

Периодичность выхода журнала с 2021 года **2 номера в год**
(до 2021 года журнал выходил 1 раз в год).

В журнале «**Антропогенная трансформация природной среды**» представлены оригинальные и обзорные статьи, краткие сообщения по геоэкологическим проблемам, научные результаты исследований взаимодействия человека и природы, соответствующие трем тематическим разделам:

- **Трансформация природной среды ИЛИ Pollution** (по классификации Scopus)
- **Сохранение природной среды ИЛИ Nature and Landscape Conservation** (по классификации Scopus)
- **Палеоэкология и Палеогеография ИЛИ Earth-Surface Processes** (по классификации Scopus)

Предпочтение отдается статьям на геоэкологической, географической, биогеоценологической, биогеохимической, биологической основе.

Журнал представляет интерес для исследовательских институтов; учебных заведений, дающих высшее профессиональное образование и осуществляющих научную деятельность; научных библиотек и ученых, работающих в области геоэкологии, экологии, сохранения и восстановления природы.

Журнал индексируется в системах:

Российский индекс научного цитирования

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Сергей Алексеевич Бузмаков зав. кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета (Россия), профессор, доктор географических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Алексей Александрович Алейников старший научный сотрудник Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (Россия), кандидат биологических наук;

Валентина Сергеевна Артамонова ведущий научный сотрудник Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Россия), доктор биологических наук;

Александр Николаевич Бармин декан геолого-географического факультета; зав. кафедрой экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности Астраханского государственного университета (Россия), профессор, доктор географических наук;

Дарья Олеговна Егорова старший научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии и биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (Россия), доцент, кандидат биологических наук;

Маргарита Михайловна Редина заведующая кафедрой прикладной экологии Российского университета дружбы народов (Россия), доцент, доктор экономических наук;

Павел Юрьевич Санников доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета (Россия), кандидат географических наук;

Андрей Владимирович Соромотин директор научно-исследовательского института экологии и рационального использования природных ресурсов при Тюменском государственном университете (Россия), профессор, доктор биологических наук;

Юрий Александрович Федоров зав. кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет (Россия), профессор, доктор географических наук;

Александр Петрович Хаустов профессор кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов (Москва, Россия), профессор, доктор геолого-минералогических наук;

Андрей Николаевич Шихов доцент кафедры картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета (Россия), кандидат географических наук;

Людмила Сергеевна Шумиловских научный сотрудник кафедры палинологии и динамики климата Гёттингенского университета им. Георга-Августа (Германия), кандидат биологических наук.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Славомир Бакир декан факультета лесного хозяйства Белостокского технологического университета (Польша), доктор технических наук;

Сергей Алексеевич Бузмаков заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета (Россия), профессор, доктор географических наук;

Адриано Фиоруччи профессор кафедры окружающей среды, землепользования и инженерной инфраструктуры Политехнического университета г. Турин (Италия), доктор геолого-минералогических наук;

Ханс-Холгер Листе научный сотрудник Институт им. Юлиуса Кюна, Федеральный исследовательский центр культурных растений (Германия), доктор сельскохозяйственных наук.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Адрес учредителя: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Адрес редакции: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, географический факультет, кафедра биогеоценологии и охраны природы

© Пермский государственный национальный
исследовательский университет, 2022



Scientific journal
ISSN 2410-8553
Published since 2015

The frequency of the journal's publication from 2021 is **2 issues per year**
(until 2021 the journal was published once a year).

The journal «**Anthropogenic Transformation of Nature**» presents original papers, review papers and short communications articles addressed to geocological problems, scientific questions of interaction of Man and Nature. All material in the Journal should correspond to three thematic sections:

- **Nature and Landscape Conservation** (Scopus classification)
- **Pollution** (Scopus classification)
- **Earth-Surface Processes** (Scopus classification)

Articles on a geocological, geographical, ecosystem, biogeochemical, biological basis are preferred.

The journal is of interest to research institutes; educational institutions providing higher professional education and carrying out scientific activities; scientific libraries and scientists working in the field of geocology, ecology, conservation and restoration of nature.

The journal is indexed in systems:
Russian Science Citation Index

EDITOR-IN-CHIEF

Sergei A. Buzmakov Chair of Department of Biogeocenology and Nature Protection in Perm State University (Russia), Doctor of Sciences in Geography.

EDITORIAL BOARD

- Aleksej A. Alejnikov Senior Scientific Researcher of Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (Russia), PhD in Biology;
- Valentina S. Artamonova Leading Scientific Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry (Siberian Branch of Russian Academy of Sciences – Russia), Doctor of Sciences in Biology.
- Alexander N. Barmin Dean of the Faculty of Geology & Geography; Chair of Ecology, Nature & Land Management & Safe Vital Activities Department, Astrakhan State University (Russia), Doctor of Sciences in Geography;
- Darya O. Egorova Senior Scientific Researcher of Laboratory of Molecular Microbiology and Biotechnology, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms (Ural Branch of Russian Academy of Sciences – Russia), PhD in Biology;
- Margarita M. Redina Chair of Department of Applied ecology of Peoples' Friendship University of Russia (Russia), Doctor of Sciences in Economy;
- Pavel Yu. Sannikov Associate Professor, Department of Biogeocenology and Nature Protection in Perm State University (Russia), PhD in Geography;
- Andrey V. Soromotin Director of the Research Institute of Ecology and Natural Resource Management of the University of Tyumen, Doctor of Sciences in Biology;
- Yuri A. Fedorov Chair of Department of Physical Geography, Ecology and Nature Conservation, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University (Russia), Doctor of Sciences in Geography;
- Aleksandr P. Haustov Professor, Department of Applied ecology of Peoples' Friendship University of Russia (Russia), Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy;
- Andrey N. Shikhov Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics in Perm State University (Russia), PhD in Geography;
- Lyudmila S. Shumilovskikh Scientific Researcher of Department of Palynology and Climate Dynamics in Georg-August-University of Göttingen (Germany), PhD in Biology.

EDITORIAL COUNCIL

- Slawomir Bakier Dean of the Faculty of Forestry, Bialystok University of Technology (Poland), Doctor of Sciences in Technology;
- Sergei A. Buzmakov Chair of Department of Biogeocenology and Nature Protection in Perm State University (Russia), Doctor of Sciences in Geography;
- Adriano Fiorucci Professor, Department of Environment, Land and Infrastructure Engineering, Polytechnic of Turin (Italy), Doctor of Sciences in Geology;
- Hans-Holger Liste Research Scientist of Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants (Germany), Doctor of Sciences in Agriculture.

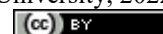
Founder: Perm State University

Founder address: 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Editorial office address: 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia,

Faculty of Geography, Department of Biogeocenology and Nature Protection

© Perm State University, 2022



СОДЕРЖАНИЕ**РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Трубник Р.Г., Доценко Н.В. Метан и сероводород в донных отложениях лиманов Азово-Черноморского бассейна	6
---	---

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Двуреченский В.Г. Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования на основе накопленной фитомассы в почвах антропогенных ландшафтов лесостепи Западной Сибири	21
Комулайнен С.Ф., Сластина Ю.Л. Фитопланктон и фитоперифитон в озере Хедо, используемом для садкового форелеводства	36
Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи	48

РАЗДЕЛ 3. ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Мехоношина Е.А., Копытов С.В., Санников П.Ю., Шумиловских Л.С. База данных палеоархивов позднего плейстоцена и голоцена Пермского Прикамья – PaleoPerm	58
---	----

РЕЦЕНЗИИ

Бузмаков С.А. Рецензия на учебник «Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды: учебник и практикум для вузов» (А.П. Хаустов, М.М. Редина. 3-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Издательство Юрайт, 2022. 458 с.)	78
---	----

CONTENTS

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A., Trubnik R.G., Dotsenko N.V. Methane and hydrogen sulfide in the bottom sediments of the estuaries of the Azov-Black sea basin	6
---	---

SECTION 2. POLLUTION

Dvurechenskij V.G. Comparative geographic-genetic characteristics of soil formation based on accumulated phytomass in the soils of anthropogenic landscapes of Western Siberia forest steppe	21
Komulaynen S.F., Slastina J.L. Phytoplankton and phytoperiphyton in lake Khedo used for cages trout	36
Artamonova V.S., Bortnikova S.B. Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas	48

SECTION 3. EARTH-SURFACE PROCESSES

Mekhoshina E.A., Kopytov S.A., Sannikov P.Yu., Shumilovskikh L.S. The database of Late Pleistocene and Holocene paleoarchives in the Perm Kama region – PaleoPerm	58
--	----

REVIEWS

Buzmakov S.A. Review of the textbook «Norms, regulations and reduction of environmental pollution: textbook and practicum for universities» (A.P. Khaustov, M.M. Redina. 2022. Third edition, revised and enlarged. Moscow, Yurayt. 2022. 458 p.)	78
--	----



Проходящие геополитические события для многих отодвинули на второй и третий план углеродные исследования и последствия изменения климата. Конечно, только не для нас и наших авторов. Пока экологическая общественность продолжает констатировать катастрофическую неспособность политиков и чиновников совместно решать актуальные и глобальные проблемы: успешно продолжают только препирательства, взаимные обвинения и санкции. Геоэкологическое обеспечение разрешения проблем взаимодействия человека и природы приобретает новые аспекты.

В настоящем номере предложены исследования о роли морских экосистем в образовании метана и сероводорода, особенности почвообразования в техногенном и посттехногенном периодах, биодиагностика антропогенных загрязнений через изучение озёр и, впервые, обзор палеоархивов Пермского Прикамья.

В первой статье журнала вниманию читателей предложены результаты изучения отложений в лагунно-морских водоемах Азовского (Ейский, Бейсугский, Сладкий, Курчанский и Ахтанизовский лиманы) и Черного морей (Витязевский, Кизилташский и Бугазский). Полученные закономерности биогеохимических процессов по данным многолетних наблюдений позволяют развивать понятийный и методологический аппарат для новейших геоэкологических обобщений. Например, вводить коэффициент метанизации.

С теоретической и практической точек зрения, крайне интересным выглядит исследование формирования почв техногенных ландшафтов Западной Сибири, на основе экосистемного подхода. Актуальность практической стороны не требует подтверждений и доказательств, но еще более важным кажется методология исследования, построенная на сочетании двух фундаментальных парадигм: ландшафта и экосистемы.

Биодиагностика антропогенной трансформации водных экосистем с помощью водорослевых сообществ предложена в статье С.Ф. Комулайнена и Ю.Л. Сластиной. Набор классических методов изучения биоразнообразия и перспективных способов обработки результатов (например, кластерный анализ) позволил получить выводы, имеющие фундаментальные и прикладные аспекты.

Эксплуатация угольных месторождений связана не только с глобальными последствиями для атмосферы, биосферы по тренду «вперед в прошлое», но и локальным и региональным долговременным разрушением биогеоценозов. Широкий диапазон экологических вопросов при восстановлении природной среды, рекультивации почв на отвалах в районах угледобычи основательно рассматривают исследователи на примере сибирских месторождений.

Наконец, у нас в журнале грандиозное событие – мы открываем раздел посвященный палеоэкологии и палеогеографии. Группа молодых и амбициозных ученых разработала и создала базу данных PaleoPerm, в которой системно собраны разнообразные фактические сведения на основе изучения пойменных и болотных отложений. Можно ожидать в нашем журнале живой палеоэкологической и климатической дискуссии о трансформации природной среды в голоцене.

Вышеперечисленные интеллектуальные изыскания свидетельствуют о том, что выпуск журнала вносит свой оригинальный вклад в изучение антропогенной трансформации природной среды.

Кроме того, надо поздравить неразлучный дуэт выдающихся авторов и педагогов Александра Петровича Хаустова и Маргариту Михайловну Редину с подготовкой нового издания учебника «Нормирование и снижение загрязнений окружающей среды» (458 с.). Журнал завершает рецензия на этот учебник.

Главный редактор С. А. Бузмаков

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.064+543.31

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-6-20>

Метан и сероводород в донных отложениях лиманов Азово-Черноморского бассейна

Дмитрий Николаевич Гарькуша¹, Юрий Александрович Федоров², Роман Геннадьевич Трубник³,
Николай Витальевич Доценко⁴

^{1,2,3,4} Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

¹ gardim1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7411-3030>

² fedorov@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5026-2103>

³ truroman@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5529-2907>

⁴ nikdocenko@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4858-1791>

Аннотация. В летне-осенний период 2013–2018 гг. проведены исследования распределения метана (CH₄) и сероводорода (ΣH₂S) в лиманах Азовского (Ейский, Бейсугский, Сладкий, Курчанский и Ахтанизовский) и Черного (Витязевский, Кизилташский и Бугазский) морей, характеризующихся различной соленостью. Впервые для характеристики сопряженного распределения CH₄ и ΣH₂S в донных отложениях водных экосистем использован коэффициент «метанизации» (K_{CH₄}), представляющий собой процентное содержание CH₄ от суммы концентраций (в мг/г) восстановленных газов – ΣH₂S и CH₄. Концентрации CH₄ и ΣH₂S в донных отложениях опресненных лиманов с соленостью воды от 0,26 до 8,20‰ (Сладкого, Ахтанизовского и Курчанского) варьируют в пределах от 0,01 до 114,34 мкг/г влажного осадка и от <0,001 до 3,07 мг/г влажного осадка, соответственно. Концентрации CH₄ и ΣH₂S в отложениях осолоненных лиманов с соленостью воды от 10,7 до 58‰ (Ейского, Бейсугского, Витязевского, Кизилташского и Бугазского) изменяются в пределах от 0,01 до 1,44 мкг/г и от 0,01 до 1,44 мг/г, соответственно. Коэффициент метанизации в отложениях осолоненных лиманов варьирует в диапазоне от 0,002 до 1,38% и в 97% отобранных проб не превышает 1%, что свидетельствует о существенном доминировании процесса сульфидообразования над процессом метаногенеза. В отложениях опресненных лиманов коэффициент метанизации заметно возрастает (до 19,14%), при этом доля отложений с процентным содержанием CH₄ более 1% повышается до 32%. Проанализирована теснота связей изученных восстановленных газов и гидрохимических показателей.

Ключевые слова: лиманы, Азовское и Черное море, донные отложения, метан, сероводород, окислительно-восстановительные условия, кислотно-щелочная обстановка

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00671, <https://rscf.ru/project/22-27-00671/> в Южном федеральном университете. Авторы благодарят с.н.с. лаборатории методов и технических средств анализа вод Гидрохимического института Н.С. Тамбиеву за определение концентраций CH₄ и ΣH₂S.

Для цитирования: Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Трубник Р.Г., Доценко Н.В. Метан и сероводород в донных отложениях лиманов Азово-Черноморского бассейна // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 6–20. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-6-20>

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Original paper

Methane and hydrogen sulfide in the bottom sediments of the estuaries of the Azov-Black sea basin

Dmitry N. Gar'kusha¹, Yury A. Fedorov², Roman G. Trubnik³, Nikolay V. Dotsenko⁴

^{1,2,3,4} Institute of Earth Sciences of Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

¹ gardim1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5026-2103>

² fedorov@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5026-2103>

³ truroman@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5529-2907>

⁴ nikdocenko@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4858-1791>

Abstract. In the summer-autumn period of 2013–2018, studies were conducted on the distribution of methane (CH₄) and hydrogen sulfide (ΣH₂S) in the estuaries of the Azov (Yeisky, Beisugsky, Sladky, Kurchansky and Akhtanizovsky) and Black (Vityazevsky, Kiziltashsky and Bugazsky) seas characterized by different salinity. For the first time, to char-

acterize the conjugate distribution of CH_4 and $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ in the bottom sediments of aquatic ecosystems, the "methanization" coefficient was used, which is the percentage of CH_4 from the sum of concentrations (in mg/g) of reduced gases – $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ and CH_4 . Concentrations of CH_4 and $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ in bottom sediments of desalinated estuaries with water salinity from 0,26 to 8,20‰ (Sladky, Akhtanizovsky and Kurchansky) vary from 0,01 to 114,34 $\mu\text{g/g}$ of wet sediment and from <0,001 to 3,07 mg/g of wet sediment, respectively. Concentrations of CH_4 and $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ in sediments of saline estuaries with water salinity from 10,7 to 58‰ (Yeisky, Beisugsky, Vityazevsky, Kiziltashsky and Bugazsky) vary from 0,01 to 1,44 mg/g and from 0,01 to 1,44 $\mu\text{g/g}$, respectively. The methanization coefficient in sediments of saline estuaries varies in the range from 0,002 to 1,38% and in 97% of the samples taken does not exceed 1%, which indicates a significant dominance of the sulfide formation process over the methanogenesis process. In the sediments of desalinated estuaries, the methanization coefficient increases markedly (up to 19,14%), while the proportion of sediments with a percentage of CH_4 of more than 1% increases to 32%. The closeness of correlations between the studied reduced gases and hydrochemical parameters is analyzed.

Key words: desalinated and brackish estuaries of the Azov and Black Seas, bottom sediments, redox conditions, acid-base environment, methane, sulfide sulfur, hydrogen sulfide, distribution

Acknowledgment: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-27-00671, <https://rscf.ru/project/22-27-00671/> at the Southern Federal University. The authors are thankful to N.S. Tambieva, Senior Researcher laboratory of methods and technical means for water analysis of the Hydrochemical Institute, for determining the concentrations of CH_4 and $\Sigma\text{H}_2\text{S}$.

For citation: Gar'kusha, D., Fedorov, Yu., Trubnik, R., Dotsenko, N., 2022. Methane and hydrogen sulfide in the bottom sediments of the estuaries of the Azov-Black sea basin. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1). pp. 6–20. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-6-20> (in Russian)

Введение

Метан и сероводород являются основными восстановленными газами водных экосистем, образующимися, главным образом, вследствие протекания в донных отложениях сложных метаболических процессов разложения органического вещества [9,24]. Актуальность изучения сопряженного распределения этих газов обусловлена не только с точки зрения их непосредственного влияния на экологическое состояние водных экосистем, но и тем, что метан является также одним из наиболее значимых парниковых газов (см., например, [18,20–21]).

Считается, что между процессами образования метана и сероводорода, в зависимости от условий, складывающихся в водных объектах, могут наблюдаться как конкурентные, так и синтрофные взаимоотношения, проявляющиеся в характере связи между концентрациями этих газов [9,28,31]. Генерация метана и сероводорода биохимическим путем в донных осадках водных экосистем различного типа (пресные и солоноватые водоемы и водотоки), как правило, происходит в одних и тех же экологических нишах [10,17,30]. Биогенный метан образуется метаногенными археями из простых продуктов минерализации органического вещества донных осадков (H_2 , CO_2 , ацетат, метанол, формиат, метиламины) [7,26]. Сероводород генерируется в основном вследствие протекания процесса сульфатредукции, в то время как вклад гнилостного распада в его образование обычно не учитывается [25]. Сульфатредукторы и метаногены, занимая одни и те же экологические ниши, нередко используют одни и те же питательные субстраты, в частности ацетат, формиат и молекулярный водород. Поэтому между ними за обладание этими субстратами возникает конкурентная борьба, преимущество в которой принадлежит бактериям-сульфатредукторам [17,27,29]. Исследования [5,10,25] показали, что в пределах нескольких десятков сантиметров

для океанических и морских акваторий обычно характерно обратное распределение содержаний метана и сероводорода и скоростей их образования по вертикали донных осадков, что хорошо согласуется с вышеизложенными представлениями об ингибировании процесса метаногенеза сульфатредукцией. В то же время, в отдельных случаях данная закономерность не проявляется. Нередко, наряду с обратной, наблюдается и прямая связь между концентрациями метана и суммарного сероводорода [17,25]. Синхронное продуцирование метана и сероводорода в работе [17] объясняется возможным течением реакции метаногенеза как по пути ферментации ацетата, так и путем восстановления диоксида углерода молекулярным водородом. Наличие в больших количествах последнего обусловлено распадом лабильного органического вещества в местах его свала на участках загрязнения водных экосистем хозяйственно-бытовыми стоками, что нивелирует конкуренцию между метаногенами и сульфатвосстанавливающими бактериями за обладание молекулярным водородом. В работе [25] высказано предположение, что синхронное образование метана и сероводорода может быть связано также с развитием на загрязненных участках альтернативных процессов их генерации. Это, прежде всего, образование сероводорода гнилоственными бактериями и бактериями, участвующими в гидролизе древесины, поступающей различными путями в водотоки и водоемы. В местах поступления загрязненных фекалиями стоков и стоков с сельскохозяйственных полей, где применяются органические удобрения возможен принос сульфитредуцирующих клостридий, способных также генерировать сероводород [23]. Что касается метана, то его образование на таких участках может протекать и по реакции восстановления метилированных аминов (моно-, ди-, триметиламины) [32], не являющихся питательным субстратом для сульфатредукторов.

В настоящей работе рассматриваются результаты сопряженного изучения распределения концентраций метана (CH_4) и сульфидной серы ($\Sigma\text{H}_2\text{S}$) в донных отложениях лиманов Азовского и Черного морей, а также роли в формировании уровня их содержания, физико-химических условий и литологического фактора. Впервые для характеристики сопряженного распределения CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях предложен коэффициент «метанизации», представляющий собой процентное содержание CH_4 от суммы концентраций (в мг/г) восстановленных газов – $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ и CH_4 .

Материалы и методы

В летне-осенний период (августе и октябре) в Азово-Черноморском бассейне проведены исследования лиманов, относящихся по географическому положению и гидрологическим особенностям к четырем группам [2]: лиманы юго-восточного побережья Азовского моря (Ейский и Бейсугский), Азово-Кубанские лиманы (Ахтанизовский и Курчанский), Черноморско-Кубанские или Кизилташские лиманы (Витязевский, Кизилташский и Бугазский) и степные лиманы Азовского моря, гидрологически не связанные с морем (Сладкий лиман) (Рис. 1, Табл. 1).

В ходе исследований вышеуказанных лиманов, помимо метана (CH_4) и общего содержания сульфидной серы (далее, суммарный сероводород – $\Sigma\text{H}_2\text{S}$), в отдельных лиманах в различных горизонтах (до 25

см) донных отложений определены значения Eh и pH, влажность и плотность, а также соленость воды. Пробы донных отложений отбирали с помощью специально сконструированной трубки с остро заточенными краями и фторопластовым поршнем для выдавливания керна.

Отбор, транспортировка, хранение проб и последующее определение CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ проводили согласно аттестованным методикам [12-14]. Определение метана выполняли на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2» с дозатором равновесного пара на пламенно-ионизационном детекторе. Выполнение измерений массовой доли $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ основано на переводе сульфидов донных отложений в сероводород действием соляной кислоты и последующей отдувке сероводорода азотом особой чистоты в раствор гидроксида натрия и определения сульфид-ионов фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином [14]. При этом в общее содержание сульфидной серы, входят как растворенные в поровой воде сероводород и сульфиды щелочных металлов, так и сульфиды, содержащиеся в твердой фракции, которые представляют собой кислоторастворимые сульфиды железа и тяжелых металлов, нерастворимые в воде. Определение газов производилось в донных отложениях при их естественной влажности и выражалось в мкг/г и мг/г влажного осадка (вл. о.), соответственно, для метана и сероводорода.

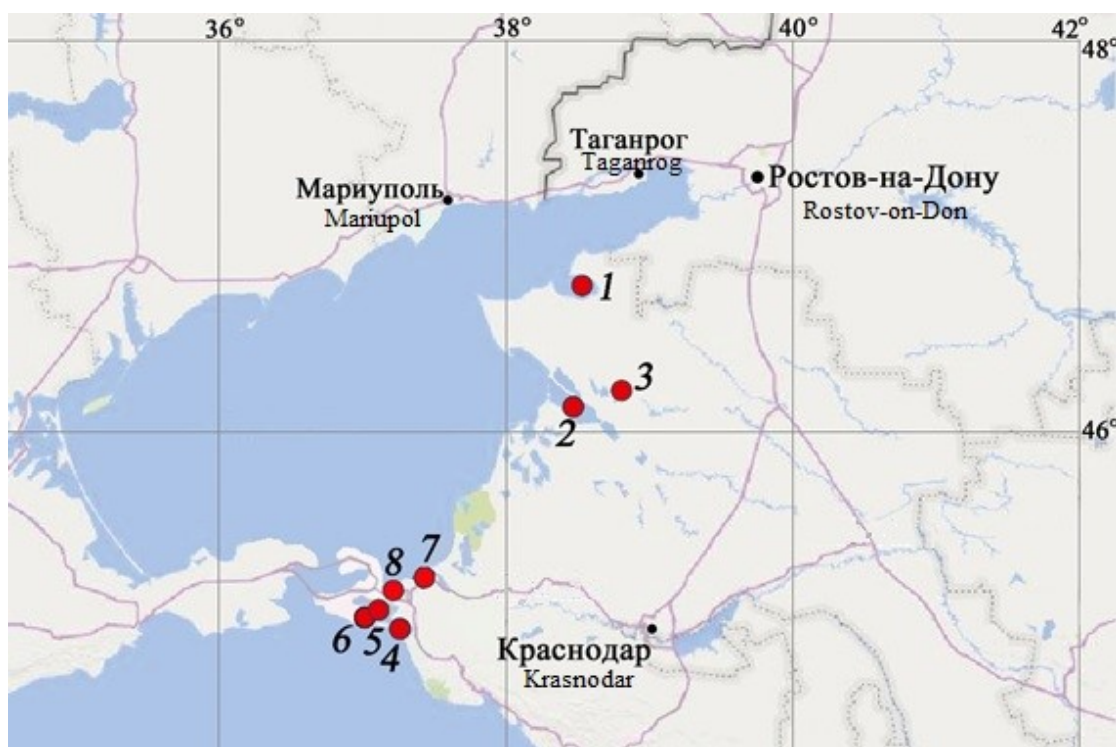


Рис. 1. Местоположение исследованных лиманов Азово-Черноморского бассейна
1 – Ейский; 2 – Бейсугский; 3 – Сладкий; 4 – Витязевский; 5 – Кизилташский; 6 – Бугазский;
7 – Курчанский; 8 – Ахтанизовский

Fig. 1. Location of the studied estuaries of the Azov-Black Sea basin
1 – Yeisky; 2 – Beysugsky; 3 – Sladky; 4 – Vityazevsky; 5 – Kiziltashsky; 6 – Bugazsky; 7 – Kurchansky;
8 – Akhtanizovsky

Одновременно с отбором проб в заранее взвешенные и пронумерованные бюксы отбирали навеску донных отложений для определения их влажности и плотности. Определение величин Eh и pH выполнено с помощью электродов портативного pH метра иономер – “Экотест 2000” сразу после отбора проб. Минерализация воды определялась по методике, описанной в работе [15]. Также привлекались опубликованные данные других исследователей

Результаты исследования

Исследованные лиманы Азовского (Ейский, Бейсугский, Сладкий, Курчанский и Ахтанизовский) и Черного морей (Витязевский, Кизилташский и Бугазский), расположены на Азово-Кубанской равнине и Таманском полуострове и по происхождению относятся к лагунно-морским водоемам, за исключением Сладкого лимана, относящегося к пойменным водоемам [6]. Для лиманов характерны частые внутригодовые и межгодовые изменения объемов воды и уровня режима и, как следствие, химического состава воды и ее минерализации. При изменении гидрологического режима, способствующего снижению или увеличению минерализации воды (рапы), может иметь место изменение значений физико-химических параметров, содержания органического вещества, его состава и качества, и как следствие, перестройка микробного сообщества и метаболического цикла метана и сероводорода [16].

Ейский лиман (площадь водного зеркала – 240 км²), расположенный на юго-восточном побережье Азовского моря, является эстуарием реки Ея, впадающей в него с востока. С запада лиман широким (до 3,5 км) гирлом соединяется с Таганрогским заливом Азовского моря. Лиман мелководен, здесь преобладают глубины от 0 до 1,5 м, и только ближе к морю они возрастают до 3–3,5 м. Дно лимана плоское и покрыто слоем ила. Уровень воды в лимане зависит в основном от уровня воды в Азовском море и обуславливается изменениями водного баланса моря и сгонно-нагонными явлениями. Минерализация и химический состав воды в лимане зависят в первую очередь от его водообмена с Азовским морем, а также от стока реки Ея [2]. Соленость воды Ейского лимана в августе 2017 г. на исследуемом участке составляла 10,7‰.

Бейсугский лиман (площадь водного зеркала – 270 км²), расположенный на юго-восточном побережье Азовского моря, представляет собой затопленную морем устьевую часть долины реки Бейсуг. От Азовского моря лиман отделен сравнительно узкой Ясенской косой, сложенной в основном из ракушечника. С обеих сторон косы имеются гирла – Ясенское и Бугазское, через которые лиман сообщается с морем. Мелкими гирлами лиман соединяется также с многочисленными мелкими водоемами, разбросанными по его северо-восточному берегу. Дно лимана пологое, его глубины невелики, но в направлении Ясенского гирла имеется ложбина, в пределах которой наблю-

даются глубины от 2–2,5 м, а в центральной ее части у самого гирла – до 4–5 м [2]. Амплитуда среднемесячных уровней воды в лимане достигает 1 м, а при сгонно-нагонных ветрах колебания уровней значительно выше. Соленость воды Бейсугского лимана в августе 2013 и 2018 гг. на исследуемых участках составляла 16,3–17,0‰.

Сладкий лиман – это относительно небольшой (площадь водного зеркала – 23 км²) и неглубокий замкнутый водоем, удаленный от Азовского моря на значительное расстояние. Его гидрологический и гидрохимический режим зависит от реки Челбас, в низовьях которой данный лиман располагается [2]. В период исследования в августе 2013 г. соленость воды Сладкого лимана составляла 3,5‰.

Витязевский, Кизилташский и Бугазский лиманы относятся к наиболее крупным лиманам из группы Черноморско-Кубанских лиманов [2], расположенных на Таманском полуострове между Таманским заливом и городом Анапой. Это лагунные водоемы древней дельты реки Кубань, отделенные от Черного моря узкой песчаной косой (Анапской пересыпью). В начале XIX века жители Тамани изменили расположение русла Кубани, построив канал для опреснения лиманов, находящихся в северной части полуострова. Лишившись подпитки водами р. Кубань, Кизилташские лиманы быстро засолились. В настоящее время соленость воды в лиманах значительно колеблется как во времени, так и пространстве, составляя в Витязевском лимане – 41,6‰ [1], в Кизилташском и Бугазском лиманах – 29,0–58,0‰ и 39,5–50,0‰, соответственно [3]. В летний период лиманы сильно мелеют, значительно изменяя свои очертания.

Витязевский лиман является самым южным из Черноморско-Кубанских лиманов Таманского полуострова. Он представляет собой закрытый бессточный соленый водоем (с площадью водного зеркала – 54 км²), пресные воды в который поступают в виде атмосферных осадков. С севера в полноводные годы в лиман поступают воды русла Старая Кубань; на востоке в лиман впадает маловодная речка Гостагайка. Несмотря на то, что Анапская пересыпь (коса) отделяет Витязевский лиман от Черного моря, тем не менее, морские воды просачиваются в лиман через дно пересыпи, а также переливаются во время штормовых нагонов [19].

Кизилташский лиман является самым большим лиманом юга России, площадь которого составляет 153 км². На севере Кизилташский лиман соединен протокой с лиманом Цокур, на востоке – с Бугазским лиманом, имеющим связь с Черным морем, и как следствие, влияющим на осолонение вод Кизилташского лимана [19]. До начала XX века именно в Кизилташский лиман вливалась большая часть вод реки Кубань. Постепенное заиливание реки привело к смещению ее основного русла на север. Позднее пресный водоток был восстановлен благодаря расчистке русла Старой Кубани.

Таблица 1

Результаты экспедиционных исследований лиманов Азово-Черноморского бассейна

Table 1

Водный объект (месяц проведения исследования) // Water object (month of study)	№ станции и ее местоположение // Station number and location	Координаты, с.ш./в.д. // Coordinates	Вода // Water		Горизонт отбора проб, см // Sampling layer, cm	Eh, мВ /pH // Eh, mV /pH	Влажность, % / Плотность, г/см ³ // Humidity, % /Density, %	Донные отложения // Bottom sediments		
			Темп-ра, °C / CH ₄ , мкл/л // Temperat ure, °C / CH ₄ , µl/dm ³	Соленос ть, ‰ / pH // Salinity, ‰ / pH				CH ₄ , мкг/г / ΣH ₂ S, мг/г // CH ₄ , µg/g / ΣH ₂ S, mg/g	Коэффициент метанизации K _{CH₄} , % // Methanization coefficient K _{CH₄} , %	
Ейский лиман (август) // Yeysky Estuary (August)	Станция 1, в 500 м от берега, глубина до 0,6 м // Station 1, 500 m from the shore, depth up to 0,6 m	46°43'12.06" 38°34'29.82"	22,0 2,8-6,2	10,7 8,64	0-2	-	30,1-34,2 2,11-2,67	0,24-1,14 0,07-0,84	Темно-серый однородный пластичный алевритопеллиговый ил с небольшим количеством песчаного материала (до 3%) // Dark gray uniform plastic aleurite- pellicite silt with a small amount of sandy material (up to 3%)	
					2-5	-	27,0 1,85	0,25 0,41		0,136-0,342 0,061
					5-10	-	26,2 1,88	1,44 1,40		0,103
					15-22	-	28,0 1,93	0,28 0,02		1,381
Бейсугский лиман (август) // Beisugsky Estuary (August)	Станция 2-1, в 70 м от берега, глубина до 0,5 м // Station 2-1, 70 m from the shore, depth up to 0,5 m	46°12'45.91" 38°20'23.63"	27,0 1,0-1,2	17,0 7,59	0-2	-	<0,01 0,33	<0,01 0,33	Темно-серые песчано-иловые отложения, с обломками раковин моллюсков // Dark gray sandy-silty deposits, with fragments of mollusk shells То же, но более светлые отложения, с меньшим количеством обломков раковин // The same, but lighter deposits, with fewer shell fragments	
					2-5	-	0,03 0,10	0,03 0,10		0,030
					5-10	-	0,04 0,02	0,04 0,02		0,200
					10-15	-	0,04 0,02	0,04 0,02		0,200
					15-20	-	0,04 0,02	0,04 0,02		0,200
					0-2	-19,4 7,42	28,6 1,53	0,18 0,04		0,448
Сладкий лиман (август) // Sladky Estuary (August)	Станция 2-2, в 10 м от каменисто-песчаного берега, глубина 0,4 м // Station 2-2, 10 m from the rocky-sandy shore, depth 0,4 m	46°02'31.86" 38°33'41.64"	26,0 1,9-2,4	16,3 7,52	0-2	-	28,9 1,98	0,15 0,07	Темно-серые заиленные гравийно- песчаные отложения // Dark gray silty gravel-sand deposits	
					2-5	-	2,44 0,76	2,44 0,76		0,320
					5-10	-	3,63 0,96	3,63 0,96		0,377
					10-15	-	3,69 0,52	3,69 0,52		0,705
					15-20	-	7,79 0,37	7,79 0,37		2,062
					20-25	-	16,2 0,24	16,2 0,24		6,323

Водный объект (месяц проведения исследования) // Water object (month of study)	№ станции и ее местоположение // Station number and location	Координаты, с.ш./в.д. // Coordinates	Вода // Water		Горизонт отбора проб, см // Sampling layer, cm	Ен, мВ / рН // Ен, mV / рН	Влажность, % / Плотность, г/см ³ // Humidity, % / Density, g/cm ³	СН ₄ , мкг/г / ∑Н ₂ S, мг/г // СН ₄ , μg/g / ∑Н ₂ S, mg/g	Коэффициент метанизации K _{СН4} , % // Methanization coefficient K _{СН4} , %	Донные отложения // Bottom sediments
			Темп-ра, °С / СН ₄ , мкл/дм ³ // Temperat ure, °С / СН ₄ , μl/dm ³	Соленос ть, ‰ // рН // Salinity, ‰ / рН						
Витязевский лиман (октябрь) // Vityazevsky Estuary (October)	Станция 4, в 50 м от уреза воды, глубина до 0,5 м // Station 4, 50 m from the water's edge, depth up to 0.5 m	45°02'29.32" 37°08'09.97"	18.0 -	Данные [1]: 41.6 7.50 // Data [1]: 41.6 7.50	0-2 2-5 5-10 10-15 15-20 20-25	-84.8 7.56 -67.0 7.54 -84.6 7.69 -49.5 7.60 -33.7 7.75 -2.5 7.33	- - - - -	0.01 0.57 0.02 0.50 0.01 0.27 0.01 0.35 0.01 0.07 0.01 0.01	0.002 0.004 0.004 0.003 0.014 0.100	Темно-серый полужидкий, непластичный ил с большим количеством песчаного материала // Dark gray semi-liquid, non-plastic silt with a large amount of sandy material // The same, with fragments of mollusk shells Темно-серый ил с большим количеством песчаного материала // Dark gray silt with a lot of sandy material Темно-серый рыхлый песок // Dark gray loose sand Серый, пластичный, заиленный песок // Grey plastic silty sand Серая смесь песка, ила и обломков раковин моллюсков // A gray mixture of sand, silt and clam shell fragments Темно-серый полужидкий ил с включениями песчаного материала и остатков растительности // Dark gray semi-liquid silt with inclusions of sandy material and vegetation residues То же // The same Плотный, не пластичный песчаный ил с включениями глины // Dense, non-plastic sandy silt with clay inclusions То же // The same То же, но более плотный // The same but tighter Светло-бурая плотная глина // Light brown dense clay Черный полужидкий ил с включениями остатков растительности // Black semi- liquid silt with inclusions of vegetation residues То же // The same Серый пластичный однородный ил // Gray plastic homogeneous silt То же // The same
Кизилташский лиман (октябрь) // Kiziltashsky Estuary (October)	Станция 5, в 50 м от уреза воды, глубина до 0,5 м // Station 5, 50 m from the water's edge, depth up to 0.5 m	45°04'37.28" 37°03'35.96"	18.0 -	Данные [3]: 29.0-38.0 8.0-8.2 // Data [3]: 29.0-38.0 8.0-8.2	2-5 5-10 10-15 15-20 20-25	-54.5 7.48 -59.8 7.61 -59.8 7.57 -76.0 7.61 -85.5 7.56	- - - -	0.02 0.22 0.04 0.23 0.02 0.10 0.02 0.20 0.04 0.01	0.009 0.017 0.020 0.010 0.398	То же // The same Плотный, не пластичный песчаный ил с включениями глины // Dense, non-plastic sandy silt with clay inclusions То же // The same То же, но более плотный // The same but tighter Светло-бурая плотная глина // Light brown dense clay Черный полужидкий ил с включениями остатков растительности // Black semi- liquid silt with inclusions of vegetation residues То же // The same Серый пластичный однородный ил // Gray plastic homogeneous silt То же // The same
Бугазский лиман (октябрь) // Bugazsky Estuary (October)	Станция 6, в 30 м от уреза воды, глубина до 0,5 м // Station 6, 30 m from the water's edge, depth up to 0.5 m	45°04'32.76" 37°03'27.03"	18.0 -	Данные [3]: 39.5-50.0 8.0-8.2 // Data [3]: 39.5-50.0 8.0-8.2	0-2 2-5 5-10 10-15	-76.5 7.76 -62.6 8.04 -104.7 7.83 -198.0 7.60	- - -	0.13 0.35 0.07 0.37 0.02 0.12 0.03 0.27	0.037 0.019 0.017 0.011	Темно-серый полужидкий, непластичный ил с большим количеством песчаного материала // Dark gray semi-liquid, non-plastic silt with a large amount of sandy material // The same, with fragments of mollusk shells Темно-серый ил с большим количеством песчаного материала // Dark gray silt with a lot of sandy material Темно-серый рыхлый песок // Dark gray loose sand Серый, пластичный, заиленный песок // Grey plastic silty sand Серая смесь песка, ила и обломков раковин моллюсков // A gray mixture of sand, silt and clam shell fragments Темно-серый полужидкий ил с включениями песчаного материала и остатков растительности // Dark gray semi-liquid silt with inclusions of sandy material and vegetation residues То же // The same Плотный, не пластичный песчаный ил с включениями глины // Dense, non-plastic sandy silt with clay inclusions То же // The same То же, но более плотный // The same but tighter Светло-бурая плотная глина // Light brown dense clay Черный полужидкий ил с включениями остатков растительности // Black semi- liquid silt with inclusions of vegetation residues То же // The same Серый пластичный однородный ил // Gray plastic homogeneous silt То же // The same

Водный объект (месяц проведения исследования) // Water object (month of study)	№ станции и ее местоположение // Station number and location	Координаты, с.ш./в.д. // Coordinates	Вода // Water		Горизонт отбора проб, см // Sampling layer, cm	Eh, мВ /pH // Eh, mV / pH	Влажность, % / Плотность, г/см ³ // Humidity, % / Density, % g/cm ³	CH ₄ , мкг/г / ΣH ₂ S, мг/г // CH ₄ , μg/g/ ΣH ₂ S, mg/g	Коэффициент метанизации K _{CH₄} , % // Methanization coefficient K _{CH₄} , %	Визуальное описание донных отложений // Visual description of bottom sediments
			Темп-ра, °C / CH ₄ , мкл/дм ³ // Temperature ure, °C / CH ₄ , μl/dm ³	Соленос- ть, ‰ // pH // Salinity, ‰ / pH						
Курганский лиман (август) // Kurchansky Estuary (August)	Станция 7-1, в 3 м от уреза воды, vicinity тростниковых зарослей, глубина 0,3 м // Station 7-1, 3 m from the water's edge, near reed beds, depth 0.3 m	45°13'49.98" 37°33'43.56"	28.0 27.2		15-20	-101.0 7.51	-	0.03 0.19	0.016	То же, но более плотный, не раковин моллюсков // The same, but more dense, not plastic, with inclusions of fragments of mollusk shells
					20-25	-125.0 7.59	-	0.03 0.16	0.019	То же // The same
	Станция 7-2, в 50 м от уреза воды, глубина 0,6 м // Station 7-2, 50 m from the water's edge, depth 0.6 m	45°13'52.46" 37°33'42.25"		0.2	0-2	-133.1 7.21	41.4 1.76	10.98 1.41	0.773	Черный глинистый ил // Black clay silt
					2-5	-162.0 7.17	33.6 1.78	1.15 0.04	2.795	Черный до темно-серого влажный ил, книзу уплотняется и светлеет // Black to dark gray wet silt, thickens downwards and brightens
					5-10	-82.3 7.50	17.0 1.93	0.02 <0.001	>1.961	Серые до коричневого песчаные отложения // Gray to brown sand deposits
Станция 8-1, в 3 м от уреза воды, vicinity тростниковых зарослей, глубина 0,4 м // Station 8-1, 3 m from the water's edge, near reed beds, depth 0.4 m	45°19'06.78" 37°06'31.32"	24.0 68.6-94.5		0-2	-177.8 7.51	23.6 2.13	0.01 0.13	0.008	Темно-серый заиленный песок с включениями черного цвета (<3%) // Dark gray silty sand with black inclusions (<3%)	
				2-5	-182.2 7.57	24.0 2.15	0.01 0.09	0.011		
Ахтанзовский лиман (август) // Akhtanzovsky Estuary (August)	Станция 8-2, в 100 м от уреза воды, глубина 0,6 м // Station 8-2, 100 m from the water's edge, depth 0.6 m	45°19'05.27" 37°06'34.90"	24.0 10.2		0-2	-157.3 7.17	52.8 1.58	114.34 1.12	9.263	Серо-бурый наиллок // Gray-brown silt
					2-5	-151.8 7.05	36.4 1.89	0.63 3.07	0.021	Темно-серый до черного ил с поуаразложившимися остатками растительности // Dark gray to black silt with semi-decomposed vegetation
	Станция 8-2, в 100 м от уреза воды, глубина 0,6 м // Station 8-2, 100 m from the water's edge, depth 0.6 m			0.2	0-2	-181.7 7.25	25.8 1.61	0.51 1.61	0.032	То же // The same
					5-10	-177.9 7.28	26.8 1.66	0.58 0.75	0.077	То же // The same
					15-20	-205.0 7.46	29.0 1.86	4.88 1.12	0.434	Темно-серый до черного песчаный ил // Dark gray to black sandy silt
Станция 8-2, в 100 м от уреза воды, vicinity тростниковых зарослей, глубина 0,4 м // Station 8-2, 100 m from the water's edge, depth 0.4 m				20-25	-220.1 7.44	31.2 1.99	1.02 1.45	0.070	То же // The same	

Бугазский лиман (площадь – 36 км²), отделенный узкой и невысокой Бугазской косой от Чёрного моря, имеет непосредственную связь с морем через искусственное гирло. От Кизилташского лимана Бугазский лиман отделен косой Голенькой.

