

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, биогеоценотической, 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**

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

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

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

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

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

Людмила Сергеевна Шумиловских научный сотрудник кафедры палинологии и динамики климата Гёттингенского университета им. Георга-Августа (Германия), кандидат биологических 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, 2023



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**

- 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.
- Slawomir Bakier      Dean of the Faculty of Forestry, Bialystok University of Technology (Poland), Doctor of Sciences in Technology.
- 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), Doctor of Sciences in Biology.
- Hans-Holger Liste      Research Scientist of Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants (Germany), Doctor of Sciences in Agriculture.
- 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.
- Adriano Fiorucci      Professor, Department of Environment, Land and Infrastructure Engineering, Polytechnic of Turin (Italy), Doctor of Sciences in Geology.
- Andrey N. Shikhov      Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics in Perm State University (Russia), Doctor of Sciences in Geography.
- Lyudmila S. Shumilovskikh      Scientific Researcher of Department of Palynology and Climate Dynamics in Georg-August-University of Göttingen (Germany), PhD in Biology.

**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

**СОДЕРЖАНИЕ****РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

<b>Санников П.Ю., Бахарев П.Н.</b> Оценка природоохранного значения особо охраняемых природных территорий (на примере заповедника «Вишерский»).....	7
<b>Бузмаков С.А., Кувшинский И.А., Шестаков И.Е., Абдулманова И.Ф., Кучин Л.С., Исаков Д.С.</b> Природная среда долины реки Большая Мотовилиха .....	23

**РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

<b>Клочихина О.С.</b> Оценка качества атмосферного воздуха в долине реки Егошиха и долине реки Данилиха.....	38
<b>Рыбкина И.Д.</b> Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы и эффективности их использования: обзор методологических подходов.....	55
<b>Егорова Д.О.</b> Полихлорированные бифенилы как причина экологических проблем и разработки ремедиационных технологий на основе биологических агентов .....	68

**CONTENTS****SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION**

<b>Sannikov P., Bakharev P.</b> Evaluation of conservation significance of protected area (example of «Visherskiy» state nature reserve).....	7
<b>Buzmakov S., Kuvshinsky I., Shestakov I., Abdulmanova I., Kuchin L., Isakov D.</b> Natural environment of the Bolshaya Motovilikha river valley.....	23

**SECTION 2. POLLUTION**

<b>Klochikhina O.</b> Estimate of air quality in valleys of Yegoshikha river and Danilikha river .....	38
<b>Rybkina I.</b> Assessment of anthropogenic pressure on water resources and efficiency of their use: review of methodological approaches .....	55
<b>Egorova D.</b> Polychlorinated biphenyls as a cause of ecological problems and development of remediation technologies based on biological agents .....	68



Идут удивительные реформы в управлении вузами. Высшее образование в ходе реформ оптимизируется. Но это пока неважно.

В разделе «Сохранение природной среды» представлены: методическая статья для определения природоохранной ценности ООПТ; оригинальное сообщение по предложению о включении в состав системы ООПТ города Перми одной из долин малых рек.

По тематике антропогенной трансформации предлагаются: статья с оценкой состояния атмосферного воздуха в долинах рек урбанизированных территорий и акваторий; аналитические обзоры по проблемам изучения антропогенной нагрузки на водные ресурсы и загрязнения окружающей среды полихлорированными бифенилами.

У нас новый автор – доктор географических наук **Ирина Дмитриевна Рыбкина**. Выдающийся ученый в области природопользования и геоэкологии, социальной и экономической географии, оценки экологического состояния и качества окружающей среды, проблем использования водных ресурсов. Ведущий специалист в Сибири по оценке антропогенной нагрузки на водосборные территории и водные объекты речных бассейнов Оби и Иртыша. Имеет свыше 200 научных публикаций, в том числе 14 авторских и коллективных монографий, более 40 статей в научных журналах и еще в составе коллектива исполнителей участвовала в создании паспорта климатической безопасности Алтайского края.

Длительный период (несколько лет) известные деятели охраны природы **Павел Юрьевич Санников** и **Павел Николаевич Бахарев** совместно разрабатывали и корректировали методику оценки значимости ООПТ для сохранения природной среды. Теоретические компетенции первого и практический опыт второго позволили создать уникальную методику, в которой на основе открытых данных оценивается роль ООПТ в сохранении ландшафтного разнообразия, биологического разнообразия, экологического равновесия на глобальном, российском и региональном уровне.

На глобальном уровне значимость определяется по принадлежности к биогеографическим провинциям, экорегионам, очагам биоразнообразия. Такие районирования проведены Международным союзом охраны природы, Всемирным фондом дикой природы. Для России (на федеральном уровне) наиболее значима схема деления на физико-географические страны и природные зоны. Во второй части статьи методика реализуется на примере заповедника «Вишерский». Делается ожидаемый вывод о самой ценной ООПТ в Пермском крае по всем рассматриваемым показателям.

Большой коллектив исследователей (**Бузмаков С.А., Кувшинский И.А., Шестаков И.Е., Абдулманова И.Ф., Кучин Л.С., Исаков Д.С.**) провел лето в экологических изысканиях на реке Большая Мотовилиха. Орнитолог, геоботаник, почвовед, геоэкологи и экологи, каждый из них выполнил свое задание и интегрировал его в общее исследование. В результате обследования и обработки результатов, в ходе обсуждения авторы приходят к выводу о необходимости создания ООПТ в долине реки Большая Мотовилиха. Оптимальная категория – охраняемый ландшафт. Перевод территории в особо охраняемую нужен для создания экологического каркаса города, сохранения редких почв, флоры, орнитофауны восточной оконечности г. Перми. Организация ООПТ в долине Большой Мотовилихи позволит также обеспечить сохранение лесных экосистем; будет способствовать улучшению качества воздуха в жилых массивах за счет снижения поступлений загрязняющих веществ от потоков автотранспорта, движущихся по восточному обходу г. Перми. Экосистемы долины обеспечивают экологическое равновесие значительной части водосборного бассейна и нижележащей ООПТ «Мотовилихинский пруд».

