

Научная статья
УДК 004:504.45:504.738
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.002

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ И ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Василий Олегович Гулаков¹, **Анна Валерьевна Масленникова²**

^{1, 2}Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии
Уральского отделения Российской академии наук, Миасс, Россия

¹vasilygulakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2190-5150>

²adenophora@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0434-4372>

Аннотация

Статья посвящена описанию программных продуктов, созданных с помощью информационных технологий для исследования озер Урала. База данных LaDa содержит информацию о 107 озерах Урала и позволяет проводить многовариантный поиск, используя морфометрические параметры и данные диатомового, гидрохимического и геохимического анализов и визуализировать полученные результаты на карте. База данных — определитель диатомовых водорослей DiatomDB представляет собой совокупность собранных и систематизированных авторами данных, позволяющих идентифицировать вид диатомеи по набору наблюдаемых признаков, используя строгий и нестрогий поиск, а также визуализировать полученную информацию для подтверждения точности определения.

Ключевые слова:

база данных, цифровизация, информационные технологии, озера, определитель диатомовых водорослей

Финансирование:

работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант No. 21-17-00071, <https://rscf.ru/project/21-17-00071/>).

Для цитирования:

Гулаков В. О., Масленникова А. В. Практические аспекты цифровизации лимнологических и палеолимнологических исследований // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2024. Т. 3, № 1. С. 16–20. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.002.

Original article

PRACTICAL ASPECTS OF DIGITALIZATION OF LIMNOLOGICAL AND PALEOLIMNOLOGICAL STUDIES

Vasily O. Gulakov¹, **Anna V. Maslennikova²**

^{1, 2}South Ural Federal Scientific Center for Mineralogy and Geoecology, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Miass, Russia

¹vasilygulakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2190-5150>

²adenophora@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0434-4372>

Abstract

The article is devoted to the description of software products created with the help of information technologies for the study of lakes in the Urals. The LaDa database contains information about 107 lakes of the Urals and allows you to conduct a multivariate search using morphometric parameters and data from diatom, hydrochemical and geochemical analysis and visualize the results on a map. The diatom identification database "DiatomDB" is a collection of data collected and systematized by the authors, allowing one to identify a diatom species based on a set of observed characteristics, using a strict and non-strict search, as well as visualize the information obtained to confirm the accuracy of the identification.

Keywords:

database, digitalization, information technology, lakes, diatom identification

Funding:

the work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 21-17-00071, <https://rscf.ru/project/21-17-00071/>).

For citation:

Gulakov V. O., Maslennikova A. V. Practical aspects of digitalization of limnological and paleolimnological studies. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Natural Sciences and Humanities*, 2024, Vol. 3, No. 1. pp. 16–20. doi:10.37614/2949-1185.2024.3.1.002.

Введение

На Урале находится большое количество озер, донные отложения которых содержат информацию об изменении палеосреды в голоцене, а также об истории развития озерных экосистем. Поскольку палеолиминалогические и лимнологические исследования основаны на значительном объеме аналитических данных, информатизация процесса изучения озер является особенно актуальной. Для реализации этой задачи часто используются базы данных [1–6]. Недостатками существующих баз данных являются их реализация в виде таблиц Microsoft Excel [1; 3] и/или отсутствие многовариантного поиска, позволяющее оперировать результатами комплексного анализа [5; 6].

Поэтому первой задачей цифровизации палеолиминалогических и лимнологических исследований озер Урала было создание базы данных на основе системы управления базами данных (СУБД), позволяющей получать результаты поиска по запросу, применять инструменты для реструктуризации данных и проводить многовариантный поиск без необходимости экспорта результатов в сторонние программы.