Ахтанизовский лиман – крупнейший пресный водоем Азово-Черноморского бассейна, расположенный в северной части Таманского полуострова. Площадь лимана составляет 71,5 км², наибольшая глубина – 1,6 м. Еще в начале XIX века Ахтанизовский лиман представлял собой замкнутый соленый водоём, связанный только с Азовским морем через Пересыпское (Ахтанизовское) гирло. Но в 1819 году жители станиц Старотитаровская и Темрюкская, с целью опреснить лиман, соединили его с Кубанью. С тех пор примерно шестая часть стока Кубани поступает в лиман, что способствует интенсивному накоплению ила на дне водоема.

Курчанский лиман, расположенный на правом берегу реки Кубань, к северо-востоку от города Темрюк, относится к Куликовской группе Центральной системы лиманов Кубани. Площадь лимана составляет 57,5 км², наибольшая глубина около 1,5 м. Питание происходит за счёт вод Кубани, поступающих по Курчанскому каналу. Лиман поддерживает непосредственную связь с Азовским морем через Соловьёвское гирло.

Согласно наблюдениям, проведенным в весенне-летний (апрель – июнь) период 2017–2018 гг. [11] солёность воды в Ахтанизовском и Курчанском лиманах соответственно изменялась в пределах 0,26–1,75‰ и 2,95–8,20‰. Более высокая солёность вод Курчанского лимана обусловлена лучшим водообменом лимана с Азовским морем через достаточно широкое Соловьёвское гирло, по сравнению с Пересыпским гирлом Ахтанизовского лимана.

Исследованные мелководные лиманы, имея в целом сходное происхождение, различаются длительностью формирования, что накладывает отпечаток на степень их «отшнурованности» от морей, структуру и состав преобладающих в них донных отложений и, как следствие, на физико-химические условия и интенсивность протекания биогеохимических процессов [16]. Донные отложения лиманов представлены преимущественно илисто-песчаными отложениями от темно-серого до черного цвета, для которых характерна нейтральная или слабощелочная среда (рН – от 7,05 до 8,04, в среднем 7,50) и восстановительные условия (Еh – от -220,1 до -2,5 мВ, в среднем -106,9 мВ). При этом в донных отложениях опресненных лиманов с солёностью воды от 0,26 до

8,20‰ (Сладкий, Курчанский и Ахтанизовский), наряду с минимальными величинами рН (в среднем 7,36), фиксируются и наиболее восстановительные условия (в среднем -160,0 мВ) (см. табл. 1).

Концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях опресненных лиманов – Сладкого, Ахтанизовского и Курчанского – изменяются в пределах от 0,01 до 114,34 мкг/г вл. о. (среднее значение – 12,1 мкг/г, медиана – 1,27 мкг/г) и от <0,001 до 3,07 мг/г вл. о. (среднее значение – 0,79 мг/г, медиана – 0,75 мг/г) соответственно. Экстремально высокие концентрации CH_4 (61,55–114,34 мкг/г) зафиксированы в верхних горизонтах (0–5 см) илистых отложений, отобранных возле берега Ахтанизовского лимана, заросшего сообществом тростника и рогоза, в то время как максимальные концентрации $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ (3,07 мг/г) наблюдались в 70 м от берега в 0–2 см слое отложений данного лимана (см. Табл. 1). В Курчанском лимане максимальные концентрации CH_4 (10,98 мкг/г) и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ (1,41 мг/г) зафиксированы в 0–2 см горизонте илистых отложений, отобранных вблизи прибрежных тростниковых зарослей. В нижних более песчаных горизонтах концентрации $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в отложениях Курчанского и Ахтанизовского лиманов, как правило, несколько снижались, а концентрации CH_4 либо уменьшались, либо оставались примерно на одном уровне (Рис. 2). В Сладком лимане концентрации $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ по вертикали отобранной 25 см колонки отложений также снижаются (с 1,06 до 0,24 мг/г), а концентрации CH_4 , напротив, значительно возрастают (с 1,27 до 16,2 мкг/г). В целом распределение концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях коррелирует с гранулометрическим составом донных отложений; наиболее высокие их концентрации характерны для более тонкозернистых отложений, минимальные – для песчаных осадков. Процентное содержание CH_4 от суммы изученных восстановленных газов (коэффициент метанизации K_{CH_4}) варьирует в диапазоне 0,008–19,14% (среднее значение – 2,34%, медиана – 0,38%), с максимальными значениями в 0–5 см горизонте илистых отложений, отобранных вблизи прибрежных тростниковых зарослей, и минимальными в 0–5 см горизонте песчаных отложений, отобранных на участках, удаленных от берега. Для изученных опресненных лиманов наиболее встречаемым (42% отобранных проб) является диапазон концентраций CH_4 – 1,01–10,0 мкг/г, для $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ наиболее частыми диапазонами концентраций являются 0,11–1,00 мг/г (42%) и >1,01 мг/г (37%) (Рис. 3). В 68% отобранных проб донных отложений содержание CH_4 не превышает 1% от суммы концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$.

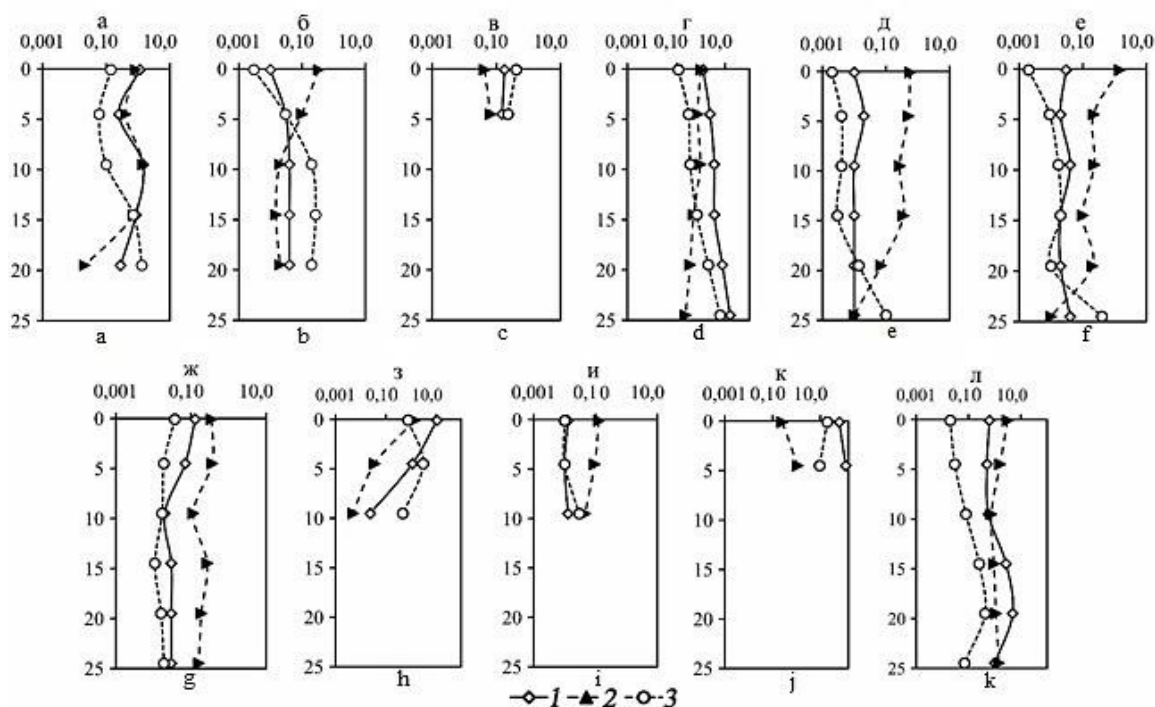


Рис. 2. Распределение концентраций CH_4 в $\mu\text{г/г}$ (1) и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в мг/г (2), а также процентного содержания метана (3) по вертикальному профилю донных отложений лиманов Азовского и Черного морей: а – ст. 1, Ейский; б – ст. 2-1, Бейсугский; в – ст. 2-2, Бейсугский; г – ст. 3, Сладкий; д – ст. 4, Витязевский; е – ст. 5, Кизилташский; ж – ст. 6, Бугазский; з – ст. 7-1, Курчанский; и – ст. 7-2, Курчанский; к – ст. 8-1, Ахтанизовский; л – ст. 8-2, Ахтанизовский

Fig. 2. Distribution of CH_4 concentrations in $\mu\text{g/g}$ (1) and $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ concentrations in mg/g (2), as well as the percentage of methane (3) along the vertical profile of bottom sediments in the estuaries of the Azov and Black Sea: а – st. 1, Yeisky (August 2017); б – st. 2-1, Beisugsky (August 2013); в – st. 2-2, Beisugsky Estuary (August 2018); д – st. 3, Sladky (August 2013); е – st. 4, Vityazevsky (October 2014); ф – st. 5, Kiziltashkiy (October 2014); г – st. 6, Bugazsky (October 2014); h – st. 7-1, Kurchansky (August 2018); и – Art. 7-2, Kurchansky (August 2018); j – st. 8-1, Akhtanizovsky (August 2018); k – st. 8-2, Akhtanizovsky (August 2018)

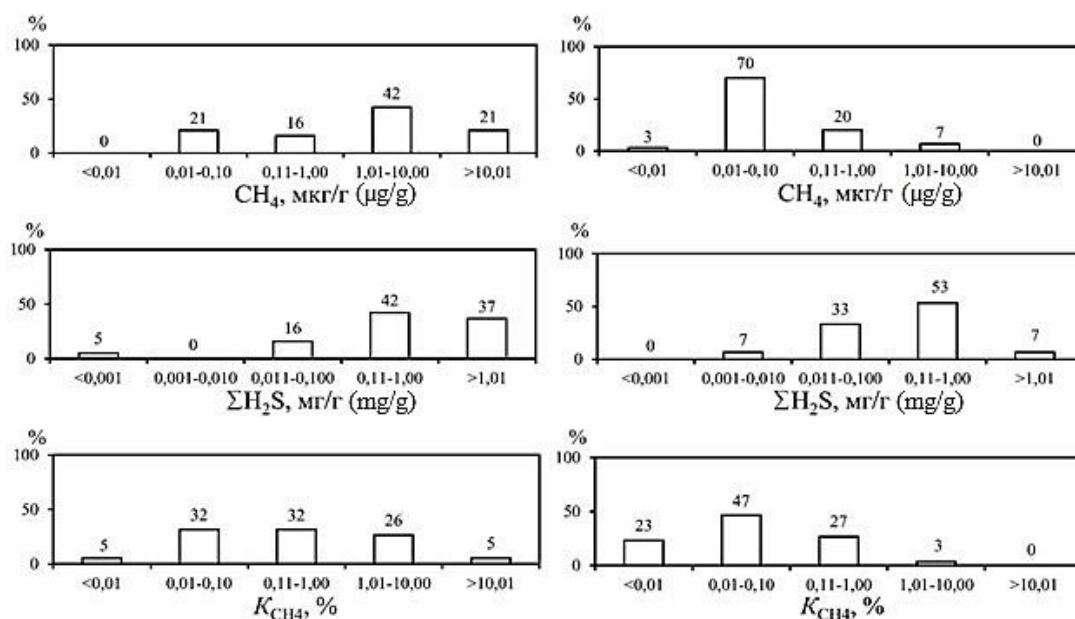


Рис. 3. Частота встречаемости (в %) концентраций CH_4 в $\mu\text{г/г}$ и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в мг/г , а также процентного содержания CH_4 в донных отложениях опресненных (а) и солоноватых (б) лиманов Азовского и Черного морей

Fig. 3. Frequency of occurrence (%) of CH_4 concentrations in $\mu\text{g/g}$ and $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ in mg/g , as well as the percentage of CH_4 in bottom sediments of desalinated (a) and brackish (b) estuaries of the Azov and Black Seas

Концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях более минерализованных лиманов (соленость $>10\%$) – Ейского, Бейсугского, Витязевского, Кизилташского и Бугазского – изменяются в пределах от 0,01 до 1,44 мкг/г вл. о. (среднее значение – 0,15 мкг/г, медиана – 0,03 мкг/г) и от 0,01 до 1,44 мг/г вл. о. (среднее значение – 0,29 мг/г, медиана – 0,19 мг/г) соответственно. Максимальные концентрации $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ (до 1,44 мг/г), при относительно низких концентрациях CH_4 (0,02–0,04 мкг/г) установлены в отложениях Кизилташского лимана (см. Табл. 1), представленных темно-серым илом с включениями песчаного материала и растительных остатков. Максимальные концентрации CH_4 (1,14–1,44 мкг/г) и одни из самых высоких концентраций $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ (0,84–1,40 мг/г) характерны для 0–10 см горизонта коричневых мелкоалевритовых илов Ейского лимана. Для изученных отложений остальных лиманов концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ не превышали соответственно 0,18 мкг/г и 0,57 мг/г и, как правило, синхронно снижались по направлению к нижним горизонтам (Рис. 2). Процентное содержание CH_4 от суммы изученных восстановленных газов варьирует в

диапазоне 0,002–1,38% (среднее значение – 0,13%, медиана – 0,02%) и, обычно, несколько возрастает вниз по колонке отложений. Для изученных морских лиманов наиболее встречаемым (70% отобранных проб) является диапазон концентраций CH_4 от 0,01 до 0,10 мкг/г, для $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ наиболее частыми (53%) являются концентрации от 0,11 до 1,0 мг/г (Рис. 3). В подавляющем большинстве отобранных проб донных отложений (97%) концентрации CH_4 не превышают 1% от суммы концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$.

В целом концентрации метана и его процентное содержание от суммы исследуемых восстановленных газов в отложениях опресненных лиманов на 1–2 порядка выше его концентраций в отложениях более минерализованных лиманов (соленость $>10\%$), в то время как между концентрациями $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в этих двух группах лиманов наблюдаются относительно небольшие различия (Рис. 4). Концентрации метана в воде опресненных лиманов также были существенно более высокими (10,2–94,5 мкл/дм³), по сравнению с его концентрациями (1,0–6,2 мкл/дм³) в воде лиманов с соленостью выше 10‰ (см. Табл. 1).

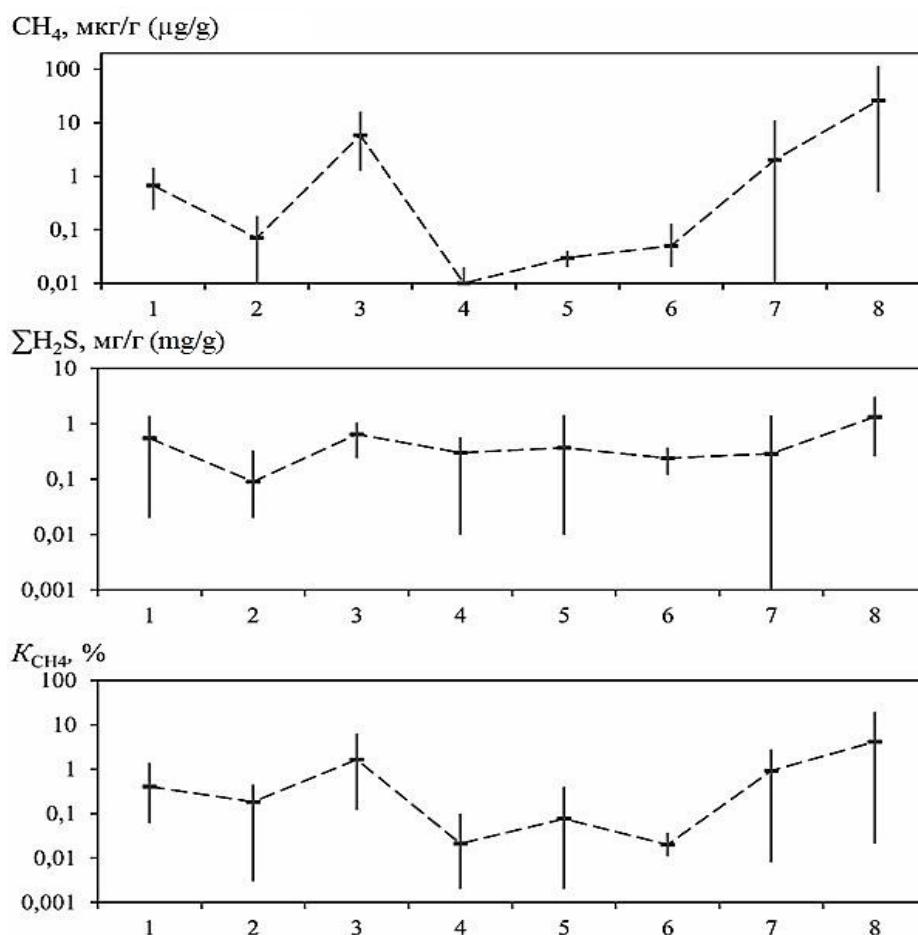


Рис. 4. Пределы изменения и средние концентрации CH_4 , $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ и процентного содержания CH_4 в донных отложениях исследованных лиманов Азовского и Черного морей: 1 – Ейский; 2 – Бейсугский; 3 – Сладкий; 4 – Витязевский; 5 – Кизилташский; 6 – Бугазский; 7 – Курчанский; 8 – Ахтанизовский

Fig. 4. Limits of change and average concentrations of CH_4 , $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ and the percentage of CH_4 in the bottom sediments of the studied estuaries of the Azov and Black Seas: 1 – Yeisky; 2 – Beisugsky; 3 – Sladky; 4 – Vityazevsky; 5 – Kiziltashky; 6 – Bugazsky; 7 – Kurchansky; 8 – Akhtanizovsky

Анализ корреляционных зависимостей между исследуемыми гидрохимическими показателями в донных отложениях лиманов (Рис. 5; зависимости построены для всего массива данных) выявил наличие достаточно тесных связей концентраций метана с влажностью ($r = 0,76$) и плотностью ($r = -0,47$) отложений, значениями pH ($r = -0,40$) и Eh ($r = -0,24$); а также концентраций $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ со значениями pH ($r =$

$-0,52$), Eh ($r = -0,43$) и влажностью ($r = 0,44$). Анализ тесноты связи коэффициента метанизации K_{CH_4} с концентрациями CH_4 , $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ и другими исследуемыми показателями показывает наличие высокой прямой линейной связи его значений с концентрациями CH_4 ($r = 0,78$), а также влажностью ($r = 0,88$) и плотностью ($r = -0,59$) отложений.

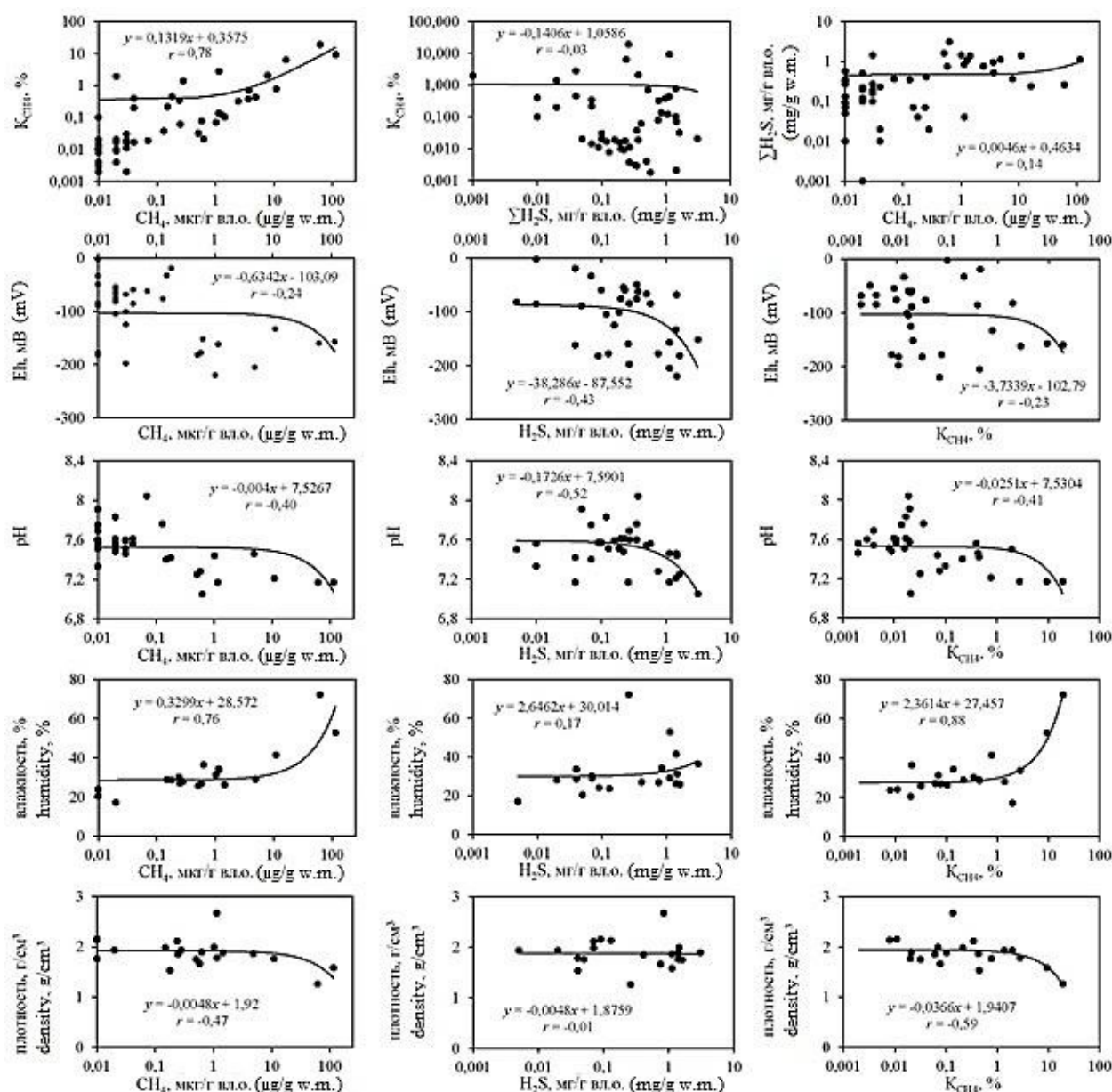


Рис. 5. Зависимости между исследуемыми гидрохимическими показателями в донных отложениях исследованных лиманов Азовского и Черного морей

Fig. 5. Relationships between the studied hydrochemical parameters in the bottom sediments of the Azov and Black Seas estuaries

Наличие отрицательных зависимостей между концентрациями восстановленных газов и значениями pH и Eh в донных отложениях обусловлено тем, что распад органических и неорганических веществ, приводит к выделению диоксида углерода, разнообразных органических кислот и соответственно подкислению среды [7], а также поглощению кислорода. Последнее

способствует снижению окислительно-восстановительного потенциала, что активизирует анаэробные процессы в донных отложениях, в том числе метаногенез и сульфатредукцию.

Наличие в донных осадках прямой зависимости между влажностью и концентрациями восстановленных газов в них, обусловлена тем, что влажность от-

ложений является функцией их гранулометрического состава: тонкозернистый материал характеризуется более значительной удельной поверхностью слагающих его частиц, поэтому влажность в них выше [4], что подтверждается и нашими данными [22]. Кроме того, глинистые минералы являются сорбентами органического вещества и катализаторами его биохимической трансформации [8]. Все это способствует возникновению в тонкозернистых осадках благоприятной физико-химической обстановки для биохимической трансформации аккумулярованного в них лабильного живого (включая бактерии) и отмершего органического вещества, с образованием *in situ* восстановленных газов [22]. Чем выше влажность отложений, тем меньше их плотность ($r = -0,68$), что и обуславливает опосредованную обратную связь последней с концентрациями CH_4 и K_{CH_4} .

Между концентрациями CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ для всего массива данных проявляется относительно слабая прямая связь ($r = 0,14$). При этом отдельно для осолоненных лиманов теснота прямой связи между данными восстановленными газами существенно увеличивается ($r = 0,60$, $P < 0,01$), что указывает на сопряженные процессы их генерации, обусловленные при наличии сульфатов достаточным количеством органического вещества и нивелированием конкурентных взаимоотношений между бактериями сульфатредукторами и метаногенами за обладание питательными субстратами [17]. В то же время в опресненных лиманах просматривается изменение направленности корреляционной связи на обратную ($r = -0,18$), вызванное существенным увеличением концентраций метана в прибрежных донных отложениях, богатых полуразложившимися растительными остатками, на фоне в целом относительно невысокой вариативности концентраций $\Sigma\text{H}_2\text{S}$.

Выводы

1. Вода исследованных лиманов бассейнов Азовского (Ейский, Бейсугский, Сладкий, Курчанский и Ахтанизовский лиманы) и Черного (Витязевский, Кизилташский и Бугазский лиманы) морей характеризуется различной соленостью – от 0,26 до 58‰ и уровнем концентраций метана – от 1,0 до 94,5 мкл/дм³.

2. Донные отложения лиманов представлены преимущественно илисто-песчаными отложениями от темно-серого до черного цвета, для которых характерна нейтральная или слабощелочная среда (рН от 7,05 до 8,04) и восстановительные условия (Еh от -220,1 до -2,5 мВ).

3. В донных отложениях лиманов, сложенных тонкозернистым материалом (илах), идет активный процесс образования CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$. Концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях опресненных лиманов с соленостью от 0,26 до 8,20‰ (Сладкого, Ахтанизовского и Курчанского) варьируются в пределах от 0,01 до 114,34 мкг/г влажного осадка и от <0,001 до 3,07 мг/г вл. о., соответственно. Концентрации CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ в донных отложениях осолоненных лиманов с соленостью от 10,7 до 58‰ (Ейского, Бейсугского, Витязевского, Кизилташского и Бугазского) изменяются в пределах от 0,01 до 1,44 мкг/г и от 0,01 до 1,44 мг/г, соответственно. Таким образом, диапазон

колебания концентраций изученных восстановленных газов составляет 3–5 порядков – для CH_4 и 3–4 порядка – для $\Sigma\text{H}_2\text{S}$.

4. Процентное содержание CH_4 от суммы изученных восстановленных газов (коэффициент метанизации K_{CH_4}) в донных отложениях осолоненных лиманов (соленость >10‰) варьирует в диапазоне от 0,002 до 1,38% (среднее значение – 0,13%) и в 97% отобранных проб не превышает 1%, что свидетельствует о существенном доминировании процесса сульфидообразования над процессом метаногенеза. В донных отложениях опресненных лиманов (соленость <8,5‰) процентное содержание CH_4 заметно возрастает – до 0,008–19,14% (среднее значение – 2,34%), достигая максимальных значений в прибрежных отложениях, содержащих полуразложившиеся растительные остатки. При этом в опресненных лиманах доля проб отложений с процентным содержанием метана более 1% от суммы концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ повышается до 32%.

5. В донных отложениях лиманов установлено наличие достаточно тесных прямых связей концентраций CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ со значениями рН и Еh, а также влажностью и плотностью отложений. Анализ тесноты связи коэффициента метанизации K_{CH_4} с концентрациями CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ и другими исследуемыми показателями, показывает наличие высокой прямой связи его значений с концентрациями CH_4 и влажностью отложений, а также обратной связи с плотностью осадка. Между концентрациями CH_4 и $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ для всего массива данных проявляется относительно слабая прямая связь ($r = 0,14$). При этом отдельно для осолоненных лиманов теснота прямой связи между данными восстановленными газами существенно увеличивается ($r = 0,60$), в то время как в опресненных лиманах просматривается изменение направленности корреляционной связи на обратную ($r = -0,18$).

Сведения об авторском вкладе:

Гарькуша Д.Н. – научное руководство исследованием; организация экспедиционных исследований (35%).

Федоров Ю.А. – научное руководство исследованием; формулировка научных гипотез, проверяемых посредством экспериментальных исследований (25%).

Трубник Р.Г. – интерпретация полученных результатов, участие в экспедиционных исследованиях (25%).

Доценко Н.В. – интерпретация полученных результатов, участие в экспедиционных исследованиях (15%).

Contribution of the authors:

D.N. Gar'kusha – scientific management of the research; organization of expeditionary research (35%).

Yu.A. Fedorov – scientific management of the research; formulation of scientific hypotheses, tested through experimental studies (25%).

R.G. Trubnik – interpretation of the obtained results, participation in expeditionary research (25%).

N.V. Dotsenko – interpretation of the obtained results, participation in expeditionary research (15%).

Список источников

1. Аносов Д.Ю. Суспензии иловых сульфидных грязей озера Ханское как ингредиент амбулаторного восстановительного лечения больных хроническими простатитами: автореф. ... дис канд. мед. наук: 14.00.51. Сочи, 2006. 22 с.
2. Белюченко И.С. Экология Кубани, часть I. Краснодар: Изд-во КГАУ, 2005. 513 с.
3. Водно-болотные угодья России. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fesk.ru/about.html> (дата обращения: 26.02.2022).
4. Выхристюк Л.А. Органическое вещество донных осадков Байкала. Новосибирск: Наука, 1980. 130 с.
5. Галимов Э.М. Метанообразование в морских осадках в зоне сульфатредукции // Доклады РАН. 1995. Т. 342. № 2. С. 219–221.
6. Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Крамаренко В.А. Минерализованные грязевые озера юга европейской части России: генетические типы, особенности распространения и развития // Вопросы степеведения. 2021. № 2. С. 4–18. <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2021-2-4-18>
7. Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А. Факторы формирования концентраций метана в водных экосистемах. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2021. 366 с.
8. Дегенс Э. Геохимия осадочных отложений / Пер. с англ. М.: Мир, 1967. 299 с.
9. Кузнецов С.И., Саралов А.Е., Назина Т.Н. Микробиологические процессы круговорота углерода и азота в озерах. М.: Наука, 1985. 213 с.
10. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.
11. Порошина Е.А., Попова Т.М., Безрукавая Е.А. Влияние солёности на эффективность воспроизводства судака и тарани в Курчанском лимане Темрюкского района Краснодарского края // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 3–4. С. 91–96.
12. РД 52.24.511-2013. Массовая доля метана в донных отложениях. Методика измерений газохроматографическим методом с использованием анализа равновесного пара. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2013. 19 с.
13. РД 52.24.512-2012. Объёмная концентрация метана в водах. Методика измерений газохроматографическим методом с использованием анализа равновесного пара. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2012. 23 с.
14. РД 52.24.525-2011. Массовая доля сульфидной серы в донных отложениях. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2011. 26 с.
15. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1. / Под ред. Л.В. Боевой. Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 1037 с.
16. Фёдоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Потанов Е.Г., Трубник Р.Г. Газовый состав пелоидов Таманского полуострова // Курортная медицина. 2017. № 3. С. 26–33.
17. Фёдоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О., Кизицкий Р.М. Теоретические аспекты связи метаногенеза с загрязнением воды и донных отложений веществами неорганической и органической природы // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. 2000. № 4. С. 68–73.
18. Фёдоров Ю.А., Сухоруков В.В., Трубник Р.Г. Аналитический обзор: эмиссия и поглощение парниковых газов почвами. Экологические проблемы // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 6–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-6-34>
19. Холопов А.П., Шашель В.А., Перов Ю.М., Настенко В.П. Грязелечение. Краснодар: Переодика Кубани. 2003. 283 с.
20. Ciaï P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., et al. Carbon and other biogeochemical cycles // In Proceedings of the Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, MA: Cambridge Univ. Press, 2013. P. 465–570.
21. Conrad R. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved // Environ. Microbiol. 2009. Rep. 1. P. 285–292.
22. Fedorov Yu.A., Gar'kusha D.N., Tambieva N.S., Andreev Yu.A., Mikhailenko O.A. Influence of the Grain Size Composition of Bottom Sediments in Lake Baikal on the Distribution of Methane and Sulfide Sulfur // Lithology and Mineral Resources. 2019. Vol. 54. № 1. P. 53–65. <https://doi.org/10.1134/S0024490219010024>
23. Fedorov Y.A., Gar'kusha D.N., Trubnik R.G., Morozova M.A. Sulfite-Reducing Clostridia and their Participation in Methane and Hydrogen Sulfide Formation in the Bottom Sediments of Water Objects and Streams of the ETR South // Water Resources. 2019. Vol. 46. № 1. P. 85–93. <https://doi.org/10.1134/S009780781907008X>
24. Ferry J.G. Biochemistry of methanogenesis // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. 1992. Vol. 27(6). P. 473–503.
25. Gar'kusha D.N., Fedorov Y.A. Methane in Water and Bottom Sediments of the Mouth Area of the Severnaya Dvina River during the Winter Time // Oceanology. 2014. Vol. 54. № 2. P. 160–169. <https://doi.org/10.1134/S000143701402009X>
26. Kirschke S., Bousquet P., Ciaï P., Saunoy M., Canadell J.G., Dlugokencky E.J., et al. Three decades of global methane sources and sinks // Nature Geoscience. 2013. Vol. 6. P. 813–823.
27. Kristjansson J.K., Schönheit P., Thauer R.K. Different K_s values for hydrogen of methanogenic bacteria and sulfate reducing bacteria: an explanation for the apparent inhibition of methanogenesis by sulfate // Archives of Microbiology. 1982. Vol. 131. P. 278–282.
28. Reeburgh W.S. Oceanic methane biogeochemistry // Chemical Reviews. 2007. Vol. 107. P. 486–513.
29. Schönheit P., Kristjansson J.K., and Thauer R.K. Kinetic mechanism for the ability of sulfate reducers to out-compete methanogens for acetate // Archives of Microbiology. 1982. Vol. 132. P. 285–288.
30. Wallenius A.J., Dalcin Martins P., Slomp, C.P. and Jetten M.S.M. Anthropogenic and Environmental Constraints on the Microbial Methane Cycle in Coastal Sediments // Frontiers in Microbiology. 2021. 12:631621. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.631621>

31. Winfrey M.R. and Zeikus I.G. Effect of sulphate on carbon and electron flow during microbial methanogenesis in freshwater sediments // *Applied and Environmental Microbiology Journal*. 1977. Vol. 22. № 2. P. 275–281.

32. Zeikus J.G. The biology of methanogenic bacteria // *Bacteriological Reviews*. 1977. Vol. 41. № 2. P. 514–541.

References

1. Anosov, D., 2006. *Suspenzii ilovyh sul'fidnyh gryazei ozera Hanskoe kak ingredient ambulatornogo vosstanovitel'nogo lecheniya bol'nyh hronicheskimi prostatitami* [Suspensions of silt sulphide mud of Lake Khanskoye as an ingredient in outpatient rehabilitation treatment of patients with chronic prostatitis]. *Abstract of the dissertation of the candidate of medical science*. Sochi, 22 p. (in Russian).

2. Belyuchenko, I., 2005. *Ekologiya Kubani, chast' I* [Ecology of Kuban, part I]. Krasnodar, Iz-vo KGAU, 513 p. (in Russian).

3. Wetlands of Russia. Available from: <http://www.fesk.ru/about.html> [Accessed 26th February 2022].

4. Vykhristyuk, L., 1980. *Organicheskoe veshchestvo donnyh osadkov Baikala* [Organic matter of Baikal bottom sediments]. Novosibirsk: Science publ. 130 p. (in Russian).

5. Galimov, E., 1995. Methane formation in marine sediments in the sulfate reduction zone. *Doklady RAN*. 342(2), pp. 219–221. (in Russian).

6. Gar'kusha, D., Fedorov, Yu. and Kramarenko, V., 2021. Mineralized mud lakes in the south of the European part of Russia: genetic types, features of distribution and development. *Problems of steppe science*. 2. pp. 4–18. <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2021-2-4-18> (in Russian).

7. Gar'kusha, D. and Fedorov, Yu., 2021. *Faktory formirovaniya koncentracij metana v vodnyh ekosistemah* [Factors of formation of methane concentrations in aquatic ecosystems]. *Rostov-on-Don; Taganrog: SFedU publ*. 366 p. (in Russian).

8. Degens, E., 1967. *Geohimiya osadochnyh otlozhenij* [Geochemistry of sedimentary deposits]. Moscow: Mir publ. 299 p. (in Russian).

9. Kuznetsov, S., Saralov, A. and Nazina, T., 1985. *Mikrobiologicheskie processy krugovorota ugleroda i azota v ozerah* [Microbiological processes of carbon and nitrogen cycles in lakes] Moscow: Nauka publ. 213 p. (in Russian).

10. Lein, A. and Ivanov, M. 2009 *Biogeohimicheskii cikl metana v okeane* [Biogeochemical cycle of methane in the ocean]. Moscow: Nauka publ. 576 p. (in Russian).

11. Poroshina E., Popova T. and Bezrukavaya E., 2018. Influence of salinity on the efficiency of reproduction of zander and ram in the Kurchansky estuary of the Temryuk district of the Krasnodar Territory. *Water biore-sources and habitat*. 1(3-4) pp. 91–96. (in Russian).

12. Working paper 52.24.511-2013., 2013. *Massovaya dolya metana v donnyh otlozheniyah. Metodika izmerenij gazohromatograficheskim metodom s ispol'zovaniem analiza ravnovesnogo para* [Mass fraction of me-

thane in bottom sediments. Measurement technique by gas chromatographic method using equilibrium vapor analysis]. *Rostov-on-Don: Hydrochemical Institute*. 19 p. (in Russian).

13. Working paper 52.24.512-2012., 2012. *Ob'emnaya koncentraciya metana v vodah. Metodika izmerenij gazohromatograficheskim metodom s ispol'zovaniem analiza ravnovesnogo para* [Volume concentration of methane in waters. Measurement technique by gas chromatographic method using equilibrium vapor analysis]. *Rostov-on-Don: Hydrochemical Institute*. 23 p. (in Russian).

14. Working paper 52.24.525-2011., 2011. *Massovaya dolya sul'fidnoj sery v donnyh otlozheniyah. Metodika vypolneniya izmerenij fotometricheskim metodom s N,N-dimetil-p-fenilendiaminom* [Mass fraction of sulfide sulfur in bottom sediments. Method for performing measurements by the photometric method with N,N-dimethyl-p-phenylenediamine]. *Rostov-on-Don: Hydrochemical Institute*. 26 p. (in Russian).

15. L.V. Boeva (ed.) *Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushhi. Chast' I* [Guidance on the chemical analysis of surface waters of land], 2009. Part 1. *Rostov-on-Don: NOC*, 1037 p. (in Russian).

16. Fedorov, Yu., Gar'kusha, D., Potapov, E. and Trubnik, R., 2017. Gas composition of peloids of the Taman Peninsula. *Resort medicine*. 3. pp. 26–33. (in Russian).

17. Fedorov, Yu., Tambieva, N., Gar'kusha, D., Khoroshevskaya, V. and Kizitsky, R., 2000. Teoreticheskie aspekty svyazi metanogeneza s zagryazneniem vody i donnyh otlozhenij veshchestvami neorganicheskoy i organicheskoy prirody [Theoretical aspects of the relationship of methanogenesis with pollution of water and bottom sediments by substances of inorganic and organic nature]. *Izvestiya VUZov. North Caucasian region. Series Natural Sciences*. No. 4. pp. 68-73. (in Russian).

18. Fedorov, Yu., Sukhorukov V. and Trubnik R., 2021. Analytical review: emission and absorption of greenhouse gases by soils. Ecological problems. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 7(1) pp. 6-35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-6-34> (in Russian).

19. Kholopov A., Shashel V., Perov Yu. and Nastenkov V., 2003. *Gryazelechenie* [Mud cure]. Krasnodar: Pereodika Kuban. 283 p.

20. Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., et al., 2013. Carbon and other biogeochemical cycles. *In Proceedings of the Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, MA: Cambridge Univ. Press. pp. 465-570.

21. Conrad, R. 2009. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved. *Environ. Microbiol. Rep*. 1. pp. 285–292.

22. Fedorov, Yu., Gar'kusha, D., Tambieva, N., Andreev, Yu. and Mikhailenko O., 2019. Influence of the Grain Size Composition of Bottom Sediments in Lake Baikal on the Distribution of Methane and Sulfide Sulfur. *Lithology and Mineral Resources*. 54(1). pp. 53–65. <https://doi.org/10.1134/S0024490219010024>

23. Fedorov, Y., Gar'kusha, D., Trubnik, R. and Mozova, M., 2019. Sulfite-Reducing Clostridia and their

- Participation in Methane and Hydrogen Sulfide Formation in the Bottom Sediments of Water Objects and Streams of the ETR South. *Water Resources* 46(1) pp. 85–93. <https://doi.org/10.1134/S009780781907008X>
24. Ferry J., 1992. Biochemistry of methanogenesis. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*. 27(6). pp. 473–503.
25. Gar'kusha, D. and Fedorov, Y., 2014. Methane in Water and Bottom Sediments of the Mouth Area of the Severnaya Dvina River during the winter time. *Oceanology*. 54(2). pp. 160–169. <https://doi.org/10.1134/S000143701402009X>
26. Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., Saunoy, M., Canadell, J.G., Dlugokencky, E.J., et al., 2013. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience*. 6. pp. 813–823.
27. Kristjansson, J., Schönheit, P., and Thauer, R., 1982. Different K_s values for hydrogen of methanogenic bacteria and sulfate reducing bacteria: an explanation for the apparent inhibition of methanogenesis by sulfate. *Archives of Microbiology*. 131. pp. 278–282.
28. Reeburgh, W., 2007. Oceanic methane biogeochemistry. *Chemical Reviews*. 107. pp. 486–513.
29. Schönheit, P., Kristjansson, J., and Thauer, R., 1982. Kinetic mechanism for the ability of sulfate reducers to out-compete methanogens for acetate. *Archives of Microbiology*. 132. pp. 285–288.
30. Wallenius, A., Dalcin Martins P., Slomp, C. and Jetten M., 2021. Anthropogenic and Environmental Constraints on the Microbial Methane Cycle in Coastal Sediments. *Frontiers in Microbiology*. 12:631621. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.631621>
31. Winfrey, M. and Zeikus, I., 1977. Effect of sulphate on carbon and electron flow during microbial methanogenesis in freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology Journal*. 22(2). pp. 275–281.
32. Zeikus, J.G., 1977. The biology of methanogenetic bacteria. *Bacteriological Reviews*. 41 (2). pp. 514–541.