**Ольга Сергеевна Ключихина** поддерживает свою компетенцию по знанию, умению и владению, очевидно, прекрасного научного английского языка и геоэкологических проблем загрязнения атмосферного воздуха в долинах малых рек города Перми. Для оценки качества воздуха были выбраны посты наблюдений, располагающиеся вблизи долин малых рек, в пониженных формах рельефа, которые способствуют накоплению различных примесей в атмосферном воздухе.

**Ирина Дмитриевна Рыбкина** показывает, что в современных научных исследованиях антропогенную нагрузку определяют, как меру количественного измерения влияния человека на аквальные ландшафты. Автор выделяет два современных методологических подхода – географический и гидрологический. Будем надеяться, что скоро появится и геоэкологический. Описаны виды воздействий, внося-

щие значительный вклад в антропогенную трансформацию водоемов: русловое регулирование, орошаемое земледелие, переброски стока, промышленно-коммунальное и сельскохозяйственное водоснабжение, осушение болот и заболоченных земель, вырубки и посадки леса, урбанизация. Обсуждены особенности использования и достоверность применяемых показателей в оценках антропогенной нагрузки. Обобщены имеющиеся сведения и исходная информация для оценки эффективности водопользования.

**Дарья Олеговна Егорова** – выдающийся исследователь разнообразия аэробных бактерий на экосистемном, популяционном, организменном и молекулярно-генетическом уровнях. Микроорганизмы, которых она изучает, обладают феноменальной способностью трансформировать химические поллютанты антропогенного и природного происхождения. Как правило, пользуется современными молекулярно-генетическими и биохимическими методами, а также методами классической микробиологии. Уже есть опыт выполнения работ в области бактериальной деструкции полихлорированных бифенилов, их химически-модифицированных производных.

У Дарьи Олеговны дебют в журнале. Она подготовила полноценный обзор по проблеме загрязнения окружающей среды полихлорированными бифенилами – соединениями, включенными в рамках международной конвенции в список Стойких органических загрязнителей. Показаны особенности строения полихлорбифенилов, их взаимодействия с окружающей средой и живыми организмами. Основное внимание уделено аэробным бактериям, одному из основных компонентов микробиоценоза почв. Считается, что длительное воздействие полихлорбифенилов привело к преимущественному отбору в загрязненных биоценозах бактерий, способных использовать полихлорированные бифенилы как источник углерода и энергии. Активные штаммы послужили основой для разработки уникальных биотехнологий.

Главный редактор С.А. Бузмаков

## РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 502.43

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-7-22>

**Оценка природоохранного значения особо охраняемых природных территорий  
(на примере заповедника «Вишерский»)**

**Павел Юрьевич Санников<sup>1</sup>, Павел Николаевич Бахарев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup> Государственный природный заповедник «Вишерский», Красновишерск, Россия

<sup>1</sup> [sol1430@gmail.com](mailto:sol1430@gmail.com)

<sup>2</sup> [vishera.zap@gmail.com](mailto:vishera.zap@gmail.com)

**Аннотация.** Существует достаточно много способов оценки роли особо охраняемых природных территории (ООПТ) в сохранении природной среды. Часть из них основана на сведениях о растительном и животном мире, почвах, водных объектах, климатических процессах и явлениях; другие – на ландшафтных, площадных, экосистемных данных. Обобщение имеющихся подходов в единую схему оценки природоохранного значения ООПТ рассматривается как актуальная задача, как с теоретической, так и с практической сторон. Предложенная методика опирается на корпус типовых открытых источников данных, включающих, как исследования сотрудников самих охраняемых природных территорий (например, фенологические наблюдения, зимние маршрутные учеты, данные фотоловушек), работы сторонних научных коллективов, так и фондовые, статистические сведения, публикуемые органами государственной власти. Это позволяет применить методику к любой ООПТ со средней и высокой степенью изученности. Значимость каждой ООПТ предложено рассматривать, как минимум, на 3 уровнях: региональном, общегосударственном и глобальном. Предложенная методика включает выявление ценности ООПТ с точки зрения сохранения биоты, абиотических компонентов, природных комплексов, поддержания экологического равновесия. Во второй части статьи методика применена на примере заповедника «Вишерский». На региональном уровне Вишерский заповедник является наиболее ценной ООПТ Пермского края. Так, например, более 30% всех выявленных в Прикамье видов грибов, сосудистых растений, рыб и более 50–60% лишайников, мохообразных и млекопитающих, обитают в Вишерском заповеднике. В России и Европе роль заповедника можно характеризовать как значимую, а по отдельным параметрам (например, как участок сохранения крупнейшей группировки *Thymallus thymallus*), как незаменимую, ключевую. На мировом уровне Вишерский заповедник выделяется сохранением природной среды экорегиона Global200 Уральских горной тайги и тундр, южного отрога крупной малонарушенной лесной территории и наличием трёх глобально редких видов (*Hucho taimen*, *Emberiza rustica*, *Rangifer tarandus*). Перспективными направлениями развития методики считаем разработку подходов к оценке природных комплексов в формировании климата, выявлению ценных гидрологических (поверхностных и подземных) объектов. Интересным представляется проведение оценок иных заповедников, национальных парков, других крупных ООПТ, что позволит предметно сравнивать их между собой. Пополнение некоторых сведений (распространение редких экосистем, численные данные об интенсивности вещественного круговорота, некоторых слабоизученных групп биоты) в будущем даст возможность для более полной оценки природоохранной значимости о Вишерского заповедника.

