкодження цих колекцій стане утворення значного пробілу в документуванні історії флоро- і фауногенезу західного регіону України, який неможливо буде заповнити існуючими даними чи перекрити іншими, в тому числі закордонними, колекціями. Саме тому, в умовах воєнного стану, вкрай важливо розробити протоколи швидкого оцифрування найцінніших і найбільш уразливих зразків, які вже зазнали або ж потенційно можуть зазнати ушкоджень внаслідок бойових дій.

Ключові слова: російсько-українська війна, наукові природничі колекції, віртуальні колекції, діджиталізація, протоколи оцифрування, цифрові дані.

Сучасний стан проблеми

Природничі колекції слугують одним з основних джерел наукової інформації для різноманітних досліджень, зокрема еволюційних, філогенетичних, біогеографічних і таксономічних (Allmon, 1994; Lane, 1996; Causey et al., 2004; Holmes et al., 2016; Miller et al., 2020; Shultz et al., 2021). Опрацювання природничих колекцій залишається вкрай кропіткою справою, яка здебільшого вимагає персонального залучення ряду спеціалістів і їхньої безпосередньої присутності в установах, які ці колекції зберігають. Однак, це має і ряд негативних аспектів – наприклад, неумисне ушкодження зразків унаслідок багаторазового опрацювання і, інколи, вандалізм (Chalmers et al., 1999; Pennock, 2017; Graham, 2018). До негативних аспектів персонального опрацювання належить також висока собівартість таких робіт, яка передбачає оплату подорожі і перебування спеціалістів в установах, що зберігають колекції, а також значні затрати часу на подорож і роботу з колекціями (O'Connell et al., 2004; Suarez, Tsutsui, 2004; Bradley et al., 2014; Popov et al., 2021).

Оцифрування колекцій та створення вільно доступних баз даних дозволяє вирішити ці та низку інших проблем, роблячи колекції швидко і легко доступними через мережу Інтернет (Drew et al., 2017; Schindel, Cook, 2018). Часто дослідникам немає потреби безпосередньо працювати з самим зразком, а лише необхідна інформація про нього, яку вони можуть оперативно отримати з різноманітних баз даних та агрегаторів, таких як GBIF (Telenius, 2011; Lister, Climate Change Research Group, 2011; Ward, 2012; Ball-Damerow et al., 2019). В усіх випадках, ці бази даних покладаються на експертну оцінку спеціалістів, які безпосередньо опрацьовували зразки, що призводить до деяких обмежень (Beck et al., 2014; Sikes et al., 2016; Knouft, 2018; Nelson, Ellis, 2019). Втім, мобілізація даних про біорізноманіття все ж таки залишається одним із найперспективніших напрямків (Jetz et al., 2012; Balke et al., 2013; Ball-Damerow et al., 2019; Nelson, Ellis, 2019). Розміщення зображень зразків разом з метаданими про ці зразки не замінює самих зразків, однак значно спрощує їхнє опрацювання, сприяє їхньому більш активному залученню у масштабні дослідження і стимулює розвиток віртуальних колекцій в цілому (Gries et al., 2014; Davis, 2022). Оцифрування біологічних колекцій певною мірою є шляхом до їхнього довготривалого збереження та забезпечує широкий доступ до них із залученням мінімальних ресурсів (Novikov, 2019).

Проблема доступу до природничих колекцій гостро постала внаслідок карантинних обмежень, які було введено через пандемію коронавірусу. Обмеження пересування між країнами унеможливили доступ до більшості колекцій (Baker, 2020). Однак, сьогодні не лише проблема доступу до українських колекцій, але й питання їхнього збереження постали вкрай гостро через військову інтервенцію. Українські наукові колекції перебувають під ризиком ушкодження чи знищення внаслідок впливу низки негативних чинників, спричинених військовими діями. Серед прямих загроз є знищення колекцій внаслідок бомбардувань, супутніх пожеж і затоплень, а також мародерства. Серед непрямих факторів можна назвати завдання шкоди окремим колекціям унаслідок ушкодження самих фондосховищ, порушення режиму зберігання та вимушене термінове переміщення (Mosyakin, Shiyan, 2022; Stone, 2022). Щоденними ж загрозами, що спричиняють руйнування природничих колекцій є вологість, пліснява і шкідники (Carter, Walker, 1999; Querner et al., 2013; Sapaat et al., 2022).