Статья поступила в редакцию 11.03.2022; одобрена после рецензирования 30.03.2022; принята к публикации 07.04.2022.

The article was submitted 11.03.2022; approved after reviewing 30.03.2022; accepted for publication 07.04.2022.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.73; 631.618

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-21-35>

Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования на основе накопленной фитомассы в почвах антропогенных ландшафтов лесостепи Западной Сибири

Вадим Геннадьевич Двуреченский^{1,2}

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

^{1,2} dvu-vadim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6579-7813>

Аннотация. При изучении направленности почвообразования в антропогенных ландшафтах любых природно-климатических зон и поясов всегда следует рассматривать в первую очередь биологические процессы, а именно – синтез, аккумуляцию, минерализацию и гумификацию органического вещества. Поэтому целью исследования стало определение ведущих почвообразующих биологических процессов в антропогенных ландшафтах лесостепной зоны Западной Сибири для определения и сравнения почвенно-экологического статуса ландшафтов. Ставились задачи: определить почвенный состав ландшафтов на основе морфологических свойств почв; оценить общую фитомассу в различных типах почв антропогенных ландшафтов и сравнить ее с фитомассой зональных почв; определить ведущие биологические процессы, происходящие в почвах. Основой исследования послужили сравнительно-морфологический, сравнительно-генетический и сравнительно-географический методы. В статье рассмотрены почвенно-биологические процессы, которые происходят в антропогенных ландшафтах лесостепи. Установлено, что почвенный покров мозаичный. В его составе морфологически определяются техноземы гумусогенные и все типы эмбриоземов. Каждому типу эмбриоземов соответствует определенная стадия развития фитоценозов: эмбриоземам инициальным соответствует стадия с пионерной растительностью; эмбриоземам органо-аккумулятивным – простая растительная группировка; эмбриоземам дерновым – сложная растительная группировка; эмбриоземам гумусово-аккумулятивным и техноземам гумусогенным – замкнутый фитоценоз. Общая фитомасса и ее состав увеличивается и становится разнообразней в генетическом ряду от эмбриоземов инициальных и органо-аккумулятивных к эмбриоземам дерновым, техноземам и эмбриоземам гумусово-аккумулятивным. Тем не менее, общая наземная фитомасса самых генетически развитых эмбриоземов гумусово-аккумулятивных ниже зональных значений. Ведущими биологическими процессами в эмбриоземах начальных этапов становления экосистемы являются синтез и аккумуляция органического вещества; в эмбриоземах гумусово-аккумулятивных и в техноземах гумусогенных помимо синтеза и аккумуляции отмечаются зачатки процессов минерализации и гумификации. Установлен почвенно-экологический статус. На отвалах Бунгурского угольного разреза он удовлетворительный, так как в составе почвенного покрова присутствуют эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и техноземы гумусогенные. Почвенно-экологический статус отвалов Горловского антрацитового разреза неудовлетворительный.

Ключевые слова: сукцессии, антропогенные ландшафты, почвообразовательные процессы, фитомасса, почвенно-экологический статус, эмбриоземы, техноземы

Для цитирования: Двуреченский В.Г. Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования на основе накопленной фитомассы в почвах антропогенных ландшафтов лесостепи Западной Сибири // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 21–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-21-35>

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

Comparative geographic-genetic characteristics of soil formation based on accumulated phytomass in the soils of anthropogenic landscapes of Western Siberia forest steppe

Vadim G. Dvurechenskij^{1,2}

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

^{1,2} dvu-vadim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6579-7813>

Abstract. When studying the direction of soil formation in soils of anthropogenic landscapes of any natural zones and belts, one should always consider primarily biological processes, namely, synthesis, accumulation, mineralization and humification of organic matter. Therefore, the aim of the study was to determine the leading soil-forming biological processes in the anthropogenic landscapes of the forest-steppe zone of Western Siberia to determine and compare the soil-ecological status. The tasks were: to determine the soil composition of landscapes based on the morphological properties of soils; to estimate the total phytomass in different types of soils of anthropogenic landscapes and compare it with the phytomass of zonal soils; determine the leading biological processes occurring in soils. The research was based on comparative morphological, comparative genetic and comparative geographical methods. The article deals with soil-biological processes that occur in the anthropogenic landscapes of the forest-steppe. It was found that the soil cover is mosaic. In its composition, humusogenic technozems and all types of embryozems are morphologically determined. Each type of embryozems corresponds to a certain stage of development of phytocenoses: initial embryozems correspond to the stage with pioneer vegetation; organo-accumulative embryozems - a simple plant grouping; sod embryozems - a complex plant grouping; to humus-accumulative embryozems and humusogenic technozems - a closed phytocenosis. The total phytomass and its composition increases and becomes more diverse in the genetic series from initial and organo-accumulative embryozems to sod and humus-accumulative embryozems. Nevertheless, the total terrestrial phytomass of the most genetically developed humus-accumulative embryozems is below the zonal values. The leading biological processes in the embryozems of the initial stages of the formation of an ecosystem are the synthesis and accumulation of organic matter; in humus-accumulative embryozems and in humusogenic technozems, in addition to synthesis and accumulation, the rudiments of mineralization and humification processes are noted. The soil and ecological status has been established. On the dumps of the Bungur coal mine, it is satisfactory, since the soil cover contains humus-accumulative embryozems and humusogenic technozems. The soil-ecological status of the dumps of the Gorlovsk anthracite section is unsatisfactory.

Key words: successions, technogenic landscapes, soil-forming processes, phytomass, soil-ecological status, embryozems, technozems

For citation: Dvurechenskij, V., 2022. Comparative geographic-genetic characteristics of soil formation based on accumulated phytomass in the soils of anthropogenic landscapes of Western Siberia forest steppe. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 21–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-21-35> (in Russian)

Введение

Исследования почв антропогенных (техногенных) ландшафтов проводились многими отечественными и зарубежными учеными [4,12], [14,21], [25–34]. В лесостепной зоне Западной Сибири изучением почв занимались, в основном, сотрудники Института почвоведения и агрохимии СО РАН [3,21]. Многие исследовательские работы были посвящены регионам Сибири: западной части Красноярского края [1,18], Кемеровской и Новосибирской области [21,23] и отдельным антропогенным объектам: отвалам угольных разрезов, шламоотвалам, хвостохранилищам и т. п. [5,8], [13,17]. Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования в нарушенных, в результате добычи каменного угля и антрацита, экосистемах лесостепи Западной Сибири не проводилась и дается впервые. При изучении особенностей и направленности почвообразования в почвах антропогенных ландшафтов любых природных зон и поясов всегда следует рассматривать в первую очередь биологические процессы, а именно – синтез, аккумуляцию, минерализацию и гумификацию органического вещества. Тем не менее, нужно учитывать и другие факторы почвообразования [9].

На начальном этапе развития антропогенной экосистемы (инициальная и органо-аккумулятивная фаза) органические вещества, образующиеся в результате фотосинтеза и появляющиеся за счет потребления животными и микроорганизмами растительной органики, поступают в почву как продукты жизнедеятельности компонентов биоценоза. Вместе с растительными и животными остатками почвы получают энергию, консервированную фотосинтетическим путем, биогенные элементы, аккумулярованные телами растений, а также исходные вещества для обра-

зования гумуса. Основным источником накопления гумуса в почвах служат зеленые растения, которые ежегодно оставляют в почве и на ее поверхности большое количество органического вещества в виде опада.

На позднем этапе развития антропогенной экосистемы (дерновая и гумусово-аккумулятивная фаза) к процессам синтеза и аккумуляции присоединяются процессы минерализации и гумификации. Минерализация – распад органических остатков до конечных продуктов (вода, диоксид углерода и простые соли). В результате минерализации происходит сравнительно быстрый переход различных элементов (азот, фосфор, сера, кальций, магний, калий, железо и др.), закрепленных в органических остатках, в минеральные формы и потребление их живыми организмами следующих поколений. Гумификация – совокупность биохимических и физико-химических процессов трансформации продуктов разложения органических остатков в гумусовые кислоты почвы. Итог гумификации – закрепление органического вещества в почве в форме новых продуктов, устойчивых к микробиологическому разложению, служащих аккумуляторами огромных запасов энергии и элементов питания.

Цель исследования: оценить и сравнить почвенно-экологический статус антропогенных ландшафтов Западной Сибири.

Задачи:

1. Определить и сравнить почвенный состав ландшафтов на основе морфологических свойств почв.
2. Оценить и сравнить общую фитомассу в различных типах почв антропогенных ландшафтов и сопоставить ее с фитомассой зональных почв.
3. Определить ведущие биологические процессы, происходящие в почвах.

4. Выяснить почвенно-экологический статус изучаемых ландшафтов.

Материалы и методика

Основой исследования послужили сравнительно-морфологический, сравнительно-генетический и сравнительно-географический методы.

В работе применялась профильно-генетическая классификация почв антропогенных ландшафтов [4], которая основана на типодиагностических характеристиках горизонтов почв, формирующихся в посттехногенный период, то есть на морфологических особенностях профиля.

Наземная фитомасса отбиралась в начале августа с каждого типа почв методом квадратов на участке в 1 м² в трехкратной повторности. Растения распределяли по группам (злаки, бобовые, разнотравье) и высушивали. Подсчитывался средний результат.

Объектами исследования послужили почвы, формирующиеся в антропогенных ландшафтах, представляющие из себя транспортные внешние отвалы антрацитового разреза Горловский (Новосибирская об-

ласть, Искитимский район, рядом с поселком Листвянский), возрастом около 35 лет и угольного разреза Бунгурский (Кемеровская область, Новокузнецкий район, рядом с поселком Листвяги), возрастом более 35 лет. Отвалы окружают непосредственно разрезы выработок, имеют усеченную конусообразную форму, состоят из трех ярусов. Тела отвалов сформированы из смеси вскрышных (лессовидные суглинки и покровные глины) и вмещающих (песчаники, аргиллиты, алевролиты) пород со значительными включениями антрацита разреза Горловского и углистых частиц разреза Бунгурского. Развитие почв происходит в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. В структуре почвенного покрова на объектах исследования определяются почвы различных стадий эволюции: эмбриоземы (формирующиеся в результате самозарастания) и техноземы (искусственно созданные в результате проведения рекультивационных работ).

Зональными почвами в данной природно-климатической зоне являются черноземы выщелоченные, которые считаются наиболее плодородными и ценными на территории Западной Сибири.



Рис. 1. Естественный ландшафт лесостепи Западной Сибири с черноземами выщелоченными

Fig. 1. Natural landscape of the forest-steppe of Western Siberia with leached chernozems

Результаты исследования

Черноземы выщелоченные характеризуются интенсивным гумусонакоплением и выщелачиванием карбонатов из гумусового и подгумусового горизонта. В профиле отмечаются слабые признаки элювиально-иллювиальной дифференциации по илу, физической глине и валовому содержанию полуторных оксидов, что морфологически проявляется в наличии гумусовых бурых пленок и корочек на гранях структурных отдельностей в горизонте Вt, который является бескарбонатным. Формула профиля А-АВ-Вt-В_{Ca}-С_{Ca} [24].

Западносибирские черноземы выщелоченные характеризуются сравнительно небольшой (по сравне-

нию с черноземами теплых фаций), мощностью гумусового горизонта (<50 см), более высоким содержанием гумуса (6–11%) и высоким соотношением гуминовых кислот к фульвокислотам. Карбонаты находятся в нижней части профиля в виде пятен, мучнистых скоплений или натечных выделений [7].

Почвы антропогенных ландшафтов коренным образом отличаются от зональных черноземов выщелоченных. Типовые отличия возникают, когда изменен хотя бы один из пяти факторов почвообразования [9]. На изучаемых участках изменению подверглись сразу все факторы: климат, рельеф, материнская порода, биота (с учетом функции времени). Прибавился антропогенный фактор.

Разрез 1. Эмбриозем инициальный. Формируется на выположенном участке внешнего 35-летнего отвала Горловского разреза. Травянистая растительность единична (мать-и-мачеха, полынь) (рис. 2).

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем инициальный; подтип: типичный; род: карбонатный [2].

C_1 (0–5 см) – сильнокаменистая порода с неравномерно распределенным мелкоземом и с содержанием крупнозема до 85%. В петрографическом составе преобладают обломки алевролитов темно-серого цвета, имеющими признаки физического выветривания. Мелкозем тяжелосуглинистый, не агрегирован, имеются единичные корни и белесые налеты карбонатов. Переход к нижележащему горизонту заметен по более плотному сложению, а так же по размеру обломков.

C_2 (5–15 см) – сильнокаменистая порода с содержанием крупнозема более 90%. Обломки пород без признаков выветривания. Темно-серый, темнее, чем вышележащий горизонт. На части обломков отмечается металлический блеск антрацита при разламывании. Единичные корни. Мелкозем темно-серый, почти черный, тяжелосуглинистый. Встречаются единичные корни травянистой растительности. Имеются единич-

ные белесые налеты карбонатов. Переход заметен по изменению цвета и размеру обломков породы.

C_3 (15–30 см) – буровато-темно-серый, на некоторых обломках металлический блеск и белесые пятна. Значительно меньше содержание и размеры крупнозема. Мелкозем буровато-темно-серый с малозаметным блеском. Единичные корни. Присутствуют признаки физического выветривания. Сухой.

Эмбриоземы органо-аккумулятивные – следующая стадия развития почв техногенных ландшафтов. На этой стадии профиль еще не дифференцирован, но на поверхности формирующейся почвы уже присутствует типодиагностический горизонт, представляющий собой слои подстилки разной степени разложения. Кроме того, образуется некоторая зона окисления в верхней части породы. Морфологически эта зона отличается от нижележащей по цвету мелкозема, более высокой степени физической дезинтеграции крупнозема.

Разрез 2. Эмбриозем органо-аккумулятивный. Формируется на склоне (3^0) юго-восточной экспозиции внешнего 35-летнего отвала Горловского разреза под разнотравно-злаковой растительной ассоциацией, представленной мать-и-мачехой, осокой, кровохлебкой, полынью. Древесная растительность представлена березой, тополем и единичными осинами (рис. 3).



Рис. 2. Участок антропогенного ландшафта Горловского антрацитового месторождения с эмбриоземами инициальными

Fig. 2. A section of the anthropogenic landscape of the Gorlovsk anthracite deposit with initial embryozems



Рис. 3. Участок антропогенного ландшафта Горловского антрацитового разреза с эмбриоземами органо-аккумулятивными

Fig. 3. A section of the anthropogenic landscape of the Gorlovsk anthracite deposit with organo-accumulative embryozems

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем органо-аккумулятивный; подтип: типичный; род: обычный; вид: фрагментарный.

A_0 (0–2 см) – бурая подстилка, состоящая из слабо-разложившегося и неразложившегося опада многолетних злаковых и листьев древесных растений, а так же мелких веточек. На границе с нижележащим горизонтом слежавшийся опад бурого цвета. Переход четкий по изменению вещественного состава.

C_1 (2–3 см) – серо-бурый с металлическим блеском и большим количеством органических остатков разной степени разложения (корешки, веточки, палочки, листья). Петрографический состав обломков представлен в основном алевролитами, а так же антрацитом, который придает металлический блеск. Признаки физического выветривания. Мелкозем темно-бурого цвета тяжело – и среднесуглинистый. Свежий. Переход по окраске, количеству крупных агрегатов.

C_2 (3–20 см) – темно-серый, на некоторых обломках породы виден блеск и белесые налеты карбонатов. Органических остатков значительно меньше, чем в вышележащем горизонте. Количество крупнозема, состоящего из обломков алевролитов и антрацитов, около 75%. Содержится большое количество мелких корешков. Мелкозем почти черного цвета, среднесу-

глинистый, увлажнен. Переход малозаметен по степени выветривания породы.

C_3 (20–30 см) – темно-серый, на некоторых агрегатах металлический блеск антрацита и белесые налеты карбонатов. Обломки породы крупнее, чем в выше-расположенном горизонте и в большем количестве. Присутствуют слабо-разложившиеся корни травянистой растительности. Мелкозем представлен частицами темно-серого цвета, не агрегирован, средне – и тяжелосуглинистый. В петрографическом составе крупнозема преобладают алевролиты и антрацит. Увлажнен.

Инициальную и органо-аккумулятивную стадии можно считать начальной фазой образования почвенного покрова ландшафта. При благоприятных условиях эволюционирования антропогенной экосистемы (без лимитирующих факторов) происходит переход в следующую, дерновую стадию.

Разрез 3. Эмбриозем дерновый. Формируется на выположенном участке внешнего 35-летнего отвала Горловского разреза под злаково-разнотравной растительной ассоциацией, в которой преобладает осока, встречаются мать-и-мачеха, полынь, донник. Древесная растительность представлена березой, тополем, встречаются единичные сосны и осины (рис. 4).



Рис. 4. Участок антропогенного ландшафта Горловского антрацитового разреза с эмбриоземами дерновыми

Fig. 4. A section of the anthropogenic landscape of the Gorlovsk anthracite deposit with sod embryozems

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем дерновый; подтип: типичный; род: обычный; вид: фрагментарный.

A_0 (0–3 см) – бурая подстилка, состоящая из слаборазложившегося и не разложившегося опада многолетних злаковых и листьев древесных растений, а так же мелких веточек. На границе с нижележащим горизонтом слежавшийся опад бурого цвета. Переход ясный по изменению вещественного состава.

A_d (3–5 см) – буро-коричневый с черными пятнами разложившихся алевролитов и аргиллитов. Дернина представляет собой корни злаков, диаметром 4–5 мм. Количество корней составляет примерно 75%, которые переплетают обломки слаборазложившейся породы. Содержит в себе остатки растительности: веточки, палочки, мох, листочки деревьев. Мелкозем среднесуглинистый. Темный цвет обусловлен, главным образом, частицами антрацита. Сухой. Переход заметен по количеству корней, цвету и плотности.

C_1 (5–12 см) – темно-серый с большим количеством полуразложившихся и не разложившихся мелких обломков аргиллитов и единичных песчаников. Много корней, диаметром до 4 мм, переплетающих

породу. Крупнозем представлен не выветривавшимися обломками аргиллитов, песчаников и алевролитов. Мелкозем среднесуглинистый. Почва свежая. Переход к нижележащему горизонту заметен по изменению окраски, плотности, а так же по смене вещественного состава.

C_2 (>12 см) – темно-серая смесь с блестящими частицами антрацита на крупных агрегатах. Светлее предыдущего – смесь мелкозема и слабо выветрившихся аргиллитов и алевролитов. Мелкозем среднесуглинистый с включениями более грубых частиц. Множество корней травянистой растительности. Размер обломков породы больше, чем у предыдущего. Свежий.

Разрез 4. Эмбриозем гумусово-аккумулятивный. Формируется на выположенном участке внешнего 35-летнего отвала Бунгурского разреза под злаково-бобово-разнотравной растительной ассоциацией, с преобладанием мятлика, тимopheевки, донника, клевера, мышиного горошка, полыни, земляники (рис. 5).

Классификационная принадлежность: ствол; пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем гумусово-аккумулятивный; подтип: типичный; род: обычный; вид: фрагментарный.

А_д (0–2 см) – темно-серая плотная дернина, густо переплетенная живыми и отмершими корнями травянистых растений. Мелкие обломки плотных пород охвачены корневой массой. Мелкозем среднесуглинистый, окрашен органическим веществом в темно-серый цвет. Переход постепенный по количеству полностью разложившихся корней.

А₁ (2–8 см) – темно-серого цвета. Мелкозем представлен опесчаненным средним суглинком комковато-пылеватой структуры. Хорошо гумусирован. Много корней травянистых растений. Мелкие обломки алев-

ролитов и других плотных пород хорошо выветрелые и имеют мягкие контуры. Переход к нижележащему горизонту заметен по цвету.

С₁ (8–45 см) – темно-бурая смесь выветрелого крупнозема и мелкозема. Мелкозем – опесчаненный средний суглинок, комковато-пылеватой структуры. Крупнозем (95%) – обломки алевролитов и аргиллитов различной величины. Встречаются единичные корни.

Дерновую и гумусово-аккумулятивную стадии можно считать поздней фазой образования почвенного покрова ландшафта.



Рис. 5. Участок антропогенного ландшафта Бунгурского угольного разреза с эмбриоземами гумусово-аккумулятивными

Fig. 5. A site of the anthropogenic landscape of the Bungur coal mine with humus-accumulative embryozems

Разрез 5. Технозем. Сформирован (создан) на выработанном рекультивированном участке углераза Бунгурской. Возраст отвала более 35 лет. Рекультивация включала в себя горнотехнический этап, отсыпку плодородного слоя почвы и биологическую рекультивацию. Среди травянистой растительности преобладают злаковые (ежа, тимофеевка, мятлик и др.) бобовые (горошек мышиный, эспарцет), полынь, земляника, одуванчик (рис. 6).

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: техноземы; тип: технозем дифференцированный; подтип: гумусогенный; род: карбонатный; вид: нормальный.

А_д (0–8 см) – серая с буроватыми пятнами, ореховато-комковатая структура, в некоторых ме-

стах пластинчатая, большое количество корней с низкой степенью разложения, включения угля и карбонатов, пористая, средний суглинок, граница языковатая.

С₁ (9–24 см) – буровато серая с серыми и светло-бурными пятнами, тяжелосуглинистая, структура неясно призматическая мелкозернистая, большое количество коней травянистой растительности, включения угля и аргиллита разной степени разложения, граница языковатая, вскипает.

С₂ (24–50 см) – светло-бурая с охристым оттенком и серыми пятнами, среднесуглинистая, пластинчато-мелкочешуйчатая, сильно уплотнена, присутствуют единичные корни, кремнеземистая присыпка, пятна гумуса, единичные включения угля.



Рис. 6. Участок антропогенного ландшафта Бунгурского угольного разреза с техноземами гумусогенными

Fig. 6. A section of the anthropogenic landscape of the Bungur coal mine with humusogenic technozems

В морфологическом отношении эмбриоземы имеют черты сходства и различия: 1). Слаборазвитый почвенный профиль (до 45 см) и слабая степень морфологической дифференциации его минеральной части на генетические горизонты; 2). Присутствие большого количества крупнозема и сравнительно невысокое содержание средне- и тяжелосуглинистого мелкозема; 3). Эмбриоземы имеют примерно схожие темно-серые оттенки окраски, что обусловлено большим количеством антрацита или углистых частиц в профиле. Характерной особенностью органо-аккумулятивных эмбриоземов является формирование так называемой зоны окисления в верхней части породы (морфологически отличается бурым цветом мелкозема); 4). Отмечается низкая увлажненность инициальных эмбриоземов в результате действия солнечных лучей (инсоляция), которые притягиваются к темным оттенкам почвы. Исушение свидетельствует о нарушениях водно-воздушного режима, при котором происходит затруднение функционирования почвенной биоты, а значит и процессов преобразования органического вещества; 5). Наблюдается преобладание процессов аккумуляции органического вещества перед его минерализацией; 6). С появлением корнеобитаемого дернового горизонта, в эмбриоземах начинают происходить процессы минерализации и гумификации, о чем свидетельствует появление пусть и малоомощного, но гумусово-аккумулятивного горизонта.

Техноземы – искусственно созданные почвы. Для создания техноземов на отвалах Бунгурского углераз-

реза после горнотехнического этапа применялся послойный метод нанесения ресурсов рекультивации на тело отвала. Сначала укладывался слой до 25 см потенциально плодородной породы (карбонатные суглинки и легкие покровные глины), затем поверх его наносился плодородный гумусовый слой почвы (ПСП) в 10–20 см. Визуально техноземы напоминают верхние горизонты черноземов выщелоченных, тем не менее, их наборы почвенно-экологических функций несопоставимы. В техноземах нарушены сопряженные связи между горизонтами, которые в черноземах устанавливаются десятки тысяч лет. Технология создания техноземов путем отсыпки на начальных этапах приводит к деградации и ухудшению агрофизических и агрохимических свойств снятого ПСП. Главная причина этого заключается в несовершенстве технологии создания техноземов и хранении ПСП в буртах [1, 27]. Несмотря на это, создание техноземов – наиболее эффективный и быстрый способ восстановления нарушенного ландшафта.

Морфологическое строение почв антропогенных ландшафтов отражает биогенно-аккумулятивные процессы, чем подчеркивается ведущая роль биологических процессов в формировании профиля, – тем самым указывается на генетическую подчиненность всех других профилообразующих процессов биологическим. Биологические процессы в эмбриоземах специфичны. Процессы синтеза, аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества не сбалансированы. На начальных стадиях развития нару-

шенной экосистемы прослеживается явное преобладание процессов синтеза и аккумуляции органического вещества над процессами минерализации и гумификации; на поздних стадиях процессы минерализации и гумификации проявляются четче.

Подчиняясь законам классического почвоведения, почвы эволюционируют, согласно воздействию на них зональных факторов почвообразования, в связи с чем происходит смена сукцессий фитоценоза, микробценоза и других ценозов от простых группировок к более сложным [3, 30]. В результате неравномерной смены ценозов, мозаичность почвенного покрова в ландшафте имеет пестрый характер, который обусловлен разнообразием макро – и микроклимата, мезо – и микрорельефа, растительности, почвообразующих пород, жизнедеятельности живых организмов, другими словами, биотических и абиотических факторов почвообразования [3, 15], [16, 23]. Повсеместный характер такой мозаичности определил необходимость введения в почвоведение такого понятия, как структура почвенного покрова [2].

Почвенные профили в естественных ландшафтах представляют собой в большинстве случаев полигенетические образования, унаследовавшие ряд морфологических признаков, важнейших свойств и экологических функций от предыдущих фаз почвообразования, смена которых вызвана различными изменениями. В антропогенных ландшафтах, вследствие малого периода почвообразования и, следовательно, однотипности климатических условий почвы являются моногенетическими образованиями. Поэтому исключительной особенностью таких почв является настолько высокая степень сингенетичности почвенных и биологических процессов, что возникает возможность определить по строению почвенного профиля основные черты надпочвенных и внутрипочвенных биоценозов и фитоценозов и распознать строение почвенного профиля, и, соответственно, его типовую принадлежность. В силу методических сложностей исследования сингенетичности фитоценозов с древесными или кустарниковыми растениями и почвами анализ процессов ограничивается лишь травянистыми сообществами. На исследуемых самовосстанавливающихся участках и полях рекультивации преобладают виды, характерные для безлесных пространств, занятых сухоходольными лугами.

Начальные стадии биологического освоения антропогенного местообитания характеризуются преобладанием транспортных явлений – перемещение способных к миграции представителей флоры и фауны, главным образом микроорганизмов и растений, с естественных ближайших экосистем и закреплением

их в соответствующих нишах [11]. Поздние стадии биологического освоения характеризуется стремлением нарушенной экосистемы войти в равновесие с окружающими естественными экосистемами под влиянием почвообразовательных факторов.

В структуре почвенного покрова выделены почвы различных стадий эволюции: эмбриоземы и техноземы. В соответствии с этим, определились четыре стадии первичной сукцессии растительных группировок: 1) пионерная (инициальная) растительная группировка на эмбриоземах инициальных; 2) простая растительная группировка на эмбриоземах органо-аккумулятивных; 3) сложная растительная группировка на эмбриоземах дерновых; 4) замкнутый фитоценоз на эмбриоземах гумусово-аккумулятивных и техноземах гумусогенных.

Для инициальных фитоценозов характерно стремление в максимально полной степени использовать эдафические условия. Малая емкость биологического круговорота, слабая интенсивность фотосинтетических процессов, обусловленных неразвитостью микробценозов и пионерных растительных группировок, некоторое время не могут обеспечить поступление в почву органического вещества – главного преобразователя исходной породы. На стадии формирования инициальных группировок характерны жесткие свойства и режимы естественного экофона, задаются первые предпосылки для формирования зонального микро- и макробиологического сообщества. В благоприятные периоды года активность микробных сообществ резко возрастает и формируется биологический круговорот, это и обеспечивает стартовое развитие экосистемы. Инициальные растительные группировки представлены единичными сорными пионерными растениями, хаотично произрастающими в пределах антропогенного местообитания, не образуя сомкнутого ценоза. В структуре фитомассы преобладает надземная часть [10].

На смену инициальным растительным группировкам приходят виды растений, более требовательные к условиям жизнеобеспечения. При отсутствии конкуренции это приводит к формированию простых растительных сообществ и усилению мозаичности травянистого покрова [14]. Преобладают процессы синтеза органического вещества над его минерализацией и накопление азотсодержащих соединений. На данной стадии в толще породы формируются очаги скопления отмерших органических остатков. Объем фитомассы возрастает в несколько раз, по сравнению с объемом фитомассы на эмбриоземах инициальных и достигает 97 г/м² (табл.) с проективным покрытием 70%. Формируется разнотравная ассоциация.

Таблица 1

Надземная фитомасса в почвах антропогенных ландшафтов и зональной почве

Table 1

Aboveground phytomass in soils of anthropogenic landscapes and zonal soils

Доминирующие виды (рода, семейства) растений // Dominant species (genus, family) of plants	Фитомасса (высушенная), г/м ² // Phytomass (dried), g/m ²	Общая фитомасса (высушенная), г/м ² // Total phytomass (dried), g/m ²
Эмбриоземы инициальные (Горловский разрез) // Initial embryozems (Gorlovsk deposit)		
<i>Artemisia</i>	12,43	23,13
Другие // Other	10,70	
Эмбриоземы органо-аккумулятивные (Горловский разрез) // Organo-accumulative embryozems (Gorlovsk deposit)		
<i>Tussilago farfara</i>	95,05	96,90
<i>Carex</i>	1,00	
Другие // Other	0,85	
Эмбриоземы дерновые (Горловский разрез) // Sod embryozems (Gorlovsk deposit)		
<i>Carex</i>	195,43	208,95
<i>Tussilago farfara, Artemisia</i>	10,50	
<i>Melilotus</i>	3,02	
Эмбриоземы гумусово-аккумулятивные (Бунгурский разрез) // Humus-accumulative embryozems (Bungur deposit)		
<i>Poaceae</i>	210,75	464,26
<i>Fabaceae</i>	198,10	
Другие // Other	53,41	
Техноземы гумусогенные (Бунгурский разрез) // Humus-producing technozems (Bungur deposit)		
<i>Poaceae</i>	220,60	443,84
<i>Fabaceae</i>	130,00	
Другие // Other	93,24	
Черноземы выщелоченные // Leached chernozems		
<i>Poaceae</i>	450,36	736,58
<i>Fabaceae</i>	154,67	
Другие // Other	131,55	

В составе фитомассы эмбриоземов органо-аккумулятивных по-прежнему преобладает надземная часть фитоценоза. По причине того, что процессы минерализации и гумификации развиты слабо, либо не развиты вовсе, органическое вещество скапливается на поверхности почвы и формирует органо-аккумулятивный генетический горизонт (подстилка). Данный горизонт значительно смягчает гидротермические градиенты, обеспечивает фитоценозы дополнительным количеством воды, смягчая действие засухи и снижая прогревание поверхности. Все это стимулирует развитие внутрипочвенных биологических процессов.

На стадии формирования сложной растительной группировки на эмбриоземах дерновых появляются микроорганизмы, способные разлагать клетчатку [11]. Результативность их жизнеобеспечения остается невысокой, и темпы минерализации и гумификации невелики. Большая часть синтезированной растениями фитомассы сохраняется в почве без существенных изменений. В составе растительных группировок со-

кращается доля длиннокорневищных растений. Видовое разнообразие травянистого покрова резко возрастает и находится в непосредственной зависимости от биоклиматических условий данного ландшафта, появляются рыхлокустовые злаки. Суммарная фитомасса достигает 209 г/м², проективное покрытие увеличивается до 85–90%. В итоге почвенный профиль эмбриоземов дерновых оказывается разделен на две части: органогенную (дерновый горизонт и подстилка) и литогенную (все нижележащие слои).

Процесс гумификации отмершего растительного опада на отвалах Горловского антрацитового разреза находится в зачаточном состоянии и не достигает масштабов, при которых происходит формирование самостоятельного гумусово-аккумулятивного горизонта. На отвалах Бунгурского угольного разреза гумусово-аккумулятивный горизонт сформирован, но имеет малую мощность. Тем не менее, произошел переход в гумусово-аккумулятивную стадию с замкнутой растительной группировкой на эмбриоземах гумусово-аккумулятивных, а значит, процесс гуми-

фикации идет намного интенсивнее по сравнению с почвами Горловских отвалов.

Источником органического вещества в почвах является фитомасса. Прослеживается увеличение фитомассы в ряду почв от эмбриоземов инициальных к органо-аккумулятивным, дерновым, к техноземам и эмбриоземам гумусово-аккумулятивным (табл.). Величина надземной фитомассы на эмбриоземах гумусово-аккумулятивных, формирующихся на самовосстанавливаемом участке отвала Бунгурского углереза и на сформированных техноземах гумусогенных, в 4 и более раза выше, чем величина фитомассы на эмбриоземах органо-аккумулятивных, что свидетельствует о благоприятных условиях почвообразования, и что будет способствовать увеличению гумусообразования и гумификации в этих типах почв. Большое количество фитомассы подчеркивает положительные результаты рекультивационных работ, особенно их биологического этапа, что позволяет в относительно короткое время (25–35 лет) в условиях лесостепи получить 100% проективное покрытие и богатое видовое разнообразие травянистого покрова. Вероятно, что количество фитомассы в нарушенных экосистемах со временем будет увеличиваться и стремиться к зональным значениям.

Обсуждение

При изучении направленности почвообразовательных процессов в антропогенных почвах всегда принимаются во внимание в первую очередь биологические процессы. Известно, что в антропогенных ландшафтах накопление и трансформация органического вещества являются наиболее значимыми проявлениями начальных этапов почвообразования, и эти процессы (основные из которых окислительно-восстановительные) протекают при участии ферментов. В направлении от инициальных эмбриоземов к гумусово-аккумулятивным прослеживается увеличение ферментативной активности [19]. Следовательно, усиление биохимической активности с течением времени способствует ускорению процессов самовосстановления почв антропогенных ландшафтов.

Почвы антропогенных ландшафтов Бунгурского угольного и Горловского антрацитового разрезов следует считать азональными почвенными образованиями. Азональность эмбриоземов и техноземов приводит к появлению новых экологических систем с рядом отличительных особенностей от зональных.

На поверхности отвала Бунгурского углереза за более чем 35 лет произошло естественное развитие растительных сукцессий до стадии сложного замкнутого фитоценоза. На таких участках ландшафта с наиболее благоприятными условиями для почвообразования, которые способствовали естественному развитию процессов (например, увеличение количества суглинистого материала в составе субстрата), сформировались и продолжают развиваться эмбриоземы гумусово-аккумулятивные. На участках отвалов Бунгурского угольного и Горловского антрацитового разрезов с неблагоприятными условиями (например, с

преобладанием плотных песчаников и крупнообломочных пород), почвообразование приостановилось на начальных этапах – инициальном и органо-аккумулятивном.

Формирующийся почвенный покров в нарушенных экосистемах может быть использован в качестве индикатора развития процессов почвообразования и оценки почвенно-экологического статуса антропогенных ландшафтов. Чем выше скорость прохождения стадий растительной сукцессии и стадий развития эмбриоземов при естественном зарастании, тем выше почвенно-экологический статус. Наличие в составе почвенного покрова антропогенных ландшафтов эмбриоземов гумусово-аккумулятивных свидетельствует о благоприятных перспективах восстановления, и, наоборот, если в составе почвенного покрова антропогенных ландшафтов преобладают наименее генетически развитые эмбриоземы инициальные и органо-аккумулятивные, то прогноз для восстановления нарушенных территорий менее благоприятный, а значит, почвенно-экологический статус экосистемы будет низким. Некоторые исследователи при оценке статуса берут во внимание автоморфные позиции отвалов. Это в корне не верно, так как отвал состоит не только из выположенных участков, а имеет и склоновые поверхности, да еще и в разных экспозициях.

Проведенные исследования показали, что почвенно-экологический статус антропогенных объектов связан, в первую очередь, со свойствами почвообразующих пород, а так же с другими факторами почвообразования, которые оказывают существенное влияние на скорость восстановления почвенного покрова при их самозарастании или рекультивации. На поверхности и склонах нарушенных экосистем формируется почвенный покров, который представлен сочетанием различных типов эмбриоземов и техноземов. Каждый тип эмбриоземов и техноземов и соотношение площадей занимаемых тем или иным типом характеризует, определяемый законами сингенеза, уровень жизнедеятельности биоценоза, который также влияет на почвенно-экологический статус антропогенного ландшафта.

Известно, что антропогенные ландшафты в лесостепи Западной Сибири входят в экоклин в течение 15–20 лет с момента образования [6], с формированием при благоприятных условиях эмбриоземов гумусово-аккумулятивных и приобретают отличный почвенно-экологический статус. Тем не менее, после 35 лет развития исследуемых антропогенных экосистем в их почвенном покрове присутствуют все типы эмбриоземов, что определяет неоднородность почвенного покрова, которая связана с неоднозначными факторами и условиями почвообразования.

Почвенно-экологический статус отвалов Бунгурского угольного разрезов, тем не менее, можно считать удовлетворительным, так как по истечении 35 лет с момента начальной фазы техногенеза в составе почвенного покрова формируются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и техноземы гумусогенные. Проводились рекультивационные работы (хотелось, чтобы

их проводилось больше) по восстановлению нарушенных территорий.

Почвенно-экологический статус отвалов Горловского антрацитового разреза неудовлетворительный. В составе почвенного покрова нет явных морфологических признаков образования гумусово-аккумулятивного горизонта, хотя предпосылки к этому есть. Рекультивационные работы за 35 лет не проводились.

Развитие эмбриоземов в лесостепной зоне имеет 2 направления: 1) инициальные ↔ органо-аккумулятивные; 2) инициальные → органо-аккумулятивные → дерновые → гумусово-аккумулятивные.

В зависимости от экспозиции и крутизны склонов отвалов, эмбриоземы остаются в метастабильном состоянии на инициальной стадии. И это состояние не изменится до тех пор, пока не появятся условия для перехода в органо-аккумулятивную и далее в дерновую и гумусово-аккумулятивную стадии. Следующая, органо-аккумулятивная, стадия эмбриоземов также остановила свое развитие и находится в метастабильном состоянии. С проведением лесной рекультивации на отвалах Бунгурского углеразреза под посадками сосны и облепихи (облепиха выпала к 30-летнему возрасту ландшафта, превратив междуружья сосны в непролазные дебри) травянистый покров практически не развивается, поэтому дернина не образуется. В результате этого органо-аккумулятивная стадия не только никогда не сможет эволюционировать в дерновую, а тем более в гумусово-аккумулятивную, но вследствие неблагоприятных условий (пожар, в том числе эндогенный, болезни растений) может деградировать до инициальной, что и произошло. При благоприятных условиях эмбриоземы органо-аккумулятивные эволюционировали в дерновые и гумусово-аккумулятивные.

На данный момент времени ландшафты находятся в метастабильном состоянии. Ожидается, что эмбриоземы инициальные не будут иметь дальнейшего развития, а на их месте будет оставаться техногенная пустыня. Эмбриоземы органо-аккумулятивные либо перейдут в следующую дерновую стадию, либо на их месте сформируются почвы под лесными насаждениями на каменистом субстрате. Эмбриоземы дерновые должны перейти в гумусово-аккумулятивную стадию с дальнейшим формированием на этих участках сухостепных почв на каменистом субстрате с маломощным гумусовым горизонтом.

Последующий мониторинг ландшафтов должен включить в себя аналитические исследования по групповому и фракционному составу железа для выявления подтиповых особенностей эмбриоземов [8]. Подтиповые особенности почв определяются по ведущим почвообразовательным процессам (гумусонакопление, буроземообразование, псевдоподзоливание и т.д.). Это даст возможность оценить скорость и направленность почвообразования с целью прогнозирования и моделирования состава почвенного покрова антропогенных ландшафтов.

Выводы

1. Почвенный покров антропогенных ландшафтов мозаичный. В его составе морфологически определяются техноземы гумусогенные и все типы эмбриоземов. Каждому типу эмбриоземов соответствует определенная стадия развития фитоценозов: эмбриоземам инициальным соответствует стадия с пионерной растительностью; эмбриоземам органо-аккумулятивным – простая растительная группировка; эмбриоземам дерновым – сложная растительная группировка; эмбриоземам гумусово-аккумулятивным и техноземам гумусогенным – замкнутый фитоценоз с довольно богатым видовым разнообразием.

2. Общая фитомасса и ее состав увеличивается и становится разнообразней в генетическом ряду почв антропогенных ландшафтов от эмбриоземов инициальных и органо-аккумулятивных к эмбриоземам дерновым и гумусово-аккумулятивным. Тем не менее, общая, наземная фитомасса самых генетически развитых эмбриоземов гумусово-аккумулятивных ниже зональных значений.

3. Ведущими биологическими процессами в эмбриоземах начальных этапов становления экосистемы являются синтез и аккумуляция органического вещества; в эмбриоземах гумусово-аккумулятивных и в техноземах гумусогенных помимо синтеза и аккумуляции отмечаются зачатки процессов минерализации и гумификации.

4. Почвенно-экологический статус отвалов Бунгурского угольного разреза удовлетворительный, так как в составе почвенного покрова присутствуют эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и техноземы гумусогенные. Проводились рекультивационные работы по восстановлению нарушенных территорий. Почвенно-экологический статус отвалов Горловского антрацитового разреза неудовлетворительный. В составе почвенного покрова нет явных морфологических признаков образования гумусово-аккумулятивного горизонта, хотя предпосылки к этому есть. Рекультивационные работы не проводились.

Список источников

1. Андроханов В.А., Двуреченский В.Г. Проблемы рекультивации техногенных экосистем Красноярского края // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2013. Т. 6. № 2. С. 153–158.
2. Андроханов В.М., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 159 с.
3. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
4. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 6–15.

