

ГЕРБАРНЫЕ КОЛЛЕКЦИИ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА И ИХ РОЛЬ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

**А. Ю. Тептина, А. Г. Пауков, А. Д. Демин, И. А. Кузьмина,
Д. К. Диярова, В. Д. Владыкина, Е. В. Жуйкова**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,
e-mail: ateptina@gmail.com, alexander_paukov@mail.ru,
andru1229@mail.ru, Irina.kuzmiina@yandex.ru, dasha_d@ipae.uran.ru,
vyambusheva@mail.ru, e.zhuykova@list.ru

HERBARIUM COLLECTIONS OF THE URAL FEDERAL UNIVERSITY AND THEIR ROLE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

**Anzhelika Yu. Teptina, Alexander G. Paukov, Andrey D. Demin,
Irina A. Kuzmina, Daria K. Diyarova, Victoria D. Vladykina, Elena
V. Zhuikova**

Аннотация. В статье обсуждаются история и перспективы использования гербарных коллекций в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров УрФУ. Традиционно в периоды учебной практики проводился сбор гербарных материалов, которые впоследствии поступали в гербарий. Сейчас работы по инвентаризации гербария включены в программу новой дисциплины «Информатика биоразнообразия». Основные разделы курса посвящены знакомству студентов с технологиями создания баз данных по биоразнообразию, подходами к хранению и обработке больших массивов биологических данных, использованию унифицированных протоколов и стандартов, а также механизмам обмена данными. Работа с гербарными коллекциями включена в практические занятия по курсу, позволяет отработать основные этапы создания и курирования гербарных коллекций и создания базы данных. Работы с гербарными коллекциями включены в список тем по Проектной деятельности студентов, новому направлению образовательной деятельности, реализуемому в УрФУ с целью повышения востребованности выпускников на рынке труда. В этом направлении реализуются проекты «Редкие растения Свердловской области» и «Создание Информационной системы „Флора Урала“» в рамках магистерских программ «Фундаментальная биология и биотехнологии» и «Биоразнообразии в меняющемся мире».

Ключевые слова: информатика биоразнообразия, гербарий (UFU), гербарная коллекция, база данных, биоразнообразие, учебная дисциплина, гербарные образцы

Abstract. The article discusses the history and prospects of using herbarium collections in the educational process of training bachelor and master students of UrFU. Traditionally, during the periods of educational practice, herbarium materials are being collected, and subsequently inserted to the herbarium. Now the work on the herbarium inventory is included in the program of the new discipline Biodiversity Informatics. The main sections of the course are devoted to familiarizing students with the technologies of creating databases on biodiversity, approaches to storing and processing large arrays of biological data, the use of unified protocols and standards, as well as mechanisms for exchanging data on biodiversity. Work with the herbarium collections is included in practical classes on the course, allows to get practice on the main stages of creating and curating herbarium collections and making a database. Also, work with herbarium collections is included in the list of topics for Project Activities of Students, a new area of educational activity implemented at UrFU in order to increase the demand for graduates in the labor market. In this direction, the projects “Rare Plants of the Sverdlovsk Region” and “Creation of the Information System ‘Flora of the Urals’” are being implemented within the framework of the master’s programs “Fundamental Biology and Biotechnology”, “Biodiversity in a Changing World” and “Informatics and Computer Science”.

Keywords: Biodiversity informatics, herbarium (UFU), herbarium collection, herbarium of higher plants, herbarium of lichens, herbarium of fungi, herbarium of bryophytes, database, biodiversity, academic discipline, plants, herbarium specimens

Рост антропогенного воздействия и глобальное потепление климата сегодня приводят к сокращению биоразнообразия планеты. Эти процессы актуализировали необходимость интеграции знаний о биоразнообразии как на региональном и национальном, так и глобальном уровнях. Консолидация информации, содержащейся в разрозненных источниках (гербариях научных институтов, ООПТ, музеях естественной истории и других организациях, различных базах данных биологической информации и др.), ее верификация и объединение различных типов данных (экологических, биологических, генетических, биоморфологических) дает возможность выполнять исследования разнообразия, экологии, эволюции, трансформации биоты, выявлять и принимать своевременные меры для охраны уязвимых видов и сообществ, преодолевая таксономические, дисциплинарные, географические и социально-экономические границы и создавать основу для плодотворного научного поиска (Bisby, 2000).