Колекції Державного природознавчого музею НАН України є об'єктом національного надбання і становлять особливу цінність для українського суспільства та світової наукової спільноти. Наукові фонди музею формувалися з 1870 року і налічують більше 400 тисяч одиниць зберігання. До уразливих колекцій, що зберігаються в музеї, належать колекції безхребетних тварин (понад 170 тисяч зразків), колекції судинних (понад 118 тисяч зразків) і несудинних рослин (понад 26 тисяч зразків). Кожна з цих колекцій вже зазнала негативного впливу внаслідок термінового переміщення, яке відбулося на початку війни задля їхнього збереження. Щодня ці колекції продовжують зазнавати негативного впливу військової агресії внаслідок неможливості дотримання режиму зберігання через регулярні відключення електроенергії та брак опалення. Порушення режиму зберігання цих колекцій супроводжується ушкодженням зразків шкідниками, пліснявою і вологістю, що може призвести до їхньої повної або часткової втрати. Поновити чи замінити ці колекції буде неможливо, оскільки більшість зразків є унікальними. Їхня втрата призведе до утворення значної і непоправної наукової прогалини, адже ці колекції слугують підґрунтям для встановлення історії формування біоти, біогеографічних, філогенетичних і таксономічних досліджень.

Втім, Державний природознавчий музей НАН України – це далеко не єдиний і не найбільший заклад в Україні, який містить природничі колекції. Важко оцінити загальний обсяг природничих колекцій в країні, але вони налічують щонайменше десять мільйонів зразків. Зокрема, в Україні зареєстровано 59 гербаріїв, де загалом зберігається понад чотири мільйони зразків (Шиян, 2011). Саме тому розробка протоколів і оцифрування найбільш цінних зразків уразливих природничих колекцій є важливим кроком на шляху до їхнього збереження та широкого доступу до них у віртуальному форматі.

Паралельно зі звичним оцифруванням природничих колекцій, вчені часто вдаються до нетривіальних способів отримання цифрової інформації про біологічні зразки. Зокрема, молекулярний аналіз ДНК – це також певною мірою оцифрування, яке дозволяє отримати інформацію про структуру окремого фрагменту або повного геному того чи іншого біологічного зразка. Така генетична інформація часто є ціннішою, ніж звичайне цифрове зображення. На зображенні навіть високої роздільної здатності не завжди можна побачити ознаки, які є вагомими для філогенії чи систематики.

Мета та завдання проєкту

Основною метою проєкту є розробка протоколів оцифрування різних типів уразливих і постраждалих унаслідок війни природничих колекцій (зоологічних і ботанічних); відпрацювання розроблених протоколів шляхом оцифрування найбільш цінних (типових, рідкісних і авторських) зразків, що зберігаються в Державному природознавчому музеї НАН України; проведення молекулярно-генетичного аналізу окремих типових зразків рослин і безхребетних тварин для встановлення перспектив використання такого типу оцифрування.

Основні завдання проєкту:

- Відібрати найцінніші вразливі зразки (типові, рідкісні та авторські) з природничих колекцій, що зберігаються в Державному природознавчому музеї НАН України;

- Розробити відповідні протоколи і типи оцифрування для різних уразливих зразків природничих колекцій;
- Провести молекулярно-генетичний аналіз окремих типових зразків рослин і безхребетних тварин, оцінити перспективи такого типу оцифрування;
- Розмістити у вільному доступі дані про опрацьовані зразки у базах даних Центр Даних “Біорізноманіття України” (<http://dc.smnh.org/>), GBIF (<https://www.gbif.org/>), Zenodo (<https://zenodo.org/>) і GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>);
- Підготувати та опублікувати у вигляді друкованих видань каталоги опрацьованих наукових колекцій;
- Опублікувати у вільному доступі розроблені протоколи оцифрування вразливих в умовах війни та постраждалих внаслідок бойових дій природничих колекцій;
- Реалізувати комунікаційну підтримку та поширення наукової інформації щодо оцифрування природничих колекцій національної спадщини серед населення.

Проект “Оцифрування природничих колекції, що зазнали ушкодження внаслідок бойових дій і супутніх факторів: розробка протоколів і впровадження на базі Державного природознавчого музею НАН України” фінансується Національним фондом досліджень України в рамках конкурсу “Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди” і реалізовуватиметься у 2023–2024 роках.

Матеріали і методи

Матеріали досліджень: розробка протоколів оцифрування і їхнє тестування проводитимуться на базі фондів безхребетних тварин і рослин Державного природознавчого музею НАН України. Впродовж періоду виконання проєкту (2023–2024 роки) передбачається відпрацювати протоколи оцифрування з залученням різних типів уразливих зразків несудинних і судинних рослин, а також безхребетних тварин. Під час роботи з несудинними рослинами, в першу чергу приділятиметься увага розробці протоколу оцифрування зразків із авторських колекцій та гербарні зразки видів, що занесені до Червоної книги України. Для оцифрування буде використане наявне фотообладнання та сканери, також передбачається придбання стереомікроскопа KERN OZM-983 з кольоровою цифровою камерою для фотографування мікроскопічних об’єктів. Для обробки оцифрованих зразків буде задіяно наявну офісно-комп’ютерну техніку музею, а для оптимізації і прискорення робочого процесу передбачається придбання додаткового комп’ютерного обладнання. Для генетичного баркодингу планується залучити 120 типових зразків судинних рослин та безхребетних тварин. З метою захисту отриманих даних від втрати і їхнього дублювання планується використовувати мережеве сховище NAS Synology DS1823XS+.