5. Госсен И.Н., Беланов И.П. Гранулометрический состав эмбриоземов в техногенных ландшафтах лесостепной зоны Кузбасса // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 713–718.
6. Двуреченский В.Г. Использование показателей группового состава железа для генетической диагностики процессов почвообразования в эмбриоземах техногенных ландшафтов Кузбасса // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 2. С. 12–22.
7. Двуреченский В.Г. Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 2011. 19 с.
8. Двуреченский В.Г., Середина В.П. Почвенно-экологическое состояние и пути восстановления техногенных экосистем лесостепного пояса Кузнецкой котловины // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 12 (204). С. 47–52.
9. Докучаев В.В. Учение о зонах природы и классификация почв. Сочинения, т. VI. М. Л.: АН СССР, 1951. 375 с.
10. Кандрашин Е.Р. Сукцессии биоты в техногенных экосистемах (на примере Кузнецкого угольного бассейна): Автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 1988. 18 с.
11. Клевенская И.Л. Микрорастительные ассоциации техногенных экосистем // Тез. Докл. 8 Всесоюз. Съезда почвоведов. Новосибирск, 1989. Т. 6. С. 122–128.
12. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 176 с.
13. Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Специфика накопления органических компонентов в почвах техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2004. Т. 11. № 3. С. 345–353
14. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Агрохимическая и геоботаническая характеристика гидроотвалов Челябинского угольного бассейна // Растение и промышленная среда. Свердловск: Изд-во Уральск. ун-та, 1974. С. 127–137.
15. Миронычева-Токарева Н.П. Динамика растительности при зарастании отвалов (на примере КАТЭКа). Новосибирск: Наука, 1998. 172 с.
16. Моторина Л.В., Ижевская Т.И. Основные направления индикации сукцессий в техногенных ландшафтах // Влияние деятельности человека на природные экосистемы. М., 1980. С. 143–152.
17. Овсянникова С.В., Середина В.П. Региональный мониторинг почв Кузнецкого угольного бассейна по накоплению подвижных форм тяжелых металлов // Вестник КрасГАУ. 2014. № 11 (98). С. 100–105.
18. Полохин О.В. Трансформация литогенных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах (на примере КАТЭКа): автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 2008. 18 с.
19. Середина В.П., Алексеева Т.П., Сысоева Л.Н. Исследование процессов формирования органического вещества в нарушенных при угледобыче почвах // Вестник ТГУ. Биология, 2012. № 1 (17). С. 18–31.
20. Соколов Д.А. Специфика определения органических веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 17–25.
21. Трофимов С.С., Таранов С.А. Особенности почвообразования в техногенных экосистемах // Почвоведение. 1987. № 11. С. 95–99.
22. Фаткуллин Ф.А. Органическое вещество молодых почв техногенных экосистем Кузбасса: Автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 1988. 17 с.
23. Чибрик Т.С. Формирование растительных сообществ в процессе самозарастания на отвалах угольных месторождений Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1979. С. 23–59.
24. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
25. Arguile R.T. Reclamation five industrial sites in the east midlans. «J. Inst. Munic. Eng.», 1971. № 6. 98 p.
26. Beaver S.H. Land reclamation. «The Chartered Surveyor», 1960. № 12. 92 p.
27. Gossen R.G., Hardisty P.E. et al. Site Remediation Technology Advances // 15th World Petroleum Congress. China, Beijing, 17 Okt. 1997, Preprint of the 15th WPC, 10 p.
28. Knabe W. Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin, 1959. 306 p.
29. Lindsay W.J. Chemical equilibria in soils. N.Y.: Wiley, 1979. 449 p.
30. Prach K. Succession of Veccession on Dumps from Strip Coal Mining N.W. Bogemia. Czechoslovakia // Folia geobotanica et phytotaxonomica. 1987. № 22. P. 339–354.
31. Smith H.G., Morse H.H., Bernath G.E., Gillogli L.E., Brigs W.M. Classification of strip-mined spoil banks // The Ohio Journal of Science, 1964, № 2, P. 168–175.
32. Stevenson F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reaction. N.Y., John Wilcy&Sons, 1982. 443 p.
33. Tate III P.L. Soil Organic Matter Biological and Ecological Effects. N.Y.: John Wiley&Sons, 1991. 399 p.
34. Werner K. Probleme der Wiedernutzbarmachung von Braunkohlenkippen fur landwirt-schaftliche Zwercke. Hall, 1966. 123 p.

References

1. Androkhanov, V., Dvurechenskij, V., 2013. Problemy rekultivatsii tekhnogennykh ekosistem Krasnoyarskogo kraya [Problems of reclamation of technogenic ecosystems of the Krasnoyarsk Territory]. *Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology.* (2), pp. 153–158. (in Russian).
2. Androkhanov, V., Kulyapina, E. and Kurachev, V., 2004. *Pochvy tekhnogennykh landshaftov: genezis i evolyutsiya* [Soils of technogenic landscapes: genesis and

evolution]. Novosibirsk: Publishing house SO RAN, pp. 6–15. (in Russian).

3. Androkhonov, V., Kurachev, V., 2010. *Pochvenno-ekologicheskoye sostoyaniye tekhnogennykh landshaftov: dinamika i otsenka* [Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment]. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS. 224 p. (in Russian).

4. Gadzhiev, I., Kurachev, V., 1992. *Geneticheskiye i ekologicheskiye aspekty issledovaniya i klassifikatsii pochv tekhnogennykh landshaftov* [Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes]. Novosibirsk: Nauka SB Publ.; 1992. 305 p. (in Russian).

5. Gossen, I., Belanov, I., 2011. Granulometric composition of embryozems in technogenic landscapes of the forest-steppe zone of Kuzbass. *Siberian Journal of Ecology*. (5), pp. 713–718. (in Russian).

6. Dvurechenskij, V., 2010. *Ispol'zovaniye pokazateley gruppovogo sostava zheleza dlya geneticheskoy diagnostiki protsessov pochvoobrazovaniya v embryozemakh tekhnogennykh landshaftov Kuzbassa* [The use of indicators of the group composition of iron for genetic diagnostics of soil formation processes in embryozems of technogenic landscapes of Kuzbass]. *Soil Science and Agrochemistry*. (2), pp. 12–22. (in Russian).

7. Dvurechenskij, V., 2011. *Geografo-geneticheskaya kharakteristika form zheleza v embryozemakh Kuzbassa* [Geographic and genetic characteristics of iron forms in embryozems of Kuzbass]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 19 p. (in Russian).

8. Dvurechenskij, V., Seredina, V., 2017. *Pochvenno-ekologicheskoye sostoyaniye i puti vosstanovleniya tekhnogennykh ekosistem lesostepnogo poyasa Kuznetskoy kotloviny* [Soil-ecological state and ways of restoration of technogenic ecosystems of the forest-steppe belt of the Kuznetsk depression]. *Safety of life*. (12), pp. 47–52. (in Russian).

9. Dokuchaev, V., 1951. *Ucheniye o zonakh prirody i klassifikatsiya pochv* [The doctrine of natural zones and soil classification. Works]. (VI). M.L.: AN USSR. 375 p. (in Russian).

10. Kandrashin, E., 1988. *Suksessii bioty v tekhnogennykh ekosistemakh (na primere Kuznetskogo ugol'nogo basseyna)* [Biota succession in technogenic ecosystems (on the example of the Kuznetsk coal basin)]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 18 p. (in Russian).

11. Klevenkaya, I., 1989. Micro-vegetative associations of technogenic ecosystems. *8 All-Union Congress of Soil Scientists*, Novosibirsk. (6), pp. 122–128. (in Russian).

12. Klenov, B., 2000. *Ustoychivost' gumusa avtomorfnykh pochv Zapadnoy Sibiri* [Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia]. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS. 176 p. (in Russian).

13. Kulyapina, E., Kurachev, V., 2004. *Specificity of the accumulation of organic components in soils of technogenic landscapes*. *Siberian Journal of Ecology*. (3), pp. 345–353. (in Russian).

14. Makhonina, G., Chibrik, T., 1974. *Agrokhimicheskaya i geobotanicheskaya kharakteristika gidrootvalov Chelyabinskogo ugol'nogo basseyna* [Agrochemical and geobotanical characteristics of the hydro dumps of the Chelyabinsk coal basin]. *Plant and industrial environment*. Sverdlovsk: Publishing house Ural University, pp. 127–137. (in Russian).

15. Mironycheva-Tokareva, N., 1998. *Dinamika rastitel'nosti pri zarastanii otvalov (na primere KATEKa)* [Dynamics of vegetation during overgrowing of dumps (on the example of KATEK)]. Novosibirsk: Science. 172 p. (in Russian).

16. Motorina, L., Izhevskaya, T., 1980. *Osnovnyye napravleniya indikatsii suksessiy v tekhnogennykh landshaftakh* [Main directions of indication of successions in technogenic landscapes]. *Influence of human activity on natural ecosystems*. M., pp. 143–152. (in Russian).

17. Ovsiyannikova, S., Seredina, V., 2014. *Regional'nyy monitoring pochv Kuznetskogo ugol'nogo basseyna po nakopleniyu podvizhnykh form tyazhelykh metallov* [Regional monitoring of soils of the Kuznetsk coal basin on the accumulation of mobile forms of heavy metals]. *Bulletin of KrasGAU*. (11), pp. 100–105. (in Russian).

18. Polokhin, O., 2008. *Transformatsiya litogennykh form fosfatov pri pochvoobrazovanii v tekhnogennykh landshaftakh (na primere KATEKa)* [Transformation of lithogenic forms of phosphates during soil formation in technogenic landscapes (by the example of KATEK)]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 18 p. (in Russian).

19. Seredina, V., Alekseeva, T. and Sysoeva, L., 2012. Study of the processes of organic matter formation in disturbed soils during coal mining. *Tomsk State University Journal of Biology*. (1), pp. 18–31. (in Russian).

20. Sokolov, D., 2012. Specificity of Determination of Organic Substances of Pedogenic Nature in Soils of Technogenic Landscapes of Kuzbass. *Tomsk State University Journal of Biology*. (2), pp. 17–25. (in Russian).

21. Trofimov, S., Taranov, S., 1987. Peculiarities of soil formation in technogenic ecosystems. *Soil science*. (11), pp. 95–99. (in Russian).

22. Fatkulina, F., 1998. *Organicheskoye veshchestvo molodykh pochv tekhnogennykh ekosistem Kuzbassa* [Organic matter of young soils of technogenic ecosystems of Kuzbass]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 17 p. (in Russian).

23. Chibrik, T., 1979. *Formirovaniye rastiyet'nykh soobshchestv v protsesse samozarastaniya na otvalakh ugol'nykh mestorozhdeniy Urala* [Formation of plant communities in the process of self-overgrowing on the dumps of coal deposits in the Urals]. *Plants and industrial environment*. Sverdlovsk, pp. 23–59. (in Russian).

24. Shishov L., Tonkonogov V. and Lebedeva I., 2004. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena Publ. 2004. 342 p. (in Russian).

25. Arguile, R., 1971. *Reclamation five industrial sites in the east midlans*. J. Inst. Munic. Eng. (6). 98 p.

26. Beaver, S., 1960. *Land reclamation*. The Chartered Surveyor. (12). 92 p.
27. Gossen, R, Hardisty, P. et al., 1997. Site Remediation Technology Advances. *15th World Petroleum Congress*. China, Beijing, 17 Okt., Preprint of the 15th WPC, 10 p.
28. Knabe, W., 1959. *Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau*. Berlin. 306 p. (In German).
29. Lindsay, W., 1979. *Chemical equilibria in soils*. N.Y.: Wiley. 449 p.
30. Prach, K., 1987. *Succession of Veccession on Dumps from Strip Coal Mining N.W. Bogemia. Czechoslovakia. Folia geobotanica et phytotaxonomica*. (22), pp. 339–354.
31. Smith, H., Morse, H., Bernath, G., Gillogli, L. and Brigs, W., 1964. *Classification of strip-mined spoil banks. The Ohio Journal of Science*. (2), pp. 168–175.
32. Stevenson, F., 1982. *Humus chemistry: Genesis, composition, reaction*. N.Y.: John Wilcy&Sons. 443 p.
33. Tate III, P., 1991. *Soil Organic Matter Biological and Ecological Effects*. N.Y.: John Wiley & Sons. 399 p.
34. Werner, K., 1966. *Probleme der Wiederurbarmachung von Braunkohlenkippen fur landwirtschaftliche Zwercke*. Hall. 123 p. (In German).

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 04.02.2022; принята к публикации 11.02.2022.

The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 04.02.2022; accepted for publication 11.02.2022.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 574.52

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-36-47>

Фитопланктон и фитоперифитон в озере Хедо, используемом для садкового форелеводства

Сергей Федорович Комулайнен¹, Юлия Леонидовна Сластина²

¹ Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУ науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

² Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение ФГБУ науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

¹ komsf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5738-9489>

² jls@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7227-9328>

Аннотация. Приведены данные о формировании фитопланктона и фитоперифитона в озере Хедо (Республика Карелия, бас. Белого моря) в условиях воздействия стоков форелевой фермы. Целью настоящей статьи является оценка того, насколько информативными являются структурные параметры фитопланктона и фитоперифитона, и оценка целесообразности их использования для биологического мониторинга качества воды. Влияние антропогенного воздействия на сообщества водорослей было проанализировано с точки зрения богатства видов, видового разнообразия, экологии видов, биомассы и концентрации хлорофилла. Пока поступающие в озеро стоки форелевой фермы не вызывают коренных изменений в структуре сообществ. Результаты химического анализа воды указывают на низкий уровень антропогенного влияния. Хотя зафиксировано небольшое повышение концентрации взвешенного вещества и тяжелых металлов в воде вблизи садков. Структура альгоценозов определяются, в первую очередь, гидрографическими и гидрологическими особенностями озера. По составу массовых видов она типична для холодноводных, олиготрофных водоемов бореальной и субарктической зон, с низкой минерализацией, не испытывающих значительную антропогенную нагрузку. Биотические индексы и гидрохимические показатели, измеренные для озера, указывают на низкую степень загрязнения и позволяют относить его воды ко II классу чистоты. Достаточно высокие для региона значения численности и биомассы фитопланктона и фитоперифитона в озере Хедо позволяют судить о благоприятных условиях для их формирования в озере и устойчивости сообществ.

Ключевые слова: пресноводная экосистема, озеро Хедо, форелеводство, мониторинг, фитопланктон, фитоперифитон

Благодарности: Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий № 0221-2014-0005 и № 0221-2014-0038.

Для цитирования: Комулайнен С.Ф., Сластина Ю.Л. Фитопланктон и фитоперифитон в озере Хедо, используемом для садкового форелеводства // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 36–47. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-36-47>

SECTION 2. POLLUTION

Original paper

Phytoplankton and phytoperiphyton in lake Khedo used for cages trout

Sergey F. Komulaynen¹, Julia L. Slastina²

¹ Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

¹ komsf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5738-9489>

² jls@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7227-9328>

Abstract. Data are reported about the formation of phytoplankton and phytoperiphyton communities in Lake Khedo (Karelia republic, White Sea catchment) under the effect of effluent discharges from a trout farm. The purpose of this paper is to assess how informative phytoperiphyton structural parameters are, and to assess the feasibility of using them for biological monitoring of river quality. The influence of anthropogenic impacts on periphyton communities was analyzed in terms of species richness, species diversity, species ecology values, biomass and chlorophyll concentration. At present, effluents discharged into the lake from the trout farm cause no profound transformations in the structure of

aquatic organism communities. The results of the chemical analysis of water indicate a low level of anthropogenic influence. Although a slight increase in the concentration of suspended matter and heavy metals in the water near the cages was recorded. The structure of algae communities is due primarily to specific hydrographic location and hydrological characteristics of lake. The composition and ratio of most common species of algae communities in the lake is typical for cold-water, oligotrophic reservoirs of the boreal and subarctic zones, with low mineralization, not experiencing a significant anthropogenic load. The biotic indices and hydrochemical indicators indicated mainly a low degree of pollution, so the lake waters could be classified as belonging to water purity class II. Relatively high values of the abundance and biomass of phytoplankton and phytoplankton, in the Lake Khedo comparing to the average values for the studied region make it possible to conclude on the favorable conditions in the lake and on the stability of communities.

Key words: freshwater ecosystem, Lake Khedo, cultivation, monitoring, phytoplankton, phytoplankton

Acknowledgments: Financial support for research was carried out from the federal budget for the implementation of state assignments № 0221-2014-0005 and № 0221-2014-0038.

For citation: Komulaynen, S. and Slastina, J., 2022. Phytoplankton and phytoplankton in lake Khedo used for cages trout *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1). pp. 36–47. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-36-47> (in Russian)

Введение

Сокращение запасов и падение уловов ценных видов рыб интенсифицировали работы, направленные на их культивирования. Одним из таких способов является садковое рыбоводство. В Республике Карелии промышленным выращиванием радужной форели (*Parasalmo mykiss* (Walbaum)) начали заниматься в 80-е гг. В 2020 году здесь действовало 73 рыбоводных хозяйства, на которых было выращено 36441,1 тонны разновозрастной рыбы [3].

Активизация промышленного рыборазведения приводит к возрастанию антропогенной нагрузки на водные системы и ускорению темпов их эвтрофикации. Отрицательные последствия могут быть уменьшены разработкой целостной системы водоохраных мероприятий на основе данных, полученных в результате мониторинга.

Широкое применение при мониторинге методов биоиндикации связано с тем, что химические и физические методы дают возможность установить только наличие загрязнения, но не его последствия в экосистеме в целом, а тем более не позволяют оценить ее влияние на биоту [14].

Водоросли – наиболее чувствительный и надежный индикатор водных экосистем при различных видах антропогенных воздействий. Преимущество альгологических исследований при мониторинге объясняется коротким жизненным циклом водорослей, что позволяет даже при проведении ограниченных по времени наблюдений не только определить современное состояние водоемов, но и оценить возможные изменения [27].

Цель настоящей работы – оценить современное состояние озера Хедо на основе анализа структуры водорослевых сообществ, характер их возможных изменений под влиянием стоков с рыбоводной фермы.

Материал и методика

Исследования были выполнены в озере Хедо (Рис. 1), которое находится на территории Муезерского района республики Карелия (63°57'28" с.ш.; 31°36'22" в.д.).

Озеро длиной 8,1 и максимальной шириной 1,0 км, располагается на высоте 193,2 метров над уровнем моря. Форма озера лопастная, продолговатая: оно вытянуто с северо-запада на юго-восток. Озеро глубоководное с максимальной глубиной 26 м, средней – 10 м. Площадь озера – 8,6 км², а водосборного бассейна, с невысокой для региона заболоченностью (около 7%), – 133 км². Берега изрезанные, каменисто-песчаные, преимущественно возвышенные. Через озеро протекает река Хедь – приток третьего порядка реки Кемь (бассейн Белого моря), которая имеет 18 притоков суммарной длиной 38 км. Среднегодовой объем притока водных масс, 43,0 км³. Среднегодовой расход воды в истоке – 17,4 м³/сек. Средняя скорость ветра в период наблюдения была около 4,0 м/сек., что соответствует скорости дрейфового течения – 6,8 см/сек.

С 2005 года на озере функционирует форелевая ферма «ЛОИСТО». Производительность ее в настоящее время составляет около 300 тонн товарной форели в год. Показатель условного водообмена, равен 0,5, т.е. водные массы озера заменяются водой с водосбора один раз в 2 года.

Пробы были отобраны 10 июня 2021 г. при температуре воды от 10 до 10,2°C. Расположение станций было выбрано с тем расчетом, чтобы оценить структуру альгофлоры в наибольшем числе биотопов, которые как мы предполагали отличаются по уровню антропогенной нагрузки (табл. 1).

Пробы отбирались по стандартной методике [4, 9]. При их анализе определяли видовой состав, численность и биомассу водорослей, отмечали доминирующие виды, к которым относили виды с относительной численностью или биомассой > 10% от суммарной. Определение хлорофилла в фитопланктоне проводили стандартным спектрофотометрическим методом [21, 23].

Система таксонов водорослей приведена по схеме, принятой в серии «Süsswasserflora von Mitteleuropa» с уточнением названий некоторых видов согласно современным сводкам. Экологическую принадлежность водорослей устанавливали согласно работе С.С. Бариновой с соавт. [2].

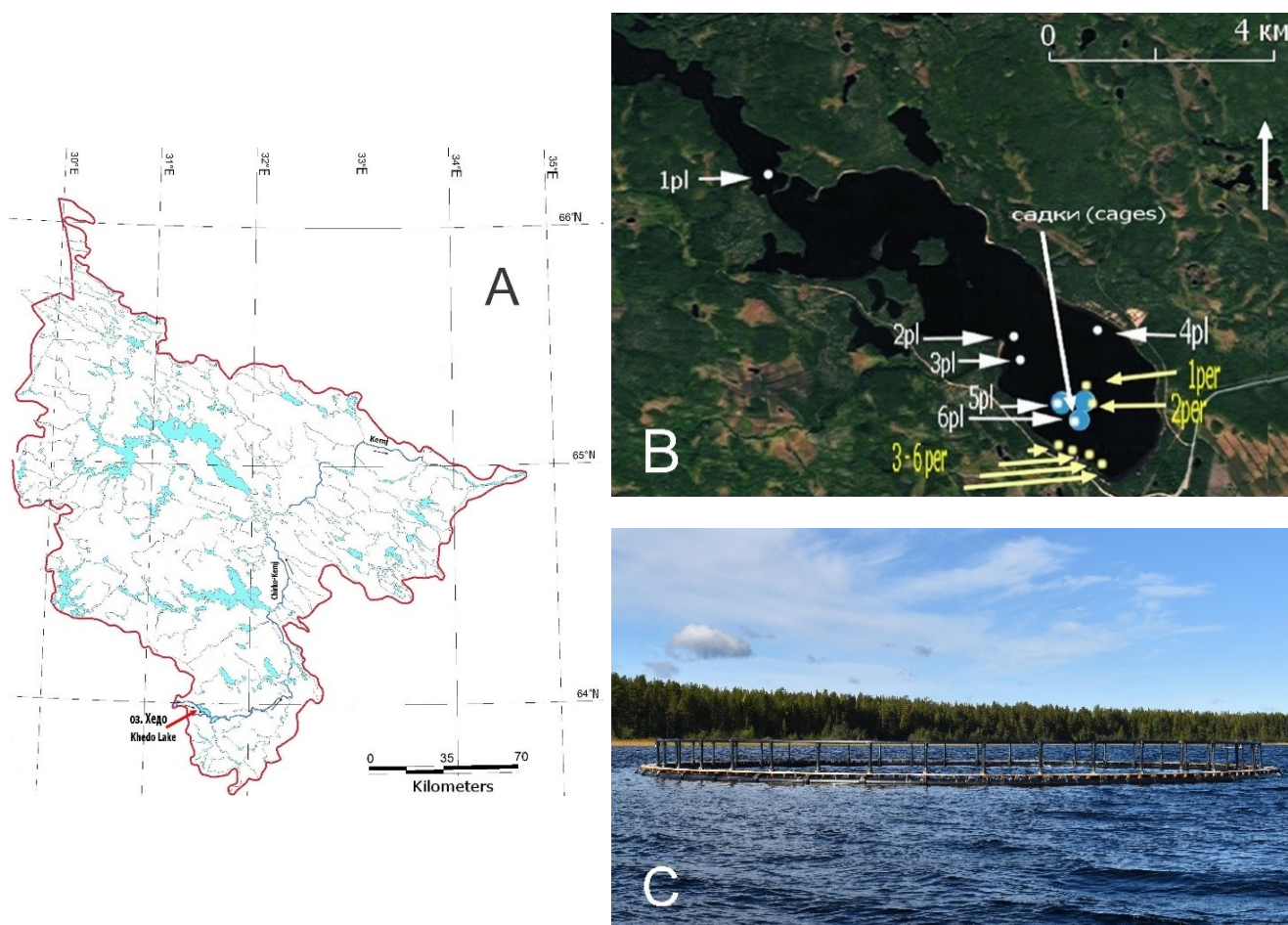


Рис. 1. А – карта водосборного бассейна реки Кемь с расположением оз. Хедо (отмечено красной стрелкой); В – карта-схема озера с расположением станций отбора проб фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per); С – садки на озере

Fig. 1. A – map of the catchment area of the Kem River with the location of the lake, Khedo (marked with a red arrow); B – map-scheme of the lake with the location of the phytoplankton (pl) and phytoplankton (per) sampling stations; C – cages on the lake

Таблица 1

Характеристика станций отбора проб в озере Хедо (10.06.2021)

Table 1

Characteristics of sampling stations in Lake Khedo (10.06.2021)

Фитопланктон // phytoplankton		Фитоперифитон // phytoplankton	
1pl	Контроль // control	1per	канат у садков // rope at the cages
2pl	литораль, песчаная коса // littoral, sandy promontory	2per	конструкции садков // cage designs
3pl	литораль, устья ручья // littoral, the mouth of a stream	3per, 4per, 5per, 6per	бочки, канаты и конструктивные элементы пирса у берега // barrels, ropes and structural elements of the pier near the shore
4pl	литораль напротив деревни // littoral opposite the village		
5pl, 6pl	Садки // cages		

Для определения роли отдельных таксонов в формировании альгоценозов вычислялось средневзвешенное относительное обилие видов по численности (N%) и биомассе (B%). Для оценки разнообразия использовали индекс Шеннона–Уивера [24], который рассчитывали по численности водорослей, а качества воды индекс сапробности Пантле и Букка [22] в модификации Сладечека – P&B [25]. Кроме того рассчи-

тывали трофический диатомовый индекс – TDI [16], который дает наилучшие результаты при слабом и умеренном загрязнении.

Кластерный анализ выполнен по данным об относительной численности видов. Группирование станций проводилось при помощи алгоритма Евклидовой дистанции с использованием метода Варда (Method Warda, пакет программ Statistica).

Анализ гидрохимических проб был выполнен в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН по соответствующим методикам [1, 10], а концентрацию тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр AA-7000 Shimadzu, Япония) с пламенной атомизацией [26] в аналитической лаборатории института Леса КарНЦ РАН.

Результаты

Воды озера Хедо характеризуются низкой минерализацией воды, гидрокарбонатно-кальциевого типа, относительно не высокой для региона концентрацией органических веществ и цветностью, слабокислой pH (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения концентрации взвешенного вещества (ВО), цветности воды (ЦВ), pH, электропроводности (χ), перманганатной окисляемости (ПО), концентрации общего фосфора (Р), азота (N) и хлора (Cl) на исследованных участках озера Хедо (июнь 2021 г.). Значения указаны в формате среднее \pm стандартное отклонение (M \pm SD)

Table 2

Average values of suspended solid (SS), color of water (C), pH, electrical conductivity (χ), permanganate oxidizability (PO), concentration of total phosphorus (P), nitrogen (N) and chlorine (Cl) in the studied areas of Lake Khedo (June 2021). The values are in the format mean \pm standard deviation (M \pm SD)

Параметры // Options	Контроль (pl. 1) // Control (pl. 1)	Садки (pl. 5) // Cages (pl. 5)
	M \pm SD	
ВО, мг/л // SS, mg/L	0,8 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2
ЦВ, градусы // C, degrees..	80 \pm 5	77 \pm 2
pH	6,4 \pm 0,8	6,4 \pm 0,2
χ , мкСм/см // χ , μ S/cm	15,1 \pm 1,2	15,3 \pm 0,2
РО, мгО/л // PO, mgO/L	12,9 \pm 5,2	13,8 \pm 0,2
Робщ., мкг/л // Ptot., μ gP/L	13 \pm 0,8	15 \pm 0,4
Нобщ., мгN/л // Ntot., mgN/L	0,4 \pm 0,2	0,4 \pm 0,1
Cl, мг/л // Cl, mg/L	0,7 \pm 0,3	0,6 \pm 0,2

Содержание общего фосфора и азота в озере близко к региональному фону для поверхностных вод Карелии и позволяет характеризовать озеро как мезотрофное [27]. Следует при этом учитывать, что биогены, поступающие с фореелевого комплекса, могут эффективно разбавятся, благодаря достаточно высокой проточности озера, либо утилизироваться. Представляется также что, одиночные измерения концентрации биогенных веществ дают лишь картографическую иллюстрацию состояния окружающей среды, и для правильной количественной оценки воздействия рыбоводства режим отбора проб должен охватывать как большее число проб, так и станций [15].

Концентрация хлора (консервативного показателя хозяйственно-бытового загрязнения) в воде, также как и концентрации цинка и свинца (табл. 3) в озере значительно ниже значений, отмеченных для водоемов Республики Карелия, подвергаемых антропогенному воздействию (Лозовик, Платонов, 2005). Более высокое содержание цинка и свинца вблизи садков можно объяснить поступлением топлива от лодочных моторов.

Альгологические исследования в озере Хедо ранее не проводились. Нами в фитопланктоне и фитоперифитоне озеро Хедо определено 76 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 7 отделам (табл. 4, 5).

Таблица 3

Средние значения концентрации тяжелых металлов в воде оз. Хедо. Значения указаны в формате среднее \pm стандартное отклонение (M \pm SD)

Table 3

Average values of the concentration of heavy metals in the water of the lake. Khedo. The values are in the format mean \pm standard deviation (M \pm SD)

Элемент // Element	Контроль (pl. 1) // Control (pl. 1)	Садки (pl. 5) // Cages (pl. 5)
	M \pm SD (мкг/л)	
Zn	0,55 \pm 0,14	0,60 \pm 0,17
Pb	0,47 \pm 0,03	0,62 \pm 0,15

Таблица 4

Таксономический состав, относительная численность (А%) и встречаемость водорослей на станциях отбора проб (F) фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per) в озере Хедо

Table 4

Taxonomic composition, relative abundance (A%) and occurrence of algae at the sampling stations (F) of phytoplankton (pl) and phytoperiphyton (per) in Lake Khedo

Таксоны // Taxa	pl		per	
	A%	F	A%	F
Cyanophyta				
<i>Aphanocapsa</i> sp.	2,57	1,2,4	1,00	2,3
<i>Calothrix parietina</i> Thuret 1886			0,50	2
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen 1839	1,30	2		
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846	1,00	3	0,33	2,3
<i>Oscillatoria tenuis</i> Agardh ex Gomont 1892			0,67	2
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis et Komarek 1988	0,38	1–3		
<i>Tolypothrix distorta</i> Kützing 1843	0,00		0,33	2
Chrysophyta				
<i>Chrysococcus</i> sp.	3,45	1–3,6		
<i>Dinobryon bavaricum</i> O.E. Imhof 1890	8,08	1–6	0,27	1,4
<i>Dinobryon divergens</i> O.E. Imhof 1890	3,07	1–6	0,38	1,2,4
<i>Dinobryon suecicum</i> Lemmermann 1904	0,38	1,0		
<i>Kephyrion spirale</i> (Lackey) Conrad 1939	3,27	1–6		
<i>Kephyrion ovum</i> Pascher 1913	12,95	1–6		
<i>Mallomonas akrokomos</i> Ruttner 1913	0,37	3,5,6	0,05	2
<i>Mallomonas crassisquama</i> (Asmund) Fott 1962	0,32	1,2	0,00	
Dinophyta				
<i>Peridinium aciculiferum</i> Lemmermann, 1900	0,15	3	0,13	2,4
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg 1832	2,20	1–6	0,30	2,4
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann 1899	0,22	2,0	0,00	
Bacillariophyta				
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing 1833			2,87	1,3,6
<i>Asterionella formosa</i> Hassall 1850	9,47	1–6	0,80	1–6
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	2,83	3	2,08	1–4
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838			0,25	6
<i>Cymbella elginensis</i> Krammer 1981			1,10	2,5,6
<i>Cymbella silesiaca</i> Blesch 1864			0,33	2,3
<i>Diatoma tenuis</i> Agardh 1812	2,22	1,2		
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Ehrenberg 1864			4,58	2–6
<i>Eunotia serra</i> var. <i>diadema</i> (Ehrenberg) Patrick 1958			0,08	3
<i>Eunotia septentrionalis</i> Østrup 1897	0,58	6		
<i>Fragilaria arcus</i> (Ehrenberg) Cleve 1898			1,83	2,4
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres 1925 var. <i>capucina</i>			4,00	1,2,4,5
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>amphicephala</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1844			0,17	5
<i>Fragilaria construens</i> (Ehrenberg) Grunow 1868			0,33	2
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980			1,45	2–6
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni 1891	0,10	5	0,62	5,6
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing 1849			5,53	1–6
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg 1832			5,95	
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg 1832			0,33	
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh 1831			0,50	1,2
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844			0,12	2,4
<i>Navicula gottlandica</i> Grunow 1880			0,33	2
<i>Navicula menisculus</i> Schoemann 1867			0,02	1
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing 1844			0,02	2
<i>Navicula</i> sp.	0,75	5	0,50	5,6
<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve 1894			0,02	4
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith 1853	0,20	1		
<i>Nitzschia linearis</i> W. Smith 1853			0,78	1,2,4,6
<i>Nitzschia</i> sp. 1	2,27	1–5	0,33	4,6

Таксоны // Taxa	pl		per	
	A%	F	A%	F
<i>Nitzschia</i> sp. 2	0,28	3		
<i>Nitzschia</i> sp. 3	0,07	3		
<i>Nitzschia</i> sp. 4	0,07	3		
<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst 1853			0,17	3
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve 1891			0,17	3
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg 1843			0,17	6
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing 1844	8,73	1–6	7,02	1–6
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth.) Kützing 1844	1,70	1–6	46,13	1–6
Euglenophyta				
<i>Euglena</i> sp	0,43	2	0,02	4
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F. Stein 1878	0,35	3	0,10	1,2
<i>Trachelomonas rugulosa</i> F. Stein 1878	0,07	3		
Chlorophyta				
<i>Chlamydomonas ehrenbergii</i> Gorozhankin 1891	1,22	3,4	0,07	4
<i>Chlamydomonas proboscigera</i> Korshikov 1927	0,33	6		
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0,87	1,0		
<i>Chlorella</i> sp.	0,72	1,2		
<i>Chlorococcus</i> sp.	0,58	1		
<i>Cladophora fracta</i> (O.F. Müller) Kützing 1843			4,00	3
<i>Closterium acutum</i> Brébisson 1848	0,15	3		
<i>Draparnaldia glomerata</i> (Vaucher) C. Agardh 1812				6
<i>Elakatothrix genevensis</i> (Reverdin) Hindák 1962	0,37	2,3		
<i>Lagerheimia citrififormis</i> (J.W. Snow) Collins 1909	0,20	1,0		
<i>Microspora amoena</i> (Kützing) Rabenhorst 1868			0,43	5,6
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová 1969	24,90	1–6	0,53	1–6
<i>Mougeotia</i> sp.			0,13	5
<i>Oedogonium</i> sp.			0,33	1
<i>Oocystis</i> sp.	0,52	1,2		
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson 1835	0,00		0,12	2
Cryptophyta				
<i>Cryptomonas</i> sp.	0,12	2		
<i>Rhodomonas</i> sp.	0,22	3		

Таблица 5

**Роль отделов водорослей в структуре фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per)
и в альгофлоре в целом в озере Хедо**

Table 5

**The role of algae divisions in the structure of phytoplankton (pl) and phytoperiphyton (per)
and in the algaflora in general in Lake Khedo**

Отделы // Divisions	pl		per		Альгофлора в целом // Total algaflora	
Cyanophyta	4(1)	9,3	5	9,8	7(1)	9,2
Chrysophyta	8(1)	18,6	3	5,9	8(1)	10,5
Dinophyta	3	7,0	2	3,9	3	3,9
Bacillariophyta	13(5)	30,2	31(2)	60,8	37(5)	48,7
Euglenophyta	3(1)	7,0	2(1)	3,9	3(1)	3,9
Chlorophyta	10(4)	23,3	8(2)	15,7	16(6)	21,1
Cryptophyta	2(2)	7,0	-	0,0	2(2)	2,6
Альгофлора в целом // Total algaflora	43(14)	100,0	51(5)	100,0	76(16)	100,0

*Примечание. В скобках количество таксонов, определенные до рода.

*Note. In parentheses, the number of taxa determined before the genus.

В планктоне идентифицировано 29 видов водорослей, еще 14 форм определены до рода. Наиболее разнообразны в планктоне были диатомовые и зеленые водоросли (53,4% от общего числа видов), что типич-

но для малых водоемов региона [5]. Средние значения численности и биомассы фитопланктона (табл. 6) на исследованных участках также сходны с ранее отмеченными в водоемах Карелии [8].

Таблица 6

Основные показатели структуры фитопланктона озера Хедо: St – станции, Sp – число видов, H – индекс Шеннона; A – численность; B – биомасса, Σ Хл – хлорофилл a

Table 6

The main indicators of the structure of the phytoplankton of Lake Khedo: St – stations, Sp – the number of species, H – the Shannon index; A – abundance; B – biomass, Σ Cl – chlorophyll a

St	Sp	H*	A,		B,		Σ Хл, мг/м ³ mg/m ³
			10 ⁴ кл/л (Cell/L)	Доминирующие виды // Dominant species	г/м ³ g/m ³	Доминирующие виды // Dominant species	
1	22	2,7	17,1	<i>Dinobryon bavaricum</i> , <i>Asterionella formosa</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,27	<i>Dinobryon bavaricum</i> , <i>Peridinium cinctum</i>	3,71
2	23	2,5	29,5	<i>Monoraphidium contortum</i>	0,24	<i>Peridinium cinctum</i> , <i>Peridinium inconspicuum</i>	4,87
3	25	2,5	46,9	<i>Aulacoseira italica</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,44	<i>Aulacoseira italica</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Chlamydomonas ehrenbergii</i>	4,75
4	13	2,3	15,0	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,14	<i>Dinobryon bavaricum</i> , <i>Peridinium cinctum</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Chlamydomonas ehrenbergii</i>	4,29
5	17	2,1	38,5	<i>Kephyrion ovum</i> , <i>Asterionella formosa</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,32	<i>Dinobryon bavaricum</i> <i>Peridinium cinctum</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>	4,34
6	14	2,0	49,5	<i>Kephyrion ovum</i> , <i>Asterionella formosa</i> <i>Monoraphidium contortum</i>	0,24	<i>Dinobryon bavaricum</i> <i>Peridinium cinctum</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i>	4,87

*Примечание. Индекс Шеннона (H) здесь и в таблице 7 рассчитывали по численности.

*Note. The Shannon index (H) here and in Table 7 was calculated from the abundance

Фитоперифитон в озере более разнообразен (табл. 7), но и его структуру определяют виды в той или иной пропорции, постоянно присутствующие в водоемах региона. Всего в обрастаниях определен 51 вид водорослей. Видовое богатство альгофлоры пе-

рифитона также определяют диатомовые водоросли. Среди которых доминирует *Tabellaria flocculosa*, вид типичный для олиготрофных водоемов европейского севера [18].

Таблица 7

Основные показатели структуры фитоперифитона озера Хедо: St – станции, Sp – число видов, H – индекс Шеннона; A – численность; B – биомасса, Σ Хл - хлорофилл

Table 7

The main indicators of the structure of the phytoperiphyton of Lake Khedo: St – stations, Sp – number of species, H – Shannon index; A – abundance; B – biomass

St	Sp	H	A		B	
			10 ⁴ кл/см ² // Cell/cm ²	Доминирующие виды // Dominant species	мкг/см ² // µg/cm ²	Доминирующие виды // Dominant species
1	15	1,44	6,1	<i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Gomphonema parvulum</i> ,	2,1	<i>Tabellaria flocculosa</i>
2	30	2,66	2,2	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> ,	0,3	<i>Tabellaria flocculosa</i>
3	18	2,17	1,7	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Gomphonema truncatum</i> , <i>Cladophora fracta</i>	5,2	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Cladophora fracta</i>
4	20	1,41	7,3	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> ,	1,3	<i>Tabellaria flocculosa</i>
5	14	1,09	5,4	<i>Tabellaria flocculosa</i>	1,7	<i>Tabellaria flocculosa</i>
6	19	2,24	4,7	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i>	6,5	<i>Tabellaria flocculosa</i> , <i>Eunotia pectinalis</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i>

Общим для двух типов альгоценозов является таксономическая однородность группировок. Основное фитоценотическое значение и в группировках фитопланктона и фитоперифитона имеет небольшое число видов при значительной выравненности структуры. Структура альгоценозов сформирована видами, заметно различающимися по размеру: от нескольких микрон до нескольких сантиметров. Поэтому списки видов, доминирующих по численности и биомассе, заметно различаются. Диаграмма, построенная по

результатам кластерного анализа (рис. 2) подчеркивает специфичность структуры фитопланктона и фитоперифитона в озере. Различия в структуре исследованных альгоценозов не удивительно, так как только один вид (*Tabellaria fenestrata*) входит в состав их доминирующих комплексов. Оба кластера (А и В) состояли из шести сайтов, объединяющих соответственно станции отбора проб фитопланктона и фитоперифитона. Причем пробы, отобранные у садков, оказались в одних сайтах, соответственно А1 и В1.

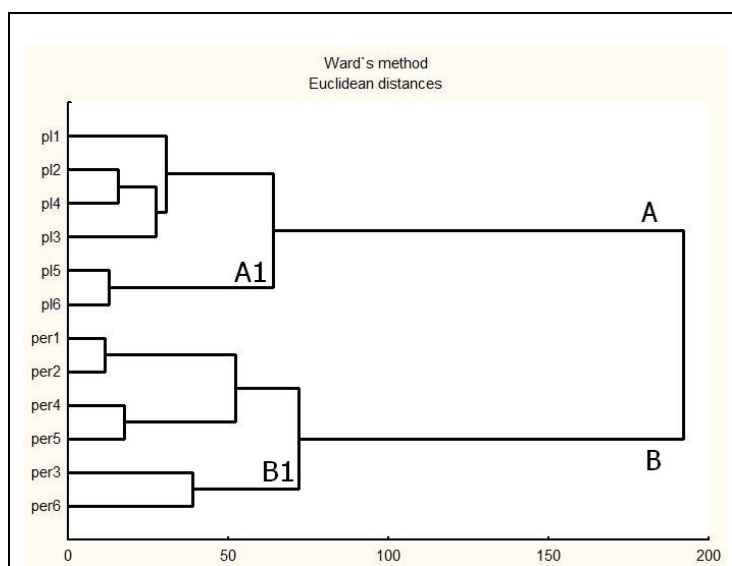


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава фитопланктона (pl) и фитоперифитона (per) в озере Хедо

Fig. 2. Dendrogram of the similarity of the species composition of phytoplankton (pl) and phytoplankton (per) in Lake Khedo

Многие из выявленных таксонов (59 – около 78 %) являются индикаторами одной или нескольких характеристик среды. Наибольший биоиндикационный вклад принадлежит диатомовым (32 таксон) и зеленым (10 таксонов) водорослям.

Большая часть выявленных в альгофлоре озера видов это планктонные формы (35, или 60,3% от общего количества таксонов). К бентосным видам относятся 7 (12,1%), а к обрастателям 16 (27,6%) таксонов.

По приуроченности к температурному режиму преобладали, индифферентны (66,7%). Единично отмечены эвритермные, теплолюбивые и холодноводные виды.

Индикация отношения к динамике водных масс и кислородному режиму показала, что состав индикаторных видов на две трети (66,7%) сформирован обитателями вод с замедленным течением, умеренно насыщенных кислородом. Видов, предпочитающих богатые кислородом проточные воды, а также обитателей стоячих вод выявлено значительно меньше, соответственно 20,0 и 13,3%.

Среди видов – индикаторов кислотности водной среды преобладали алкалофилы (т.е. широко распространенные при pH более 7,0) и индифференты (по 38,7%). Число ацидофилов значительно меньше (22,6%).

По отношению к минерализации 62,8% перечня индикаторных видов – это индифференты, т.е. типичные обитатели пресных вод. Галофилы, предпочитающие воды с большой минерализацией, составляли только 16,3% видов – индикаторов солености воды. Доля галофобов более заметна (20,9%).

Согласно системе Ватанабе (Баринава и др., 2019) по отношению к степени загрязнения воды органическими веществами преобладали эврисапробы (65,2% индикаторных видов) – водоросли, устойчивые к органическому загрязнению, обычно развивавшиеся в слабо- и умеренно загрязненных водах. Обитателей чистых и слабо загрязненных вод – сапроксенов – значительно меньше (30,4%). Сапрофилы, преобладающие в водах с сильным органическим загрязнением, наименее заметны – 4,3%.