Современным этапом развития биологического знания является смена традиционного подхода в биологии и развитие междисципли-

нарного направления информатики биоразнообразия (*biodiversity informatics*) — высокотехнологичной и бурно развивающейся отрасли научного знания, направленной на создание единого информационного пространства накопленных человечеством знаний о биоразнообразии (Bisby, 2000; Soberón, Peterson, 2004).

Происходящие изменения использования биологических данных накладывают обязательства их внедрения в учебный процесс при подготовке специалистов-биологов. Сегодня наряду с расширением спектра дисциплин, связанных с быстрым развитием молекулярно-генетических методов исследований и активного внедрения их в профессиональные сферы деятельности, возникает необходимость формирования навыков и развития представлений у студентов по работе с большими массивами биологических данных.

В рамках направления подготовки 06.04.01 «Биология» магистерской программы «Фундаментальная биология и биотехнологии» и программы «Биоразнообразие в меняющемся мире» магистратуры УрФУ реализуется дисциплина «Информатика биоразнообразия». В своей основе программа дисциплины ориентирована на теоретическое и практическое знакомство студентов с технологиями создания баз данных по биоразнообразию, подходами к хранению, обработке и обмену больших массивов биологических данных, использовании унифицированных протоколов и стандартов. Информатика биоразнообразия выступает основой для изучения многих фундаментальных проблем (флористических, биогеографических, филогенетических), также служит для решения практических задач, связанных с охраной растительного мира, оценкой состояния территорий, управлением природными ресурсами и многих других, т. е. имеет применение в различных областях профессиональной деятельности, что позволяет осуществлять практико-ориентированную подготовку специалистов для исследовательской, природоохранной, экологической и экономической деятельности.

Информатика биоразнообразия превратилась сегодня в широкую междисциплинарную и многоцелевую область, которая не только объединяет обширные ботанические данные, но и располагает цифровым инструментарием для их хранения и обработки, позволяет решать задачи по анализу, в том числе возможностям построения прогностических моделей и визуализации регионального и глобального биоразнообразия (Bisby, 2000; Soberón, Peterson, 2004; Guralnick, Hill 2009; Hardisty et al., 2013; Leidenberger et al., 2016; Ivanova et al., 2018).

В процессе обучения студенты знакомятся с возможностями современных баз данных о биоразнообразии. Отдельный блок курса

посвящен работе с биологическими данными, в качестве которых выступают отдельные находки видов (обычно представленные гербарными сборами, геоботаническими описаниями, флористическими списками). Студенты знакомятся с основными этапами работы с такими типами данных: 1) извлечение и сбор данных, 2) компиляция и предоставление данных и 3) оцифровка и визуализация данных. Обсуждается значение верификации набора цифровых таксономических названий и таксономической литературы (Sautter et al., 2006).

Отдельно в курсе уделяется внимание унификации данных о биоразнообразии на основе международных стандартов, разработанных Taxonomic Database Working Group (2016). В качестве основы базы таксономического разнообразия выступают специализированные базы данных по мировому биоразнообразию, такие как Catalogue of Life (URL: www.catalogueoflife.org) и др.

Важной частью дисциплины выступает блок, посвященный работе с данными о распространении видов. При создании баз данных биоразнообразия широко используются методы геопозиционирования, ГИС-технологии, методы дистанционного зондирования Земли для оценки состояния природных объектов, в том числе после катастрофических нарушений, изучения и анализа структуры и состояния биосистем. Обсуждаются возможности моделирования ареалов с использованием объединенных данных (SDM — species distributions modelling) (Санданов, 2019).

Студенты знакомятся с существующими глобальными и региональными биологическими базами, которые объединяют наборы данных о биоразнообразии в консолидированные порталы данных (Edwards et al., 2000), обеспечивающие онлайн-доступ к генетической (Benson et al., 2013), фенотипической (Kattge et al., 2020), экологической информации (Poelen, 2017) и местам нахождения видов (Graham et al., 2004).

На практических занятиях студенты знакомятся с одним из крупнейших, наиболее динамично развивающихся биологических сайтов-агрегаторов в мире — портал данных о биоразнообразии, поддерживаемый Глобальным информационным фондом по биоразнообразию (Global Biodiversity Information Facility, GBIF; URL: <http://gbif.org>). GBIF был основан в период зарождения концепции больших данных (Wüest et al., 2020) и сегодня обеспечивает открытый доступ к данным и ресурсам о биоразнообразии для их использования и публикации.