**Ключевые слова:** биоразнообразие, заказник, заповедник, ландшафтное разнообразие, национальный парк, природный парк, экологическое равновесие.

**Для цитирования:** Санников П.Ю., Бахарев П.Н. Оценка природоохранного значения особо охраняемых природных территорий (на примере заповедника «Вишерский») // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 2. С. 7–22. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-7-22>

## SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Original paper

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-7-22>

**Evaluation of conservation significance of protected area  
(example of «Visherskiy» state nature reserve)**

**Pavel Yu. Sannikov, Pavel N. Bakharev**

<sup>1,2</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup> Visherskiy State Nature Reserve, Krasnovishersk, Russia

<sup>1</sup> [sol1430@gmail.com](mailto:sol1430@gmail.com)

<sup>2</sup> [vishera.zap@gmail.com](mailto:vishera.zap@gmail.com)

© Санников П.Ю., Бахарев П.Н., 2023



**Abstract.** There are many ways to assess the impact of protected area (PA) in the conservation of the natural environment. Some of them are based on information about the flora and fauna, soils, water bodies, climatic processes and phenomena; others – on landscape, spatial, ecosystem data. The generalization of the existing approaches into a single scheme for assessing the environmental significance of protected areas is considered as an urgent task, both from a theoretical and practical point of view. The proposed methodology is based on a set of typical open data sources, including both research by inside and outside scientific teams, and stock, statistical information published by government authorities. It allows to apply the methodology to any protected area with an average and high degree of knowledge's state. The importance of each protected area is proposed to be considered at least at 3 levels: regional, national and global. The proposed methodology includes the identification of the value of protected areas in terms of conservation of biota, abiotic components, natural complexes, maintaining ecological balance. In the second part of the article, the approach is applied on the example of the «Visherskiy State Nature Reserve». At the regional level, the «Visherskiy State Nature Reserve» is the most valuable protected area in the Perm region. For example, more than 30% of all species of fungi, vascular plants, fish and more than 50-60% of lichens, bryophytes and mammals found in the Kama region, live in the «Visherskiy» State Nature Reserve. In Russia and Europe, the role of Visherskiy Reserve can be characterized as significant, and in certain parameters (for example, as a site for the conservation of the largest group of *Thymallus thymallus*), as crucial. At the world level, the «Visherskiy State Nature Reserve» is distinguished by the preservation of the natural environment of the Urals montane tundra and taiga of the Global200 ecoregion, the southern part of a large intact forest landscape and the presence of three globally rare species (*Hucho taimen*, *Emberiza rustica*, *Rangifer tarandus*). There are few promising directions for the development of the methodology: improvement of approaches to the assessment of natural complexes in climate formation, the identification of valuable hydrological (surface and underground) objects. It is also interesting to carry out assessments of other reserves, national parks, and other large protected areas, which will make it possible to compare them in detail with each other. Inflow by some new information (the distribution of rare ecosystems, numerical data on the intensity of material circulation, some poorly studied groups of biota) in the future will provide an opportunity for a more complete assessment of the conservation significance of the «Visherskiy» State Nature Reserve.

**Key words:** biodiversity, sanctuary, state nature reserve, landscape diversity, national park, natural park, ecological balance.

**For citation:** Sannikov, P., Bakharev, P., 2023. Evaluation of conservation significance of protected area (example of «Visherskiy» state nature reserve). *Anthropogenic Transformation of Nature*, 9(2). pp. 7–22. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-7-22> (in Russian)

## Введение

Необходимость определения природоохранного значения той или иной особо охраняемой природной территории (далее – ООПТ) нередко возникает во время научной дискуссии [10, 40] или в процессе решения прикладных задач: оценка ущерба, сравнение альтернативных вариантов при ОВОС. В конкретных примерах подобных оценок, как правило, используют лишь 1-2 подхода. Так, характеристика ценности того или иного заповедника, национального парка, часто, дается в категориях сохранения биоты («обитает более 500 видов сосудистых растений, из которых 7 включены в Красную книгу») или других природных компонентов и комплексов («сохраняются эталоны черноземов / экосистемы дельты Волги»). Другие формы природоохранной значимости либо не оцениваются, в связи с недостатком информации, либо просто не упоминаются.

В мировой природоохранной практике существует несколько основных подходов к оценке роли той или иной ООПТ для сохранения природной среды. Обзор этих подходов приводится ниже, в разделе «Материал и методика». Первый авторский вариант обзора методов оценки природоохранной значимости особо охраняемых природных территорий подготовлен Санниковым [61]. В этой работе акцент ставился на оценку репрезентативности сложившихся совокупностей (сетей) ООПТ на региональном уровне.

Конкретных исследований по оценке природоохранной значимости заповедника «Вишерский» ранее не проводилось. В определенной мере, роль заповедника в структуре сети ООПТ Пермского края оценивается в исследовании Санникова и Бузмакова [63]. По отдельным ботаническим, зоологическим и другим аспектам, значимость заповедника выявлена в ряде профильных исследований [8, 22, 23, 25, 28, 29].

Цель работы – обосновать методику комплексной оценки природоохранного значения особо охраняемой природной территории.

Поставленные задачи:

– Проанализировать существующие подходы к оценкам природоохранной значимости отдельных объектов, территорий, акваторий.