Значительное число индикаторов сапробности позволило корректно провести сапробиологический анализ альгоценозов. В составе фитопланктона и фитоперифитона выявлены виды индикаторы сапробности – от ксеносапробной до полисапробной (табл. 8).

Обитатели чистых вод – ксено-, олигосапробионты и обитатели переходной между ними (χ -о, о- χ) зоны – выявлены в количестве 24 и формируют 46,1% от общего числа найденных видов-индикаторов сапробности. К обитателям загрязненных и грязных вод отно-

сится всего 1 вид (*Chlamydomonas ehrenbergii*). Более половины индикаторов сапробности (52%) являются видами с высокой степенью толерантности к содер-

жанию органических веществ и могут успешно вегетировать как в чистых, так и в насыщенных органикой водах.

Таблица 8

Виды индикаторы-сапробности в фитопланктоне и фитоперифитоне озера Хедо

Table 8

Abundance of saprobity indicator species in the phytoplankton and phytoperiphyton of Lake Khedo

Сообщество // Community	Виды индикаторы-сапробности // Saprobity indicator species									Всего // Total species
	χ	χ - α , α - χ	α	χ - β	α - β , β - α	β	β - α	α - α	α	
Фитопланктон // Phytoplankton	1		6	1	8	3		5	1	25
Фитоперифитон // Phytoperiphyton	7	5	10	3	5	4	1	7	1	
Всего видов // Total species	5	5	14	3	11	5	1	7	1	52
%	9,6	9,6	26,9	5,8	21,2	9,6	1,9	13,5	1,9	100,0

*Примечание. χ – ксеносапробионт; χ - α – ксено-олигосапробионт; α - χ – олиго-ксеносапробионт; α – олигосапробионт; χ - β – ксено-бета-мезосапробионт; α - β – олиго-бета-мезосапробионт; β - α – бета-олигосапробионт; α - α – олиго-альфа-мезосапробионт; β – бета-мезосапробионт; β - α – бета-альфа-мезосапробионт; α – альфа-мезосапробионт.

*Note. χ – xenosaprobiont; χ - α – xeno-oligosaprobiont; α - χ – oligo-xenosaprobiont; α – oligosaprobiont; χ - β – xeno-beta-mesosaprobiont; α - β – oligo-beta-mesosaprobiont; β - α – beta-oligosaprobiont; α - α – oligo-alpha-mesosaprobiont; β – beta-mesosaprobiont; β - α – beta-alpha-mesosaprobiont; α – alpha-mesosaprobiont.

Разнообразие в альгофлоре α - β , β , и β - α -сапробов отражает достаточно высокую концентрацию в озере органического вещества, и высокий потенциал самоочищающей способности водоема. Однако поскольку среди доминантов и субдоминантов преобладают оли-

госапробы, неудивительно, что значения индексов указывают на принадлежность озера к олигосапробной зоне (Табл. 9). На это же указывают значения трофического диатомового индекса.

Таблица 9

Значения индексов сапробности, рассчитанные по фитопланктону и фитоперифитону для озера Хедо

Table 9

Saprobe index values calculated from phytoplankton and phytoperiphyton for Lake Khedo

Сообщество // Community	Индекс // Index	Значение // Meaning
Фитопланктон // Phytoplankton	P&B	1,4–1,6
	TDI	2,2–2,6
Фитоперифитон // Phytoperiphyton	P&B	0,7–0,9
	TDI	1,9–2,7

Следует, учитывать, что в водоемах происходит сезонная флуктуация видового богатства и смена основных альгологических комплексов. Отбор проб был выполнен в начале июня, а на севере Карелии это еще весна. Для весенней альгофлоры в большинстве водоемов характерно доминирование ксено- и олигосапробов [12, 13, 17].

Заклучение

Ранее нами уже исследовалась структура альгоценозов при оценке состояния водных экосистем с товарным выращиванием форели и их результаты были позже обобщены. Было показано, что на первом этапе таксономическое разнообразие в водных экосистемах возрастает за счет внедрения широковалентных видов. Однако в дальнейшем структура альгоценозов упрощается и видовое разнообразие снижается. Было отмечено также, что галофобно-ацидофильно-

индифферентный комплекс, типичный для альгофлоры обогащается алкалофильными и галофильными видами, предпочитающими повышенное содержание органических веществ. Одновременно наблюдается замещение арктоальпийских видов бореальными и космополитами [11].

Озеро Хедо характеризуется низкой освоенностью водосбора. Точечные источники загрязнения в бассейне озера отсутствуют. Каких-то изменений в химическом составе воды, которые можно однозначно связать с деятельностью фермы, не выявлено. Дополнительные биогены поступающие с кормами благодаря высокой проточности и ветровой эрозии могут выноситься из озера.

Таксономический состав исследованных сообществ и набор доминирующих видов в озере типичен для водоемов республики Карелии. Он определяется в первую очередь географическим положением исследу-

дованного региона. Все определенные в составе группировок виды в той или иной пропорции постоянно встречаются в водоемах региона, что указывает на определяющую роль климата в формировании альгоценозов. Выявленная таксономическая структура, когда основу списка составляют диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли, отражает специфику альгофлоры водоемов Карелии [5]. Хотя непродолжительность периода наших наблюдений не позволяет считать список видов достаточно полным. Дальнейшие более детальные исследования помогут дополнить видовой состав и выявить сезонную динамику видовой структуры, численности и биомассы сообществ.

Численность и биомасса фитопланктона, фитоперифитона, и концентрация хлорофилла позволяют судить о достаточно высокой степени их развития в озере, жизненной активности и устойчивости, а трофический статус озера Хедо как промежуточный между слабо-олиготрофным и слабо-мезотрофным.

Географическим положением озера определяет соотношение эколого-географических групп водорослей. Самые многочисленные виды водорослей в планктоне и перифитоне на исследованных участках являются широко распространенными, индифферентными по отношению к большинству экологических факторов видами. Некоторое отличие от альгофлоры других водоемов региона связано с более высоким разнообразием алкалофилов в сравнении с ацидофилами. Ранее эта тенденция отмечалась нами при увеличении антропогенной нагрузки [19, 20]. Однако в озере Хедо может объясняться невысокой заболоченностью водосбора.

Пространственная неоднородность в структуре фитопланктона и фитоперифитона, связана с особенностями гидрологического режима в пелагиали и литорали озера.

Достаточно высокое разнообразие и индикаторные свойства водорослей исследованных сообществ, дают основания для получения надежных и адекватных оценок экологического состояния и качества воды водных экосистем. Судя по составу индикаторных видов, вода в озере условно чистая и пригодна для всех видов водопользования. Средние значения индексов сапробности не выходят за пределы показателей β - и α -сапробных зон и находились в пределах $1,98 \pm 0,02$ – $2,01 \pm 0,01$ и близки к отмечаемым ранее в водоемах не подвергаемых антропогенному влиянию.

Мы считаем целесообразным включение в программу мониторинга анализ типичных для внутренних водоемов гидробиоценозов. Тем более что определение ряда биотических показателей, наряду с традиционными абиотическими, уже предусмотрено нормативными природоохранными документами. Исследования планктона и перифитона рекомендуются для мониторинга окружающей среды, поскольку это может снизить потребность в частых отборах проб воды и затратах на мониторинг.

Результаты проведенной работы показывают, что при подробном исследовании даже одного водоема, сочетающем изучение структуры альгоценозов наряду с гидрохимическим анализом, приоткрываются фундаментальные вопросы гидробиологии. Одновремен-

но расширяются наши представления о биоразнообразии альгоценозов и биоресурсном потенциале водоемов, накапливается необходимое количество материала для выявления основных подходов к оценке качества их вод. Они, несомненно, дополняют выводы, полученные при мониторинге базовых параметров среды: аммонийный азот, общий азот, минеральный фосфор, общий фосфор, кислород, взвешенные вещества, перманганатная окисляемость, pH, количество и качество используемого корма.

Сведения об авторском вкладе:

С.Ф. Комулайнен – проведение полевых исследований; идентификация водорослей в фитоперифитоне и составление списка видов; оценка обилия, разработка структуры статьи; написание выводов и результатов работы; вычитка и корректировка финального варианта публикации.

Ю.Л. Сластина – проведение полевых исследований; идентификация водорослей в фитопланктоне и составление списка видов; оценка обилия, подготовка первого варианта рукописи.

Contribution of the authors:

S.F. Komulaunen – carrying field works; identification of algae in phytoperiphyton and compilation of a list of species; abundance assessment; formulation of the structure of the paper; writing of the results of research; proofreading and correcting the final version of the paper.

J.L. Slastina – carrying field works; identification of algae in phytoplankton and compilation of a list of species; abundance assessment; writing of the results of research; preparation of the first version of the manuscript.

Список использованной литературы

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб.: История, 2017. 272 с.
2. *Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 г. / под ред. А.Н. Громцев (главный редактор), О.Л. Кузнецов, А.Е. Курило, Е.В. Веденцова. Петрозаводск: Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия, 2021. 277 с.
4. *Комулайнен С.Ф.* Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 43 с.
5. *Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г.* Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 78 с.
6. *Лозовик П.А., Платонов А.В.* Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // *Геоэкология*. 2005. № 6. С. 527–532.
7. *Лозовик П.А., Шкиперова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В.* Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химиче-

ским показателям // Труды КарНЦ РАН. № 9. 2006. С. 130–143.

8. Озера Карелии. Справочник / под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 463 с.

9. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

10. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / под ред. Боевой Л.В. Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 1044 с.

11. Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Кучко Я.А., Комулайнен С.Ф., Савосин Е.С. Барышев И.А. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2018. 127 с.

12. Чекрыжева Т.А., Калинин Н.М. Структура и сезонная динамика фитопланктонных сообществ в открытой и закрытой литорали Онежского озера (Пиньгуба, Пухтинская бухта) // Труды КарНЦ РАН. № 12. 2016. С. 83–95. <http://dx.doi.org/10.17076/ecco363>

13. Anissimova O.V., Kezlya E.M. Season Dynamics of Algal Dominant Community in Small Lakes of Central Chernozem Nature Reserve (Forest Steppe Zone) // Moscow University Biological Sciences Bulletin, 2013, Vol. 68 (3) P. 104–107. <https://doi.org/10.3103/S0096392513020028>

14. Barinova S. Essential and Practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality Assessment. // International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 2017. Vol. 2 (3). P. 79–89. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2017.02.555588>

15. Honkanen T., Helminen H. Impacts of Fish Farming on Eutrophication: Comparisons among Different Characteristics of Ecosystem // Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. 2000. Vol. 85(5–6). P. 673–686. <https://doi.org/10.1002/1522-2632>

16. Kelly M. G., Whitton B. A. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers // J. // Journal of Applied Phycology. 1995. Vol. 7. №. 4. P. 433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>

17. Komulaynen S. Short- and long term changes in phytoplankton structure and production in small streams of Eastern Fennoscandia // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2007. Vol. 36(1). P. 189–198.

18. Komulaynen S. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. // Studi Trentini di Scienze Naturali. 2009. №. 84. P. 153–160.

19. Komulaynen S., Morozov A. Variations in phytoplankton structure in small rivers flowing over urbanized areas // Water Resource. 2007. Vol. 34(3). P. 332–339.

20. Komulaynen S., Chekryzheva T. Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization // Botanica lithuanica. 2013. Vol. 19(1). P. 57–66. <https://doi.org/10.2478/botlit-2013-0010>

21. Lorenzen C.J., Jeffrey S.W. Determination of chlorophyll in seawater // UNESCO Technical Papers in Marine Sciences. Paris: UNESCO, 1980 № 35. P. 3–20.

22. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1995. Bd. 96 (18). 604 p.

23. SCOR-UNESCO Working Group №17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966. P. 9–18.

24. Shannon C.E., Weaver W. A mathematical theory of communication. Urbana: The University of Illinois Press, 1963. 117 p.

25. Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. I. 1973. № 7. 218 p.

26. Suomen Standardisoimisliitto. Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki. 1990. 134 p.

27. K Whitton B.A. Use of Benthic Algae and Bryophytes for Monitoring Rivers // Journal of Ecology and Environment. 2013. 36(1). P. 95–100. <https://doi.org/10.5141/eoenv.2013.012>

References

1. Lozovik, P., Efremenko, N. (eds.), 2017. *Analiticheskie, kineticheskie i raschetnihe metodih v gidrokhimicheskoj praktike* [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice] Saint Petersburg, Nestor-Istoriya. 272 p. (in Russian).

2. Barinova, S., Medvedeva, L. and Anissimova, O., 2006. *Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayuthei sredy* [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Tel-Aviv, Pilies Studio. 498 p. (in Russian).

3. Gromcev, A., Kuznecov, O., Kurilo, A. and Vedencova, E., (eds.), 2021. *Gosudarstvenniy doklad o sostoyanii okruzhayuthej sredih Respubliki Kareliya v 2020 g.* [State Report on the State of the Environment of the Republic of Karelia in 2020]. Petrozavodsk, Ministerstvo prirodnihk resursov i ehkologii Respubliki Kareliya. 277 p. (in Russian).

4. Komulainen, S., *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu fitoperifitona v malykh rekakh* [Methodological Recommendations for Studying Phytoplankton in Small Rivers]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 2003. 43 p. (in Russian).

5. Komulaynen, S., Chekryzheva, T. and Vislyanskaya, I., 2006. *Al'goflora ozer i rek Karelii. Taksonicheskiy sostav i ekologiya* [Algaflora of lakes and rivers of Karelia. Taxonomic composition and ecology]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 78 p. (in Russian).

6. Lozovik, P. and Platonov, A. 2005. Determining regional maximal allowable concentrations of pollutants: case study of Karelian hydrographic region. *Geoekologiya*. (6), pp. 527–532.

7. Lozovik, P., Shkiperova, O., Zobkov, M. and Platonov, A., 2006. Geochemical features of Karelian surface waters and their classification by chemical characteristics. *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. (9), Petrozavodsk, pp. 130–143.

8. Filatov, N. and Kukharev, V., (eds.), 2013. *Ozera Karelii. Spravochnik* [Lakes of Karelia. Reference Book]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 464 p. (in Russian).

9. Abakumov, V., (ed), 1983. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii* [Guide on the Methods of Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments], Leningrad, Gidrometeoizdat. 239 p. (in Russian).
10. Boeva, L., (ed), 2009. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. Ch. 1* [Guide on the Chemical Analysis of Continental Surface Water. Part 1]. Rostov on Don, NOK, 1044. 239 p. (in Russian).
11. Sterligova, O., Il'mast, N., Kuchko, Ya., Komulainen, S. and Savosin, E., 2018. *Sostoyanie presnovodnykh vodoemov Karelii s tovarnym vyrashchivaniem raduzhnoi foreli v sadkakh* [State of freshwater reservoirs in Karelia with commercial cultivation of rainbow trout in cages]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS. 127 p. (in Russian).
12. Chekryzheva, T. and Kalinkina, N., 2016. Structure and seasonal dynamics of phytoplankton community in the opening and closing of the littoral areas of the Onega Lake (bay Pinguba, bay Puchtinskaya). *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, (12), pp. 83–95. <http://dx.doi.org/10.17076/eco363> (in Russian).
13. Anissimova, O., Kezlya, E., 2013. Season Dynamics of Algal Dominant Community in Small Lakes of Central Chernozem Nature Reserve (Forest Steppe Zone) *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 68(3), pp. 104–107. https://doi.org/10.3103/S00963925_13020028
14. Barinova, S., 2017. Essential and Practical Bioindication Methods and Systems for the Water Quality Assessment. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2(3), pp. 79–89. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2017.02.555588>
15. Honkanen, T. and Helminen, H., 2000. Impacts of Fish Farming on Eutrophication: Comparisons among Different Characteristics of Ecosystem. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 85(5-6), pp. 673–686. <https://doi.org/10.1002/1522-2632>
16. Kelly, M. and Whitton, B., 1995. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7 (4), pp. 433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>
17. Komulaynen, S., 2007. Short- and long term changes in phytoplankton structure and production in small streams of Eastern Fennoscandia *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 36(1), pp. 189–198.
18. Komulaynen, S., 2009. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia. *Studi Trentini di Scienze Naturali*, (84), pp. 153–160.
19. Komulaynen, S. and Morozov, A., 2007. Variations in phytoplankton structure in small rivers flowing over urbanized areas. *Water Resource*, 34(3), pp. 332–339.
20. Komulaynen, S. and Chekryzheva, T., 2013. Response of algal communities to anthropogenic changes in mineralization. *Botanica lithuanica*, 19(1), pp. 57–66. <https://doi.org/10.2478/botlit-2013-0010>
21. Lorenzen, C., and Jeffrey, S., 1980. Determination of chlorophyll in seawater. *UNESCO Technical Papers in Marine Sciences*, (35). Paris, UNESCO. pp. 3–20.
22. Pantle, R. and Buck, H., 1995. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach*, Bd. 96. 18. 604 p.
23. SCOR-UNESCO Working Group №17. Determination of photosynthetic pigments in sea water Monographs on Oceanographic Methodology. Paris, UNESCO. 1966. pp. 9–18.
24. Shannon, C. and Weaver, W. 1963. A mathematical theory of communication. Urbana, The University of Illinois Press. 117 p.
25. Sladeczek, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Achieves für Hydrobiologie - Beiheft Ergebnisse der Limnologie*. 7 (1), pp. 1–218.
26. Suomen Standardisoimisliitto. Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki. 1990. 134 p.
27. Whitton, B., 2013. Use of Benthic Algae and Bryophytes for Monitoring Rivers. *Journal of Ecology and Environment*. 36 (1), pp. 95–100. <https://doi.org/10.5141/ecoenv.2013.012>

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 03.04.2022; принята к публикации 07.04.2022.

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 03.04.2022; accepted for publication 07.04.2022.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

УДК 504.75+631.4; 504.4.054

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>

**Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород
в районах угледобычи**

Валентина Сергеевна Артамонова¹, Светлана Борисовна Бортникова²

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ artamonovavs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8606-7975>

² bortnikovasb@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2395-7406>

Аннотация. Биологически продуктивные почвы – это невозобновляемый природный ресурс. Он формируется сотни лет под влиянием природных и антропогенных факторов почвообразования. Открытая добыча каменного угля сопровождается разрушением почв, вовлечением техногенных отходов в процессы гипергенеза и педогенеза, в том числе ускоренного почвообразования. В данном обзоре акцентируется внимание на современном состоянии проблемы экологии биологической рекультивации нарушенных земель, создании искусственных педонов на поверхности техногенных тел, в профиле которых гумусовый, или органогенный горизонт располагается на техногенном элювии. Он выполняет на начальных этапах почвообразования функцию подстиляющей породы, а не материнской (почвообразующей). Его характерной особенностью является присутствие тяжёлых, редкоземельных, радиоактивных металлов и металлоидов, поставщиком которых являются минералы основных вскрышных и вмещающих пород угольных отложений (алевролиты, аргиллиты, песчаники). В этой связи, целесообразно включать искусственно созданные почвоподобные образования, в которых присутствует привнесённый извне плодородный слой для улучшения корневого питания растений, в мониторинг их эколого-токсикологического статуса, учитывать валовое содержание тяжёлых металлов вокруг корней, в наземной биомассе и биологическую активность. В обзоре приводятся современные взгляды на биогенность и её роль в образовании плодородия почв. Подчёркивается необходимость разработки стратегии по комплексному изучению экологии рекультивации почв в условиях техногенеза, что важно для формирования качественных рекультивационных услуг.

Ключевые слова: вскрышные и вмещающие породы, биологическая рекультивация, почвоподобные образования

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН № 012-031-1700316-9 и ИНГГ СО РАН № 0266-2022-0028 по бюджетному финансированию Министерства науки и образования Российской Федерации.

Для цитирования: Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Некоторые аспекты экологии рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>

SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas

Valentina S. Artamonova¹, Svetlana B. Bortnikova²

¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the SB RAS, Novosibirsk, Russia

¹ artamonovavs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8606-7975>

² bortnikovasb@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2395-7406>

Abstract. Biologically productive soils are a non-renewable natural resource. It has been formed for hundreds of years under the influence of natural and anthropogenic factors of soil formation. Open-pit coal mining is accompanied by soil destruction, the involvement of man-made waste in the processes of hypergenesis and pedogenesis, including accelerated soil formation. This review focuses on the current state of the problem of ecology of biological reclamation

of disturbed lands, special attention is paid to the creation of artificially created pedons on the surface of technogenic bodies, in the profile of which the humus or organogenic horizon is located on technogenic eluvium. It performs at the initial stages of soil formation the function of the underlying rock, and not the parent (soil-forming). Its characteristic feature is the presence of heavy, rare-earth, radioactive metals and metalloids, the supplier of which are minerals of the main overburden and host rocks of coal deposits (siltstones, mudstones, sandstones). In this regard, it is advisable to include artificially created soil-like formations in which there is a fertile layer introduced from the outside to improve the root nutrition of plants, monitoring their ecological and toxicological status, taking into account the gross content of heavy metals around the roots, in terrestrial biomass and biological activity. The review presents modern views on biogenicity and its role in the formation of soil fertility. The necessity of developing a strategy for a comprehensive study of the ecology of soil reclamation in the conditions of technogenesis is emphasized, which is important for the formation of high-quality reclamation services.

Key words: overburden and host rocks, biological reclamation, soil-like formations

Acknowledgments: the work was done within the framework of the state task of Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS No. 012-031-1700316-9 and Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the SB RAS No. 0266-2022-0028 on budget financing of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation.

For citation: Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2022. Some aspects of the ecology of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57> (in Russian).

Введение

В России наибольшее количество отходов производства и потребления сосредоточено на территории Сибири. В 2017 г. в Сибирском федеральном округе их доля достигла 71% общего количества по стране. Такой исход обусловлен добычей каменного угля в Кемеровской области - основном угледобывающем регионе Российской Федерации [13]. В СФО отходы представлены преимущественно вскрышными породами, которым принадлежит 70% общего объёма отходов. Отчуждение земель под складирование «пустых пород» и котлованы, которые остаются после выемки пород и полезных ископаемых – это раны, нанесённые природе людьми, техникой, которые не могут залечиваться сами собой [36]. Антропогенная трансформация природной среды в районах угледобычи довольно разнообразна, её последствия не всегда предсказуемы. Поверхность отвалов может не только пылить, но и «ползти», вследствие чего под минеральными массами оказываются продуктивные почвы. Например, на угольном разрезе «Заречный» в Кемеровской области объём сместившейся массы в результате оползня, наблюдаемого в 2015 г., составил 27,5 млн м³, под которым оказались погребёнными около 120 га [22]. По некоторым данным площадь нарушенных земель, судя по космическим снимкам, достигла в Кузбассе 40%. Поэтому проведение рекультивационных работ неизбежно, как и проведение эколого-токсикологического состояния рекультивированных объектов в дополнение к экологической оценке историко-природных особенностей природно-антропогенных экосистем, природно-антропогенных режимов, комфортности среды обитания человека [9]. В настоящее время темпы биологической рекультивации отстают от скорости возникновения техногенных отходов. В ближайшей перспективе соотношение нарушенных и восстановленных земель, вероятно, не изменится, но востребованность в информации о возможностях ускорения достижения в них прежнего уровня плодородия, как и спрос на биорекультивационные услуги, увеличится.

Наиболее распространённым способом возобновления плодородия почв является привнос лессовид-

ных субэкральных суглинков, обогащенных карбонатами, расположенных над угленосными пластами. Они относятся к V-му классу опасности, считаются потенциально-плодородными породами, рассматриваются, как почвоулучшители. Но при выемке угля в суглинках оказываются вмещающие породы (алевролиты, аргеллиты, песчаники и др.), углистые фрагменты, которые могут содержать потенциально токсичные металлы и металлоиды.

Любой техногенный объект рекультивации – это целостный природный территориальный комплекс со сложными внутренними взаимосвязями между образующими его компонентами: горными породами, атмосферой и биотой [11], поэтому сведения о благополучии рекультивационного корнеобитаемого горизонта почвоподобных образований и формировании в нём биогенности, как основы плодородия, представляют большой интерес.

В данном обзоре мы акцентировали внимание на некоторых аспектах современного состояния проблемы повышения продуктивности нарушенных земель, преимущественно на участках «землевание». Уделено внимание роли подстиляющей толщи в искусственно созданных почвоподобных образованиях, о которой в литературе информации немного, том числе из-за недостаточной изученности последствий привноса гумусированного слоя. Следует сказать, что создание таких объектов экономически и организационно – дело сложное и затратное, поэтому широко не распространено в отличие от облесения, хотя и при таком исходе существует немало открытых вопросов. Изучение экологии рекультивации нарушенных земель и состояния искусственно созданных педонов в районах интенсивной добычи угля, чрезвычайно актуально. В свою очередь, недостаток обобщённой информации по данному вопросу послужил основанием для аналитического обзора.

Обсуждение

История вопроса и терминология. Исследования экологии рекультивации были продиктованы 45 лет тому назад, когда на государственном уровне перед отечественной наукой была поставлена задача – раз-

работать «экологические стандарты» на комплекс определённых условий природной среды, который должен быть восстановлен или создан заново на нарушенных землях горными работами [28]. Для её решения в разных регионах СССР (Сибири, на Урале, в Донбассе и других) были организованы научные коллективы, которые занимались разработкой методологии и фундаментальных основ рекультивации нарушенных земель в разных природных зонах страны. Теоретические исследования почвообразования в техногенных ландшафтах стали приобретать экологический характер. В центре внимания почвоведов, ботаников, физиологов, микробиологов оказались события, происходящие вокруг корней растений регенерационных биогеоценозов. Термин «регенерационные» биогеоценозы был введён для биоценозов, возникающих при самозарастании послепромышленных земель, так и в итоге биологического этапа рекультивации, находящихся в условиях «открытого общения со смежными природными и культурными ландшафтами» [37]. В свою очередь, выявление признаков почвоподобия в таких биогеоценозах послужило основанием для появления понятий «молодые», «инициальные» почвы, сибирскими почвоведомы была разработана классификация биогенно – неразвитых почв, или собственно почв, профили которых находятся на различных начальных стадиях формирования (эмбриозёмы), либо на различных стадиях профилеобразования (технозёмы) [12, 24]. Московские представители научной школы почвоведов относят подобные образования на углеотвалах к петрозёмам, в том числе гумусовым [8], и, по их мнению, обе классификации согласуются с критериями существующей классификации почв России [20].

Почвоподобные тела, которые развиваются после проведения землевания, или привноса гумусированной толщи зрелых почв, нанесения слоя потенциально плодородных лессовидных карбонатных суглинков, либо почвоулучшителей органического происхождения почвоулучшающего действия, В.А. Андроханов и В.М. Курачёв [1] рассматривают, как искусственно созданные образования, или технозёмы. Термин «технозём» в редакции других авторов [15] распространяется только на техногенные почвы с насыщенным гумусированным почвенным слоем. По мнению Т.В. Прокофьевой и её коллег [30] технозёмы – это рекультивационные почвоподобные тела, или техногенные поверхностные образования группы натурфабрикатов. Б.Ф. Апарин и Е.Ю. Сухачёва [2] предлагают включить подобные образования с «землеванием» в новый таксон, в отдел «Интродуцированные почвы». В Международной реферативной базе данных (WRB) технозёмы занимают классификационное положение Technosols [45]. Учитывая существующую дискуссионность в классификации техногенных почвоподобных образований, мы в данной статье придерживаемся трактовки сибирских почвоведов.

Искусственно созданные почвоподобные образования. Формирование технозёмов с интродуцированным гумусированным слоем зрелых почв, либо привносом почвоулучшителей преследует цель вовлече-

ния техногенных элювиев вскрышных пород угольных отложений в сельскохозяйственное использование на основе создания рекультивационного корнеобитаемого слоя. Нужно признать, что этот способ предполагает использование лишь почв отчуждаемых земель. Снятый заранее гумусовый слой должен определённым образом сохраняться по мере востребованности, что опять же проблематично. Возникают вопросы: где, как, как долго, что происходит с такими массами на дневной поверхности при длительном хранении и др.

Почвенно-экологическая норма, или доза привнесимого гумусированного насыпного горизонта, для технозёмов нормальной должна составлять не менее 35 см, для технозёмов маломощных – меньше [18, 24]. В случае использования почвоулучшающего материала, например, ОСВ, доза составляет 10–30 см [10]. Соблюсти данные нормы на практике сложно.

Априори привнесённый плодородный слой почвы с наследуемыми биогеохимическими свойствами, гумусом и биотой какое-то время сохраняет свои прежние биологические свойства, в том числе активность микробиоценоза, его исходную потенцию к деструкционным процессам. Но продолжительность сохранности биологической активности и биогенности – показателя плодородия, пока неизвестна. Не исключено, что часть жизнедеятельного микробного населения интродуцированного почвенного слоя адаптируется к техногенной среде обитания, но сохранится ли её метаболическая способность накапливать вокруг корней органический углерод, азот, ростстимулирующие соединения и другие компоненты почвенного органического вещества, которые они синтезировали в прежней обстановке, не ясно. Известно, что качественный состав растительных остатков имеет большое значение для гетеротрофных микроорганизмов. Тем не менее, исходный ресурс растительного происхождения меняется, поскольку лидерами освоения техногенных субстратов оказываются чужеродные виды. Доказано, что антропогенная трансформация флоры Кемеровской котловины, выражается как в широком распространении аборигенных гемерофильных видов, так и в произрастании большого числа заносных видов [43]. Отмечаются факты биологического загрязнения, или вселения чужеродных, инвазивных видов растений (около 70) в естественные и близкие к ним сообщества.

Вопрос о биогеохимии почвоподобных образований разработан также слабо. Эколого-токсикологический анализ зрелых почв распространяется пока на сельскохозяйственные угодья ненарушенных территорий [27], входит в требования, предъявляемые к землям, рекультивированным после механического нарушения, нефтяного и солевого загрязнения [38]. По-видимому, он в будущем распространится и на технозёмы. Мотивация для этого существует. Сведения о химическом составе почвоподобных образований Кузбасса, КАТЭКа, Хакасии, оставленных после отсыпки почвенного слоя (20–30 см) под самозарастание [7], подтверждают присутствие некоторых токсичных элементов в больших концентрациях. Уста-

новлено, что за время, прошедшее с момента извлечения пород (30-40 лет назад), на их обломках фиксируются сульфиды: пирит, сфалерит, галенит, смайтит (сульфид железа и никеля). Выявлены минералогические преобразования – растворение сульфидов и разложение карбонатов (сидерита и доломита). При разложении сидерита железо осаждалось *in situ* в виде гетита или гидрогетита. На растворимость этих вторичных минералов влияет реакция среды: в ионную форму железо переходит лишь при pH менее 3. Поэтому в повоподобных образованиях он может сохраняться долгое время в кристаллизованном виде. В технозёмах Кузбасса обнаружены наиболее высокие значения K, Mn, Cu, Ni, V, As по сравнению с другими соседними регионами. Валовые концентрации Mn, Mo, Pb, Ni в эмбриозёмах и технозёмах оказались выше фоновых значений также в Кузбассе Почвopodobные образования КАТЭКа превышали фон по содержанию Sr, Хакасии – по Ca, Cu, Zn, Ni, Ti, Rb. Сообщается [25], что растения Кузнецкой котловины (Кузбасса) аккумулируют металлы. Наибольшие значения коэффициентов концентрации элементов обнаружены у аборигенных видов. По нашим данным [4] в корнеобитаемом слое злаковых и бобовых растений в эмбриозёмах и технозёмах Кузбасса схожего возраста обнаружены Mn, Cr, V, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Pb, Br, As и другие элементы. Кларковые значения превысили Y, Zr, Pb, Br, As. Присутствие Al, Ga, Ge, Bi, Fe, U и других элементов ранее отмечалось и в отвальных массах терриконов Донбасса [16]. Содержание химических элементов в отвальных породах антрацита (Горловское месторождение, Новосибирская обл.) послужило причиной загрязнения почв, прилегающих к водотоку, куда химические элементы мигрировали с дождевыми и снеготалыми водами [5]. В отвальных породах антрацитов Донбасса также присутствовало большое содержание водорастворимых форм токсичных элементов, поскольку геохимическое окисление пирита происходило с выделением свободной кислоты. Поэтому после выветривания породы достигли II и III-го класса опасности в отличие от исходных, которые были отнесены к IV-V – му классу. Выветрелые породы в районе добычи антрацита в Сибири (Горловское месторождение, Новосибирская область) [3] содержали высокие концентрации (больше кларковых значений) Rb, Y, Zr, Sn, Cd, As, превышающие таковые в лессовидном карбонатном суглинке и эмбриозёмах. Учитывая вышеизложенное, мы считаем, что мониторинг содержания потенциально токсичных металлов и металлоидов в почвopodobных образованиях, исключать не следует, особенно при формировании их на отходах метаморфизированных углей.

В тоже время использование отвальных пород со средним содержанием $C_{орг}$ (не менее 20%), в состав которых входят необходимые растениям микроэлементы (B, Zn, Ni, Mo, Mn, Cu, Co) предлагается включать во вторичное использование, когда по тем или иным причинам невозможно использовать плодородный слой зрелых почв. Обычно такой вариант создания технозёмов ориентирован на вторичное сельскохозяйственное лугово-пастбищное освоение. В Сиби-

ри испытаны различные субстраты в качестве органо-минерального компонента технозёмов: лессовидные карбонатные суглинки, торф, циалиты, сапропели, окисленные угли и другие. Добавки окисленного угля в карбонатные породы, углистый аргиллит, алевролит, песчаник способствуют прибавке фитомассы и веса семян ячменя [26]. Без окисленных углей рост растений снижался, что возможно, связано с присутствием в них пирита, содержание которого в минерале в некоторых пробах достигало 70 % [32]. Другой причиной этому могло быть присутствие токсичных металлов вмещающих пород. Сообщается, что в аргиллитах содержание Cu, Zn, Pb превышает предельно-допустимые концентрации (ПДК) в среднем 1.14–5.1 раза; в алевролитах содержание Cr, Zn, As, Pb, Ni увеличивается – в 1.3–9.4 раза; в песчаниках – пул Zn, Pb, Cr – 2–9.6 раза [16].

Для улучшения повышения плодородия на практике используются окисленные бурые угли Канско-Ачинского угольного бассейна и окисленные в пластах каменные угли Кузбасса. Они содержат высокие запасы органического вещества (до 70%), CaO и MgO – до 40% минеральной части, гуминовых кислот, близких по составу к почвенным [23, 31]. Существуют предложения по использованию дроблёных углеотходов в комплексе с органическими веществами (сухой остаток хозяйственных сточных вод) в разных пропорциях [34]. Перспективными считаются посевы сидеральных растений, семена которых предварительно должны быть обработаны гидрогелями и глиной [44]. Удобрительная ценность таких углеотходов и сидератов заключается в повышении биологической активности технозёмов и техногенно загрязнённых почв, содержания фракции гуминовых кислот [40].

Следует сказать, что поиск новых подходов повышения плодородия технозёмов не случаен. Широко распространённое использование потенциально плодородной породы – лессовидного карбонатного суглинка не всегда даёт положительный эффект, несмотря на то, что в них присутствуют элементы-биогены (C, N, P, S), происхождение которых обязано вовлечению суглинков в былые времена в почвообразование. Установлено [38], что в присутствии нанесённого слоя потенциально плодородной породы отсутствовала локализации корней сосны сибирской в верхней части профиля горизонтов на отвалах Кузбасса. Привнос потенциально плодородной породы (Кедровский разрез, Кемеровская обл.) не оказал положительного действия на сохранность живых ветвей в кроне сосны обыкновенной и устойчивость хвои против некрозов [21]. Поэтому для начального этапа лесосодействия отвалов шахты «Увальная» (Кемеровская обл.) было рекомендовано использование плодородного слоя почв в качестве этапа, предшествующего освоению быстрорастущими породами, тополем и ивой [22]. Не исключено, что в присутствии потенциально плодородной породы – лессовидного суглинка проявилась остаточная фитотоксичность и, возможно, дефицит корневых микосимбионтов в корнеобитаемом слое.

Фито-микробный ресурс образования биогенности почвоподобных образований. Развитие эмерджентного свойства – биологической продуктивности, или плодородия, [6] обязано растительности и педобиоте, в том числе микробному населению. Растительность – главный «инструмент» [19], с помощью которого достигается эффект рекультивации, особенно с участием видов – эдификаторов растительных сообществ, а также видов и сортов растений с высокой почвообразующей способностью [17]. Особый интерес представляют дернообразующие злаки (в целях сельскохозяйственной рекультивации), среди которых присутствуют устойчивые интродуцируемые виды и формы. Им присуща высокая жизнеспособность, формирование плотного травостоя и дернины в техногенных условиях. В списке присутствуют овсяница красная, овсяница луговая, овсяница альпийская, местные и интродуцированные формы мятлика лугового, мятлика альпийского, житняка гребенчатого, костра безостого, которые долгое время не рассматривались, как перспективные, для использования в биорекультивации угольных отвалов. Нужно отметить, что посев костра безостого в варианте с гумусогенным технозёмом, размещённом на угольном отвале Кузбасса, проявляет повышенную биологическую продуктивность травостоя [42]. Заслуживает также внимания поведение рыхлокустового злака – житняка гребенчатого в техногенных условиях: он сохраняется в посевах значительно дольше, чем в сообществах на зональных почвах, обеспечивая долговременную защиту техногенной поверхности от эрозии [41]. Предпочтение злаковым растениям отдаётся ещё и потому, что под ними достигается относительная зрелость гуминовой кислоты [35]. Тем не менее, качественный состав органического вещества, свойства гумуса, его устойчивость к окислительно-гидролитическим воздействиям, степень «зрелости» гуминовых кислот под разными растениями, произрастающими в технозёмах, изучены пока недостаточно.

Важную роль в гумификации и новообразовании органического углерода играют микроорганизмы [29, 33]. Первичные и вторичные метаболиты микроорганизмов являются неотъемлемой частью валового Сорг, которое наряду с органическим азотом и микробной биомассой являются «китами» потенциального плодородия [14]. Высказывается мнение [46], что система показателей гумусового статуса почв должна быть дополнена характеристиками, связанными с биогенностью и биоактивностью почвы. Биогенность – это заселённость почв жизнедеятельными микроорганизмами различного таксономического состава и различной метаболической активности. Биогенность присуща не только почвам, но и горным породам, минералам, льду, частицам пыли, в которых присутствуют остатки прошлых или современных организмов [48]. Почвоподобные образования – не исключение. Для их характеристики может оказаться информативным в этих целях содержание органического углерода и углерода твёрдых частиц органического вещества [46]. Биогенность характеризует биологическое происхождение веществ, которые образуются в процессе роста, смерти и разложения организ-

мов в прошлом или в настоящее время. Эти вещества обладают свойствами, которые не образуются абиотическими процессами [47]. В настоящее время показатели биогенности чаще всего включают количество разных микроорганизмов, содержание общей и активной микробной биомассы, количество ферментов и других метаболитов. Исследования формирования биогенности и биологической активности чрезвычайно перспективны в отношении понимания функционирования почвоподобных образований в техногенной обстановке, их становления от слаборазвитых аналогов до более зрелых биогенно развитых вариантов, а также в разработке доступных биотехнологий поддержания плодородия в техногенных условиях.

Заключение

Сибирский регион сохраняет лидирующие позиции среди угледобывающих регионов по объёму большого количества вскрышных пород, в составе которых присутствуют вмещающие породы. Их минералы содержат тяжёлые металлы и полуметаллы, концентрации которых могут превышать кларковые значения в технозёмах по прошествию 30–40 лет после рекультивации.

Следует отметить, что проблема восстановления территорий, нарушенных открытой добычей угля, сохранит свою остроту в будущем из-за высокого спроса на бурый, каменный уголь и антрацит. Проблема экологии рекультивации, несмотря на её 45-летний возраст, остаётся до конца не решённой. Мониторинг эколого-токсикологического состояния корнеобитаемого слоя, как и биогенности, на участках биологической рекультивации не проводится. Необходима разработка долгосрочной стратегии исследований экологии рекультивации, что позволит приблизиться к решению ускоренного восстановления продуктивности слаборазвитых почв в условиях техногенеза. Вероятно, сложившееся за многие десятилетия отношение к нарушенным землям, как экономически чрезвычайно затратным, необходимо менять на самых разных уровнях. Это, позволит активизировать комплексные фундаментальные исследования в направлении развития инновационных биотехнологий рекультивации и обеспечить выбор биорекультивационных услуг, повысит заинтересованность инвесторов и руководителей добывающих компаний в осуществлении восстановительных мероприятий на территориях с накопленным экологическим ущербом. Следует также решить вопрос о разработке единой субстантивно-генетической классификации почвоподобных образований, в том числе искусственно созданных, в техногенных ландшафтах, а также включении их в классификационную схему почв РФ, что обеспечит создание единого реестра биогенно неразвитых почв в районах недропользования с учётом генетической, географической, экологической сущности новообразования почв в современных техногенных ландшафтах.

Сведения об авторском вкладе

В.С. Артамонова – концепция исследования, написание исходного текста; итоговые выводы.

С.Б. Бортникова – систематизация сведений о химических элементах, вычитка финального варианта статьи.

Contribution of the authors

V.S. Artamonova – research concept, writing of the source text; final conclusions.

S.B. Bortnikova – systematization of information about chemical elements, proofreading of the final version of the article.

Список источников

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
2. Апарин Б.Ф., Сухачёва Е.Ю. Классификация городских почв в системе Российской и Международной классификации почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С.53–72.
3. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. О развитии *Azotobacter chroococcum* Beijerinck в старовозрастных отвалах антрацита // Теоретическая и прикладная экология. 2018. №1. С. 60–72.
4. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Биогеохимическая характеристика корнеобитаемого слоя травянистых растений на рекультивированных участках техногенных отходов // Вестник Пермского ун-та. Серия Биология. 2022. (в печати).
5. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Оплесневение почв техногенного загрязнения в районе угледобычи // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. №4 (26). С. 38–45.
6. Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения. М.: МАКС Пресс, 2015. 196 с.
7. Богуславский А.Е., Андроханов В.А., Колмагорова Ю.О., Ужогова А.А., Госсен И.Н., Саева О.П. Геохимический фон тяжёлых металлов в почвах и растениях на участках отвалов угольных месторождений // Известия АО РГО. 2021. № 2 (61). С. 40–50.
8. Брагина П.С., Герасимова М.И. Почвообразовательные процессы на отвалах горнодобывающих предприятий (на примере юга Кемеровской области) // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 45–51.
9. Бузмаков С.А. Введение в трансформацию природной среды // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. Вып. 4. С. 5–9.
10. Водолеев А.С., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю. Почвоулучшители: рекультивационный аспект. Новосибирск: Наука, 2007. 148 с.
11. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты. Пермь: ЕНИ ПГУ, 2010. 165 с.
12. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1992. С. 6–15.
13. Гильмундинов В.М., Тагаева Т.О., Бокслер А.И. Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ // Проблемы прогнозирования. 2020. №1. С.126–134.
14. Евдокимова Г.А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 17–24.
15. Етеревская Л.В., Донченко М.Т., Лехциер Л.В. Систематика и классификация техногенных почв // Растения и промышленная среда. Сб. науч. тр. Свердловск: УрГУ. 1984. 136. С. 14–21.
16. Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Верех-Белоусова К.И., Олейник Н.В. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 144 с.
17. Зуева Г.А. Дернообразующие злаки в условиях Сибири: биологические особенности и практическое применение. Новосибирск: Наука, 2001. 150 с.
18. Кандрашин Е.Р. Проведение сельскохозяйственной рекультивации земель, нарушенной при открытой добыче каменных углей в зонах степи, лесостепи и подтайги Сибири // Биологическая рекультивация земель в Сибири и на Урале. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1991. С. 5–28.
19. Кандрашин Е.Р., Баранник Л.П., Андроханов В.А. Биологический этап рекультивации, его хозяйственная и экологическая оценка, проблемы освоения // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1992. С. 98–149.
20. Классификация и диагностика почв России / под ред. Л.Л. Шишова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235с.
21. Колмогорова Е.Ю. Оценка устойчивости сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала угольного разреза по индексу флуктуирующей асимметрии // Природно-техногенные комплексы. Рекультивация и устойчивое развитие: материалы Международной научной конференции. Новосибирск, 10-15 июня 2013г. / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Окраина, 2013. С. 127–129.
22. Коломоец С.Ю. Совершенствование технологии проектных работ по восстановлению русел малых рек, нарушенных горными выработками (на примере Кемеровской области): Автореф. ...дис. канд. с.-х. наук: 06.01.02. Барнаул, 2018. 18 с.
23. Колосова М.М., Котова Г.Г., Просянников В.И. Органоминеральные удобрения на основе бурого угля // Агрехимический вестник. 1999. №4. С. 13–14.
24. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. №3. С. 255–261.
25. Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Агрофитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины. Новосибирск: ЗАО ИПП «ОФСЕТ», 2010. 226 с.
26. Левская Л.А., Рагим-заде Ф.К. Итоги вегетационных опытов по оценке плодородия вскрышных пород Кузбасса // Проблемы рекультивации земель в СССР. 1974. С. 145–148.
27. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л.М. Державиной, Д.С. Булгаковой. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.