Методи досліджень: розробка протоколів оцифрування, оцифрування уразливих колекцій, а також молекулярно-генетичні дослідження в рамках представленого проєкту будуть проводитись на базі Державного природознавчого музею НАН України, лабораторії якого оснащені необхідним обладнанням та матеріалами (мікроскопи, бінокляри, комп’ютери, фотоапарати, освітлювачі та інше) і мають кваліфікований персонал.

Оцифрування гербарію судинних рослин здійснюватиметься за допомогою цифрової фотосистеми, побудованої на основі фотоапарату Canon EOS 800D, із вдосконаленням протоколу, який використовувався раніше (Novikov, Sup-Novikova, 2021). Зокрема, планується відпрацювати використання портативних студійних освітлювачів Yongnuo YN-300 Air та Yongnuo YN-600 Air. Також буде апробовано технологію сканування гербарних зразків. При необхідності, у протокол будуть внесені корективи відповідно до потреби оцифрування великої кількості зразків, а також з можливістю залучення різних варіантів фотосистеми.

Оцифрування гербарію несудинних рослин здійснюватиметься шляхом фотографування етикеток та самих зразків з використанням фотосистеми, яку буде розроблено на базі фотоапарату Canon EOS 650D і студійного кільцевого освітлювача Yongnuo YN-308 та студійних освітлювачів Yongnuo YN-600 Air. Внесення інформації про зразки здійснюватиметься на основі протоколів, що використовуються для баз даних в Державному природознавчому музеї НАН України з їхньою наступною адаптацією відповідно до стандартів DarwinCore (<https://dwc.tdwg.org/>) і GBIF (<https://www.gbif.org/publishing-data>).

Для отримання цифрових зображень комах і мікропрепаратів ґрунтових безхребетних (нематоди, кліщі), буде використано фотоапарат Canon EOS 650D з об'єктивом Canon EF 100mm f/2.8L Macro IS USM. Для фіксації фотоапарата при фотографуванні використовуватиметься штатив Cadiso Q999H. З метою освітлення зразків використовуватимуться два типи освітлювачів: кільцевий LED освітлювач зі штативом і лайткуб для предметної зйомки Puluz PU5040.

Оцифрування зразків комах, розмір яких перевищує 10 см, відбуватиметься з допомогою фотоапарату Canon EOS 650D з об'єктивом Canon EF 18–55mm та з освітленням люмінесцентною (флуоресцентною) лампою. Застосування такого типу ламп з «трилінійним» і «п'ятилінійним» люмінофором, дозволяє домогтися більш рівномірного розподілу випромінювання у видимому спектрі світла, що призводить до більш натурального відтворення кольору. Для кожної одиниці зберігання будуть зроблені фотографії її загального вигляду та оригінальної етикетки, яка містить інформацією про місце і дату збору, біотоп, колектора та назву виду. Ці дані будуть оцифруватися у відповідності до розроблених протоколів.

Дані з етикеток оцифрованих зразків (з урахуванням стандарту DarwinCore) будуть внесені в базу «Біорізноманіття України» та опубліковані у GBIF у вигляді консолідованого датасету класу «Occurrence Dataset» (<https://www.gbif.org/dataset-classes>).

Для баркодингу зразків судинних рослин буде підібрано і використано оптимальну комбінацію ядерних (*ITS*) і хлоропластних (*trnL-ndhF* та/або *rpoB*, *accD*) маркерів (Mallot et al., 2018; Aghayeva et al., 2021). Для баркодингу зразків нематод, як модельної групи, буде підібрано і використано оптимальну комбінацію рибосомальних (*D2-D3*, *28S*, *18S*, *ITS*) і мітохондріальних (*cox1*) маркерів з числа тих, що зараз активно використовуються у філогенії (Qing, Bert, 2019; Gutiérrez-Gutiérrez et al., 2020; Singh et al., 2021). Отриману інформацію про нуклеотидні послідовності планується депонувати в базі GenBank.

Команда проєкту

Ядро дослідницької групи проєкту складається з восьми учасників – шести досвідчених та двох молодих вчених. Ці учасники мають багаторічний досвід науково-