– Выявить универсальные группы параметров и конкретные показатели в каждой группе для оценки природоохранной значимости ООПТ.

– Опробовать предложенную методику на примере государственного природного заповедника «Вишерский».

## Материал и методика

К основным направлениям сохранения географического разнообразия, определяющим природоохранную ценность, мы относим: сохранение природных комплексов, сохранение биоты, сохранение природных компонентов и поддержание экологического равновесия (рис. 1 / fig. 1).



Рис. 1. Комплексная оценка природоохранной значимости особо охраняемых природных территорий

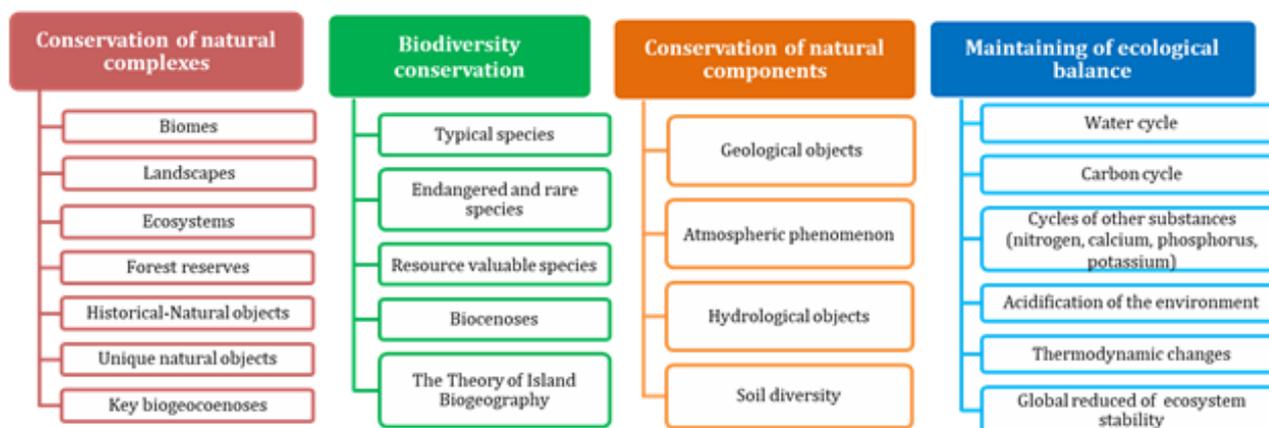


Fig. 1. Comprehensive assessment of the conservation value of protected areas

**Сохранение природных комплексов.** Общий подход к оценке сохранения природных комплексов заключается в выделении приоритетных регионов (районов, зон, областей) для природоохранных целей. Значимость охраняемых территорий определяется по расположению внутри приоритетных районов и по площади среди остальных ООПТ района. На глобальном уровне это направление реализуется при помощи серии биогеографических районирований Земли для природоохранных целей. Такие работы проводились Международным союзом охраны природы IUCN, Всемирным фондом дикой природы WWA и некоторыми другими исследователями. Их результатом стали широко известные схемы делений Земли на биогеографические провинции [15, 78, 88], экорегионы [86], в том числе 200 ключевых экорегионов Global 200 [85] и так называемые «очаги биоразнообразия / biodiversity hotspots» [84]. Для России (на федеральном уровне) наиболее значима схема деления на физико-географические страны и природные зоны [57], на базе которой происходит развитие географической сети федеральных ООПТ [15, 41]. На региональном уровне используются более подробные районирования соответствующих территорий.

Иное направление состоит в выявлении и охране отдельных типичных или уникальных природных комплексов. Примерами таких объектов служат: водно-болотные угодья международного значения [31]; лесные генетические резерваты; эталонные участки лесов и

нелесных (степных, луговых, тундровых, болотных) сообществ; малонарушенные лесные территории [43]; ключевые орнитологические [26, 80] и ботанические территории [81]; уникальные природные объекты и феномены.

В рамках международной лесной сертификации для некоторых регионов составлены перечни редких лесных экосистем: Приморский [1], Алтайский [24], Пермский края [51].

**Сохранение биоты.** В рамках реализации Конвенции о биоразнообразии ООН развивается особое направление природоохранной деятельности, связанное с сохранением разнообразия живых организмов. Стандартный уровень изученности для крупных ООПТ, на видовом уровне, позволяет фиксировать значимость охраняемой территории в сохранении биоты через: сохранение редких и исчезающих, хозяйственно ценных видов, всего биоразнообразия.

Для оценки вклада ООПТ в сохранение редких и исчезающих видов используются Красных книг, «Красные списки / Red Lists»: Международного союза охраны природы и Европейского союза [82], национальные [36, 37] и региональные перечни [7, 35]. В международных красных списках в качестве редких и исчезающих отмечаются виды, имеющие статус: находящиеся на грани полного исчезновения (CR), вымирающие (EN), уязвимые (VU).

Роль ООПТ в поддержании численности хозяйственно ценных видов выявляется при помощи учета

охотничье-промысловой фауны, зимних маршрутных учетов, сведений, полученных при помощи фотоловушек, данных о вылове рыбы и других сведений, публикуемых как в Летописях природы, так и в научной литературе.

Планомерное многолетнее изучение биоты крупных ООПТ, прежде всего, заповедников, как правило, позволяет составить общий список флоры и фауны и определить совокупное число выявленных видов, хотя бы по основным таксономическим группам биоты. Сравнение общего числа видов, отмеченных на ООПТ, с суммарными значениями по России [4, 48, 69, 76], региону [27, 44, 50, 52, 65] показывает вклад особо охраняемой природной территории в сохранение биоразнообразия на разных пространственных уровнях.