28. Научно-технические проблемы рекультивации земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых в СССР. М.: АН СССР, 1977. 74 с.
29. Попов А.И., Коноплина Л.Ю., Комолкина Н.А., Прилепа, С.В., Сазанова Е.В., Холостов Г.Д. Компонентный состав почвенного органического вещества // *The scientific heritage*. 2021. № 65. С. 11–19.
30. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикина Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // *Почвоведение*. 2014. №10. С.1155–1164.
31. Просянкин В.И. Эффективность применения окисленных углей в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в лесостепной зоне Кемеровской области: Автореф. ...дис. канд. с-х наук: 06.01.04. Барнаул, 2007. 19 с.
32. Рагим-заде Ф.Ф. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их потенциального плодородия и пригодности для восстановления почвенного покрова: Дисс. канд. биол. Наук: 06.01.03. Новосибирск, 1977. 199 с.
33. Семёнов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.:ГЕОС, 2015. 233 с.
34. Спиридонова П.С. Кемеровские ученые определили растения, которые лучше всего подходят для рекультивации (28 марта 2017 г.). URL: <https://kuzbass85.ru/2017/03/28/kemerovskie-uchenyie-opredelili-rasteniya-kotorye-luchshe-vostanavlivayut-zemlyu-na-ugolnyih-otvalah/> (дата обращения: 11.03.2022).
35. Таранов С.А., Клевенская И.Л., Щербатенко В.И., Баранник Л.П., Юдина К.В. О первичном почвообразовании на естественно зарастающих отвалах Байдаевского угольного разреза // *Проблемы рекультивации земель в СССР*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1974. С. 195–204.
36. Трофимов С.С., Рагим-заде Ф.Ф. Проблемы оптимизации техногенных экосистем Сибири // *Техногенные экосистемы. Организация и функционирование*. Новосибирск: Наука. 1985. С. 3–12.
37. Трофимов С.С., Титлянова А.А., Клевенская И.Л. Системный подход к изучению процессов почвообразования в техногенных ландшафтах Сибири // *Почвообразование в техногенных ландшафтах*. Новосибирск: Наука. 1979. С. 3–19.
38. Уфимцев В.И. Формирование корневых систем сосны обыкновенной в условиях отвалов Кузбасса // *Природно-техногенные комплексы: Рекультивация и устойчивое развитие: материалы Международной научной конференции*. Новосибирск, 10-15 июня 2013. / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Окрина, 2013. С. 203–205.
39. Чижов Б.Е., Кулясова О.А. Рекультивация и ремедиация в лесах Западной Сибири. Пушкино: ВНИИЛМ, 2018. 222 с.
40. Шардаков А.Н., Горохова Н.Г., Мишланов Н.П., Гончарова А.Н. Агрофизические свойства углистых пород и их проявление при внесении в почву // *Уско-*
- ренная рекультивация земель с использованием высокоэффективной биотехнологии*. Сб. научн. трудов. Пермь: ВНИИОС уголь. 1988. С. 29–36.
41. Шеремет Н.В. Состояние агропопуляций *Agropyron cristatum* (Poaceae) на спланированных вскрышных отвалах в лесостепи Кузнецкой котловины // *Природно-техногенные комплексы: Рекультивация и устойчивое развитие: материалы Международной научной конференции*. Новосибирск, 10-15 июня 2013 / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Окрина, 2013. С. 217–220.
42. Шумилова А.М., Беланов И.П., Андроханов В.А. Техногенез и экогенез почвенного покрова промышленно развитого региона. Новосибирск: СО РАН, 2011. 220 с.
43. Эбель А.Л. Флора северо-западной части Алтае-Саянской провинции: состав, структура, происхождение, антропогенная трансформация: Автореф. ...дис. док. биол. Наук: 03.02.01. Томск, 2011. 40 с.
44. Яковченко М.А., Ермолаев В.А., Косолатова А.А., Дремова. М.С. Изучение биометрических характеристик сидеральных культур при проведении биологической рекультивации на территории угледобывающего предприятия ОАО «Шахта № 12» Кемеровской области // *Вестник КрасГАУ*. 2017. №3. С. 120–129.
45. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources, 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // *World Soil Resources Reports*. 2015. No 106. FAO. Rome. 203 p. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/World-reference-base-for-soil-resources-soil-system-Lúcia-Cruz/eaf02d68d72d5a34ab8f74abab0f23062937238c> (дата обращения: 28.11.2021).
46. Kovaleva I.V., Semenov V.M., Kovaleva N.O., Lebedeva T.N., Yakovleva V.M., Pautova N.B. Estimation of the Biogenicity and Bioactivity of Gleyed Agrogray Nondrained and Drained Soils // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54(7). P. 1059–1067. <https://doi.org/10.1134/S106422932107007>
47. McLoughlin N. Biogenicity. *Encyclopedia of Astrobiology*. Berlin: Springer-Verlag. 2011. URL: <https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-642-11274-4> (дата обращения: 11.03.2022).
48. McLoughlin N. Biogenicity. *Encyclopedia of Astrobiology*. Berlin: Springer-Verlag. 2015. P. 278–279. URL: https://www.researchgate.net/publication/316987446_Biogenicity (дата обращения: 11.03.2022).

References

- Androkhanov, V. and Kurachev, V., 2010. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennyh landshaftov: dinamika i oценка* [Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment]. Novosibirsk, Publishing SB RAS. 224 p. (in Russian)
- Aparin, B. and Suhacheva, E., 2015. *Klassifikaciya gorodskih pochv v sisteme Rossijskoj i Mezhdunarodnoj klassifikacii pochv* [Classification of urban soils in the system of Russian and International Soil Classifica-

- tion]. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 79, pp. 53–72. (in Russian)
3. Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2018. O razvitiy Azotobacter chroococcum Beiryinck v starovozrastnykh otvalakh antracita [On the development of Azotobacter chroococcum Beiryinck in old-age anthracite dumps]. *Theoretical and applied ecology*. 1, pp. 60–72. (in Russian)
 4. Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2022. Biogeochemical characteristics of the root layer of herbaceous plants in recultivated areas of technogenic waste. *Bulletin of the Perm University. Biology series*, 2, pp. (in print). (in Russian)
 5. Artamonova, V., Bortnikova, S. and Opleuchin A., 2016. Tekhnogennoe zagryaznenie pochv podotval'nymi vodami v rajone ugledobychi [Technogenic pollution of soils by subsurface waters in the coal mining area]. *Izvestiya Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 26, pp. 38–45 (in Russian).
 6. Bogatyrev, L., 2015. *Osnovnye koncepcii, zakony i principy sovremennogo pochvovedeniya* [Basic concepts, laws and principles of modern soil. Management]. Moscow, MAKS Press. 196 p. (in Russian)
 7. Boguslavsky, A., Androkhanov, V., Kolmagorova, Yu., Uzhogova, A., Gossen, I. and Saeva, O., 2021. Geohimicheskij fon tyazhyolykh metallov v pochvah i rasteniyah na uchastkah otvalov ugol'nykh mestorozhdenij [Geochemical background of heavy metals in soils and plants in the areas of coal deposits dumps]. *Izvestiya AO RGO*, 2 (61), pp. 40–50. (in Russian)
 8. Bragina, P., and Gerasimova, M., 2014. Soil-forming processes on the dumps of mining enterprises (on the example of the south of the Kemerovo region). *Geography and natural resources*, 1, pp. 45–51. (in Russian)
 9. Buzmakov, S., 2018. Introduction to the transformation of the natural environment. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 4, pp. 5–9. (in Russian)
 10. Vodoleev, A., Androkhanov, V. and Klekovkin, S., 2007. Pochvouluchshiteli: rekul'tivacionnyj aspekt. [Soil improvers: recultivation aspect]. Novosibirsk, Nauka publ. 148 p. (in Russian)
 11. Voronchikhina, E., 2010. *Rekul'tivaciya narushennykh landshaftov: teoriya, tekhnologii, regional'nye aspekty* [Recultivation of disturbed landscapes: theory, technologies, regional aspects]. Perm, ENI PSU. 165 p. (in Russian)
 12. Gadzhiev, I., and Kurachev, V., 1992. Geneticheskie i ekologicheskie aspekty issledovaniya i klassifikacii pochv tekhnogennykh landshaftov [Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes]. *Ecology and recultivation of technogenic landscapes*. Novosibirsk, Science. SB RAS. pp. 6–15. (in Russian)
 13. Gilmundinov, V., Tagaeva, T., and Boxler, A., 2020. Analysis and forecasting of waste management processes in the Russian Federation. *Problems of forecasting*, 1, pp. 126–134. (in Russian)
 14. Evdokimova, G., 2014. Pochvennaya mikrobiota kak faktor ustojchivosti pochv k zagryazneniyu [Soil microbiota as a factor of soil resistance to pollution]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2, pp. 17–24. (in Russian)
 15. Eterevsckaya, L., Donchenko, M. and Lekhtsier, L., 1984. Sistematika i klassifikaciya tekhnogennykh pochv [Systematics and classification of technogenic soils]. *Rasteniyaya i promyshlennaya sreda*. Sverdlovsk, USU. 136, pp. 14–21. (in Russian)
 16. Zubova, L., Zubov, A., Verekh-Belousova, K. and Oleinik, N. 2012. *Poluchenie metallov iz terrikonov ugol'nykh shaht Donbassa* [Obtaining metals from the waste heaps of Donbass coal mines]. Lugansk, Publishing house of VNU named after V. Dahl. 144 p. (in Russian)
 17. Zueva, G., 2001. *Dernoobrazuyushchie zlaki v usloviyah Sibiri: biologicheskie osobennosti i prakticheskoe primenenie* [Sod-forming cereals in Siberia: Biological features and practical application]. Novosibirsk, Nauka. 150 p. (in Russian)
 18. Kandrashin, E., 1991. Provedenie sel'sko-hozyajstvennoj rekul'tivacii zemel', narushennoj pri otkrytoj dobyche kamennykh uglej v zonah stepi, lesostepi i podtajgi Sibiri [Carrying out agricultural recultivation of lands disturbed during open mining of coal in the steppe, forest-steppe and subtaiga zones of Siberia]. *Biologicheskaya rekul'tivaciya zemel' v Sibiri i na Urale*. Novosibirsk, Science. Siberian Branch. pp. 5–28. (in Russian)
 19. Kandrashin, E., Barannik, L. and Androkhanov, V., 1992. Biologicheskij etap rekul'tivacii, ego hozyajstvennaya i ekologicheskaya ocenka, problemy osvoeniya [Biological stage of reclamation, its economic and environmental assessment, problems of development]. *Ekologiya i rekul'tivaciya tekhnogennykh landshaftov*. Novosibirsk, Science. Siberian Branch. pp. 98–149. (in Russian)
 20. SHishov L. (ed.), 2004. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, Oikumena. 235 p. (in Russian)
 21. Kolmogorova, E. 2013. *Assessment of the stability of the common pine growing in the conditions of the coal mine rock dump by the index of fluctuating asymmetry. Natural-technogenic complexes: Recultivation and sustainable development*. In: Androhanov, V. (ed.) Collection of materials of the International Scientific Conference 10–15 June 2013, Novosibirsk. Novosibirsk, SB RAS, pp. 127–129. (in Russian)
 22. Kolomoets, S. 2018. *Sovershenstvovanie tekhnologii proektnykh rabot po vosstanovleniyu rusel malyh rek, narushennykh gornymi vyrabotkami (na primere Kemerovskoj oblasti)* [Improving the technology of design work on the restoration of small riverbeds disturbed by mining (on the example of the Kemerovo region)]. Ph. D. (Agriculture) Abstract. Barnaul, 18 p.
 23. Kolosova, M., Kotova, G. and Prosyannikov, V., 1999. Organomineral'nye udobreniya na osnove burogo uglya [Organo-mineral fertilizers based on brown coal]. *Agrohimicheskij vestnik*. 4, pp. 13–14. (in Russian)
 24. Kurachev, V. and Androkhanov, V., 2002. Klassifikaciya pochv tekhnogennykh landshaftov [Classification of soils of technogenic landscapes]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 3, pp. 255–261. (in Russian)

25. Lamanova, T. and Sheremet, N., 2010. *Agrofитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины* [Agrophytocenoses on dumps in the southern part of the Kuznetsk basin]. Novosibirsk, Publishing house "Offset". 226 p. (in Russian)
26. Laevskaya, L. and Ragim-zadeh, F., 1974. Itogi vegetacionnyh opytov po ocenke plodorodiy vskryshnyh porod Kuzbassa [The results of vegetation experiments to assess the fertility of overburden rocks of Kuzbass]. *Problemy rekul'tivacii zemel' v SSSR*. pp. 145–148. (in Russian)
27. Derzhavina, L. and Bulgakova, D., (2003). *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiy pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* [Methodological guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands]. Moscow, FGNU «Rosinformagrotech». 240 p. (in Russian)
28. *Nauchno-tekhnicheskie problemy rekul'tivacii zemel', narushennyh pri dobyche poleznyh iskopaemyh v SSSR* [Scientific and technical problems of recultivation of lands disturbed during mining in the USSR]. 1977. Moscow, AN SSSR. 74 p. (in Russian)
29. Popov, A., Konoplina, L., Komolkina, N., Prilepa, S., Sazonova, E. and Kholostov, G., 2021. Component composition of soil organic matter. *The scientific heritage*, 65, pp. 11–19.
30. Prokofieva, T., Gerasimova, M., Bezuglova, O., Bakhmatova, K., Goleva, A., Gorbov, S., Zharikova, E., Matinyan, N., Nakvasina, E. and Sivtseva, N., 2014. Vvedenie pochv i pochvopodobnyh obrazovaniy gorodskih territorij v klassifikaciyu pochv Rossii [Introduction of soils and soil-like formations of urban territories into the classification of soils of Russia]. *Pochvovedenie*. 10, pp. 1155–1164. (in Russian)
31. Prosyannikov, V., 2007. *Effektivnost' primeneniya oksislennyh uglej v kachestve udobreniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur v lesostepnoj zone Kemerovskoj oblasti* [Efficiency of application of oxidized coals as fertilizer of agricultural crops in the forest-steppe zone of the Kemerovo region]. Ph. D. (Agriculture) Abstract. Barnaul, 19 p.
32. Ragim-zadeh, F., 1977. *Tekhnogennye elyuvii vskryshnyh porod ugol'nyh mestorozhdenij Sibiri, ocenka ih potencial'nogo plodorodiy i prigodnosti dlya vosstanovleniya pochvennogo pokrova* [Technogenic eluvium of overburden rocks of coal deposits of Siberia, assessment of their potential fertility and suitability for restoration of soil cover]. Ph. D. Dissertation Abstract of Sciences in Biology. Novosibirsk, 199 p.
33. Semenov, V. and Kogut, B., 2015. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow, GEOS. 233 p. (in Russian)
34. Spiridonova, P., 2017. Kemerovo scientists have identified plants that are best suited for reclamation. Available from: <https://kuzbass85.ru/2017/03/28/kemerovskie-uchenyie-opredelili-rasteniya-kotorye-luchshe-vosstanavlivayut-zemlyu-na-ugolnyih-otvalah/> [Accessed: 11th Marth 2022].
35. Taranov, S., Klevenskaya, I., Shcherbatenko, V., Barannik, L., and Yudina, K., 1974. O pervichnom pochvoobrazovanii na estestvenno zarastayushchih otvalah Bajdaevskogo ugol'nogo razreza [On primary soil formation on naturally overgrown dumps of the Baydaevsky coal mine]. *Problemy rekul'tivacii zemel' v SSSR*. Novosibirsk, Nauka. pp. 195–204. (in Russian)
36. Trofimov, S. and Ragim-zadeh, F., 1985. Problemy optimizacii tekhnogennyh ekosistem Sibiri [Problems of optimization of technogenic ecosystems of Siberia]. *Tekhnogennye ekosistemy. Organizaciya i funkcionirovanie*. Novosibirsk, Nauka. pp. 3–12. (in Russian)
37. Trofimov, S., Titlyanova, A. and Klevenskaya, I., 1979. Sistemnyj podhod k izucheniyu processov pochvoobrazovaniya v tekhnogennyh landshaftah Sibiri [A systematic approach to the study of soil formation processes in technogenic landscapes of Siberia]. *Pochvoobrazovanie v tekhnogennyh landshaftah*. Novosibirsk, Nauka. pp. 3–19. (in Russian)
38. Ufimtsev, V., 2013. *Formation of root systems of scots pine in the conditions of dumps of Kuzbass. Natural-technogenic complexes: Recultivation and sustainable development*. In: Androhanov, V. (ed.) Collection of materials of the International Scientific Conference 10–15 June 2013, Novosibirsk, SB RAS, pp. 203–205.
39. Chizhov, B. and Kulyasova, O., 2018. *Rekul'tivaciya i remediaciya v lesah Zapadnoj Sibiri* [Recultivation and remediation in the forests of Western Siberia]. Pushkino, VNIILM. 222 p. (in Russian)
40. Shardakov, A., Gorokhova, N., Mishlanov, N. and Goncharova, A., 1988. Agrofizicheskie svoystva uglistyh porod i ih proyavlenie pri vnesenii v pochvu [Agrophysical properties of carbonaceous rocks and their manifestation when applied to soil]. *Uskorennaya rekul'tivaciya zemel's ispol'zovaniem vysokoeffektivnoj biotekhnologii*. Perm, VNIOS ugol'. pp. 29–36. (in Russian)
41. Sheremet, N., 2013. *The state of agropopulations of Agropyron cristatum (Poaceae) on planned overburden dumps in the forest-steppe of the Kuznetsk basin. Natural-technogenic complexes: Recultivation and sustainable development*. In: Androhanov, V. (ed.) Collection of materials of the International Scientific Conference 10–15 June 2013, Novosibirsk, SB RAS, pp. 217–220.
42. Shipilova, A., Belanov, I. and Androkanov, V., 2011. *Tekhnogenez i ekogenez pochvennogo pokrova promyshlennno razvitogo regiona* [Technogenesis and ecogenesis of the soil cover of an industrially developed region]. Novosibirsk, SO RAN. 220 p. (in Russian)
43. Ebel, A., 2011. *Flora severo-zapadnoj chasti Altae-Sayanskoj provincii: sostav, struktura, proiskhozhdenie, antropogennaya transformaciya* [Flora of the north-western part of the Altai-Sayan province: composition, structure, origin, anthropogenic transformation]. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Biology. Tomsk, 40 p.
44. Yakovchenko, M., Ermolaev, V., Kosolapova, A. and Dremova, M., 2017. Izuchenie biometricheskikh harakteristik sideral'nyh kul'tur pri provedenii biologicheskoj rekul'tivacii na territorii ugledobyvayushchego predpriyatiya OAO «SHAhta № 12» Kemerovskoj oblasti [Study of biometric characteristics of sideral crops during biological recultivation on the territory of the coal mining

enterprise of JSC "Mine No. 12" of the Kemerovo region]. *Vestnik KrasGAU*. 3, pp. 120–129. (in Russian)

45. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources, 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2015. Vol. 106. FAO. Rome. 203 p. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/World-reference-base-for-soil-resources-soil-system-Lúcia-Cruz/eaf02d68d72d5a34ab8f74abab0f23062937238c> [Accessed 28th November 2021].

46. Kovaleva, I., Semenov, V., Kovaleva, N., Lebedeva, T., Yakovleva, V. and Pautova, N., 2021. Estima-

Статья поступила в редакцию 15.03.2022; одобрена после рецензирования 30.03.2022; принята к публикации 12.04.2022.

The article was submitted 15.03.2022; approved after reviewing 30.03.2022; accepted for publication 12.04.2022.

tion of the Biogenicity and Bioactivity of Gleyed Agrogray Nondrained and Drained Soils. *Eurasian Soil Science*. 54(7). pp. 1059–1067. <https://doi.org/10.1134/S106422932107007> (in Russian)

47. McLoughlin, N., 2011. Biogenicity. Encyclopedia of Astrobiology. Berlin: Springer-Verlag. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11274-4> [Accessed 28th November 2022].

48. McLoughlin, N., 2015. Biogenicity. Encyclopedia of Astrobiology. Berlin: Springer-Verlag. P. 278–279. Available from: https://www.researchgate.net/publication/316987446_Biogenicity [Accessed 28.11. 2022].

РАЗДЕЛ 3. ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Обзорная статья

УДК [551.89+004.65]

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-58-77>

База данных палеоархивов позднего плейстоцена и голоцена Пермского Прикамья – PaleoPerm

Елизавета Алексеевна Мехоношина¹, Сергей Владимирович Копытов², Павел Юрьевич Санников³, Людмила Сергеевна Шумиловских⁴

^{1,2,3} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

⁴ Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия

¹ elizamkh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9424-6321>

² sergkopytov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0011-3748>

³ sol1430@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7973-301X>

⁴ shumilovskikh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7429-3163>

Аннотация. База данных PaleoPerm создана на основе опубликованных и готовящихся к публикации материалов изучения естественной истории природной среды Пермского Прикамья в позднем плейстоцене и голоцене. Проведен поиск и анализ научных статей, монографий, диссертаций, ведомственных отчетов, фондовых материалов. Всего изучено 53 публикации, самая ранняя из которых относится к 1926 г. В качестве базовых объектов описания выступают палеоархивы: торфяники, озерные, аллювиальные, покровные, культурные, полигенетические отложения. По каждому седиментационному комплексу приводится комплекс данных о его названии, участке исследования, географических и морфометрических характеристиках, сведения о датировании и спектре проведенных анализов – всего, более 20 параметров. Также указаны ссылки на публикации-первоисточники данных. По итогам работы в базу внесены сведения о 124 палеоархивах. Их местоположение и характеристики зафиксированы в виде геоинформационного точечного слоя. Помимо этого, в тексте статьи собранные материалы проанализированы по: хронологии исследований, степени опубликованности, вкладу разных исследовательских групп, глубинам изученных отложений, степени их датированности, генезису и особенностям пространственного размещения. Также приведен краткий обзор истории палеогеографических и палинологических исследований региона. В заключительной части работы рассмотрены перспективы развития PaleoPerm, к которым мы относим: дальнейшее содержательное наполнение базы, корректировку неточностей, расширение спектра данных и создание англоязычной версии ресурса. Материалы PaleoPerm доступны по ссылке – <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19149824.v3>

Ключевые слова: палеогеография, палеоэкология, седимент, ГИС, реконструкция природной среды, Пермский край

Благодарности: Работа выполнена при поддержке проекта РФФ № 19-78-10050 (палеоархивы южной части региона); проекта немецкого научного фонда DFG № 462653676 и 391893066 (палеоархивы окрестностей г. Перми и центральной части региона); проекта РФФИ № 20-05-00276 (палеоархивы бассейна верхней Камы); при поддержке гранта №ГСГК-0076/21, проект реализуется победителем Конкурса на предоставление грантов преподавателям магистратуры 2020/2021 благотворительной программы «Стипендиальная программа Владимира Потанина» Благотворительного фонда Владимира Потанина» (опорные разрезы плейстоцена).

Для цитирования: Мехоношина Е.А., Копытов С.В., Санников П.Ю., Шумиловских Л.С. База данных палеоархивов позднего плейстоцена и голоцена Пермского Прикамья – PaleoPerm // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 58–77. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-58-77>

SECTION 3. EARTH-SURFACE PROCESSES

Review Paper

The database of Late Pleistocene and Holocene paleoarchives in the Perm Kama region – PaleoPerm

Elizaveta A. Mekhonoshina¹, Sergei V. Kopytov², Pavel Yu. Sannikov³, Lyudmila S. Shumilovskikh⁴

^{1,2,3} Perm State University, Perm, Russia

⁴ Georg-August-University Göttingen, Göttingen, Germany

¹ elizamkh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9424-6321>

² sergkopytov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0011-3748>

³ sol1430@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7973-301X>

⁴ shumilovskikh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7429-3163>

Abstract. The PaleoPerm database is based on published and forthcoming studies of the natural history in the Perm Kama region during the Late Pleistocene and Holocene. A total of 53 publications were studied including scientific articles, monographs, dissertations, departmental reports, stock materials was carried out. The earliest publication was published in 1926. The database represents a compilation of information about paleoarchives: peatland, lacustrine, alluvial, cultural, polygenetic sediments and cover loams. Each archive is characterized by more than 20 parameters including name, study area, geographical and morphometric characteristics, information on dating and the range of analyzes performed, reference to primary source etc. Today, the database consists of 124 paleoarchives. In addition, their location and characteristics are provided in the GIS layer. Furthermore, we describe the collected materials according to the chronology, the stage of publication process, the contribution of different research groups, the depths of the studied cores, the sediment dating, genesis and spatial distribution. We include a brief review of the history of paleogeographic and palynological studies of the Perm region. Future development of PaleoPerm includes further update of content of the database, correction of inaccuracies, expanding the range of data and creation an English version. PaleoPerm materials are available at the link – <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19149824.v3>

Key words: paleogeography, paleoecology, sediment, GIS, environmental reconstruction, Perm region

Acknowledgments: The reported study was supported by RSF project № 19-78-10050 (paleoarchives of the southern part of the region); German Science Foundation DFG project №462653676 and 391893066 (paleoarchives of the central part of the region); RFBR project number №20-05-00276 (paleoarchives of the upper Kama basin); grant GSGK-0076/21, the project is being implemented by the winner of the Master's program faculty grant competition 2020/2021 of the Vladimir Potanin fellowship program (Pleistocene reference sections).

For citation: Mekhonoshina, E., Kopytov, S., Sannikov, P. and Shumilovskikh, L., 2022. The database of Late Pleistocene and Holocene paleoarchives in the Perm Kama region – PaleoPerm. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 58–77. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-58-77> (in Russian)

Введение

Палеоархивы представляют собой важный источник информации о функционировании экосистем в прошлом. Расшифровка прошлого – необходимый элемент для понимания настоящего и оценки будущего. Изучение физико-химических особенностей различных седиментационных комплексов и заключенных в них биологических остатков дает возможность реконструкции многих параметров среды. Например, температурный режим, характер растительности, пастбищную нагрузку, уровень грунтовых вод, динамику накопления углерода и другие. Изучение естественной истории экосистем, углубление знаний о климатической динамике прошлых эпох, а также выявление характера и интенсивности влияния человека на природную среду, мы считаем основными целями подобных исследований. Это позволяет не только лучше узнать прошлое, но и более обоснованно моделировать трансформацию природной среды в настоящем и будущем.

Полный исследовательский цикл даже по одному палеоархиву достаточно долг. Обычно он продолжается несколько лет. Для проведения анализов необходимо использование дорогостоящего оборудования и реактивов, а исполнители должны обладать высокой квалификацией. Датирование, чаще всего, выполняется специализированными сторонними лабораториями на договорной основе. Результаты таких исследований можно встретить в изданиях различной (географической, археологической, экологической, ботанической, зоологической и т.д.) направленности. Это обусловлено широким спектром применяемых видов анализа и разнообразием решаемых задач, областей применения. Особой категорией работ, содержащих полезные палеогеографические, палеоэкологические данные, следует считать обширную группу инженер-

но-технических проектов, связанных с масштабными планами преобразования природы (например, создание водохранилищ, проекты «поворота» рек, освоение торфяников), проводимых в советское время. Перечисленные обстоятельства объясняют относительную малочисленность публикаций по палеоисследованиям и, в то же время, их «разбросанность» по узкопрофильным журналам, сборникам, монографиям, отчетам, часто труднодоступным и малоизвестным. В результате, поиск сведений об уже исследованных палеоархивах той или иной территории часто затруднен. В связи с этим, востребованной становится комплексная систематизация такой информации.

Пермское Прикамье в палеогеографическом и палеоэкологическом отношении – сравнительно малоизученный регион. Однако, даже проведенные и опубликованные исследования по этой территории представлены в региональных и глобальных палеоэкологических и палеогеографических базах данных (далее – БД) лишь фрагментарно. Так, в палеолимнологической базе данных Восточно-Европейской равнины [85] содержится информация о двух исследованиях, выполненных в Пермском крае; в БД PANGAEA [71] – об одном. В составе баз данных Neotoma [86], базы палеоэкологических исследований Северной Евразии [69] и Всемирной БД палеопожаров [74, 70] сведения о каких-либо исследованиях в регионе отсутствуют.

Цель настоящей работы – создание открытой базы данных палеоархивов Пермского Прикамья позднего плейстоцена и голоцена, содержащей структурированную информацию о проведенных или проводимых исследованиях. Формирование такой БД позволит существенно снизить затраты времени при подготовке обзорной части исследований, повысить качество научной дискуссии среди специалистов, работающих в этом направлении.

Задачи:

- систематизировать и проанализировать опубликованные палеоэкологические и палеогеографические исследования Пермского Прикамья, подготовить список ссылок на первоисточники;
- создать геоинформационный точечный слой палеоархивов, включающий метаданные исследований по каждому объекту;
- сформулировать перспективы развития созданной базы данных.

Материал и методика

Краткая физико-географическая характеристика региона. В физико-географическом отношении территория Прикамья подразделяется на две крупные ландшафтные страны: Восточно-Европейская равнина и Уральские горы [Назаров, 2006]. Восточная часть региона расположена в осевой (водораздельной) части Урала, причем водораздел отвечает границе Европа и Азия, и характеризуется среднегорным типом рельефа с максимальной отметкой 1469 м (г. Тулымский Камень). В фундаменте Уральских гор – интенсивно дислоцированные породы палеозоя и протерозоя. К северу и югу от Тулымского Камня территорию слагают увалы и хребты с высотными отметками от 400 до 1000 м. Склоны гор крутые (до 10–25°), относительные превышения составляют 200–1000 м.

Уральские горы в пределах Пермского Прикамья делятся на две части: Северный и Средний Урал. В пределах Среднего Урала горы понижаются, а строго меридиональное простирание горного кряжа сменяется юго-восточным. Границу между Северным и Средним Уралом проводят по подножию горы Осянка (1119 м). Среди гор Среднего Урала наиболее высокие отметки характерны для хребта Басеги – г. Средний Басег (993 м). На Северном Урале, в верховьях реки Яйвы, простирается отрог Уральских гор – платообразный хребет Кваркуш.

На западе и в центре региона расположена платформенная часть Пермского Прикамья – окраина Восточно-Европейской равнины, которая характеризуется возвышенным, слабо всхолмленным рельефом с высотами, очень редко превышающими 200–400 м. Среди крупных возвышенностей можно выделить Тулвинскую, Верхнекамскую, Немскую, Уфимское плато, Оханскую, Верещагинско-Васильевские и Северные Увалы, а среди низменностей – Камско-Кельтминскую, Косинскую, Среднекамско-Косвинскую, Сылвинско-Иренскую и другие. В геологическом фундаменте Восточно-Европейской равнины – палеозойские и мезозойские отложения различного генезиса и мощности. Кайнозойские образования представлены преимущественно рыхлыми породами четвертичной системы континентального происхождения и очень небольшими по площади «островками» отложений неогенового возраста.

Речная сеть территории принадлежит западному склону Урала и относится к водосбору Камы. Наиболее значительными притоками являются рр. Чусовая,

Косьва, Яйва, Обва, Сылва. Речные долины преимущественно хорошо проработаны в пределах Восточно-Европейской равнины, а в истоках левых притоков Камы узкие, нередко каньонообразные. На северо-западе Прикамья расположены преимущественно низменные реки, притоки Камы – Весляна, Коса, Лупья, Южная Кельтма, Пильва.

Климат в пределах региона умеренно-континентальный. Уральский хребет, несмотря на сравнительно небольшие высоты, служит естественной преградой на пути преобладающего западного переноса воздушных масс. Влияние гор приводит к ослаблению западного переноса, изменению направления движения циклонов и антициклонов, замедлению их движения, к деформации при переваливании через горы барических образований и атмосферных фронтов. Эти климатические изменения сказываются на почвах и растительности. Основным фон дают еловые и елово-пихтовые средне- и южно-таежные леса. Север Прикамья представлен средней, зеленомошной тайгой. На юге встречаются смешанные хвойно-широколиственные леса, в составе которых много липы. По всей территории широко распространены вторичные березняки, многие из которых возникли на месте вырубок. Под южно-таежными лесами Среднего Урала, как и в Предуралье, развиты подзолистые и дерново-подзолистые почвы. На юге региона они вытесняются серыми лесными почвами, местами – выщелоченными черноземами.

Краткая история палеогеографических исследований четвертичного периода в регионе. Исследования палеогеографической направленности появились в трудах геологов в конце 1920-х – начале 1930-х гг. XX в. Ученые обратили внимание на то, что речная сеть территории 107 листа десятиверстовой карты (истоки р. Камы и Вятки) в доледниковое время существенно отличалась от современной и очертания русла Камы являются зеркальным отражением русла Вятки. С начала 1940-х гг. различные вопросы четвертичной геологии и геохронологии аллювиальных, озерно-аллювиальных, аллювиально-болотных и других отложений Западного склона Среднего Урала и Предуралья в той или иной степени затрагиваются в ряде опубликованных работ [2, 18, 66, 16, 58].

Первый значительный этап в изучении четвертичного аллювия приходится на первую половину XX в. В результате работ большинства исследователей к 1937 г. была установлена стратиграфическая схема четвертичных отложений северного Прикамья. В связи с началом подготовки к изысканиям специального Управления Соликамского гидроузла были созданы первые гипсометрические карты, составлена краткая сводка по четвертичным отложениям, геоморфологии, истории развития речной сети данного района. В основных чертах были выделены крупные древние впадины и соединяющие их широкие древние долины. Всего было установлено 5 таких маргинальных (краевых) каналов: Троицко-Печорская впадина шириной около 50 км (на р. Печоре), Вычегодская впадина шириной 60 км (на р. Вычегде у подножия Джемимской

впадины), Верхнекамская впадина шириной свыше 30 км (на р. Каме выше с. Бондюг), Колво-Вишерская шириной 25–30 км (на рр. Колве и Вишере между устьем р. Вишеры и Полудовым кряжем), Чусовская впадина шириной 10–15 км (на р. Вишерке в районе Чусовского озера). Все выделенные впадины соединяются сквозными долинами, из которых наиболее важными являются долины рр. Северной и Южной Мылвы, Неми, Северной и Южной Кельтмы.

В это время начинает формироваться достаточно надежная фактологическая база об условиях, особенностях и масштабах проявления ледникового воздействия на бассейн верхней Камы, Вычегды и Печоры, включающая в себя результаты работ самых различных научных и производственных коллективов геологов и геоморфологов (Камской экспедиции научно-исследовательского геолого-разведочного института, Печоро-Вычегодской экспедиции ВСЕГЕИ, института Гидропроект, Всесоюзного гидрогеологического треста).

С 1938 по 1940 гг. рядом учреждений были произведены специальные геолого-съёмочные, гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания и буровые работы почти на всей территории данного района. Широкое распространение древнеаллювиальных отложений в долинах рр. Вычегды, Неми, Северной и Южной Кельтмы натолкнуло И.И. Краснова [36] на идею о возможном древнем соединении верхней Вычегды с бассейном р. Камы и подпруживании стока северных рек во время плейстоценовых оледенений. В своей работе 1948 года, используя результаты массового бурения в ходе изыскательских работ, он построил схемы перестройки речных долин и межбассейновых переливов в результате ледникового подпруживания. Получилось, что верховья Печоры и Камы стекали когда-то в Вычегду, а позднее по оставленным ими древним долинам, пересекающим нынешние междуречья, воды ледниково-подпрудных озер перетекали из арктического бассейна в Каспийское море.

Вторым крупным этапом исследования четвертичных отложений, и аллювия в частности, был период специализированных геологических съёмок, охвативших Урал, Предуралье и Зауралье, проводившихся Уральским территориальным геологическим управлением Министерства геологии РСФСР под руководством В.А. Лидера [63, 40]. С этого момента можно говорить о начале планомерных геологических работ в пределах Урала по составлению полистных геологических карт масштаба 1:200 000 [7]. Гидрогеологические исследования масштаба 1:200 000 начались позднее и продолжались до конца прошлого века. Одновременно на территориях наиболее сложного геологического строения были начаты геологосъёмочные работы масштаба 1:50 000, постепенно превратившиеся в площадное картирование крупных тектонических структур.

В 1940–1950-е годы активное изучение четвертичного аллювия было связано с крупными стройками –

сооружением водохранилищ. В 1958 г. Печорской и Мещерской экспедициями Всесоюзного гидрогеологического треста были завершены инженерно-геологические исследования масштабов 1:25 000, 1:100 000 и 1:200 000 в зоне проектирования Верхнекамского, Камского и Воткинского водохранилищ [27, 34, 35, 5]. Работы сопровождались комплексом спорово-пыльцевых и микрофаунистических исследований.

Третий период был связан с новыми изысканиями Гидропроекта в связи с разработкой проекта переброски вод рек Печоры и Вычегды в Каму. В это время детальное бурение проводилось в северной части Прикамья, в основном на Печоро-Вычегодско-Камском междуречье [67].

В дальнейшем фокус переместился на исследование стратиграфии четвертичных отложений [68]. Стратиграфическая схема четвертичных отложений Урала и прилегающих к нему равнин регулярно рассматривалась на заседаниях Постоянной четвертичной комиссии Уральского Межведомственного стратиграфического комитета. Номенклатура дробных стратиграфических подразделений по проекту К.В. Никифоровой и И.И. Краснова [68] предполагала закрепление для плейстоцена Предуралья чусовского, ларевского, талицкого, сайгатского горизонтов и их опорных разрезов.

Стратотипическим районом для чусовского горизонта являются окрестности озера Чусовского, где скважинами Гидропроекта под толщей аллювия и озерных лихвинских отложений вскрыта морена на абсолютных отметках 100–115 м. В Предуралье горизонт формирует высокую эрозионно-аккумулятивную поверхность в долине реки Сылвы с относительной высотой 35–45 м. Он сложен преимущественно галечниками, гравийниками и гравийными песками, залегающими на палеозойских породах. Мощность аллювия 5–10 м. Опорные разрезы изучены в промышленных гравийных карьерах среднего течения р. Сылвы у г. Кунгур [63] и на р. Бабка (левый приток Сылвы) у д. Масленники [68]. В базальных песках разреза «Масленники» В.Л. Яхимович и В.П. Суховым были отмыты остатки мелких млекопитающих: *Ochotona* sp., *Sciurus* sp., *Cricetus* sp., *Clethrionomys* sp., *Miomys* ex gr. *intermedius* New., *Microtus* cf. *gregalis* Pall., *M. oeconomus* Pall., *M. ex gr. malei-hyperboreus*, *Myospalax* sp.

Ларевский горизонт выделен в северной части Прикамья по скважинам, пробуренным южнее оз. Чусовского [67]. Спорово-пыльцевые спектры моренных отложений характеризуют березовое редколесье с небольшой примесью сосен, елей и травянистых растений, со спорами сфагновых мхов и папоротников.

Талицкий и сайгатский объединенные горизонты представлены аллювием второй надпойменной террасы р. Камы мощностью 10–15 м. В районе г. Чайковский в нижнем течении р. Сайгатка находится стратотипический разрез сайгатского горизонта, который детально изучался Г.И. Горещким [16] по скважинам

Гидропроекта. Верхние слои содержат пыльцу лесного спектра, почти без примеси широколиственных пород, с преобладанием карликовой березы.

В разное время геохронологические и палеогеографические сведения о Прикамье включались в учебники и монографии [47, 19], а также различные советские и российские мелкомасштабные атласы-монографии [6]. В последнее время территория Прикамья частично попадает в сферу интересов зарубежных исследователей-палеогляциологов, главным образом в рамках российско-норвежских проектов QUEEN, PECHORA, ICEHUS [83], а также палеогеографов Института географии РАН [73].

Исследованию палеоархивов пойм и надпойменных террас верхней Камы, Косы, Тимшера, Пильвы, Южной Кельтмы, Колвы с 2013 г. посвящены работы исследовательского коллектива под руководством Н.Н. Назарова [31, 51, 55]. Для рек бассейна установлена хронология и палеогеографические обстановки формирования разновозрастных голоценовых пойменных сегментов (генераций). В пределах Камско-Печорско-Вычегодского водораздела проведена типизация речных долин. Отдельные участки главных рек региона и их основных притоков были отнесены к нескольким типам: однонаправленного прерывисторуслового развития, двунаправленного прерывисторуслового развития, долинам прорыва, озерноруслового развития. В южной части Кельтминского каньона проведен анализ каналов стока древних приледниковых озер.

Краткая история палинологических исследований. Первые палинологические исследования болот на Урале проводились для целей торфоразработок. Первая спорово-пыльцевая диаграмма на территории Пермского края опубликована в работе Д.А. Герасимова [13] «Геоботаническое исследование торфяных болот Урала (краткое предварительное сообщение)» в 1926 году в журнале «Торфяное дело». Пыльцевые диаграммы приведены для Язоевского прииска (участок Шигирского болота, Свердловская область) и Ушаковского болота (окрестности Перми). Датирование отложений проводилось стратиграфически на основании сравнения с изученными торфяниками Средней России. В 30–40-х годах исследования болот и торфяной залежи продолжаются под руководством А.А. Генкеля. В этих работах основной упор делался на ландшафтное размещение болот, основные типы и черты болот и залежей торфа, определение возраста торфяников, геоботаническое описание и практические мероприятия по освоению болот [9–12]. При этом спорово-пыльцевой анализ использовался как надежный метод определения возраста торфа.