Обязательным блоком информации в курсе выступает знакомство студентов с национальными и региональными системами

биологических данных, банков данных биоразнообразия, служащих целью значительно ускорить научные исследования. Самая большая цифровая коллекция находится в Московском университете — национальный банк-депозитарий живых систем Ноев ковчег, созданный в МГУ, объединивший локальные биокolleкции МГУ (более 1 млн записей, MBT 1765–2023), характеризуется широким географическим охватом (Seregin, 2016). Существуют динамично развивающиеся региональные базы данных о биоразнообразии, в том числе «Виртуальный Гербарий ALTB» (URL: <http://altb.asu.ru/>) (Ваганов, Шмаков, 2023), Электронный гербарий ДВО РАН (Kislov et al., 2017) и др.

Работа с гербарными коллекциями УрФУ включена в практические занятия по курсу, что позволяет выполнять основные ее этапы: обработка гербарных коллекций, создание базы данных, технологии хранения и передачи данных.

С 2024 г. работы с материалами гербария включены в новый вид образовательной деятельности, развиваемый на базе УрФУ. Сегодня образовательные программы университета реализуются с применением особого элемента современного образования — проектной деятельности и направлены на вовлечение студентов в учебные исследовательские или профессиональные проекты для реализации практико-ориентированной профессиональной подготовки. Данная тематика позволяет расширить цифровые компетенции студентов и повысить конкурентоспособность выпускников на рынке труда.

Участвуя в этом проекте, студенты наряду с формированием новых компетенций по работе с базами данных, создают общественно-полезный продукт, участвуют в инвентаризации и цифровизации гербарных фондов, в дальнейшем данные которого будут иметь открытый доступ. Для реализации проектной деятельности было предложено две темы «Редкие растения Свердловской области» и «Создание Информационной системы „Флора Урала“», которые хорошо вписываются в идею развития на базе гербария УрФУ информационной системы по биоразнообразию растений Урала. В задачи, стоящие перед сотрудниками кафедры включена инвентаризация и цифровизация гербарных фондов и создание на этой базе интерактивной системы с информацией о видах растений Урала, их биологических особенностях, распространении, природоохранном статусе.

Эта идея не нова. Сегодня в 3 567 действующих гербариях из 183 стран мира содержится около 396 746 986 образцов (Thiers, 2022). Эти объекты являются бесценным ресурсом для исследо-

вателей, т. к. они могут быть вовлечены в исследования в области биогеографии, эволюции, экологии и изменения климата (MacGillivray et al., 2009; Schuettpelz et al., 2017; Kho et al., 2018; Vissers et al., 2017). С целью сохранения этого огромного ботанического наследия для будущих поколений и создания открытого доступа к коллекциям в настоящее время существует мировая практика их цифровизации с созданием современных многоцелевых баз данных о биоразнообразии (Baird, 2010; Wilkinson et al., 2016).

В течение трех последних десятилетий было создано множество систем, предоставляющих инструментарий для внесения оцифрованных данных о гербарных образцах в базы и дальнейшей публикации их в Интернете. Крупные мировые гербарии и музеи естественной истории создают системы для размещения собственных баз данных, а также для привлечения данных из других гербарных коллекций. Одним из таких хранилищ данных являются порталы Королевского ботанического сада Кью (более 8 млн записей, KEW 1853–2022) и Нью-Йоркского ботанического сада (около 8 млн записей, NYBG 1891–2022) (Thiers, 2022). Материалы небольших гербарных коллекций размещаются на собственных интернет-порталах и/или направляются на сайты-агрегаторы. Одним из наиболее успешных проектов является портал данных о биоразнообразии (GBIF; URL: <http://gbif.org>).

Активно развиваются и национальные базы данных биоразнообразия, формирующиеся в исторических гербариях России (Ivanova et al., 2018; Ivanova, Shashkov, 2016; 2017, 2021). Данные об образцах ботанических коллекций вносятся и в отечественные базы данных, но эта работа на территории России ведется крайне неравномерно. Цифровой гербарий МГУ содержит 55 % оцифрованных ботанических данных, лидируя в России (Серегин, 2017). Однако важно не количество данных, введенных в базу, а полнота отражения флоры территории определенного региона. Так, в анализе Н. В. Ивановой и М. П. Шашкова (Ivanova, Shashkov, 2021) для территории Урала отмечено, что плотность записей о находках сосудистых растений в базах данных о биоразнообразии крайне низка, составляет меньше 0,2 %.