Для сохранения биоценозов проводятся работы по выявлению редких, уникальных, ценных сообществ живых организмов. Например, списки редких и нуждающихся в охране растительных сообществ опубликованы для Украины [19]), Казахстана [55], Сибири [33], Брянской [13], Оренбургской [73], Самарской [59] областей, Татарстана [70], Забайкалья [9], Приморья и Приамурья [39], и ряда других территорий. В Прикамье статус ООПТ имеют ряд биоценозов, расположенных далеко за пределами соответствующей природно-климатической зоны. Например, на севере края, в зоне средней тайги, выявлен небольшой участок, на котором сформирован остепненный луг (Ручский луг); выявлены сообщества, сформированные при участии вереска – вида на восточной границе своего ареала (Веслянский бор-верещатник).

Для отдельных крупных заповедников и национальных парков перспективна оценка с применением теории развития островной биоты Мак-Артура и Вильсона. На базе этих положений могут быть рассчитаны показатели, характеризующие способность охраняемых территорий обеспечивать устойчивое существование сообществ в условиях биогеографической изоляции в том или ином виде. Например, антропогенной нарушенности близлежащих участков.

**Сохранение природных компонентов.** Помимо сохранения разнообразия живых организмов существует отдельное направление работ, связанное с сохранением разнообразия абиотических компонентов экосистем. Хорошо разработаны подходы к сохранению уникальных геологических объектов (систематизацию ведет Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. Карпинского) и эколого-генетического разнообразия почв (разработка Красных книг почв России и регионов). Нередко на региональном уровне выявлены и описаны ценные гидрологические объекты: водопады, ледники, озера, исчезающие реки и т.п. Перспективным остаётся разработка теоретической и методической базы для сохранения климатических, климатообразующих объектов. Хотя на уровне РФ подобная работа уже проведена на основе дистанционных и климатических данных [38].

**Поддержание экологического равновесия.** Согласно теоретическим представлениям одним из главных факторов поддержания экологического равновесия является сохранение естественных биосферных круговоротов вещества и потока энергии [56]. Эти процессы наиболее полно поддерживаются в хорошо сохранившихся, слабо преобразованных экосистемах охраняемых территорий. Доли площади ООПТ в пределах водосборных территорий отражают степень сохранения естественного круговорота веществ (прежде всего, воды), поддержания экологического равновесия.

В теоретическом, методическом смысле существенно слабее изучены вопросы взаимосвязи территориальной охраны природы и негативных эффектов, вызванных экологическими кризисами современности (снижение надежности экосистем, термодинамические изменения климата, закисление среды). Несмотря на то, что прямые методы оценки таких взаимосвязей еще не разработаны, развитие этого направления представляется важным и перспективным.

**Территория исследования.** Оценка природоохранной значимости (по предложенной методике) проведена на примере государственного природного заповедника «Вишерский». Он создан 26 февраля 1991 г. на северо-востоке Пермского Прикамья, в горной части региона. Площадь Вишерского заповедника – 241 200 га, а его охранной зоны – 52 218 га [6]. Он охватывает верховья реки Вишеры и её притоков: Вёlsa, Лыпи, Мойвы, Нилоса, Лопы, Хальсории и других.

Многообразие природных ландшафтов определяет горный рельеф. Горная и предгорная тайга, занимает чуть менее 3/4 площади Вишерского заповедника. Она большей частью представлена коренными старовозрастными лесами из ели и пихты с участием кедрa, а также березы. Более четверти площади занимают открытые ландшафты низкогорий и среднегорий Северного Урала. Это лесолуговые и кустарниковые сообщества подгольцового пояса, горные тундры и каменные осыпи, холодные каменистые горные пустыни (для самых высоких хребтов более 1200 м над уровнем моря). Основу флоры высших сосудистых растений охраняемой территории составляют бореальные (северные таежные) виды (60%). Они широко распространены в темнохвойных лесах, на пойменных лугах и сфагновых болотах. Около 30% видов растений приходится на арктические, арктоальпийские и монтаные виды, которые произрастают на безлесных вершинах хребтов и скалах-останцах. Оставшиеся 10% видов реликты, представляющие неморальную, лесостепную флоры и реликты плейстоценовых тундр. Животный мир заповедника типичен для Северного Урала. Его характерной особенностью является сочетание представителей бореальной, сибирской, европейской и субарктической фаун [6].

#### Результаты и обсуждение

**Сохранение природных комплексов в Вишерском заповеднике.** Место Вишерского заповедника в системе мировых, европейских, российских и региональных районирований показано в таблице 1 / table 1.

Заповедник «Вишерский» в системе районирований, используемых для природоохранных целей

Таблица 1

Table 1

The place of «Visherskiy State Nature Reserve» in the system of conservation zoning