Несколько работ посвящены торфяникам поймы и первой террасы Камы. Из-за строительства Воткинского водохранилища эти архивы утеряны в настоящее время, в связи с чем данные сообщения представляют особую важность. А.А. Генкель и А.П. Лебедева [12] приводят уникальные данные по обнажениям торфяников, выступающих на береговых склонах

поймы и надпойменной ступени Камы возле пос. Пожва и пос. Тюлькино. Следующая работа, посвященная болотам реки Камы от Перми до Соликамска, была опубликована М.М. Даниловой [20]. Автор характеризует распределение болот: травяные болота, ольховые болота, еловые согры, сосновые согры и сфагновые болота – и растительности по террасам и представляет их эволюцию в естественных и антропогенно нарушенных условиях. История первой надпойменной террасы левого берега Камы представлена М.М. Сторожевой [62]. Ею изучены торфяники около д. Губничата и около д. Пихтовки. Обе деревни находились между Пермью и Усольем, их точная локализация затруднена, возможно они были затоплены водохранилищем. Оба торфяника представляли собой еловые согры, образовавшиеся на месте озер, существовавших в начале голоцена.

Болота юго-западных районов Пермской области изучены сравнительно мало. Спорово-пыльцевой анализ болот второй террасы «Первомайское» и «Клюквенное» показал, что они были сформированы в атлантический период [21]. Особая работа по изучению заторфованных карстовых воронок была проведена А.А. Генкелем в 30-х годах [9]. Он исследовал воронки около ныне не существующей д. Крюковы между рр. Иренью и Бабкой, а также над Кунгурской ледяной пещерой и к югу от Кунгура на правом берегу р. Ирень. Все три участка геологически однородны и представлены 2 и 3 свитой гипсов и ангидридов кунгурского яруса. А.А. Генкель подробно картирует и описывает типы воронок, разрабатывает план генезиса воронок, делает описание растительности и предлагает пути заторфовывания воронок. Для определения возраста, торф из 5 воронок были изучены с помощью спорово-пыльцевого анализа.

Начиная с 50-х годов, спорадические исследования торфяников и озерных отложений приурочены к решению вопросов стратиграфии четвертичных отложений. Р.Е. Гитерман [14] провела спорово-пыльцевой анализ отложений в низовьях Чусовой в рамках работы Чусовского четвертичного отряда под руководством В.И. Громова [18]. В низовьях р. Чусовой описаны плейстоценовые и голоценовые погребенные торфяники и сапропели. Л.В. Голубева [15] провела спорово-пыльцевой анализ четвертичных отложений первой террасы р. Сылвы в районе с. Усть-Кишерть, высокой поймы и первой надпойменной террасы р. Кишертьки и водораздельных пространств к северо-западу от д. Верхние Частые. Отложения представляют собой суглинки, глины и пески и датируются по спорово-пыльцевому анализу голоценом. Однако, результаты не коррелировались стратиграфически с региональными диаграммами.

В начале 90-х годов Я.К. Еловичевой [24] опубликовано палинологическое исследование разреза Осинцево-1. Данные были скоррелированы с климатостратиграфической схемой Блитта-Сернандера. По мнению автора, разрез является наиболее полным палинологически изученным разрезом Пермской об-

ласти, охватывающим позднеледниковье и голоцен. Однако радиоуглеродный анализ не подтверждает древности отложений, указывая на голоценовый возраст нижних слоев [30].

После двадцатилетнего перерыва, исследования с целью реконструкции ландшафтов начали проводиться в верховьях Камы [22]. Этот участок характеризуется большим количеством археологических памятников от мезолита до позднего средневековья. Реконструкции ландшафтов проводились с помощью палеоуровневого, радиоуглеродного, карпологиического и спорово-пыльцевого анализов. Авторы выявили закономерности в расположении памятников на коренном склоне и поймах разных генераций. Эта тематика продолжается и в следующих работах [26, 38, 41, 64]. Комплексные исследования показали, что активное освоение региона часто совпадало с маловодными периодами.

Палеоэкологические исследования среднего течения Камы и южной части Пермского края проводятся под руководством Л.С. Шумиловских. Работы начались с проекта «Phenomenon of the Kungur forest-steppe: natural or human-made?» по изучению истории Кунгурской лесостепи, дискуссии о естественной или антропогенной природе которой идут уже более ста лет [32, 33, 37, 46, 56, 57, 65]. Для ответа на вопрос, проведены палинологические исследования озерных и болотных отложений на территории Кунгурской лесостепи по сравнению с окружающей подтайгой [65, 77, 79-81]. Работы продолжаются в рамках нового проекта «Plant and land use of Early Iron Age societies in the boreal zone of the mid-Kama region and its environmental impact» по исследованию влияния культур раннего железного века на природную обстановку современного Пермского края.

Материал. Поиск научной литературы, касающейся изучения палеоархивов, велся в трёх направлениях: современная научная литература в реферативных базах данных Scopus, WoS, Elibrary; старые публикации в библиотеках, ведомственных архивах; материалы проектных работ советского времени в фондовых архивах. Помимо опубликованных данных, в общий анализ также включены обрабатываемые материалы (о которых известно авторскому коллективу), по которым публикации пока находятся на стадии подготовки.

Методика. Систематизация материалов проводилась путем анализа литературы. При этом, в качестве единицы анализа рассматривался палеоархив – конкретный исследованный комплекс отложений. Для каждого палеоархива, на основе сведений из публикации, фиксировалось более 20 параметров: название колонки в русском и англоязычном варианте; название объекта (места) исследования; год исследования; общая длина (высота) колонки; наличие датировок; число продатированных образцов; охватываемый диапазон дат; максимальный калиброванный возраст; наличие других анализов (литологический, спорово-пыльцевой, палекарпологиический, содержание углерода методом потерь при прокаливании, концентрация микроуглей,

археологические исследования); административный район; ботанико-географический район; высота над уровнем моря; публикационный статус исследования; исследовательская группа авторов; краткая и полная ссылка на публикации, географические координаты, сведения о нарушении палеоархива; примечания. В результате, средствами MS Excel, составлена сводная таблица по всем палеоархивам.

Параметры палеоархивов напрямую взяты из публикаций-первоисточников. Исключение составляют данные об административных и ботанико-географических районах, принадлежность к которым часто определялась самостоятельно, средствами ГИС. В нескольких работах информация о результатах радиоуглеродного анализа приводилась лишь в виде исходных некалиброванных данных. В этом случае, калибровка возраста проводилась при помощи онлайн-сервиса Calib 8.20 [82], с использованием кривой IntCal20 [75]. Сведения о нарушении палеоархива и географические координаты также определены самостоятельно.

Большая часть проанализированных публикаций собрана в виде электронных документов, содержащих полный или частичный (в случае некоторых обширных монографий или сборников) текст.

Геоинформационная обработка собранных данных проводилась в программе ArcGIS (ESRI). Она предполагала векторизацию мест расположения палеоархивов в виде точечного слоя, в формате ESRI Shape. Для добавления данных из MS Excel в таблицу атрибутов точечного ГИС-слоя применяется опция «Соединения и Связи – Соединение». Синхронизация проведена по полю «Id» идентичному и для shp-файла, и для таблицы Excel. Слой построен в системе координат WGS 1984 (zone 40N), проекция Меркатора.

Результаты

Созданная база данных включает в себя 3 блока: таблица MS Excel с данными о палеоархивах; точечный ГИС-слой мест расположения палеоархивов, вспомогательные материалы (библиографический список публикаций (русскоязычный и англоязычный вариант), общее описание и инструкция по использованию БД, карточка объекта (шаблон сведений о новом палеоархиве для внесения в базу)).

Всего по теме работы найдено 53 публикаций. Из них 5 написаны на английском, остальные на русском языке. Из общей выборки 6 работ опубликовано до 1950 г., в период 1950–1969 гг. – 12, в 1970–1992 гг. – 9, в 1993–2013 гг. – 0, с 2014 г. по настоящее время – 26.

Общее число палеоархивов (124) значительно превышает число обработанных работ, поскольку многие публикации описывают несколько седиментационных комплексов.

Хронологию исследований можно условно поделить на 2 неравных периода: советский (до 1991 г.) и новейший (с 2014 г. по настоящее время). При этом, большая часть палеоархивов (75,8%) относится к последнему периоду, когда довольно активная работа одновременно ведётся несколькими исследователь-

скими группами. Внутри советского периода выделяется пионерный довоенный период исследований (проводимых под руководством А.А. Генкеля, Д.А. Герасимова и их учеников), послевоенный период, в основном связанный с научной подготовкой крупных проектов преобразования природы (Д.Г. Зилинг, Г.И. Горещкий, В.Л. Яхимович и другие), и единичная, но крайне интересная работа Я.К. Еловичевой и В.К. Кокаровцева, выполненная в конце советского времени. Заметно выделяется хронологический разрыв 1992–2013 гг. Поиск показал, что в этот период обследований палеоархивов не проводилось.

Среди изученных палеоархивов данные по довольно многим пока не опубликованы (материал

находится в обработке) – 30,6% или опубликованы только частично – 22,6%. Сведения по большей части таких палеоархивов находятся в обработке двух исследовательских групп: 1) «Назаров, Копытов, Чернов, Лычагина, Жуйкова, Лаптева и другие», исследующие аллювиальные отложения Верхней Камы и её притоков; 2) «Шумиловских, Шмидт, Баталова, Перескоков, Мингалев, Санников и другие», в основном изучающие озерные и болотные палеоархивы вблизи г. Перми и по южной части региона. Полноценные описания законченного цикла исследований опубликованы по 46,8% выявленных палеоархивов.

Изучением палеоархивов Пермского Прикамья занимался ряд научных коллективов (табл. 1).

Таблица 1

Исследовательские группы, изучающие палеоархивы Пермского Прикамья

Table 1

Research groups studying paleoarchives of the Perm Kama region

Исследовательские группы // Research groups	Годы исследований // Years of researches	Районы и объекты // Regions and objects	Палеоархивы, шт. // Paleoarchives, psc.
Генкель, Голубева, Герасимов, Сторожева, Данилова, Зилинг, Горещкий, Яхимович и др. // Hencel, Golubeva, Gerasimov, Storozheva, Danikova, Ziling, Goreckiy, Yachimovich [9–13, 15, 16, 20, 21, 27, 62, 63, 67,68]	1924–1967	Торфяники и обнажения вдоль Камы, Кунгурская лесостепь, Чусовское озеро и р. Вишерка, р. Южная Кельтма // Peatlands and outcroppings along the Kama, Kungur forest-steppe, Chusovskoye lake and Visherka river, Yuzhnaya Keltma river	29
Еловичева, Кокаровцев // Elovicheva, Kokarovtsev [27, 30]	1992	Болото Осинцево-I (Кишертский район) // Osintsevo-1 peatland (Kishert district)	1
Шумиловских, Шмидт, Перескоков, Мингалев, Санников и др. // Shumilovskikh, Schmidt, Batalova, Pereskokov, Mingalev, Sannikov et al. [65, 77, 79–81]	2016 – н.в. // Since 2016	Кунгурская лесостепь, Хвойно-широколиственные леса юга края, окрестности Перми, Бызимское болото // Kungur forest-steppe, Coniferous-broad leaved forests of south of the region, Perm's suburbs, Byzim peatland	15
Назаров, Копытов, Чернов, Лычагина, Жуйкова, Лаптева и др. // Nazarov, Korytov, Chernov, Lychagina, Zhuikova, Lapteva et al. [22, 23, 31, 38, 41–45, 49–55, 72]	2013 – по н.в. // Since 2013	Верхняя Камы и её притоки // Upper Kama and its tributaries	70
Лычагина, Трофимова, Лаптева, Демаков и др. // Lychagina, Trofimova, Lapteva, Demakov et al. [22, 23, 38, 41–45, 64]	2012 – по н.в. // Since 2012	Дедюхинский остров, Чашкинские озера, Усть-Коса // Dedukhinskiy island, Chashkino lakes, Ust-Kosa	8
Москвина, Крашенинников и др. // Moskvina, Krasheninikov et al.	2018 – по н.в. // Since 2018	Обнажения реки Сыры (Суксунский район) // Syra river's outcroppings (Suksun district)	1

Глубина исследованных отложений (рис. 1-D) варьирует в широком диапазоне, от 2–3 до 100 м. При этом подавляющая часть (92,7%) охватывает глубины

до 10 м. Все длинные (более 10 м) колонки, вскрывавшие полигенетические отложения, пробурены в 30-е, 50–60-е гг. XX в.

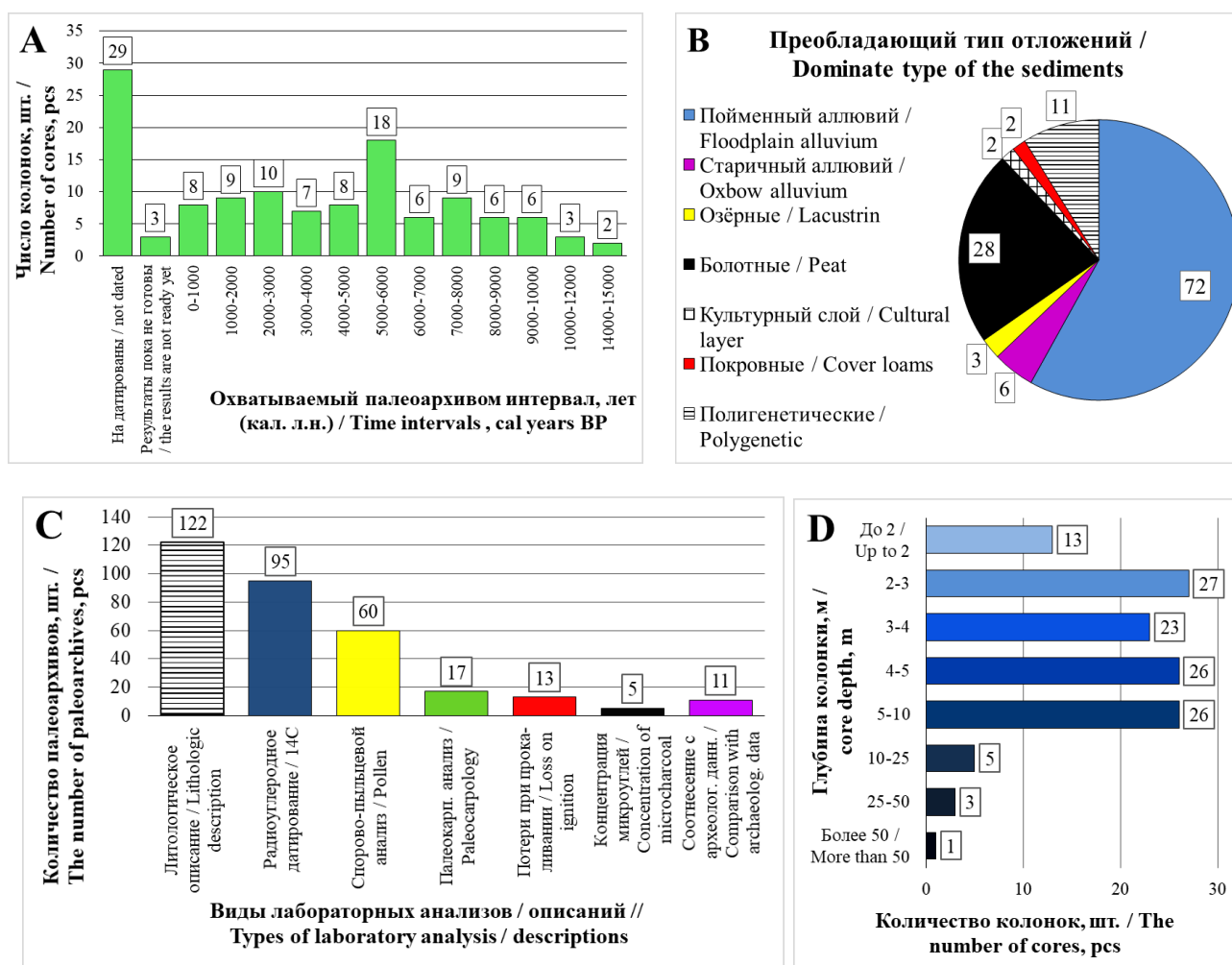


Рис. 1. Распределение исследованных палеоархивов Пермского Прикамья по: А) возрасту основания колонки (кал. л.н.) В) преобл. типу отложений С) видам лабораторных анализов Д) глубине колонки, м

Fig. 1. Distribution of studied cores in Perm Kama region by: A) basal age of core (cal yrs BP) B) dominate types of sediments C) types of laboratory analysis D) core depth, m

Большая часть (74,2%) палеоархивов датирована радиоуглеродным методом. При этом в 51,6% случаев датирован лишь 1 образец. Для 22,6% колонок возраст определен в нескольких (от 2 до 7) образцах. Подавляющая часть недатированных колонок относится к исследованиям начала и середины XX в., когда этот метод был недоступен. Еще для 3 современных колонок (Белое, Шабуничи-1, Верх-Иньвенское) датировка первых образцов проводится в настоящее время.

Возраст датированных палеоархивов (рис. 1-А) Пермского Прикамья охватывает позднеледниковое время и весь голоцен – вплоть до 15 тыс. лет (кал. л.н.). Наибольшее число колонок (18) имеет калиброванный возраст основания 5–6 тыс. лет (кал. л.н.). Отдельно отметим, что сейчас ведётся подготовка к включению в состав БД данных об изученных отложениях двух археологических поселений, возраст которых относится уже к позднему плейстоцену – до 33 и 41 тыс. (кал. л.н.), соответственно [84].

По генезису вскрытых отложений (рис. 1-В и рис. 2) более половины составляют пойменные аллювиальные

пойменные, около четверти болотные, около 10% полигенетические. На остальные типы отложений (старичный аллювий, культурные слои, озёрные и покровные) суммарно приходится чуть более 10%.

Среди методов исследования колонок наиболее популярно литологическое описание, радиоуглеродное датирование и спорово-пыльцевой анализ. Изучение растительных макроостатков, потери при прокаливании, концентрации микроугольков и соотнесение с археологическим контекстом применяется относительно редко (рис. 1-С).

Абсолютно большая часть исследованных палеоархивов относится к ботанико-географическому району среднетаёжных пихтово-еловых лесов в равнинной части по северу края. Близкое число (13–17) исследований проведено в трёх более южных ботанико-географических районах Пермского Прикамья: южнотаёжных Камско-Печорско-Западноуральских пихтово-еловых лесов; широколиственно-елово-пихтовых лесов; островной Кунгурской лесостепи. Горная часть

на востоке региона (объединяет районы средне- и пихтовых лесов; северо- и средне-таёжных кедрово-еловых горных лесов), остается неисследованной.

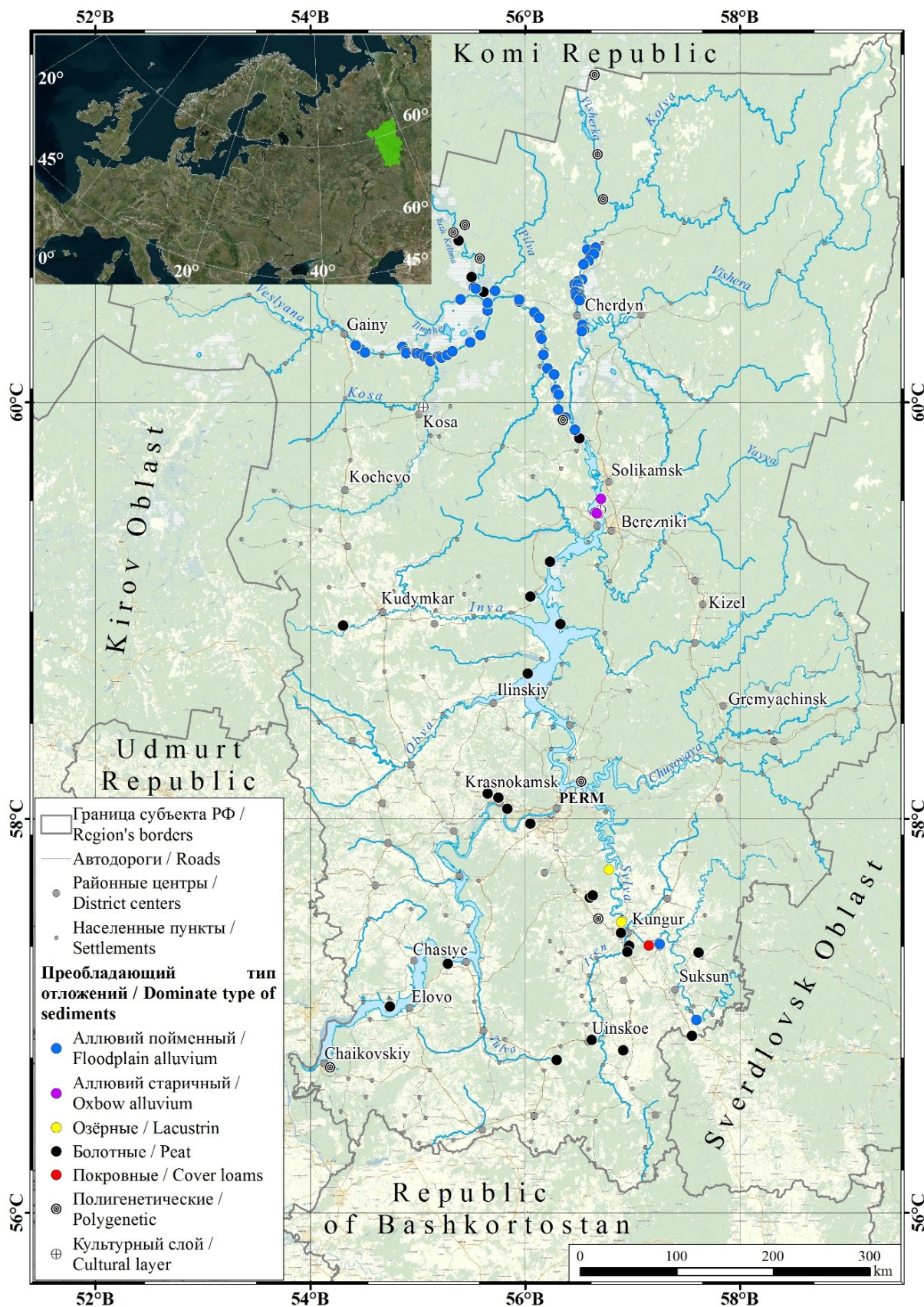


Рис. 2. Преобладающие типы отложений в исследованных палеоархивах Пермского Прикамья

Fig. 2. Main types of sediments in paleoarchives of Perm Kama region

Среди обследованных палеоархивов 9 полностью или частично утрачены в результате размыва водохранилищем (Камским и Воткинским) или деятельности по добыче полезных ископаемых.

Дискуссия

Развитие базы данных. Содержательное развитие PaleoPerm предполагает ряд направлений.

В любой работе систематизирующего, сводного характера, особенно на этапе создания, могут встречаться неточности и ошибки. Мы будем признательны авторам работ, фигурирующих в БД, равно как и любым другим пользователям PaleoPerm, за конструктивную критику, замечания и предложения. В случае выявления каких-либо неточностей база будет корректироваться.

Дополнение PaleoPerm будет происходить по мере выхода соответствующих публикаций. Для отслеживания планируется производить комплексный поиск статей (через реферативные базы данных) с периодичностью 1 раз в год. В первую очередь отслеживаться будут материалы по палеоархивам, из которых уже отобраны образцы, но сводных публикаций по ним пока нет. Кроме того, еще не обработан ряд значимых публикаций прошлых лет. Например, пристального внимания заслуживает кандидатское исследование А.П. Лебедевой 1948 г., в котором изучена стратиграфия и пыльца в ряде торфяников долины Камы [39].

Определенный интерес представляет взаимодействие со сторонними ресурсами, аккумулирующими информацию о палеоисследованиях. Например, два исследованных комплекса озёрных отложений (вблизи г. Перми и в юго-восточной части региона) указанных в палеолимнологической БД Восточно-Европейской равнины [85] нам неизвестны.

Перспективным представляется более полное наполнение PaleoPerm результатами археологических исследований. Например, пока в БД не отражены исследования стоянок Заозерье и Гарчи I, возраст которых составляет 41–34,5 и 33,0–28,8 тыс. (кал. л.н.), соответственно [84]. На сегодняшний день палеонтологические, палеозоологические, спелеологические материалы и палеоархивы горных территорий (например, Ишерим, Басеги) в базе полностью отсутствуют. Эта информация, как и данные дендрохронологических исследований, могут существенно пополнить PaleoPerm.

Амбициозным направлением развития следует считать расширение пространственного охвата БД – с Пермского Прикамья до Урала. Тем более, что степень палеоэкологической и палеогеографической изученности соседних регионов (Свердловская область, республика Коми, Башкортостан, Челябинская область, ХМАО, ЯНАО) выше, чем у Пермского края. Впрочем, эта работа требует существенно более долгой и скрупулезной подготовки, едва ли возможной без целевой финансовой поддержки.

Для увеличения охвата пользователей PaleoPerm планируется создание полноценной англоязычной версии базы данных.

Техническое совершенствование базы целесообразно в виде подготовки онлайн-карты, отражающей местоположение палеоархивов и, в дальнейшем, создания сайта. Это облегчит доступ к собранным данным, сделает их более «заметными» для широкой аудитории.

Перспективы развития палеогеографических и палеоэкологических исследований. Созданный ГИС-слой позволяет говорить о заметной пространственной неравномерности расположения объектов палеогеографических и палеоэкологических исследований Пермского Прикамья. Так, наиболее популярными районами работ являются: Верхняя Кама (от Тюлькино до Гайн) – исследовано 43 палеоархива; притоки Верхней Камы и заболоченные водораздельные пространства – 35; остров Дедюхинский и окрестности Чашкинских озер – 7; окрестности г. Перми – 5; Кунгурская лесостепь – 18; Седименты Камы от Усоля и до Чусового (исключая район г. Перми) – 8. Единичные палеоархивы изучены в зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов на юге (5) и Коми-Пермяцкий округ (за исключением прибрежных отложений Камы в Гайнском районе) на северо-западе региона (2). Полностью не изученной остается вся восточная предгорная и горная часть Пермского Прикамья. В зональном отношении слабой следует считать степень изученности подзон южной и средней тайги.

На сегодняшний день в регионе решаются ряд фундаментальных научных задач: ответ на вопрос о генезисе Кунгурской лесостепи; детализация палеогеографической истории Верхней Камы, выявление взаимосвязей и закономерностей природной динамики и развития доисторических сообществ. Перспективным представляется исследование естественной истории западного склона Среднего и Северного Урала в позднечетвертичное время, которая пока остается малоизученной. Глобальное стремление мирового сообщества к снижению антропогенного влияния на климатические изменения также может стимулировать исследования палеоархивов региона. В частности, исследования динамики поглощения углерода различными типами экосистем или исследование пожаров в прошлом.

Анализ проведенных исследований также показывает большую перспективность расширения спектра применяемых методов. Например, гранулометрического анализа для отложений, сложенных преимущественно минеральными частицами; подсчет частиц угля, для определения пирогенной обстановки; диатомовый анализ и исследование капсул хирономид в водных отложениях, позволяющие оценить температурный и гидрологический режим; изучение магнитовосприимчивости (каппа-метрия) для выявления интенсивности почвообразовательных процессов; анализ геохимических маркеров и дендрохронология для изучения климатической динамики и физико-химической обстановки; применение методов тифхронологии, как способа получения датировок высокой (вплоть до года) детализации.

Заключение

Пермское Прикамье представляет собой сравнительно малоизученный в палеогеографическом и палеоэкологическом отношении регион. При этом поиск сведений об изученных палеоархивах значительно осложняется «разбросанностью» соответствующих публикаций по узкопрофильным журналам, сборникам, монографиям, отчетам, часто труднодоступным и малоизвестным.

Авторским коллективом проведена систематизация данных об исследованных палеоархивах Пермского Прикамья голоценового и позднплейстоценового возраста. Её результаты оформлены в виде базы данных PaleoPerm, которая представляет доступ к метаданным исследований. При подготовке этого ресурса изучено 53 публикации, которые включают научные статьи, монографии, тезисы конференций, диссертации и фондовые материалы. В итоге собраны сведения о 124 изученных (или изучаемых в настоящее время) палеоархивах. Для каждого объекта, в формате MS Excel, отмечено более двух десятков параметров, к числу которых относятся: наличие датировок, максимальный калиброванный возраст, спектр проведенных анализов, публикационный статус исследования и ряд других.

Собранные материалы проанализированы по хронологии исследований, степени опубликованности, вкладу разных исследовательских групп, глубинам изученных отложений, степени их датированности, генезису и особенностям пространственного размещения. Данные о более чем половине исследуемых палеоархивов пока не опубликованы (30,6%), либо опубликованы частично (22,6%). Более ¾ объектов лабораторно продатированы, однако часто датирован лишь один образец. Максимальный возраст приходится на отметку 14,5 тыс. лет (кал. л.н.). Наибольшее число колонок имеет возраста в пределах 5–6 тыс. лет (кал. л.н.). Среди изученных палеоархивов преобладают пойменные аллювиальные, болотные и полигенетические отложения.

Наиболее очевидными перспективами развития базы данных следует считать её дальнейшее содержательное наполнение (как за счет анализа вновь публикуемой литературы, так и за счет взаимодействия со сторонними БД, которые охватывают Урал), корректировку неточностей, расширение спектра данных (прежде всего, за счет археологических, палеонтологических, палеозоологических, дендрохронологических материалов) и создание англоязычной версии ресурса.

Материалы базы данных PaleoPerm указывают на территориальную неравномерность изученности региона. Наиболее актуально изучение палеоархивов на востоке региона, в горной и предгорной частях, в подзоне смешанных хвойно-широколиственных лесов на юге края, а также в Коми-Пермяцком округе.

Все материалы PaleoPerm доступны по ссылке – <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19149824.v3>.

Сведения об авторском вкладе

Е.А. Мехоношина – подготовка сводной табличной информации о палеоархивах, подготовка таблиц и

рисунков для рукописи, вычитка финального варианта статьи.

С.В. Копытов – сбор, систематизация сведений о палеоархивах Верхней Камы и опорных разрезах плейстоцена, вычитка финального варианта статьи.

П.Ю. Санников – разработка структуры базы данных, векторизация местоположения палеоархивов, подготовка первого варианта рукописи, вычитка финального варианта статьи.

Л.С. Шумиловских – сбор, систематизация сведений о палеоархивах центральной и южной части Пермского Прикамья, вычитка финального варианта статьи.

Contribution of the authors

E.A. Mekhonoshina – preparation of summary tabular information on paleoarchives, preparation of tables and figures for the manuscript, proofreading of the final version of the article.

S.V. Kopytov – collection, systematization of information about the paleoarchives of the Upper Kama and reference sections of the Pleistocene, proofreading of the final version of the article.

P.Yu. Sannikov – development of the database structure, vectorization of the location of paleoarchives, preparation of the first version of the manuscript, proofreading of the final version of the article.

L.S. Shumilovskikh – collection, systematization of information about the paleoarchives of the central and southern parts of the Perm Kama region, proofreading of the final version of the article.

Список источников

1. *Абдулманова И.Ф., Игошева Е.А.* Сопоставление параметров экотопов болотных фитоценозов и глубин торфяной залежи Белого болота (Пермский край, Россия) // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 48–64. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-48-64>.
2. *Андродов В.А.* О речной сети в средней части западного склона Урала и Приуралья // Материалы по геоморфологии Урала. М.-Л.: Изд-во Мин. геол. СССР, 1948. С. 219–224.
3. *Бабеньшев В.М., Волкова Г.И., Колодяжная Л.И., Маринская Н.В., Тарантин В.Н.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Второе поколение. Серия Пермская. Лист О-40-XXV (Чайковский). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. 101 с.
4. *Бадер О.Н.* Хронология формирования аллювиальных террас на Урале в археологическом освещении // Труды Комиссии по изучению четвертичного периода. 1957. № XIII. С. 307–314.
5. *Варварина Е.К., Вязовкин Л.А., Голубев С.М.* Отчет о результатах инженерно-геологических исследований, проведенных Еловской партией в зоне проектируемого Воткинского водохранилища (левобережье р. Камы на участке от г. Осы до с. Сайгатка). М.: Мингео СССР, 1957. 800 с.
6. *Величко А.А.* Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария

- рия. Поздний плейстоцен-голоцен. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
7. *Водолазская В.П., Тетерин И.П., Кириллов В.А., Лукьянова Л.И.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40 – Пермь. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
8. *Генералов П.П.* Разрез позднего кайнозоя Колво-Вишерского и Верхнепечорского бассейнов // Вопросы стратиграфии и корреляции плиоценовых отложений северных и южных частей Предуралья. 1972. № 2. С. 77–103.
9. *Генкель А.А., Красовский П.Н.* Материалы по изучению растительности древней террасы р. Камы и её торфяных болот // Известия Биологического научно-исследовательского института при Пермском государственном университете. Пермь, 1934. Т.9, Вып. 1–3. С. 51–60.
10. *Генкель А.А.* Болота Пермской области // Биогеография и краеведение. Пермский педагогический институт. 1974. Вып. 2. С. 4–85.
11. *Генкель А.А.* Торфяники воронок Кунгурского карста // Землеведение. 1957. Т. IV. С. 81–98.
12. *Генкель А.А., Лебедева А.П.* О возрасте торфяных отложений в аллювиях Камы // Ученые записки. 1940. Том IV. Выпуск 1. С. 153–165.
13. *Герасимов Д.А.* Геоботаническое исследование торфяных болот Урала // Торфяное дело, 1926. №3. С. 53–58.
14. *Гитерман Р.Е.* Некоторые данные по истории растительности низовьев р. Чусовой в четвертичное время // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М.: Издательство Академии наук СССР, 1953. № 17. С. 91–100.
15. *Голубева Л.В.* Результаты спорово-пыльцевых анализов некоторых четвертичных отложений в Кишертском районе Молотовской области // Известия Естественно-Научного Института при Молотовском государственном университете им. А.М. Горького. 1956, Т. 13. Вып. 9. С. 175–190.
16. *Горецкий Г.И.* Аллювий великих антропогенных прарек Русской равнины. Прареки Камского бассейна. М.: Наука, 1964. 416 с.
17. *Громов В.И.* Палеонтологическое и археологическое обоснование стратиграфии континентальных отложений четвертичного периода на территории СССР // Труды ГИН АН СССР. Вып. 64. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 521 с.
18. *Громов В.И.* Палеонтолого-стратиграфическое изучение террас в низовьях р. Чусовой (Урал) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М.: Издательство Академии наук СССР, 1948а. № 11. С. 29–48.
19. *Гросвальд М.Г.* Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Материалы гляциологических исследований. М.: Наука, 2009. Вып. 106. 152 с.
20. *Данилова М.М.* Болота долины реки Камы // Известия Естественнонаучного института при Пермском университете. 1948. Т. 12. Вып. 6. С. 253–268.
21. *Данилова М.М.* Болота юго-западных районов Пермской области // Ученые записки Пермского университета. 1964. Т. 114. С. 79–91.
22. *Демаков Д.А., Лычагина Е.Л., Копытов С.В., Назаров Н.Н., Чернов А.В., Трофимова С.С., Лантева Е.Г., Зарецкая Н.Е.* Реконструкция природного окружения древних и средневековых обществ в бассейне Верхней Камы // Экология древних и традиционных обществ. материалы V Международной научной конференции. 2016. Вып. 5. С. 92–97.
23. *Демаков Д.А., Лычагина Е.Л., Лантева Е.Г.* Первые итоги раскопок на мезолитической стоянке Коса II // Труды Камской археолого-этнографической экспедиции. 2019. № 15. С. 4–10.
<https://doi.org/10.24411/2658-7637-2019-11501>
24. *Еловичева Я.К.* История развития природной среды поздне- и послеледниковья Пермской области // Карбонатная гажа СССР. Пермь: Изд-во Пермского политехнического института, 1991. С. 66–78.
25. *Зарецкая Н.Е., Лычагина Е.Л., Демаков Д.А., Косинцев П.А., Лантева Е.Г., Трофимова С.С., Чернов А.В.* Косинские стоянки в контексте мезолита верхнего Прикамья: природная среда и новые данные // V Северный археологический конгресс. Ханты-Мансийск, 2019. С. 322–325.
26. *Зарецкая Н.Е., Лычагина Е.Л., Лантева Е.Г., Трофимова С.С., Чернов А.В.* Пойма Камы: реконструкция среды обитания древних и средневековых сообществ среднего Предуралья // Российская археология. 2020. № 1. С. 44–59.
27. *Зилинг Д.Г., Капитанова К.В., Кулагин С.И., Галушкин Ю.А., Симонов А.Н., Корганова Л.С.* Отчет о результатах инженерно-геологических исследований, проведенных Камской партией в зоне проектируемого Верхне-Камского водохранилища (на участке от с. Бондюг до с. Гайны) в 1958-59 гг. М.: Мингео СССР, 1960. 830 с.
28. Итоги биостратиграфических и физических исследований плиоцена и плейстоцена Волго-Уральской области / под ред. В.Л. Яхимовича. Уфа: БФАН СССР, 1977. 152 с.
29. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 280 с.
30. *Кокаровцев В.К.* Геология и ресурсы голоценовых агрокарбонатов Пермского Предуралья: монография. Екатеринбург: Центр науч.-техн. творчества молодежи Перм. политехн. ин-та, 1992. 215 с.
31. *Копытов С.В.* Пространственно-временная изменчивость геосистем долины верхней Камы: дис. канд. геогр. наук: 25.00.23. Пермь, 2016. 178 с.
32. *Коржинский С.И.* Предварительный отчет о почвенных и геоботанических исследованиях 1886 года в губерниях Казанской, Самарской, Уфимской, Пермской и Вятской // Труды общества естествоиспытателей при Казанском университете. 1887. № 16 (6). С. 1–72.
33. *Коржинский С.И.* Северная граница черноземностепной области восточной полосы Европейской России в ботанико-географическом и почвенном

отношении: II Фитогеографические исследования в губерниях Симбирской, Самарской и отчасти Вятской // Труды общества естествоиспытателей при Казанском университете. 1891. № 22 (6). С. 1–201.

34. *Крапивнер Р.Б.* Проблема соединения бассейнов Камы, Вычегды и Печоры в четвертичное время и перигляциальные отложения бассейна Камы // Бюл. МОИП. Отд. геологии. 1961. Т. XXXVI (2). С. 81–101.

35. *Крапивнер Р.Б., Зайонц И.Л., Безроднов В.Д.* Отчет о результатах инженерно-геологических исследований, проведенных Вишерской партией в зоне проектируемого Верхне-Камского водохранилища в 1958–59 г.г., 1960.

36. *Краснов И.И.* Четвертичные отложения и геоморфология Камско-Печорско-Вычегодского водораздела и прилегающих территорий // Материалы по геоморфологии Урала. М., Л.: Изд-во Мин-ва геологии СССР, 1948. № 1. С. 47–88.

37. *Красовский П.Н., Сергеева А.М.* Об ошибочности отнесения к лесостепи Красноуфимской и Кунгурской территорий Приуралья // Известия Пермского биологического научно-исследовательского института. 1933. № 8(6-8). С. 265–276.

38. *Лаптева Е.Г., Зарецкая Н.Е., Косинцев П.А., Лычагина Е.Л., Чернов А.В.* Первые данные о динамике растительности Верхнего Прикамья в среднем и позднем голоцене // Экология. 2017. № 4. С. 267–276.

39. *Лебедева А.П.* Торфяные болота в долине среднего течения реки Камы: дис. канд. биол. наук. Пермь, 1948. 195 с.

40. *Лидер В.А.* Четвертичные отложения Урала. М.: Недра, 1976. 137 с.

41. *Лычагина Е.Л., Демаков Д.А., Чернов А.В., Зарецкая Н.Е., Копытов С.В., Лаптева Е.Г., Трофимова С.С.* Среда обитания древнего человека в бассейне Верхней Камы: опыт реконструкции // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2021. № 1(52). С. 5–19. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2021-52-1-1>

42. *Лычагина Е.Л., Зарецкая Н.Е., Трофимова С.С., Чернов А.В., Лаптева Е.Г., Зиновьев Е.В.* Палеоэкологические исследования в районе Чашкинского озера (Среднее Предуралье) // Седьмые Берсовские чтения: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург, 2016. С. 294–302

43. *Лычагина Е.Л., Зарецкая Н.Е., Чернов А.В., Лаптева Е.Г.* Реконструкция природных условий в районе Чашкинского озера в эпоху неолита // Природная среда и модели адаптации озерных поселений в мезолите и неолите лесной зоны Восточной Европы: Материалы Международной научной конференции. Санкт-Петербург: Периферия, 2014. С. 15–19.

44. *Лычагина Е.Л., Лаптева Е.Г., Зарецкая Н.Е., Копытов С.В., Чернов А.В., Трофимова С.С., Демаков Д.А.* Реконструкция природной среды Верхнего Прикамья в голоцене по данным мультидисциплинарного изучения разреза Леваты // Экология древних и традиционных обществ: Материалы VI Международ-

ной научной конференции. Тюмень: ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН. 2020. С. 75–78.

45. *Лычагина Е.Л., Чернов А.В., Зарецкая Н.Е., Лаптева Е.Г., Трофимова С.С.* Чашкинское озеро и древний человек в голоцене // Неолитические культуры Восточной Европы: хронология, палеоэкология, традиции: материалы Международной научной конференции. СПб. 2015. С. 183–188.

46. *Малеев К.И., Усольцев В.А., Бараковских Е.В.* Леса Пермского края, состояние и пути оптимизации // Ботанические исследования на Урале: Материалы региональной с международным участием конференции, посвященной памяти П.Л. Горчаковского. Пермь, 10-12 ноября 2009 г. Пермь: Пермский государственный университет, 2009. С. 220–223.

47. *Марков К.К., Лазуков Г.И., Николаев В.А.* Четвертичный период (ледниковый период – антропогенный период). Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1965. 371 с.

48. *Минина М.В., Субетто Д.А., Кошелева Е.А., Кузнецов Д.Д.* Формирование базы данных «PALEOLADOGA» для палеолимнологических исследований // Географический вестник. 2018. №2 (45). С. 18–27. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-2-18-27>

49. *Назаров Н.Н.* География Пермского края. Ч. I. Природная (физическая) география. Пермь: Перм. ун-т, 2006. 137 с.

50. *Назаров Н.Н., Копытов С.В.* Использование данных дистанционного зондирования в изучении перестроек речной сети (на примере верхней Камы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 105–117. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-1-105-117>

51. *Назаров Н.Н., Копытов С.В.* История перестройки русловых систем Камско-Кельтминской низменности в позднем плейстоцене – голоцене // Географический вестник. 2020. № 4 (55). С. 6–17. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-6-17>

52. *Назаров Н.Н., Копытов С.В.* Проблема определения возраста пойменных генераций // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26. № 3. С. 122–126.

53. *Назаров Н.Н., Копытов С.В.* Этапы формирования речной сети бассейна Верхней Камы в плейстоцене // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2020. Т. 162. № 1. С. 180–200. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.1.180-200>

54. *Назаров Н.Н., Копытов С.В., Жуйкова И.А., Чернов А.В.* Плейстоценовые каналы стока в Южной части Кельтминской ложбины (Камско-Вычегодское междуречье) // Геоморфология. 2020. № 4. С. 74–88. <https://doi.org/10.31857/S0435428120040070>

55. *Назаров Н.Н., Копытов С.В., Чернов А.В.* К вопросу о возрасте пойм прерывисто-динамического развития (на примере Верхней Камы) // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 15–27. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-3-15-27>

56. *Овеснов С.А.* Кунгурская лесостепь: феномен или фантом? // Ботанические исследования на Урале: Материалы региональной с международным участием конференции, посвященной памяти П.Л. Горчаков-

ского. Пермь, 10-12 ноября 2009 г. Пермь: Пермский государственный университет, 2009. С. 270–275.