В действительности уральский регион обладает обширными ботаническими коллекциями, но все они характеризуются низкой доступностью, что уменьшает их значение при решении конкретных практических проблем и не дает стимула для развития фундаментальных исследований. Сегодня ключевой задачей в регионе является создание современной многоцелевой интерактивной базы данных, содержащей обобщенную информацию о состоянии

биоразнообразия. Оснащение системами расширенного поиска позволяет ускорить разработку мер по оценке, сохранению и управлению природными ресурсами регионов, а стандартизированный подход даст возможность проводить сравнительный анализ, привлекая данные других регионов и России в целом. Создание такой информационной системы может быть реализовано на базе гербария Уральского федерального университета, располагающего своими коллекциями и возможностью ее осуществления силами студентов университета в виде проектной деятельности.

Проект «Редкие растения Свердловской области» направлен на создание базы данных по редким и исчезающим растениям Свердловского региона, содержащей информацию по морфологии, биологии, экологии, современному таксономическому положению вида, существующим синонимам. В основу положены данные гербарных сборов с геопривязкой к территории. На базе этих данных будут сформированы карты распространения вида в регионе. Фото растений из мест произрастания и оцифрованные копии гербарных листов образуют галерею, дополняющую сведения о виде.

Такая проектная деятельность организована в рамках магистерских программ «Фундаментальная биология и биотехнологии», «Биоразнообразие в меняющемся мире» и «Информатика и компьютерные науки». В ходе реализации проектов магистры-биологи участвуют во всех этапах работы с ботаническими данными: обработке гербарных образцов, верификации, штрихкодировании, геопривязке, вводе данных в базу, унификации данных и пр. С технической стороны в проект вовлечены магистры-математики для решения вопросов представления информации в цифровом формате и создания интернет-системы. Это междисциплинарный проект, позволяющий продемонстрировать возможности коллаборации.

Сегодня в мире наблюдается активизация исследовательского использования сетевых данных о биоразнообразии различного уровня, формируются новые междисциплинарные направления в науках о биоразнообразии на базе интеграции больших данных. Университеты активно вовлечены в процесс подготовки студентов на уровне, соответствующем современным потребностям рынка труда и формирования у них цифровых компетенций.

ЛИТЕРАТУРА

Ваганов А. В., Шмаков А. И. Гербарий ALTB в цифровую эпоху: итоги и перспективы // Российская ботаника в меняющемся мире: тезисы докладов XV Делегатского съезда Русского ботанического общества и конференции «Российская ботаника в меняющемся мире», посвященной

- 300-летию Российской академии наук (г. Санкт-Петербург, 10–13 сентября 2023 года). СПб.: Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, 2023. С. 14–15.
- Санданов Д. В. Современные подходы к моделированию разнообразия и пространственному распределению видов растений: перспективы их применения в России // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. 2019. № 46.
- Серегин А. П. Цифровой гербарий МГУ — крупнейшая российская база данных по биоразнообразию // Изв. РАН. Серия биол. 2017. № 6. С. 30–36.
- Baird R. C. Leveraging the Fullest Potential of Scientific Collections through Digitisation // Biodiversity Informatics. 2010. Vol. 7 (2). P. 130–136. <https://doi.org/10.17161/bi.v7i2.3987>.
- Benson D. A., Cavanaugh M., Clark K. et al. GenBank. Nucleic Acids Res. 2013. Vol. 41 (Database issue). P. 36–42. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1195>.
- Bisby F. A. The quiet revolution: Biodiversity informatics and the internet. Science. 2000. Vol. 289 (5488). P. 2309–2312. <https://doi.org/10.1126/science.289.5488.2309>.
- Catalogue of Life. 2015. Accessed at: <http://www.catalogueoflife.org/> (accessed on 28.09.2024).
- Edwards J. L., Lane M. A., Nielsen E. S. Interoperability of biodiversity databases: biodiversity information on every desktop // Science. 2000. Vol. 289. P. 2312–2314.
- GBIF Science Review 2019. Copenhagen: GBIF Secretariat, 2019. No 39. <https://doi.org/10.15468/QXXG-7K93GBIF>.
- Graham C. H., Ferrier S., Huettman F., Moritz C., Peterson A. T. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis // Trends in Ecology and Evolution. 2004. Vol. 19. P. 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.006>.
- Guralnick R., Hill A. Biodiversity informatics: Automated approaches for documenting global biodiversity patterns and processes. Bioinformatics (Oxford, England). 2009. Vol. 25 (4). P. 421–428. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn659>.
- Hardisty A., Roberts D., Addink W. et al. A decadal view of biodiversity informatics: challenges and priorities. BMC Ecology. 2013. Vol. 13 (1). P. 16. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-13-16>.
- Ivanova N. V., Shashkov M. P. Biodiversity Databases in Russia: Towards a National Portal. 2016. Vol. 3 (3). P. 560–576. <https://doi.org/10.1139/AS-2016-0050>.
- Ivanova N. V., Shashkov M. P. The Possibilities of GBIF Data Use in Ecological Research // Russian Journal of Ecology. 2021. Vol. 52. No 1. P. 1. <https://doi.org/10.1134/S1067413621010069>.
- Ivanova N., Shashkov M., Buyvolov Y. How much data do Russian biological collections contain? // Abstracts of the conference «Information Technologies in the Research of Biodiversity». Irkutsk: ISDCT SB RAS, 2018. P. 75–76.
- Ivanova N. V., Shashkov M. P. Biodiversity Databases in Russia: Towards a National Portal // Arctic Science. 2017. <https://doi.org/10.1139/as-2016-0050>.
- Kattge J., Bönnisch G., Diaz S. et al. TRY plant trait database — enhanced coverage and open access // Glob Change Biol. 2020. Vol. 26. P. 119–188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>.