Схемы районирования // Schemes of zoning	Территориальная единица Вишерского заповедника // Terrestrial unit of "Visherskiy" reserve	Число крупных ООПТ / Ранг Вишерского заповедника // Numbers of large protected areas / Rank of "Visherskiy" reserve
<b>Мир // World</b>		
Экорегiónы WWF // Ecoregions of WWF [85-87]	Уральские горные леса и тундра – 1 из приоритетных экорегiónов в сети «Global 200» // Ural mountain forests and tundra – 1 of the priority ecoregions (Global 200)	10/3
Биотическое районирование Палеарктики // Biotical zoning of Palearctic [15]	Западно-Евразийская (таежная) провинция // West Eurasian (taiga) province	41/10
Биогеографическое районирование // Biogeographical zoning [88]	Провинция Западно-Евразийской тайги // Province of West Eurasian taiga	60/13
«Очаги биоразнообразия» // Biodiversity hotspots [84]	Не входит ни в один из очагов / Not included in any of the hotspots	0/0
<b>Европа // Europe</b>		
Биогеографическое районирование Европы // Biogeographical zoning of Europe [77]	Альпийский регион (объединяет Альпы, Карпаты, Кавказ, Скандинавские горы и Урал)	8 (на Урале) / 3
<b>Россия // Russia</b>		
Физико-географическое районирование СССР // Physic-geographical zoning of USSR // Biogeographical zoning of Europe [57]	Средневысотный Северный Урал (объединяет Альпы, Карпаты, Кавказ, Скандинавские горы и Урал) // Alpine region (unites the Alps, the Carpathians, the Caucasus, the Scandinavian mountains and the Urals)	4/2
<b>Пермский край / Perm region</b>		
Почвенное районирование // Soils zoning [34]	Горно-Уральский район горно-лесных и горно-луговых скелетных почв // Mountain-Urals region of mountain-forest and mountain-meadow skeletal soils	4/1
Геоботаническое районирование // Geobotanical zoning [20]	Горно-таежные пихтово-еловые леса // Mountain taiga fir-spruce forests	5/1
Ботанико-географическое районирование // Botanic-geographical zoning [49]	Северо- и среднетаежные кедрово-еловые горные леса // Northern- and middle-taiga cedar-spruce mountain forests	2/1
Герпето-географическое районирование // Herpetic-geographical zoning [74]	Район средневысотных гор // District of medium altitude Ural mountain	3/1
Фаунистическое районирование // Zoning of fauna [16]	Камско-Вишерское Приуралье // Preurals near the Kama and Vishera rivers	11/1
Физико-географическое районирование, Ландшафтные округа // Physic-geographical zoning. Landscape districts [72]	Округ средневысотных гор, холмов и увалов Косьвинско-Вишерского Урала с густой сетью узких речных долин и моховой пихтово-еловой горной тайгой // District of medium-altitude mountains, hills of the Kosvinsko-Visherskiy Urals with a dense network of narrow river valleys and mossy fir-spruce mountain taiga	3/1
Физико-географическое районирование, Подтипы ландшафтов // Physic-geographical zoning. Under types of landscapes [46]	Среднетаежный подтип // Middle taiga under type	13/1
Физико-географическое районирование, Подклассы ландшафтов // Physic-geographical zoning. Under classes of landscapes [46]	Среднегорный подкласс // Middle mountain under class	2/1
Природоохранное районирование // Central Ural [12]	Центральный Урал // Central Ural	2/1

На мировом уровне Вишерский заповедник (по площади) входит в верхнюю треть крупных ООПТ, расположенных в экорегионе уральских горных лесов и тундр, а также и биогеографической провинции Западно-Евразийской тайги. В альпийском биогеографическом регионе Европы (в пределах Урала), так же, как и на средневысотном Северном Урале (федеральное районирование), Вишерский заповедник оказался крупнее не менее чем половины ООПТ того же ранга. Внутри Пермского края Вишерский заповедник, по всем рассмотренным схемам районирования, уверенно занимает первое место. В целом, заповедник играет ключевую роль в таежной зоне и на Урале.

Значимым также представляется выявление и охрана типичных и уникальных природных комплексов. На территории «Вишерского» к таким следует отнести Ключевую орнитологическую территорию России международного значения «Верхне-Вишерский горный массив» [83]; последний массив сохранившихся в Пермском крае малонарушенных лесных тер-

риторий [43]; два крупнейших в регионе лесных генетических резервата кедр [58]. Перспективным остается выявление редких экосистем [51] и других ценных природных комплексов.

**Роль Вишерского заповедника в сохранении биоты.** Вишерский заповедник – относительно крупная и хорошо изученная ООПТ. Данные об общем биологическом разнообразии этой территории получены в ходе многолетних режимных наблюдений сотрудников заповедника, а также профильных работ отдельных групп учёных. К настоящему времени опубликованы данные о списках агарикоидных грибов, лишайников и сосудистых растений [8], мохообразных [25] жесткокрылых насекомых [28], рыб [22, 23], рептилий, амфибий [64], птиц [29] и млекопитающих [64]. Общие сводные данные о числе видов приводятся в обзорной статье Бахарева, Семенова [6]. Сравнение числа видов, выявленных в границах Вишерского заповедника, с аналогичными показателями по Пермскому краю и РФ, приведены в таблице 2 / table 2.

Таблица 2

**Выявленное биоразнообразие заповедника «Вишерский», его доля в России и Пермском крае**

Table 2

**Identified biodiversity of the «Visherskiy State Nature Reserve», its share in Russia and in the Perm region**

Некоторые таксономические группы // Some taxa	Число выявленных видов, шт. // Number of identified species, pcs.		
	ГПЗ «Вишерский», шт. (доля (%) от Пермского края / от РФ) // «Visherskiy» State Nature Reserve (share (%) from Perm region / from Russia) <sup>1</sup>	Пермский край // Perm region <sup>2</sup>	Россия // Russia <sup>3</sup>
Mammalia	45 (67,2 / 14,1)	67	320
Aves	180 (62,9 / 22,8)	286	789
Reptilia	1 (16,7 / 1,3)	6	80
Amphibia	3 (30,0 / 10,3)	10	29
Pisces	15 (34,9 / 4,4)	43	343
Coleoptera	41 (≈ 1,2 / ≈ 0,3)	≈ 3 500	≈ 15 000
Tracheophyta	602 (36,3 / ≈ 4,8)	1 658	≈ 12 500
Bryophyta	475 (77,5 / ≈ 21,6)	613	≈ 2 200
Lichenes	345 (53,9 / 9,7)	640	3 540
Agaricomycetes	335 (38,6 / 10,3)	868	3 246