Кроме необходимости оперировать результатами комплексного анализа, палеолиминалогические исследования включают ряд методов, наиболее трудоемкой частью которых является идентификация микрофоссилий. К ним относится диатомовый анализ, являющийся очень информативным методом изучения истории озер. В настоящее время доступны электронные ресурсы, позволяющие определять диатомовые водоросли на основе микрофотографий [7; 8]. Одним из главных недостатков данных определителей является полное отсутствие или недостаточное описание экологии и распространения видов, что для палеолиминалогического исследования является решающим. Экологическую информацию можно получить из других электронных ресурсов, которые, однако, не содержат микрофотографии [9; 10]. Электронный определитель диатомей Северной Америки, кроме высококачественных фотографий, содержит подробные описания морфологии, а для некоторых видов — и экологии, а также подобие ключа, основанного на главных особенностях диатомовых водорослей, таких как симметрия, наличие и тип шва [11]. Полноценного ключа, позволяющего идентифицировать диатомею на основе расширенного набора признаков, нет ни в одном из найденных нами электронных ресурсов.

Поэтому второй задачей информатизации палеолиминалогических исследований была разработка базы данных диатомовых водорослей, содержащей подробное описание морфологии, экологии, распространения вида, а также электронный диатомовый ключ, позволяющий идентифицировать диатомовую водоросль на основе выбора из большого количества признаков.

Материалы и методы

Базы данных LaDa и DiatomDB разрабатывались на основе СУБД MariaDB в среде операционной системы Linux. Области определения анализировались на основе проводимых исследований [12] и определителей диатомей [13; 14]. LaDa имеет древовидную структуру, благодаря авторской организации данных позволяющую использовать единым образом разнородную информацию о результатах анализа. Для визуализации результатов поиска использовался открытый API сервиса Яндекс.Карты. DiatomDB, в свою очередь, реализована в виде двоичного сквозного поискового ключа, для чего авторами был разработан специальный способ хранения определений диатомей. Управление и работа с базами осуществляются через веб-приложение. Это обеспечивает хорошую масштабируемость и полную кроссплатформенность системы.

Результаты и обсуждение

Разработанная база данных озер Южного Урала LaDa хранит информацию о гидрохимии озер, результатах диатомового и силикатного анализов поверхностных слоев озерных отложений, содержании микроэлементов в воде и донных отложениях, а также морфометрические параметры озер и климатические характеристики мест отбора проб [15]. База данных спроектирована с возможностью масштабирования для будущего увеличения количества типов результатов анализов и исследований, что дает возможность не только надежно хранить результаты анализов, но и ускорить их обработку и математический анализ. LaDa создана с акцентом на масштабируемость с простым добавлением любых методов обработки результатов запросов. Проектирование схем данных с упором

на масштабирование дополнительно позволило упростить процесс работы с различными типами анализов и исследований, облегчить добавление новых типов данных и создать инструмент конструирования запросов на основе результатов комплексного анализа. Также это позволило сделать базу данных компактной, что положительно отражается на ее быстродействии. Кроме того, выдача результатов запросов в виде таблиц позволяет легко экспортировать эти результаты в сторонние программные пакеты, такие как, например, Statistica. Многовариантный поиск с конструктором запросов и визуализацией получаемых результатов на карте существенно экономит время на подборку результатов анализов для статистической обработки, а также позволяет эмпирически определять закономерности с их последующим статистико-математическим обоснованием. В целом LaDa существенно сократила время, требуемое на обработку результатов различных анализов и выявление закономерностей в седиментогенезе. В настоящее время в ней открыт доступ к конструктору запросов в базе данных (<http://paleolimnology.info/DB/construct.php>).

База данных — определитель диатомовых водорослей DiatomDB [16] представляет собой организованную по авторскому алгоритму совокупность собранных и систематизированных авторами данных, позволяющих идентифицировать вид диатомовой водоросли по набору наблюдаемых признаков, используя строгий и нестрогий поиск, и визуализировать полученную информацию для подтверждения точности определения. В отличие от дихотомических определителей, на каждом шаге уменьшающих пул потенциальных результатов вдвое, электронный диатомовый ключ, включенный в базу данных, использует принцип сита, просеивая все виды по заданному набору признаков за один шаг. База данных хранит характерный набор признаков для однозначной идентификации, а также фотографии диатомей, сделанные с помощью оптической и электронной микроскопии. В DiatomDB заложена неограниченная возможность масштабирования как по количеству видов, так и по количеству признаков, поэтому при последующем дополнительном внесении данных она может применяться для определения диатомей любого ареала обитания. Кроме диатомового ключа, важным отличием нашей базы данных от других электронных определителей диатомовых водорослей является наличие не только микрофотографий, но и подробной информации о распространении и экологии диатомей. Кроме того, в диатомовом ключе реализована возможность перехода в конструктор запросов базы данных LaDa, в котором можно изучить распространение и экологию вида на Южном и Среднем Урале, задав необходимые гидрохимические и морфометрические параметры и получив табличные и картографические данные. Благодаря ограничениям области определения данных, авторы смогли разработать схему данных с высоким быстродействием и сравнительно малым объемом, что благоприятно сказывается на работе DiatomDB. База данных имеет реляционную структуру. Для удобства работы с ней используется веб-приложение (<http://paleolimnology.info/DDB/start.php> или с сайта проекта РНФ <http://uralspaleolakes.info>, вкладка “DiatomDB”). В настоящее время DiatomDB продолжает заполняться новой информацией.