- Kho S. J., Manickam S., Malek S., Mosleh M., Dhillon S. K. Automated plant identification using artificial neural network and support vector machine. *Frontiers in Life Science*. 2018. Vol. 10 (1). P. 98–107. <https://doi.org/10.1080/21553769.2017.1412361>.
- Kislov D. E., Bakalin V. A., Pimenova E. A., Verkhohat V. P., Krestov P. V. Botanica Pacifica. An electronic management system for a digital herbarium: development and future prospects // *A journal of plant science and conservation*. 2017. Vol. 6 (2). P. 59–68. <https://doi.org/10.17581/bp.2017.062072017>.
- Leidenberger S., Käck M., Karlsson B., Kindvall O. The Analysis Portal and the Swedish LifeWatch E-Infrastructure for Biodiversity Research // *Biodiversity*. 2016. Vol. 4. P. 7644. <https://doi.org/10.3897/BDJ.4.e7644>.
- MacGillivray F., Hudson I. L., Lowe A. J. Herbarium collections and photographic images: Alternative data sources for phenological research // *Phenological Research*. 2009. P. 425–461. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3335-2_19.
- Poelen J. Iobal Biotic Interactions: A Catalyst For Integrating Existing Interaction Datasets, Connecting Data Curators And Developing Data Exchange Methods. *Proceedings of TDWG 1: e20214*. 2017. <https://doi.org/10.3897/tdwgproceedings.1.20214>.
- Sautter G., Boehm K., Agosti D. A combining approach to find all taxon names (FAT) // *Biodiversity Informatics*. 2006. Vol. 3. P. 46–58. <https://doi.org/10.17161/bi.v3i0.34>.
- Schuettpelz E., Frandsen P., Dikow R. et al. Applications of deep convolutional neural networks to digitized natural history collections // *Biodiversity Data Journal*. 2017. Vol. 5. <https://doi.org/doi:10.3897/bdj.5.e21139>.
- Seregin A. P. Making the Russian flora visible: Fast digitization of the Moscow University Herbarium (MW) in 2015 // *Taxon*. 2016. Vol. 65. No 1. P. 205–207. <http://dx.doi.org/10.12705/651.29>.
- Soberón J., Peterson A. T. Biodiversity informatics: Managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*. 2004. Vol. 359 (1444). P. 689–698. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1439>.
- Taxonomic Database Working Group, TDWG (2016). Accessed at: <https://www.tdwg.org/> (accessed on: 28.09.2024).
- Thiers B. M. The World's Herbaria 2022: A Summary Report Based on Data from Index Herbariorum. Issue 6.0. 2023. https://sweetgum.nybg.org/science/wp-content/uploads/2023/11/The_Worlds_Herbaria_2022.pdf.
- Visser J., Van den Bosch F., Bogaerts A. et al. Scientific user requirements for a herbarium data portal // *PhytoKeys*. 2017. Vol. 78. P. 37–57. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.78.10936>.
- Wilkinson M. D., Dumontier M., Aalbersberg I. J. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship // *Scientific Data*. 2016. Vol. 3. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
- Wüest R. O., Zimmermann N. E., Zurell D. et al. Macroecology in the age of Big Data—Where to go from here? // *J. Biogeogr.* 2020. Vol. 47. P. 1–12. <https://doi.org/10.1111/jbi.13633>.