Примечание: // Note:

1 – Число видов, выявленных в Вишерском заповеднике, указано согласно // The number of species identified in the «Visherskiy» State Nature Reserve is indicated according to [6, 8, 22, 23, 25, 28, 29]

2 – Число видов, выявленных в Пермском крае, указано согласно // The number of species identified in the Perm region is indicated according to [27, 44, 50, 52, 65]

3 – Число видов, выявленных в России, указано согласно // The number of species identified in the Russia is indicated according to [4, 48, 76]

Анализируя полученные значения биоразнообразия (таблица 2 / table 2), необходимо учитывать, что собственно число обитающих видов (абсолютное значение) это сравнительно малоинформативный показатель, в виду неравномерного зонального и азонального распределения биоразнообразия. Так, при одинаковой площади, разнообразие живых организмов, скорее всего, будет выше на экваторе и в тропиках, чем в тайге или тундре. То же, характерно и для пары: горный – равнинный заповедник. Более информативным следует считать относительный показатель, то есть долю видов, выявленных на ООПТ, относительно региона, зоны (подзоны), горной страны, государства.

Интерпретация полученных значений требует хорошей осведомленности о текущей степени изученности. Так, низкая степень изученности ООПТ, может

приводить к необоснованно тому, что доля, выявленных на охраняемой территории видов, будет необоснованно низкой. Именно такая ситуация характерна для фауны Coleoptera Вишерского заповедника. Очевидно, что масштабное и системное изучение жуков выявит еще многие десятки (а возможно и сотни) видов жесткокрылых в границах этой ООПТ.

Наоборот, хорошая изученность отдельной ООПТ на фоне недостаточной обследованности региона, может приводит к существенной переоценке роли ООПТ в сохранении биоразнообразия. Этот эффект, по-видимому, наблюдается в отношении лишайников, мохообразных и агарикоидных базидиомицетов.

В целом, наибольших долей сохраняемого биоразнообразия на региональном (63–67%) и федеральном уровне (14–23%) Вишерский заповедник достигает по

группам млекопитающих и птиц. Высокие доли выявленных видов по мохообразным, лишайникам и грибам в регионе, вероятно, вызваны субъективной причиной – низкой степенью изученности соответствующих флор в Пермском крае.

Доли охраняемого в Вишерском заповеднике биоразнообразия рыб, амфибий и рептилий, относительно невелики, что объясняется объективными причинами: холодным климатом, относительно небольшой долей и однообразностью водных экосистем. Крайне низкие

доли выявленного разнообразия жуков, связаны со фрагментарной изученностью заповедника профильными специалистами.

Для некоторых типичных и хозяйственно значимых видов Вишерский заповедник может рассматриваться как кормовой и/или воспроизводственный участок, а в ряде случаев даже, как рефугиум. Данные о численности таких видов в границах ООПТ и в Пермском крае показаны в таблице 3 / table 3.

Таблица 3

**Численность типичных и хозяйственно ценных видов в заповеднике «Вишерский»,  
доля в Пермском крае**

Table 3

**The number of typical and economically valuable species in the «Visherskiy State Nature Reserve»,  
hare in the Perm region**

Типичные и хозяйственно ценные виды // Typical and economically valuable species	ГПЗ «Вишерский» / доля от Пермского края, % // «Visherskiy» State Nature Reserve / share from Perm region, % [66, 67]	Пермский край // Perm region [47]
<i>Alces alces</i>	50 / 0,1	39 526
<i>Rangifer tarandus</i> <sup>1</sup>	225 / 10,0 <sup>1</sup>	2 250 <sup>1</sup>
<i>Canis lupus</i>	6 / 10,8	56
<i>Ursus arctos</i>	35 / 0,5	7 542
<i>Martes zibellina</i> <sup>2,3</sup>	295 <sup>2</sup> / 92,2	320 <sup>3</sup>
<i>Gulo gulo</i>	10 / 4,1	244
<i>Mustela erminea</i>	100 / 1,7	5 834
<i>Mustela nivalis</i>	27 / ???	н.д.
<i>Mustela sibirica</i>	8 / 0,7	1 154
<i>Neogale vison</i>	100 / 0,5	19 060
<i>Lutra lutra</i>	30 / 0,9	3 338
<i>Lepus timidus</i>	1500 / 1,2	125 498
<i>Castor fiber</i>	435 / 1,8	24 470
<i>Sciurus vulgaris</i>	350 / 0,4	92 426

Примечание: // Note:

1 – Численность *Rangifer tarandus* в горах Урала, согласно данным Королева [32] / Доля относительно Урала // The number of *Rangifer tarandus* in the Ural Mountains, according to Korolev [32] / Proportion relative to the Urals

2 – Численность *Martes zibellina* в Вишерском заповеднике по данным ЗМУ 2008-2014 гг. // The number of *Martes zibellina* in the «Visherskiy» Reserve according to the winter route surveys data for 2008-2014 [66, 67]

3 – Численность *Martes zibellina* в Пермском крае согласно [21] в среднем составляет 25 особей. В таблице указано число с учетом численности соболя в Вишерском заповеднике // The number of *Martes zibellina* in the Perm region according to [21] averages 25 individuals. The table shows the number taking into account the number of sables in the «Visherskiy» Reserve

Для большей части рассмотренных (таблица 3 / table 3) видов, обитающих в Вишерском заповеднике, их доля, относительно общей численности по региону, находится на очень низком уровне 0,5-2%. Исключения составляют 3 вида. Относительно высока доля россомахи и волка (4,1% и 10,8%, соответственно). Вероятно, это объясняется сжиманием их естественного ареала (глухая ненарушенная тайга), прежде всего, из-за рубок леса. Основные крупные массивы ненарушенных лесов сейчас сохраняются именно на северо-востоке региона. Кроме того, волк, вне границ заповедника и биологических заказников активно истребляется местными жителями. Группировка дикого северного оленя в Вишерском заповеднике составляет 1/10 от общей численности всех этих копытных в горах Урала. Она же, по-видимому, является одной из самых южных в Европейской части России.