Заключение

Таким образом, на основе применения информационных технологий к совокупности данных гидрохимии озер, результатов диатомового и силикатного анализов поверхностных слоев озерных отложений, содержания микроэлементов в воде и донных отложениях, а также морфометрических параметров озер и климатических характеристик озер Урала созданы базы данных LaDa и DiatomDB, позволяющие работать с большим объемом аналитических данных и качественно идентифицировать диатомовые водоросли с получением подробной информации о распространении и экологии диатомовых водорослей. Созданные базы данных позволяют изменять и добавлять информацию.

Список источников

1. Разработка палеолимнологической базы данных PaleoOnego / В. А. Гурбич [и др.] // Палеолимнология северной Евразии. Опыт, методология, современное состояние. 2016. С. 171–174.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621709. База данных «Озёра Центральной Якутии» / Пестрякова Л. А., Ушницкая Л. А., Субетто Д. А., Жирков И. И. Опубл. 10.12.2014.

3. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012621208. База данных SPBLAKES для озер Ленинградской области Российской Федерации / Рянжин С. В., Субетто Д. А., Кочков Н. В., Нестерова Л. А., Малоземова О. В. Оpubл. 23.11.2012.
4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621070. База палеолимнологических данных «PaleoLake» / Субетто Д. А., Сырых Л. С. Оpubл. 31.07.14.
5. Pienitz R., Cournoyer L. Circumpolar Diatom Database (CDD): a new database for use in paleolimnology and limnology // *Journal of Paleolimnology*. 2017. № 57. P. 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10933-016-9932-0>.
6. The Neotoma Paleocology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource / J. W. Williams [et al.] // *Quaternary Research*. 2018. V. 89. P. 156–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.105>.
7. Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland / I. Jüttner [et al.] // *Amgueddfa Cymru. National Museum Wales*, 2023. URL: <https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms>.
8. Charles N. Oamaru diatoms. 2018. URL: <https://www.oamarudiatoms.co.uk/index.html>.
9. Lecointe C., Coste M., Prygiel J. Omnidia: software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management // *Hydrobiologia*. 1993. V. 269, № 270. P. 509–513. URL: <https://omnidia.fr/presentation/>.
10. Schmidt-Kloiber A., Hering D. www.freshwaterecology.info — an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences // *Ecological Indicators*. 2015. № 53. P. 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.007>.
11. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities / S. A. Spaulding [et al.] // *Diatom Research*. 2021. V 36, № 4. P. 291–304. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790>.
12. Maslennikova A. V. Southern and Middle Urals lakes diatom abundance and hydrochemistry. PANGAEA. 2019. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.904675>.
13. Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский [и др.]. Ярославль: Филигрань, 2016. 803 с.
14. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. English edition with updated taxonomy and added species / H. Lange-Bertalot [et al.]. Schmitt-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 2017. 942 с.
15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621834. Комплексная база данных озер Урала (LaDa) / Масленникова А. В., Гулаков В. О. Оpubл. 19.11.2018. URL: <http://paleolimnology.info/DB/lada.php>.
16. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620230. База данных определитель диатомей «DiatomDB»/Diatoms database-key «DiatomDB» / В. О. Гулаков, А. В. Масленникова, Н. А. Исакова. Оpubл 16.01.2023. URL: http://paleolimnology.info/DDB/show_all.php.