дослідної діяльності та менеджменту природничих колекцій на базі Державного природознавчого музею НАН України. Більшість з них безпосередньо брали участь в оцифруванні природничих колекцій, а також у роботі з базами даних про біорізноманіття. Зокрема, на базі Державного природознавчого музею НАН України було створено програмний комплекс Центр даних «Біорізноманіття України» (<http://dc.smnh.org/>). Це унікальна розробка створена для роботи з базою даних, що містить інформацію про біоту України: наукові і вернакулярні назви та дати реєстрації видів, їхнє геотеговане географічне та біотопічне розповсюдження, природоохоронні категорії, представленість в об'єктах природно-заповідного фонду України та водоймах, літературні джерела. Інтернет-ресурс дозволяє створювати списки біоти різного таксономічного рангу окремих територіальних виділів країни та водойм, різних часових проміжків, списки видів, які підлягають охороні та ендемічних видів, видів, які зберігаються в колекціях наукових інституцій (музеї, гербарії, тощо), знаходити конкретні зразки за їхнім інвентарним номером, створювати списки видів за типом їхньої реєстрації/колекціонування, зібраних чи визначених конкретними спеціалістами, проводити пошук літературних джерел, які стосуються біоти України, а також проводити розширений пошук за усіма згаданими параметрами. Крім цього, Центр даних «Біорізноманіття України» дозволяє проводити базові статистичні обрахунки, а за допомогою інструменту «агрегаційні карти» можна здійснювати аналіз просторового розподілу видів/таксонів, що може використовуватися як при наукових дослідженнях, так і при проектуванні нових територій природно-заповідного фонду і розробці заходів з активної охорони видів чи їхньої реінтродукції, а також для відслідковування змін у флорі і фауні (Різун, Щербаченко, 2019). У 2022 р. музей було також зареєстровано як видавця даних GBIF і ним опубліковано перший датасет «Endemic vascular plants of the Ukrainian Carpathians» (<https://doi.org/10.15468/5hrh87>), що містить 6427 записів, а вже у 2023 р. опубліковано другий датасет «Rare, relict, range-limited, and problematic plant taxa in the Ukrainian Carpathians and adjacent territories from the LWS herbarium» (<https://doi.org/10.15468/9y2my2>), який містить ще 11437 записів. Окрім того, до виконання проекту залучено трьох асистентів з числа молодих вчених і аспірантів з-поза штату Державного природознавчого музею НАН України. Асистенти допомагають при оцифруванні, впорядкуванні колекцій, виготовленні препаратів, валідації даних та у іншій рутинній роботі. Згодом асистентів також планується залучити до виконання лабораторних молекулярно-генетичних досліджень, а також до роботи з мікропрепаратами.

Очікувані результати виконання проекту та їхнє використання у суспільній практиці

Буде розроблено і опубліковано у вільному доступі детальні покрокові протоколи оцифрування уразливих природничих зразків в умовах війни та зразків, що постраждали через бойові дії. Розроблені протоколи будуть відпрацьовані із залученням близько 6000 зразків судинних рослин, 3000 зразків несудинних рослин та 3200 зразків безхребетних тварин, що зберігаються у колекціях Державного природознавчого музею НАН України. Дані про оцифровані зразки будуть розміщені в базах даних «Біорізноманіття України», GBIF і Zenodo. На основі опублікованих датасетів GBIF буде підготовлено наукові статті для журналів з рейтингом Q2. Буде видано друком каталоги оцифрованих колекцій.

Окремо планується оцінити перспективність використання генетичного баркодингу як альтернативного способу оцифрування природничих колекцій. Зокрема, буде проведено баркодинг окремих типових зразків судинних рослин та безхребетних тварин (нематод), що зберігаються у фондах Державного природознавчого музею НАН України. Отриману інформацію про нуклеотидні послідовності буде розміщено у вільному доступі в базі GenBank.

Існує чимало протоколів оцифрування різних типів наукових природничих колекцій, в тому числі ботанічних (Nash, Brinda, 2012; Thiers et al., 2016; Yost et al., 2018), зоологічних (Huber et al., 2005; Behm et al., 2019; Sys et al., 2022), і навіть палеонтологічних (Karim et al., 2016; Díez Díaz et al., 2021). Альтернативним напрямом оцифрування природничих колекцій, особливо зразків, які неможливо або важко розрізнити за морфологічними характеристиками (види-двійники), є залучення технологій молекулярно-генетичного баркодингу (Schindel et al., 2011; Hebert et al., 2013; Liu et al., 2019). Втім, більшість з них є дорогавартісними та передбачають тривалу роботу, залучення спеціалістів вузького профілю та значної кількості асистуючого персоналу. Цей проєкт має на меті розробку більш універсальних протоколів оцифрування з використанням недорогого обладнання та можливістю його модифікації відповідно до обставин, спричинених війною. Таких протоколів в Україні на сьогодні не існує. Очікувана наукова продукція також не має аналогів, оскільки зразки, які будуть залучені до оцифрування, раніше не були оцифровані, і відомості про них не розміщувалися у відкритому доступі онлайн.