57. Пономарев А.Н. Лесостепной комплекс северной окраины Кунгурской лесостепи // Известия Естественнонаучного института при Пермском университете. 1948. № 12 (6). С. 225–233.

58. Рябков Н.В. Древние приледниковые бассейны междуречья Камы, Печоры, Вычегды и их реликты // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 1976. № 45. С. 94–105.

59. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022620724 Российская Федерация. База данных палеоархивов позднего плейстоцена и голоцена Пермского Прикамья – PaleoPerm: № 2022620519: заявл. 25.03.2022: опублик. 05.04.2022 / П.Ю. Санников, С.В. Копытов, Е.А. Мехоношина, Л.С. Шумиловских; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

60. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620197 Российская Федерация. База палеогеографических, палеоэкологических и геoarхеологических данных PaleoAltai: № 2020622374: заявл. 24.11.2020: опублик. 01.02.2021 / Н.А. Рудая, И.М. Греков, А.И. Волкова; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт археологии и этнографии Сибирского отделения Российской академии наук.

61. Степанов А.Н. Плиоцен(?)–плейстоценовые отложения междуречья Печоры и Колвы // Вопросы стратиграфии и корреляции плиоценовых отложений северных и южных частей Предуралья. 1976. С. 62–85.

62. Сторожева М.М. О возрасте первой надпойменной террасы долины реки Камы, по данным анализа пыльцы в торфе // Записки Свердловского отделения Всесоюзного ботанического общества. 1962. Вып. 2. С. 115–123.

63. Стратиграфия четвертичных (антропогенных) отложений Урала / под ред. В.Л. Яхимовича, В.А. Лидер. М.: Недра, 1965. 250 с.

64. Трофимова С.С., Зарецкая Н.Е., Лантева Е.Г., Лычагина Е.Л., Чернов А.В. Опыт использования методов палеоэкологических исследований для реконструкции природной среды голоцена // Экология. 2019. № 6. С. 438–445.

<https://doi.org/10.1134/S036705971906012X>

65. Шумиловских Л.С., Санников П.Ю. История Кунгурской лесостепи в голоцене: проблематика, подходы и первые результаты // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42. №4. С. 487–496.

66. Яковлев С.А. Основы геологии четвертичных отложений Русской равнины. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 314 с.

67. Яхимович В.Л., Немкова В.К., Семенов И.Н. Стратиграфия плиоцен-плейстоценовых отложений Тимано-Уральской области и их корреляция по Предуралью. М.: Наука, 1973. 100 с.

68. Яхимович В.Л., Немкова В.К., Яковлев А.Г. Региональные подразделения новой стратиграфической схемы плейстоцена Предуралья и некоторые опорные разрезы. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. 65 с.

69. Binney, H., Edwards, M. and Willis, K. Establishing a Northern Eurasian paleoecological database: The pollen data // PAGES news. 2008. Vol. 13. Iss. 3. P. 34–34. <https://doi.org/10.22498/pages.16.3.34>

70. Blarquez, O., Vannièrè, B., Marlon, J., Daniiau, A., Power, M., Brewer, S., Bartlein, P. Paleofire: An R package to analyse sedimentary charcoal records from the Global Charcoal Database to reconstruct past biomass burning // Computers & Geosciences. 2014. Vol. 72. P. 255–261. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2014.07.020>

71. Diepenbroek, M., Grobe, H., Reinke, M., Schindler, U., Schlitzer, R., Sieger, R. and Wefer, G. PANGAEA – an information system for environmental sciences // Computers & Geosciences. 2002. Vol. 28. Iss. 10. P. 1201–1210. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00039-0)

72. Nazarov N.N., Kopytov S.V., Zhuikova I.A., Chernov A.V. History of the channel systems formation of the Kama-Keltma lowland in the late pleistocene // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. P. 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/321/1/012023>

73. Panin A.V., Astakhov V.I., Lotsari E., Komatsu G., Lang J., Winsemann J. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia. // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 201. 103069. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103069>

74. Power, M., Marlon, J., Bartlein, P., Harrison, S. Fire history and the Global Charcoal Database: A new tool for hypothesis testing and data exploration // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. Vol. 291. Iss. 1–2. P. 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.09.014>

75. Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62. Iss. 4. P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>

76. Rudaya, N., Krivonogov, S., Słowiński, M., Cao, X., Zhilich, S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity // Quaternary Science Reviews. 2020. Vol. 249. P. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106616>

77. Schmidt M., Shumilovskikh L.S., Pereskovov M.L., Sannikov P.Yu., Abdulmanova I.F., Giesecke T. Holocene vegetation history of Uinskoe mire, cis-Urals, European Russia. In prep.

78. Schweingruber, Fritz Hans (2007): Tree-ring chronology of *Pinus sylvestris* (Scotch pine) compiled from tree samples VISHERP. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, PANGAEA. URL: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.601330> (дата обращения: 20.01.2022)

79. Shumilovskikh L.S., Sannikov P.Yu., Efimik E.G., Shestakov I.E., Mingalev V.V. Long-term ecology and conservation of the Kungur forest-steppe (pre-Urals, Russia): case study Spasskaya Gora // Biodiversity and Conservation. 2021. Vol. 30, Iss. 13. P. 4061–4087. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02292-7>

80. Shumilovskikh L.S., Schlütz F., Lorenz M., Tomaselli B. Non-pollen palynomorphs notes: 3. Phototrophic loricate euglenoids in palaeoecology and the effect of acetolysis on *Trachelomonas loricae*. Review of Palaeobotany and Palynology. 2019. 270, P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2019.06.017>

81. Shumilovskikh L.S., Schmidt M., Pereskokov M.L., Sannikov P.Yu. Postglacial history of East European boreal forests in the mid-Kama region, pre-Urals, Russia // Boreas. 2020. Vol. 49, Iss. 3. P. 526–543. <https://doi.org/10.1111/bor.12436>

82. Stuiver, M., Reimer, P. and Reimer, R., 2021. CALIB 8.2 [WWW program]. URL: <http://calib.org> (дата обращения: 28.11.2021).

83. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I., Demidov I., Dowdeswell J.A., Funder S., Gataullin V., Henriksen M., Hjort C., Houmark-Nielsen M., Hubberten H.W., Ingolfsson O., Jakobsson M., Kjær K.H., Larsen E., Lokrantz H., Lunkka J.-P., Lysa A., Mangerud J., Matiouchkov A., Murray A., Møller P., Niessen F., Nikolskaya O., Polyak L., Saarnisto M., Siegert C., Siegert M., Spielhagen R., Stein R. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // Quaternary Science Reviews. 2004. Vol. 23. P. 1229–1271. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.12.008>

84. Svendsen, J., Heggen, H., Hufthammer, A., Mangerud, J., Pavlov, P., Roebroeks, W. Geo-archaeological investigations of Palaeolithic sites along the Ural Mountains – On the northern presence of humans during the last Ice Age // Quaternary Science Reviews. 2010. Vol. 29. P. 3138–3156. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.06.043>

85. Syrykh, L.S., Subetto, D.A. and Nazarova, L.B. Paleolimnological studies on the East European Plain and nearby regions: the PaleoLake Database // Journal of Paleolimnology. 2021. Vol. 65, Iss. 3. P. 369–375. <https://doi.org/10.1007/s10933-020-00172-8>

86. Williams, J., Grimm, E., Blois, J., Charles, D., Davis, E., Goring, S., Graham, R., Smith, A., Anderson, M., Arroyo-Cabrales, J., Ashworth, A., Betancourt, J., Bills, B., Booth, R., Buckland, P., Curry, B., Giesecke, T., Jackson, S., Latorre, C., Nichols, J., Purdum, T., Roth, R., Stryker, M., Takahara, H. The Neotoma Paleoecology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource // Quaternary Research. 2018. Vol. 89. Iss. 1. P. 156–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.105>

References

1. Abdulmanova, I. and Igosheva, E., 2021. Comparison of bog phytocenosis ecotopes parameters and peat deposit depths of the Beloe bog (Perm region, Russia). *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(1), pp. 48–64. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-48-64>. (in Russian)

2. Aprodov V.A. 1948. *O rechnoy seti v sredney chasti zapadnogo sklona Urala i Priuralya*, in *Materialy po geomorfologii Urala* [About the river network in the middle of the western slope of the Urals and the PreUrals]. Moscow, Gosgeolizdat publ. pp. 219–224. (in Russian)

3. Babenyshv, V., Volkova, G., Kolodyazhnaya, L., Marinskaya, N., and Tarantin, V., 2017. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Masshtab 1:200 000. Vtoroe pokolenie. Seriya Permskaya. List O-40-XXV (Chaikovskiy). Obyasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Second generation. Perm series. Sheet O-40-XXV (Tchaikovsky). Interpretativenote]. Moscow, Moscow Branch of FSBI RGRI. 101 p. (in Russian)

4. Bader, O., 1957. Khronologiya formirovaniya alluvial'nykh terras na Urale v arkheologicheskom osveshchenii [Chronology of the formation of alluvial terraces in the Urals in the archaeological review]. *Trudy Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. (XIII), pp. 307–314. (in Russian)

5. Varvarina, E., Vyazovkin, L. and Golubev, S., 1957. *Otchet o rezul'tatakh inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy, provedennykh Yelovskoy partiei v zone proektiruемого Votkinskogo vodokhranilishcha (levoberezh'e r. Kamy na uchastke ot g. Osy do s. Saigatka)* [Report on the results of engineering and geological researches conducted by the Yelovskaya party in the area of the projected Votkinsk reservoir (left bank of the Kama River in the area from Osa to Saigatka)]. Moscow, MinGeo of the USSR publ. 800 p. (in Russian)

6. Velichko, A.A. (2009) *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya. Pozdnii pleistotsen-golotsen* [Paleoclimates and paleoenvironments of extra-tropical regions of the Northern Hemisphere. Late Pleistocene – Holocene. Atlas-monograph]. Moscow, GEOS. (in Russian).

7. Vodolazskaya, V., Teterin, I., Kirillov, V., Lukyanova, L. et. al. 2015. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (trete pokolenie). Seriya Uralskaya. List O-40 – Perm. Obyasnitelnaya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Ural series. Sheet O-40 – Perm. Explanatory letter]. SPb, VSEGEI publ. 497 p. (in Russian)

8. Generalov, P., 1972. *Razrez pozdnego kainozoya Kolvo-Visherskogo i Verkhnepecherskogo basseinov* [Section of the Late Cenozoic of the Kolvo-Vishersky and Verkhnepechersky basins]. *Ufa, BFAN*. IV, pp. 81–98. (in Russian)

9. Genkel, A. and Lebedeva, A., 1940. *O vozraste torfyanyh otlozhenij v allyuviyah Kamy* [About the age of

- peat deposits in the Kama alluvium]. *Uchenye zapiski*. IV (1), pp. 153–165. (in Russian)
10. Genkel, A., 1957. Torfyaniki voronok Kungurskogo karsta [Peat bogs of the funnels of the Kungur karst]. *Zemlevedenie*. IV, pp. 81–98. (in Russian)
11. Genkel, A., 1974. Bolota Permskoy oblasti [Swamps of the Perm region]. *Biogeografiya i kraevedenie. Permskiy pedagogicheskiy institut*. (2), pp. 4–85. (in Russian)
12. Genkel, A., Krasovskii, P., 1934. Materialy po izucheniyu rastitel'nosti drevnej terrasy r. Kamy i eyo torfyanikh bolot [Materials on the study of vegetation of the ancient terrace of the Kama River and its peat bogs]. *Izvestiya Biologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta pri Permskom gosudarstvennom universitete*. 9 (1-3), pp. 51–60. (in Russian)
13. Gerasimov D., 1926. Geobotanicheskoe issledovanie torfyanikh bolot Urala [Geobotanical study of peat bogs in the Urals]. *Torfyanoe delo*. (3), pp. 53–58. (in Russian)
14. Gitterman, R., 1953. Nekotorye dannye po istorii rastitel'nosti nizov'ev r. Chusovoj v chetvertichnoe vremya [Some data on the vegetation history of the lower reaches of the Chusovaya River in Quaternary time]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. (17), pp. 91–100. (in Russian)
15. Golubeva, L., 1956. Rezul'taty sporovopyl'cevykh analizov nekotorykh chetvertichnykh otlozhenij v Kishertskom rajone Molotovskoy oblasti [Results of spore-pollen analyses of some quaternary sediments in the Kishertsky district of the Molotov region]. *Izvestiya Estestvenno-Nauchnogo Instituta pri Molotovskom gosudarstvennom universitete im. A.M. Gor'kogo*. 13(9), pp. 175–190. (in Russian)
16. Goretskii, G., 1964. *Allyuvij velikih antropogenovykh prarek Russkoj ravniny. Prareki Kamskogo bassejna* [Alluvium of the great anthropogenic prarivers of the Russian Plain. Prarivers of the Kama basin]. Moscow, Science publ. 416 p. (in Russian)
17. Gromov, V., 1948a. Paleontologo-stratigraficheskoe izuchenie terras v nizov'yah r. Chusovoj (Ural) [Paleontological and stratigraphic study of terraces in the lower reaches of the Chusovaya River (Ural)]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. (11), pp. 29–48. (in Russian)
18. Gromov, V., 1948b. *Paleontologicheskoe i arheologicheskoe obosnovanie stratigrafii kontinental'nykh otlozhenij chetvertichnogo perioda na territorii SSSR* [Paleontological and archaeological substantiation of the stratigraphy of continental deposits of the Quaternary period on the territory of the USSR]. *Trudy GIN AN SSSR*. (64), 521 p.
19. Grosswald, M., 2009. Ice sheets in the Russian North and North-East during the last Great Chill. *Materials of glaciological studies*. 106. 152 p. (in Russian)
20. Danilova, M., 1948. Bolota doliny reki Kamy [Swamps of the Kama River Valley]. *Izvestiya Estestvennonauchnogo instituta pri Permskom universitete*. 12(6), pp. 253–268. (in Russian)
21. Danilova, M., 1964. Bolota yugo-zapadnykh rajonov Permskoy oblasti [Swamps of the south-western districts of the Perm region]. *Uchenye zapiski Permskogo universiteta*. 114, pp. 79–91. (in Russian)
22. Demakov, D., Lychagina, E., Kopytov, S., Nazarov, N., Chernov, A., Trofimova, S., Lapteva, E. and Zareckaya, N. 2016. *Reconstruction of the natural environment of ancient and medieval societies in the Upper Kama basin. Ecology of ancient and traditional societies. materials of the V International Scientific Conference*. 5, pp. 92–97. (in Russian)
23. Demakov, D., Lychagina, E. and Lapteva, E., 2019. Pervye itogi raskopok na mezoliticheskoy stoyanke Kosa II [The first results of excavations at the Mesolithic site of Kos II]. *Trudy Kamskoj arheologo-etnograficheskoy ekspedicii*. (15), pp. 4–10. <https://doi.org/10.24411/2658-7637-2019-11501> (in Russian)
24. Yelovicheva, Ya., 1991. Istoriya razvitiya prirodnoj sredy pozdne- i poslednikov'ya Permskoy oblasti [History of the development of the natural environment of the late and post-Glacial Perm region]. *Karbonatnaya gazha SSSR* [Carbonate clay of the USSR]. Perm, Perm Polytechnic Institute publ., pp. 66–78. (in Russian)
25. Zareckaya, N., Lychagina, E., Demakov, D., Kosincev, P., Lapteva, E., Trofimova, S., and Chernov, A., 2019. Kosinskie stoyanki v kontekste mezolita verhnego Prikam'ya: prirodnaya sreda i novye dannye [Kosinsky sites in the context of the Mesolithic of the Upper Kama region: natural environment and new data]. *V Severnyj arheologicheskij kongress*. Hanty-Mansijsk, pp. 322–325. (in Russian)
26. Zareckaya, N., Lychagina, E., Lapteva, E., Trofimova, S., and Chernov, A., 2020. Pojma Kamy: rekonstrukciya sredy obitaniya drevnih i srednevekovykh soobshchestv srednego Predural'ya [Kama Floodplain: reconstruction of the habitat of ancient and medieval communities of the Middle Urals]. *Rossijskaya arheologiya*. (1), pp. 44–59. (in Russian)
27. Ziling, D., Kapitanova, K., Kulagin, S., Galushkin, Yu., Simonov, A. and Korganova, L., 1960. *Otchet o rezul'tatah inzhenerno-geologicheskikh issledovanij, provedennykh Kamskoj partij v zone proektiruемого Verhne-Kamskogo vodohranilishcha (na uchastke ot s. Bondyug do s. Gajny) v 1958–59 gg.* [Report on the results of engineering and geological researches conducted by the Kama Party in the area of the projected Upper Kama reservoir (on the section from Bondyug village to Gaina village) in 1958–59]. Moscow, MinGeo of the USSR publ., 830 p. (in Russian)
28. Yahimovich V. (ed.), 1977. *Itogi biostratigraficheskikh i fizicheskikh issledovanij pliocena i plejstocena Volgo-Ural'skoj oblasti* [Results of biostratigraphic and physical studies of the Pliocene and Pleistocene of the Volga-Ural region]. Ufa, BBAS publ. 157 p. (in Russian)
29. Kvasov, D., 1975. *Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennih morej Vostochnoj Evropy* [Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe]. Leningrad, Science publ. 280 p. (in Russian)

30. Kokarovcev, V., 1992. *Geologiya i resursy golo-cenovyh agrokarbonatov Permskogo Predural'ya: monografiya* [Geology and resources of Holocene agroc-carbonates of the Permian Urals: monograph]. Ekaterin-burg, The Center of Science and Technology. creativity of youth Perm. Polytechnic. in-te publ. 215 p. (in Russian)
31. Kopytov S., 2016. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' geosistem doliny verhnej Kamy* [Spatial and temporal variability of geosystems of the Upper Kama Valley]. Ph.D. of Sciences in Geography. Perm, 178 p. (in Russian)
32. Korzhinskiy, S., 1887. Predvaritel'nyj otchet o pochvennyh i geobotanicheskikh issledovaniyah 1886 goda v guberniyah Kazanskoj, Samarskoj, Ufimskoj, Permskoj i Vyatskoj [Preliminary report about soil and botanical research in Samar, Kazan, Ufa, Perm, Vyatka regions at 1886]. *Trudy obshchestva estestvoispytatelej pri Kazanskom universitete*. 16(6), pp. 1–72. (in Russian)
33. Korzhinskiy, S., 1891. Severnaya granica chernozemnostejnoj oblasti vostochnoj polosy Evropejskoj Rossii v botaniko-geograficheskom i pochvennom otnoshenii: II Fitogeograficheskie issledovaniya v guberniyah Simbirskoj, Samarskoj i otchasti Vyatskoj [North frontier of east chernozem region of the eastern band of European part of Russia in the botanical and soil aspects: Second phitogeographical research in Simbirsk, Samar region and part of Vyatka region]. *Trudy obshchestva estestvoispytatelej pri Kazanskom universitete*. 22 (6), pp. 1–201. (in Russian)
34. Krapivner R., 1961. Problema soedineniya bassejnov Kamy, Vychehdy i Pechory v chetvertichnoe vremya i periglacial'nye otlozheniya bassejna Kamy [The problem of connecting the Kama, Vychehda and Pechora basins in Quaternary time and periglacial deposits of the Kama basin]. *Byulleten' MOIP. Otdela geologii*. XXXVI (2). P. 81–101. (in Russian)
35. Krapivner, R., Zajonc, I., Bezrodnov, V., 1960. Otchet o rezul'tatah inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy, provedennyh Visherskoj partiej v zone proektiruemogo Verhne-Kamskogo vodohranilishcha v 1958–59 g.g. [Report on the results of engineering and geological researches conducted by the Vishera Party in the area of the projected Verkhne-Kama reservoir in 1958–59] (in Russian)
36. Krasnov, I., 1948. Chetvertichnye otlozheniya i geomorfologiya Kamsko-Pechorsko-Vychehodskogo vodorazdela i prilgayushchih territorij [Quaternary deposits and geomorphology of the Kama-Pechora-Vychehda watershed and adjacent territories]. *Materialy po geomorfologii Urala*. Moscow: Gosgeolizdat publ. pp. 47–87. (in Russian)
37. Krasovskiy, P., Sergeeva, A. 1933. Ob oshibochnosti otneseniya k lesostepi Krasnoufimskoj i Kungurskoj territorij Priural'ya [About the erroneous attribution to the forest-steppe of the Krasnoufimskaya and Kungur territories of the Preurals]. *Izvestiya Permskogo biologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo institute*. 8(6–8), pp. 265–276. (in Russian)
38. Lapteva, E., Zareckaya, N., Kosincev, P., Lychagina, E. and Chernov, A., 2017. The first data on the dynamics of vegetation of the Upper Kama region in the Middle and late Holocene. *Ecology*, (4), pp. 267–276. (in Russian)
39. Lebedeva A., 1948. *Torfyanje bolota v doline srednego techeniya reki Kamy* [Peat bogs in the valley of the middle course of the Kama River]. Ph. D. Dissertation of Sciences in Biology. Perm, 195 p.
40. Lider, V., 1976. *Chetvertichnye otlozheniya Urala* [Quaternary deposits of the Urals]. Moscow, Nedra publ. 137 p. (in Russian)
41. Lychagina, E., Demakov, D., Chernov, A., Zareckaya, N., Kopytov, S., Lapteva, E. and Trofimova S., 2021. Habitat of ancient man in the Upper Kama basin: reconstruction experience. *Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography*, 1(52), pp. 5–19. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2021-52-1-1> (in Russian)
42. Lychagina, E., Zareckaya, N., Trofimova, S., Chernov, A., Lapteva, E., and Zinov'ev, E., 2016. Paleocological researches in the area of Chashkinsky Lake (Middle Urals). *Seventh Bersov readings: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Ekaterinburg, Russia, pp. 294–302. (in Russian)
43. Lychagina, E., Zareckaya, N., Chernov, A. and Lapteva, E., 2014. Reconstruction of natural conditions in the area of Lake Chashkin in the Neolithic era. Natural environment and models of adaptation of lake settlements in the Mesolithic and Neolithic forest zone of Eastern Europe: *Proceedings of the International Scientific Conference*. St. Petersburg, Periphery, pp. 15–19. (in Russian)
44. Lychagina, E., Lapteva, E., Zareckaya, N., Kopytov, S., Chernov, A., Trofimova, S. and Demakov, D., 2020. Reconstruction of the natural environment of the Upper Kama region in the Holocene according to the multidisciplinary study of the Levata section. *Ecology of Ancient and Traditional Societies: Proceedings of the VI International Scientific Conference*. Tyumen, FITC Tyumen Scientific Center SB RAS, pp. 75–78. (in Russian)
45. Lychagina, E., Chernov, A., Zareckaya, N., Lapteva, E. and Trofimova, S., 2015. Chashkinskoe Lake and ancient man in the Holocene. Neolithic cultures of Eastern Europe: chronology, paleoecology, traditions: *materials of the International Scientific Conference*. St. Petersburg, pp. 183–188. (in Russian)
46. Maleev, K., Usoltsev, V., Baranovskikh, E. 2009. Forests of Perm region – state and ways of optimization. In: *Botanicheskie issledovaniya na Urale. Materialy regionalnoj s mezhdunarodnym uchastiem konferencii, posvyazhennoi pamyati P.L. Gorchakovskogo* [Botanical studies in the Urals. Materials of the regional conference with international participation dedicated to the memory of P.L. Gorchakovsky] 10–12 November 2009. Perm, Russia. Perm State University, pp. 220–223. (in Russian)
47. Markov, K., Lazukov, G. and Nikolaev, V., 1965. *Chetvertichnyi period (lednikovyi period – antropogenovyi period)* [Quaternary period (Ice Age – Anthropogenic period)]. T. 1. Moscow, Moscow State University Press. 371 p. (in Russian)

48. Minina, M., Subetto, D., Kosheleva, E. and Kuznetsov, D., 2018. Formation of the «PALEOLADOGA» database for GIS paleolimnological reconstructions. *Geographical bulletin*, (2), pp. 18–27. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2018-2-18-27>
49. Nazarov, N., 2006. Geografiya Permskogo kraja. Ch. I. Prirodnaya (fizicheskaya) geografiya [Geography of the Perm region. Part. I. Natural (physical) geography]. Perm, PSU publ. 137 p. (in Russian)
50. Nazarov, N. and Kopytov, S., 2019. The use of remote sensing data in the study of river network reorganization (by example of the Upper Kama). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 16 (1), pp. 105–117. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-1-105-117> (in Russian)
51. Nazarov, N. and Kopytov, S., 2020. History of the channel systems reorganization of the Kama-Keltma lowland in the Late Pleistocene – Holocene. *Geographical bulletin*, 4 (55), pp. 6–17. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-6-17> (in Russian)
52. Nazarov, N. and Kopytov, S., 2016. The problem of determining the age of floodplain generations. *Bulletin of the Udmurt University. Biology series. Earth Sciences*, 26 (3), pp. 122–126 (in Russian)
53. Nazarov, N. and Kopytov, S., 2020. Stages of River Network Formation of the Upper Kama River Basin in the Pleistocene. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 162 (1), pp. 180–200. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.1.180-200> (in Russian)
54. Nazarov, N., Kopytov, S., ZHujkova, I. and Chernov, A., 2020. Pleistocene drainage channels in the Southern part of the Keltminskaya hollow (Kamsko-Vychegodskoe interfluve). *Geomorphology*, (4), pp. 74–88. <https://doi.org/10.31857/S0435428120040070> (in Russian)
55. Nazarov, N., Kopytov, S. and Chernov, A., 2016. On the age of floodplains of discontinuous and dynamic development (a case study of the Upper Kama). *Geographical bulletin*, 3 (38), pp. 15–27. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-3-15-27> (in Russian)
56. Ovesnov, S. 2009. Kungur forest-steep: phenomenon or phantom? In: *Botanicheskie issledovaniya na Urale. Materialy regionalnoy s mezhdunarodnym uchastiem konferencii, posvyazhennoi pamyati P.L. Gorchakovskogo* [Botanical studies in the Urals. Materials of the regional conference with international participation dedicated to the memory of P.L. Gorchakovsky] 10–12 November 2009. Perm, Russia. Perm State University, pp. 270–275. (in Russian)
57. Ponomarev, A. 1948. Lesostepnoj kompleks severnoj okrainy Kungurskoj lesostepi [Forest-steep complex of Kungur forest-steep]. *Izvestiya Estestvennonauchnogo instituta pri Permskom universitete*. 12 (6), pp. 225–233. (in Russian)
58. Ryabkov, N., 1976. Drevnie prilednikovye bassejny mezhdurech'ya Kamy, Pechory, Vychehgy i ih relikty [Ancient glacial basins between the Kama, Pechora, Vychehgy and their relicts, in Bulletin Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda]. *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 45, pp. 94–105. (in Russian)
59. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh 2022620724 Rossijskaya Federaciya. Baza dannykh paleoarkhivov pozdnego pleistotsena i golotsena Permskogo Prikam'ya – PaleoPerm: № 2022620519 [Certificate of state registration of the database No. 2022620519 Russian Federation. The database of Late Pleistocene and Holocene paleoarchives in the Perm Kama region – PaleoPerm]: zayavl. 25.03.2022: opubl. 05.04.2022 / P. Yu. Sannikov, S. V. Kopytov, E. A. Mekhonoshina, L. S. Shumilovskikh; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet». (in Russian)
60. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2021620197 Rossijskaya Federaciya. Baza paleogeograficheskikh, paleoekologicheskikh i geoarheologicheskikh dannyh PaleoAltai: № 2020622374 [Certificate of state registration of the database No. 2021620197 Russian Federation. PaleoAltai database of paleogeographic, paleoecological and geoarchaeological data PaleoAltai]: zayavl. 24.11.2020: opubl. 01.02.2021 / N. A. Rudaya, I. M. Grekov, A. I. Volkova; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut arheologii i etnografii Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. (in Russian)
61. Stepanov, A., 1976. Pliocen(?)–plejstocenovyie otlozheniya mezhdurech'ya Pechory i Kolvy [Pliocene(?)–Pleistocene deposits of the Pechora and Kolva interfluve]. *Voprosy stratigrafii i korrelyacii pliocenovyyh otlozhenij severnyh i yuzhnyh chastej Predural'ya*, pp. 62–85. (in Russian)
62. Storozheva, M., 1962. O vozraste pervoj nadpojmennoj terrasy doliny reki Kamy, po dannym analiza pyl'cy v torfe [Notes of the Sverdlovsk branch of the All-Union Botanical Society.]. *Zapiski Sverdlovskogo otdeleniya Vsesoyuznogo botanicheskogo obshchestva*. (2), pp. 115–123. (in Russian)
63. Yahimovich, V., Lider, V. (ed.), 1965. *Stratigrafiya chetvertichnyh (antropogenovyh) otlozhenij Urala* [Stratigraphy of quaternary (anthropogenic) deposits of the Urals]. Moscow, Nedra. 250 p. (in Russian)
64. Trofimova, S., Zareckaya, N., Lapteva, E., Lychagina, E. and Chernov, A., 2019. Experience in the use of paleoecological research methods for the reconstruction of the Holocene natural environment. *Ecology*, (6), pp. 438–445. <https://doi.org/10.1134/S036705971906012X> (in Russian)
65. Shumilovskikh, L. and Sannikov, P., 2018. Istoriya Kungurskoj lesostepi v golocene: problematika, podhody i pervye rezul'taty [The history of the Kungur forest-steppe in the Holocene: problems, approaches and first results]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 42(4), pp. 487–496. (in Russian)
66. Yakovlev, S., 1956. *Osnovy geologii chetvertichnyh otlozheniy Russkoi ravniny* [Basics of the Quater-

- nary geology of the Russian Plain]. Leningrad, VSEGEI publ. 314 p. (in Russian)
67. Yahimovich, V., Nemkova, V. and Semenov, I., 1973. *Stratigrafiya pliocen-plejstocenovyh otlozhenij Timano-Ural'skoj oblasti i ih korrelyaciya po Predural'yu* [Stratigraphy of Pliocene-Pleistocene deposits of the Timan-Ural region and their correlation by the Pre-Urals]. Moscow, Nauka. 100 p. (in Russian)
68. Yahimovich, V., Nemkova, V. and Yakovlev, A., 1988. *Regional'nye podrazdeleniya novoj stratigraficheskoy skhemy plejstocena Predural'ya i nekotorye opornye razrezy* [Regional subdivisions of the new Pleistocene Pre-Urals stratigraphic scheme and some reference sections]. Ufa, BNC UrO AN SSSR. 65 p. (in Russian)
69. Binney, H., Edwards, M. and Willis, K., 2008. Establishing a Northern Eurasian paleoecological database: The pollen data. *PAGES news*, 13 (3), pp. 34–34. <https://doi.org/10.22498/pages.16.3.34>
70. Blarquez, O., Vanni re, B., Marlon, J., Daniau, A., Power, M., Brewer, S. and Bartlein, P., 2014. paleofire: An R package to analyse sedimentary charcoal records from the Global Charcoal Database to reconstruct past biomass burning. *Computers & Geosciences*, 72, pp. 255–261. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2014.07.020>
71. Diepenbroek, M., Grobe, H., Reinke, M., Schindler, U., Schlitzer, R., Sieger, R. and Wefer, G., 2002. PANGAEA – an information system for environmental sciences. *Computers & Geosciences*, 28(10), pp. 1201–1210. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00039-0)
72. Nazarov, N., Kopytov, S., Zhuikova, I. and Chernov, A., 2019. History of the channel systems formation of the Kama-Keltma lowland in the Late Pleistocene. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 321 (1), pp. 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/321/1/012023>
73. Panin, A., Astakhov, V., Lotsari, E., Komatsu, G., Lang, J. and Winsemann, J., 2020. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia. *Earth-Science Reviews*, 201, p. 103069. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103069>
74. Power, M., Marlon, J., Bartlein, P. and Harrison, S., 2010. Fire history and the Global Charcoal Database: A new tool for hypothesis testing and data exploration. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291 (1–2), pp. 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.09.014>
75. Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Buntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., K hler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62 (4), pp. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
76. Rudaya, N., Krivonogov, S., S łowiński, M., Cao, X., Zhilich, S., 2020. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity. *Quaternary Science Reviews*, 249, p. 106616. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106616>
77. Schmidt, M., Shumilovskikh, L., Pereskokov, M., Sannikov, P., Abdulmanova, I. and Giesecke, T. Holocene vegetation history of Uinskoe mire, cis-Urals, European Russia. In prep.
78. Schweingruber, Fritz Hans (2007): Tree-ring chronology of *Pinus sylvestris* (Scotch pine) compiled from tree samples VISHERPS. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, PANGAEA. Available from: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.601330> [Accessed 20th January 2022].
79. Shumilovskikh, L., Sannikov, P., Efimik, E., Shestakov, I. and Mingalev, V., 2021. Long-term ecology and conservation of the Kungur forest-steppe (pre-Urals, Russia): case study Spasskaya Gora. *Biodiversity and Conservation*, 30 (13), pp. 4061–4087. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02292-7>
80. Shumilovskikh, L., Schl tz, F., Lorenz, M. and Tomaselli, M., 2019. Non-pollen palynomorphs notes: 3. Phototrophic loricate euglenoids in paleoecology and the effect of acetolysis on *Trachelomonas loricae*. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 270, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2019.06.017>
81. Shumilovskikh, L., Schmidt, M., Pereskokov, M. and Sannikov, P., 2020. Postglacial history of East European boreal forests in the mid-Kama region, pre-Urals, Russia. *Boreas*, 49 (3), pp. 526–543. <https://doi.org/10.1111/bor.12436>
82. Stuiver, M., Reimer, P. and Reimer, R., 2021. CALIB 8.2 [WWW program]. Available from: <http://calib.org> [Accessed 28th November 2021]
83. Svendsen, J., Alexanderson, H., Astakhov, V., Demidov, I., Dowdeswell, J., Funder, S., Gataullin, V., Henriksen, M., Hjort, C., Houmark-Nielsen, M., Hubberten, H., Ingolfsson, O., Jakobsson, M., Kj er, K., Larsen, E., Lokrantz, H., Lunkka, J.-P., Lysa, A., Mangerud, J., Matiouchkov, A., Murray, A., Moller, P., Nielsen, F., Nikolskaya, O., Polyak, L., Saarnisto, M., Siegert, C., Siegert, M., Spielhagen, R. and Stein, R., 2004. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*, 23 (11–13), pp. 1229–1271. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.12.008>
84. Svendsen, J., Heggen, H., Huffhammer, A., Mangerud, J., Pavlov, P. and Roebroeks, W., 2010. Geoarchaeological investigations of Palaeolithic sites along the Ural Mountains – On the northern presence of humans during the last Ice Age. *Quaternary Science Reviews*, 29 (23–24), pp. 3138–3156. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.06.043>
85. Sryrykh, L.S, Subetto, D.A. and Nazarova, L., B. 2021. Paleolimnological studies on the East European Plain and nearby regions: the PaleoLake Database. *Journal of Paleolimnology*, 65 (3), pp. 369–375. <https://doi.org/10.1007/s10933-020-00172-8>

86. Williams, J., Grimm, E., Blois, J., Charles, D., Davis, E., Goring, S., Graham, R., Smith, A., Anderson, M., Arroyo-Cabrales, J., Ashworth, A., Betancourt, J., Bills, B., Booth, R., Buckland, P., Curry, B., Giesecke, T., Jackson, S., Latorre, C., Nichols, J., Purdum, T., Roth, R., Stryker, M. and Takahara, H., 2018. The Neotoma Paleocology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource. *Quaternary Research*, 89 (1), pp. 156–177. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.105>

Статья поступила в редакцию 28.02.2022; одобрена после рецензирования 15.03.2022; принята к публикации 23.03.2022.

The article was submitted 28.02.2022; approved after reviewing 15.03.2022; accepted for publication 23.03.2022.

РЕЦЕНЗИИ

УДК 504.05

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-78-79>

Рецензия на учебник «Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды: учебник и практикум для вузов» (А.П. Хаустов, М.М. Редина. 3-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Издательство Юрайт, 2022. 458 с.)

Сергей Алексеевич Бузмаков¹¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия¹ buzmakov2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5144-0714>

Для цитирования: Бузмаков С.А. Рецензия на учебник «Хаустов А.П., Редина М.М. Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды: учебник и практикум для вузов» // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 78–79. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-78-79>

REVIEWS

Review of the textbook «Norms, regulations and reduction of environmental pollution: textbook and practicum for universities» (A.P. Khaustov, M.M. Redina. 2022. Third edition, revised and enlarged. Moscow, Yurayt. 2022. 458 p.)

Sergei A. Buzmakov¹¹ Perm State University, Perm, Russia¹ buzmakov2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5144-0714>

For citation: Buzmakov, S., 2022. Referee report of the textbook «Khaustov A.P., Redina M.M. Norms, regulations and reduction of environmental pollution: textbook and practicum for universities». Anthropogenic Transformation of Nature, 8(1), pp. 78–79. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-78-79> (in Russian)

Авторы учебника:

Хаустов Александр Петрович – доктор геол.-мин., профессор, ведущий специалист Института экологии РУДН; заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.

Редина Маргарита Михайловна – доктор эконом. наук, профессор Института экологии РУДН, директор центра дополнительного профессионального образования Института экологии.

«Нормирование и снижение загрязнений окружающей среды» – относительно новая учебная дисциплина, появление которой связано с выходом образовательных стандартов высшего образования третьего поколения. Дисциплина включена в программу подготовки бакалавров-экологов как один из основных специальных курсов практически во всех вузах России. Специалисты в сфере экологии и природопользования в повседневной практике постоянно сталкиваются с использованием разнообразных нормативов — стандартов качества окружающей среды, продукции, экологических ограничений производственных процессов и др. В связи с этим возникает необходимость знаний эволюции природных систем, механизмов антропогенных воздействий на них и необходимость прогнозирования ответной реакции систем на воздействия. Для проведения таких оценок необходим некоторый уровень (норма) от которого возможен отчет. Разработка и обоснование норм должна иметь мето-

дологический каркас, который в процессе применения требует непрерывного совершенствования. Только в этом случае нормативная база становится мощным направлением регулирования взаимодействия в системе «Человек – Природная среда».

Именно с таких позиции был разработан рецензируемый учебник для студентов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование». Дисциплина читается с 2012 г., а в Федеральный государственный образовательный стандарт она введена с 2011 г. Авторы учебника являлись разработчиками базовой программы, рекомендованной УМО университетов. Первое издание учебника в издательстве «Юрайт» вышло в 2014 г. и быстро разошлось по учебным природоохранным организациям. Затем, в 2019 г., в соответствии со значительным обновлением нормативно-правовой базы природопользования, вышло второе переиздание, которое также имело успех, и, наконец, рецензируемое третье, обновленное, издание. Отметим, что учебник сейчас является основой для чтения курса в более чем ста университетах России.

Целями освоения дисциплины «Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды» являются:

© Бузмаков С.А., 2022



– формирование системных представлений о теоретических и методических основах экологического нормирования;

– информирование современных тенденциях развития экологической нормативной базы и ее реализации, о роли экологического нормирования как основы для эффективного управления природопользованием и формирования устойчивой экономики;

– развитие навыков разработки экологических нормативов и оценок устойчивости природных комплексов.

Структура учебника. Учебник включает 12 глав, в которых раскрывается основное содержание теоретического курса.

Глава 1 знакомит с основными понятиями и принципами экологического нормирования, историей его развития в России и мире, ролью нормирования в сфере охраны окружающей среды.

В главе 2 представлены важнейшие направления нормирования и виды экологических нормативов, основные принципы и проблемы формирования системы нормирования, отечественный и зарубежный опыт создания экологических нормативов.

Правовые основы экологического нормирования и стандартизации раскрываются в главе 3 учебника.

Глава 4 посвящена теоретическим положениям, на основе которых формируется комплекс нормативов и стандартов в сфере управления природопользованием. В первую очередь, это представления о динамике природных систем и механизмах их ответных реакций на антропогенные воздействия.

Главы 5–8 посвящены нормированию техногенных воздействий на гидросферу, атмосферу и почвенно-земельные ресурсы, а глава 9 – индикаторным возможностям объектов флоры и фауны.

Главы 10 и 11 раскрывают экономические и организационные механизмы реализации системы нормирования и принятия решений по снижению загрязнений окружающей среды. Например, введен специальный раздел по экологическому нормированию на ос-

нове наилучших доступных технологий для предприятий 1 и 2 категории.

Заключительная глава 12 посвящена зарубежному опыту нормирования и снижения антропогенных нагрузок. Это крайне актуальный вопрос в связи с активным участием России в международных программах и соглашениях по вопросам промышленного развития, торговли, научной и природоохранной деятельности.

В приложениях содержатся примеры расчета некоторых нормативов воздействия на окружающую среду и примеры оценок ее состояния.

В списке литературы даются дополнительные источники по экологическому нормированию обширный перечень актуальных нормативных актов, применяемых сегодня на практике.

Авторами учебника использован многолетний опыт преподавания различных дисциплин экологической направленности во многих российских и зарубежных высших учебных заведениях, а также на курсах повышения квалификации работников горной отрасли, транспорта и энергетики. Кроме того, курс прошел апробацию в рамках программы приглашения ведущих зарубежных ученых в Satbayev University КазНТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы (программа сотрудничества университетов – партнеров Шанхайской организации сотрудничества). Также за плечами авторов многолетний опыт разработки и применения нормативных документов для нефтегазового комплекса России.

В 2014 г. разработки авторов по созданию учебно-методического комплекса по нормированию и снижению загрязнений удостоены Национальной экологической премии им. В.И. Вернадского.

Учебник полезен не только студентам экологических специальностей; практически вся современная деятельность людей связана с экологическим ограничением на использование природных ресурсов. Поэтому издание актуально для специалистов самого различного профиля.

Рецензия поступила в редакцию 16.03.2022; принята к публикации 05.04.2022.

The Review was submitted 16.03.2022; accepted for publication 05.04.2022.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Трубник Р.Г., Доценко Н.В.....	6
Двуреченский В.Г.....	21
Комулайнен С.Ф., Сластина Ю.Л.	36
Артамонова В.С., Бортникова С.Б.....	48
Мехоношина Е.А., Копытов С.В., Санников П.Ю., Шумиловских Л.С.....	58
Бузмаков С.А.....	78

Научное издание

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Том 8, № 1
2022

Компьютерная верстка: *Е.А. Мехоношина*
Макет обложки: *Д.Е. Сивков*

Подписано в печать 21.04.2022. Дата выхода: 28.04.2022
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 9,42. Тираж 100 экз. Заказ 75

Редакция научного журнала «Антропогенная трансформация природной среды»
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15. ПГНИУ. Географический факультет
Тел. (342) 239-64-87

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15
Тел. (342) 239-66-36

Распространяется бесплатно