References

1. Gurbich V. A. et al. Razrabotka paleolimnologicheskoy bazy dannyh PaleoOnego [Development of paleolimnological database PaleoOnego]. *Paleolimnologiya severnoj Evrazii. Opyt, metodologiya, sovremennoe sostoyanie*, 2016, pp. 171–174. (In Russ.).
2. Certificate of state registration of the database No. 2014621709. Baza dannyh “Ozyora Central'noj Yakutii” [Database “Lakes of Central Yakutia”]. Pestryakova L. A., Ushnickaya L. A., Subetto D. A., Zhirkov I. I. Published 10.12.2014.
3. Certificate of state registration of the database No. 2012621208. Baza dannyh SPBLAKES dlya ozer Leningradskoj oblasti Rossijskoj Federacii [SPBLAKES database for lakes of the Leningrad region of the Russian Federation]. Ryzanzhin S. V., Subetto D. A., Kochkov N. V., Nesterova L. A., Malozemova O. V. Published 23.11.2012.
4. Certificate of state registration of the database No. 2014621070. Baza paleolimnologicheskikh dannyh “PaleoLake” [Paleolimnological data base “PaleoLake”]. Subetto D. A., Syryh L. S. Published 31.07.14.
5. Pienitz R., Cournoyer L. Circumpolar Diatom Database (CDD): a new database for use in paleolimnology and limnology. *Journal of Paleolimnology*, 2017, no. 57, pp. 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10933-016-9932-0>.

6. Williams J. W. et al. The Neotoma Paleoecology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource. *Quaternary Research*, 2018, V. 89, pp. 156–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.105>.
7. Jüttner I. et al. Freshwater Diatom Flora of Britain and Ireland. *Amgueddfa Cymru. National Museum Wales*, 2023. Available at: <https://naturalhistory.museumwales.ac.uk/diatoms>.
8. Charles N. Oamaru diatoms. 2018. Available at: <https://www.oamarudiatoms.co.uk/index.html>
9. Lecointe C., Coste M., Prygiel J. Omnidia: software for taxonomy, calculation of diatom incices and inventories management. *Hydrobiologia*, 1993, vol. 269, no. 270, pp. 509–513. Available at: <https://omnidia.fr/presentation/>.
10. Schmidt-Kloiber A., Hering D. www.freshwaterecology.info — an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences. *Ecological Indicators*, 2015, no. 53, pp. 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.007>.
11. Spaulding S. A. et al. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research*, 2021, V 36, no. 4, pp. 291–304. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790>.
12. Maslennikova A. V. Southern and Middle Urals lakes diatom abundance and hydrochemistry. PANGAEA. 2019. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.904675>.
13. Kulikovskij M. S. et al. *Opredelitel' diatomovyh vodoroslej Rossii* [Identification book of diatoms from Russia]. Yaroslavl', Filigran', 2016, 803 p. (In Russ.).
14. H. Lange-Bertalot et al. *Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment. English edition with updated taxonomy and added species*. Schmitten-Oberreifenberg: Koeltz Botanical Books, 2017, 942 p.
15. Certificate of state registration of the database No. 2018621834. Kompleksnaya baza dannyh ozer Urala (Lada) [Integrated database of Ural Lakes (Lada)]. Maslennikova A. V., Gulakov V. O. Published 19.11.2018. Available at: <http://paleolimnology.info/DB/lada.php>.
16. Certificate of state registration of the database No. 2023620230. Baza dannyh opredelitel' diatomej “DiatomDB”/Diatoms database-key “DiatomDB”. V. O. Gulakov, A. V. Maslennikova, N. A. Isakova. Published 16.01.2023. Available at: http://paleolimnology.info/DDB/show_all.php.

Информация об авторах

В. О. Гулаков — инженер;

А. В. Масленникова — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

V. O. Gulakov — engineer;

A. V. Maslennikova — PhD (Geology), Researcher.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023; одобрена после рецензирования 05.12.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted 27.11.2023; approved after reviewing 05.12.2023; accepted for publication 05.12.2023.