Розроблені протоколи дозволять з мінімальними затратами часу налагодити процес оцифрування найбільш цінних і вразливих природничих зразків в умовах війни, а також налагодити оцифрування вже уражених зразків. Це дозволить зберегти їх у віртуальному форматі на випадок ушкодження чи знищення. Оцифрування також відкриє доступ до цих колекцій через мережу Інтернет, що сприятиме їхньому використанню у глобальних масштабах. Подібні віртуальні колекції широко використовуються у світі і мають колосальне значення для поступу науки (Geser, Niccolucci, 2012; Gries et al., 2014; Cantrill, 2018; Schindel, Cook, 2018; Cota-Sánchez, 2020; Davis, 2023). Оцифровані в рамках проєкту зразки, можуть бути використані в різноманітних наукових дослідженнях, при проведенні оцінки антропогенного впливу на довкілля, в обґрунтуваннях об'єктів природно-заповідного фонду, у навчальних цілях тощо.

Оцифрування музейних об'єктів є важливим етапом збереження культурної й наукової спадщини України, що сприяє не лише репрезентації, але й популяризації нашої держави у світовій науковій та культурній сферах. Опубліковані набори даних та розроблені протоколи оцифрування сприятимуть більш активному залученню інших установ і колекцій до процесу діджиталізації і просування в Україні ідей та концепцій вільного доступу до науково-культурної спадщини. Оцифровані зразки та відомості про них будуть розміщені онлайн, що не лише сприятиме їхньому залученню у більш широку наукову роботу, але й дозволить усім бажаючим отримати до них вільний доступ.

Висновки

Представлений формат проєкту «Оцифрування природничих колекцій, що зазнали ушкодження внаслідок бойових дій і супутніх факторів: розробка протоколів і впровадження на базі Державного природознавчого музею НАН України» є унікальним способом збереження шляхом оцифрування природничих колекцій національної спадщини, які зазнали ушкодження внаслідок бойових дій та потенційно знаходяться під загрозою знищення.

- Різун В., Щербаченко Т. 2019. Використання агрегаційних карт в інтернет-порталі Центр даних «Біорізноманіття України» для аналізу просторового розподілу біоти. *GEO&BIO*. Т. 18. С. 164–172. DOI: <https://doi.org/10.15407/gb1814>
- Шиян Н.М. 2011. Гербарії України. Index Herbariorum Ucrainicum. Київ: Альтерпрес. 442 с.
- Aghayeva P., Cozzolino S., Cafasso D., Ali-Zade, V., Fineschi S., Aghayeva D. 2021. DNA barcoding of native Caucasus herbal plants: potentials and limitations in complex groups and implications for phylogeographic patterns. *Biodiversity Data Journal*. Vol. 9. Article e61333. DOI: <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e61333>
- Allmon W.D. 1994. The value of natural history collections. *Curator: The Museum Journal*. Vol. 37 No. 2. P. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.1994.tb01011.x>
- Baker B. 2020. Biodiversity collections, data, and Covid. *BioScience*. Vol. 70 No. 10. P. 841–847. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa093>
- Ball-Damerow J. E., Brenskelle L., Barve N., Soltis P.S., Sierwald P., Bieler R., LaFrance R., Ariño A.H., Guralnick R.P. 2019. Research applications of primary biodiversity databases in the digital age. *PLOS ONE*. Vol. 14 No. 9. Article e0215794. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215794>
- Balke M., Schmidt S., Hausmann A., Toussaint E.F., Bergsten J., Buffington M., Häuser C.L., Kroupa A., Hagedorn G., Riedel A., Polaszek A., Ubaidillah R., Krogmann L., Zwick A., Fikáček M., Hájek J., Michat M.C., Dietrich C., La Salle J., Mantle B., Ng P.K.L., Hobern D. 2013. Biodiversity into your hands – a call for a virtual global natural history ‘metacollection’. *Frontiers in Zoology*. Vol. 10 No. 1. Article 55. DOI: <https://doi.org/10.1186/1742-9994-10-55>
- Beck J., Böller M., Erhardt A., Schwanghart W. 2014. Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distributions. *Ecological Informatics*. Vol. 19. P. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.11.002>
- Behm R., Chung C., Solomon L., Seltmann K. 2019. Imaging protocols for the UCSB invertebrate zoology collection [online]. UC Santa Barbara : Cheadle Center for Biodiversity and Ecological Restoration. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/2rv3m3q2> [Accessed 2 October 2023].
- Bradley R.D., Bradley L.C., Garner H.J., Baker R.J. 2014. Assessing the value of natural history collections and addressing issues regarding long-term growth and care. *BioScience*. Vol. 64 No. 12. P. 1150–1158. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biu166>
- Cantrill D.J. 2018. The Australasian virtual herbarium: tracking data usage and benefits for biological collections. *Applications in Plant Sciences*. Vol. 6 No. 2. Article e1026. DOI: <https://doi.org/10.1002/aps3.1026>
- Carter D.J., Walker A.K. 1999. Chapter 7: Collection environment, in D. Carter, A. Walker (eds.), Care and conservation of natural history collections [online]. Oxford, Butterworth, Heinemann. P. 139–151. Available at: <

- <https://www.natsca.org/sites/default/files/publications/books/Environment.pdf>> [Accessed 2 October 2023].
- Causey D., Janzen D.H., Peterson A.T., Vieglais D., Krishtalka L., Beach J.H., Wiley E.O. 2004. Museum collections and taxonomy. *Science*. Vol. 305 No. 5687. P. 1106–1107. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.305.5687.1106b>
- Chalmers N., Carter D., Walker A. (1999). Care and conservation of natural history collections [online]. NatSCA. Available at: <<https://www.natsca.org/care-and-conservation>> [Accessed 2 October 2023].
- Cota-Sánchez J.H. 2020. The value of virtual natural history collections for botanical instruction in these times of the COVID-19 pandemic. *Brazilian Journal of Botany*. Vol. 43 No. 4. P. 683–684. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00663-y>
- Davis C.C. 2023. The herbarium of the future. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 38 No. 5. P. 412–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.11.015>
- Díez Díaz V., Mallison H., Asbach P., Schwarz D., Blanco A. (2021). Comparing surface digitization techniques in palaeontology using visual perceptual metrics and distance computations between 3D meshes. *Palaeontology*. Vol. 64 No. 2. P. 179–202. DOI: <https://doi.org/10.1111/pala.12518>
- Drew J.A., Moreau C.S., Stiassny M.L. 2017. Digitization of museum collections holds the potential to enhance researcher diversity. *Nature Ecology & Evolution*. Vol. 1 No. 12. P. 1789–1790. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0401-6>
- Geser G., Niccolucci F. 2012. Virtual museums, digital reference collections and e-science environments [online]. *Uncommon culture*. Vol. 3 No. 5/6. P. 12–37. Available at: <https://journals.uic.edu/ojs/index.php/UC/article/view/4714>> [Accessed 2 October 2023].
- Graham F. 2018. Caring for natural history collections [online]. Government of Canada. Available at: <<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/natural-history.htm>> [Accessed 2 October 2023].
- Gries C., Gilbert M.E.E., Franz N.M. 2014. Symbiota – a virtual platform for creating voucher-based biodiversity information communities. *Biodiversity Data Journal*. Vol. 2. Article 1114. DOI: <https://doi.org/10.3897/BDJ.2.e1114>
- Gutiérrez-Gutiérrez C., Santos M.T., Inácio M.L., Eisenback J.D., Mota M. 2020. Description of *Longidorus bordonensis* sp. nov. from Portugal, with systematics and molecular phylogeny of the genus (Nematoda, Longidoridae). *Zoosystematics and Evolution*. Vol. 96 No. 1. P. 175–193. DOI: <https://doi.org/10.3897/zse.96.49022>
- Hebert P.D., deWaard J.R., Zakharov E.V., Prosser S.W., Sones J.E., McKeown J.T., Mantle B., La Salle J. 2013. A DNA ‘Barcode Blitz’: rapid digitization and sequencing of a natural history collection. *PLOS ONE*. Vol. 8 No. 7. Article e68535. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068535>
- Holmes M.W., Hammond T.T., Wogan G.O., Walsh R.E., LaBarbera K., Wommack E.A., Martins F.M., Crawford J.C., Mack K.L., Bloch L.M., Nachman M.W. 2016. Natural history collections as windows on evolutionary processes. *Molecular Ecology*. Vol. 25 No. 4. P. 864–881. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.13529>
- Huber B.A., Sinclair B.J., Lampe K.H., Lampe K.H., Striebing D. 2005. How to digitize large insect collections – preliminary results of the DIG project, in B.A. Huber, B.J. Sinclair, K.-H. Lampe (eds.), African biodiversity. Boston : Springer US. P. 385–393. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-24320-8_38
- Jetz W., McPherson J.M., Guralnick R.P. 2012. Integrating biodiversity distribution knowledge: toward a global map of life. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 27 No. 3. P. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.09.007>

- Karim T.S., Burkhalter R., Farrell Ú.C., Molineux A., Nelson G., Utrup J., Butts S.H. 2016. Digitization workflows for paleontology collections. *Palaeontologia Electronica*. Vol. 19 No. 3. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.26879/566>
- Knouft J.H. 2018. Appropriate application of information from biodiversity databases is critical when investigating species distributions and diversity: a comment on Dallas et al. (†). *Ecology Letters*. Vol. 21 No. 7. P. 1119–1120. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12959>
- Lane M.A. 1996. Roles of natural history collections. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. Vol. 83 No. 4. P. 536–545. DOI: <https://doi.org/10.2307/2399994>
- Lister A.M., Climate Change Research Group. 2011. Natural history collections as sources of long-term datasets. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 26 No. 4. P. 153–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.12.009>
- Liu H., Wei J., Yang T., Mu W., Song B., Yang T., Fu Y., Wang X., Hu G., Li W., Zhou H., Chang Y., Chen X., Chen H., Cheng L., He X., Cai H., Cai X., Wang M., Li Y., Sahu S.K., Yang J., Wang Y., Mu R., Liu J., Zhao J., Huang Z., Xu X., Liu X. (2019). Molecular digitization of a botanical garden: high-depth whole-genome sequencing of 689 vascular plant species from the Ruili Botanical Garden. *GigaScience*. Vol. 8 No. 4. Article giz007. DOI: <https://doi.org/10.1093/gigascience/giz007>
- Mallott E.K., Garber P.A., Malhi R.S. 2018. *trnL* outperforms *rbcL* as a DNA metabarcoding marker when compared with the observed plant component of the diet of wild white-faced capuchins (*Cebus capucinus*, Primates). *PLOS ONE*. Vol. 13 No. 6. Article e0199556. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199556>
- Miller S.E., Barrow L.N., Ehlman S.M., Goodheart J.A., Greiman S.E., Lutz H.L., Misiewicz T.M., Smith S.M., Tan M., Thawley C.J., Cook J.A., Light J.E. 2020. Building natural history collections for the twenty-first century and beyond. *BioScience*. Vol. 70 No. 8. P. 674–687. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa069>
- Mosyakin S.L., Shiyani N.M. 2022. The MG Kholodny Institute of Botany and the National Herbarium of Ukraine (KW), Kyiv: Damage due to the missile strikes on 10 October 2022 [online]. *Ukrainian Botanical Journal*. Vol. 79 No. 5. P. 339–342. Available at: <<https://ukrbotj.co.ua/archive/79/5/339>> [Accessed 2 October 2023]
- Nash T.H., Brinda J. 2012. Digitizing North American lichen and bryophyte specimens in US institutions. *Evansia*. Vol. 29 No. 4. P. 115–115.
- Nelson G., Ellis S. 2019. The history and impact of digitization and digital data mobilization on biodiversity research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Vol. 374 No. 1763, Article 20170391. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0391>
- Novikov A. 2019. Digitization of natural collections – the way to immortality // Proceedings of the 14th International Young Scientists' Conference “Biology: From a Molecule Up to the Biosphere” (27–29 November 2019, Kharkiv, Ukraine). V.N. Karazin Kharkiv National University. P. 12–14.
- Novikov A., Sup-Novikova M. 2021. Simple and cheap photosystem for herbarium digitization. *Plant Introduction*. Vol. 91/92. P. 50–53. DOI: <https://doi.org/10.46341/PI2021015>
- O'Connell A.F., Gilbert A.T., Hatfield J.S. 2004. Contribution of natural history collection data to biodiversity assessment in national parks. *Conservation Biology*. Vol. 18 No. 5. P. 1254–1261. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00034.x-i1>
- Pennock H. 2017. Natural history museum security, in E. Dorfman (ed.), The future of museum of natural history. Routledge. P. 49–64. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315531892-4>

- Popov D., Roychoudhury P., Hardy H., Livermore L., Norris K. 2021. The value of digitising natural history collections. *Research Ideas and Outcomes*. Vol. 7. Article e78844. DOI: <https://doi.org/10.3897/rio.7.e78844>
- Qing X., Bert W. 2019. Family Tylenchidae (Nematoda): an overview and perspectives. *Organisms Diversity & Evolution*. Vol. 19 No. 3. P. 391–408. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13127-019-00404-4>
- Querner P., Pinniger D., Astrid H. (eds). 2013. Section I: IPM in museums [online] // Proceedings of the International Conference “Integrated Pest Management (IPM) in Museums, Archives and Historic Houses” (5–7 June 2013, Vienna, Austria). Vienna. P. 9–68. Available at: https://museumpests.net/wp-content/uploads/2016/03/Vienna_IPM_1SM.pdf
- Sapaat A., Sabran S.F., Mohamed M. (2022). Occurrence of pest, the management of zoological museum specimens collection and climate change. *Advances in Biological Sciences Research (Proceedings of the 7th International Conference on Biological Science (ICBS 2021))*. Vol. 22. P. 193–200. DOI: <https://doi.org/10.2991/absr.k.220406.029>
- Schindel D.E., Cook J.A. 2018. The next generation of natural history collections. *PLOS Biology*. Vol. 16 No. 7. Article e2006125. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006125>
- Schindel D.E., Stoeckle M.Y., Milensky C., Trizna M., Schmidt B., Gebhard C., Graves G. 2011. Project description: DNA barcodes of bird species in the National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, USA. *ZooKeys*. Vol. 152. P. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.3897/zookeys.152.2473>
- Shultz A.J., Adams B.J., Bell K.C., Ludt W.B., Pauly G.B., Vendetti J.E. 2021. Natural history collections are critical resources for contemporary and future studies of urban evolution. *Evolutionary Applications*. Vol. 14 No. 1. P. 233–247. DOI: <https://doi.org/10.1111/eva.13045>
- Sikes D.S., Copas K., Hirsch T., Longino J.T., Schigel D. 2016. On natural history collections, digitized and not: a response to Ferro and Flick. *ZooKeys*. Vol. 618. P. 145–158. DOI: <https://doi.org/10.3897/zookeys.618.9986>
- Singh P.R., Karssen G., Couvreur M., Subbotin S.A., Bert W. 2021. Integrative taxonomy and molecular phylogeny of the plant-parasitic nematode genus *Paratylenchus* (Nematoda: Paratylenchinae): linking species with molecular barcodes. *Plants*. Vol. 10 No. 2. Article 408. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10020408>
- Sys S., Weißbach S., Jakob L., Gerber S., Schneider C. 2022. CollemboI, a macrophotography and computer vision workflow to digitize and characterize samples of soil invertebrate communities preserved in fluid. *Methods in Ecology and Evolution*. Vol. 13 No. 12. P. 2729–2742. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14001>
- Stone R. 2022. Ukrainian researchers flee war trauma and terror. *Science*. Vol. 375 No. 6586. P. 1209–1210. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adb2027>
- Suarez A.V., Tsutsui N.D. 2004. The value of museum collections for research and society. *BioScience*. Vol. 54 No. 1. P. 66–74. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0066:TVOMCF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0066:TVOMCF]2.0.CO;2)
- Telenius A. 2011. Biodiversity information goes public: GBIF at your service. *Nordic Journal of Botany*. Vol. 29 No. 3. P. 378–381. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2011.01167.x>
- Thiers B.M., Tulig M.C., Watson K.A. 2016. Digitization of the New York Botanical Garden herbarium. *Brittonia*. Vol. 68. P. 324–333. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12228-016-9423-7>
- Ward D.F. 2012. More than just records: analysing natural history collections for biodiversity planning. *PLOS ONE*. Vol. 7 No. 11. Article e50346. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050346>

Yost J., Sweeney P.W., Gilbert E.E., Nelson G., Guralnick R.P., Gallinat A.S., Ellwood E.R., Rossington N.L., Willis C.G., Willis C.G., Blum S.D., Walls R.L., Haston E.M., Denslow M., Denslow M., Zohner C.M., Morris A.B., Stucky B.J., Carter J.R., Baxter D.G., Bolmgren K., Denny E.G., Dean E., Pearson K.D., Davis C.C., Mishler B.D., Soltis P.S., Mazer S.J. 2018. Digitization protocol for scoring reproductive phenology from herbarium specimens of seed plants. *Applications in Plant Sciences*. Vol. 6 No. 2. Article e1022. DOI: <https://doi.org/10.1002/aps3.1022>

¹ Державний природознавчий музей НАН України, м. Львів

* e-mail: novikoffav@gmail.com

² Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів

³ Львівський національний університет імені Івана Франка

⁴ Дунайсько-Карпатська Програма, Львів

Novikov A.V.^{1,*}, Hushtan H.H.¹, Hushtan K.V.¹, Kuzyarin O.T.¹, Leleka D.Yu.², Nachychko V.O.³, Prots B.H.^{1,4}, Rizun V.B.¹, Savytska A.G.¹, Susulovska S.A.³, Susulovsky A.S.¹

Outlining the aims and format of the project «Digitisation of natural history collections damaged as a result of hostilities and related factors: development of protocols and implementation based on the State Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine»

This article presents the format and outlines the goals and objectives of the project: "Digitisation of natural collections damaged by hostilities and associated factors: development of protocols and implementation based on the State Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine." This project, financed by the National Research Fund of Ukraine as part of the competition "Science for the Reconstruction of Ukraine in the War and Post-War Periods", involves the development of protocols and testing of digitisation technologies for vulnerable natural history museum collections and will be implemented in 2023-2024. The State Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine collections will be used to develop the protocols. Still, in general, the project has broader tasks. It is primarily aimed at the digitisation and virtual availability of natural collections that have already been damaged due to hostilities and related factors or may be damaged or lost shortly. Among the most vulnerable collections are those that require careful observance of the storage regime and are the first to undergo destruction or can be easily lost due to direct damage (for example, fire). Among such collections of the State Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine, the collections of invertebrate animals and herbarium funds, which were formed in 1870 and today constitute the object of the national heritage of Ukraine, have been identified. These collections are unique regarding the representativeness of the western region of Ukraine, although they are not limited to it. If these collections are lost, restoring or replacing damaged samples with equivalent ones is impossible. The consequence of the loss or damage of these collections will be the formation of a significant gap in the documentation of the history of the flora and fauna of the western region of Ukraine, which will be impossible to fill with existing data or cover with other, including foreign, collections. That is why, in martial law conditions, it is essential to develop protocols for the rapid digitisation of the most valuable and most vulnerable samples that have already suffered or may potentially suffer damage due to hostilities.

Key words: russo-Ukrainian war, scientific natural history collections, virtual collections, digitisation, digitisation protocols, digital data