На общем, фоне значительно выделяется соболя, доля которого достигает более 90% от общей численности зверька в регионе. Сейчас в Пермском Прикамье соболя практически невозможно практически встретить за пределами заповедника. Хотя еще в начале – середине XX в. соболя добывали практически по всей северной и горной части региона. Предполагаем, что помимо уже перечисленных промыслового и лесозаготовительного факторов, значительную роль также играет наличие больших массивов кедра в заповеднике. Это существенно увеличивает объем кормовой базы для соболя.

Велика природоохранная роль Вишерского в поддержании численности популяции европейского хариуса в Камском бассейне. По данным Зиновьева и Семёнова [22] верхняя Вишера и её притоки обеспечивают устойчивое существование самой крупной в Европе

группировки европейского хариуса. Численность половозрелых особей в ней, в среднем, составляет 150-200 тысяч особей.

В границах заповедника выявлено 87 видов редких и исчезающих видов живых организмов, включенных в те или иные перечни (таблица 4 / table 4).

Таблица 4

**Виды из списков Красных книг, выявленные в Вишерском заповеднике, согласно [6, 8, 22, 23, 25, 28, 29]**

Table 4

**Red lists species identified in the «Visherskiy State Nature Reserve» according [6, 8, 22, 23, 25, 28, 29]**

Уровень Красных книг // Level of Red list	Распределение редких и исчезающих видов по таксономическим группам // Distribution of rare and endangered species by taxonomic groups							Всего видов // Total species
	Mammalia	Aves	Pisces	Insecta	Tracheophyta	Bryophyta	Lichenes	
Международный // International [82] <sup>2</sup>	1	1	1	–	–	–	–	3
Европейский // European [82] <sup>2</sup>	–	1	–	–	–	25	–	26
Российский // Russian [36, 37]	1	7	1	1	2	1	1	13
Региональный // Regional [7, 35]	1	14	1	1	9	19 <sup>1</sup>	6	51 <sup>1</sup>

Примечание: // Note:

1 – Bryophyta, редкие для Пермского края, в Красной книге региона не указаны, по-видимому из-за недостаточной изученности. В таблице, редкие виды Bryophyta для Пермского края указаны согласно // Bryophyta, rare for the Perm region, is not listed in the Red Book of the region, apparently due to insufficient knowledge. In the table, rare species of Bryophyta for the Perm region are indicated according to [7].

2 – Отмечены виды, имеющие статус: находящиеся на грани полного исчезновения (CR), вымирающие (EN), уязвимые (VU) // Species with statuses are noted: critically endangered (CR), endangered (EN), vulnerable (VU).

Наиболее редкими видами следует считать северного оленя, овсянку-ремеза и тайменя, которые включены не только в Красные книги Пермского края и России, но и в перечни исчезающих видов на Европейском и даже глобальном уровнях. Наибольшее число редких видов выявлено среди мохообразных. Отметим, что утвержденный список Bryophyta, подлежащих охране в Пермском крае, отсутствует. Вместо него нами использованы данные о редкости видов Безгодова [7]. Сравнительно много (14, 9, 6) видов птиц, сосудистых растений и лишайников, выявленных в Вишерском, также включены в Красные книги Пермского края и РФ. Среди млекопитающих, рыб и насекомых, отмечено лишь по одному редкому виду.

Среди лесов заповедника ценными на уровне региона [51] следует считать леса со значительной долей кедра и лиственницы в сложении первого яруса древостоя. Точного подсчета площадей таких насаждений пока не проведено. Однако, есть основания полагать, что по обеим категориям в границах Вишерского заповедника сформирована заметная часть (от площади по Пермскому краю) таких лесов.

Среди нелесных экосистем также выявлен [8] ряд ценных объектов. К ним можно отнести реликтовый скальный комплекс лесостепных видов на южной оконечности хребта Чувал, реликтовый арктоальпийский комплекс дриадовых тундр на Молебном Камне, Муравьином Камне и ряд других.

Интересной и пока не выполненной задачей остается расчет показателей, характеризующих способность заповедника обеспечивать устойчивое существование сообществ в условиях биogeографической изоляции (на базе теории островной биogeографии Мак-Артура и Вильсона).

**Заповедник «Вишерский». Сохранение природных компонентов.** Среди абиотических природных компонентов заповедника «Вишерский» наибольшей изученностью характеризуются недра (геологическое строение). В частности, выделено 8 ценных геологических объектов: гора Большой Хапхар-Не-Тумп, Тулымский ансамбль, Мойвинский массив, Чувальская жила, проявление Вейнберг и др. [18]. Значение этих геологических объектов повышается от местного и регионального до международного.

Почвенный покров, водные объекты, атмосферные процессы изучены слабее. Либо, при выявлении ценных компонентных объектов, есть объективные сложности. Необходимо продолжить работу в этом направлении.

Географически значимым объектом следует считать водораздел 3 крупнейших речных бассейнов Волги, Печоры и Оби – гору Саклаим-Сори-Чахль.

**Вклад заповедника «Вишерский» в поддержание экологического равновесия.** Заповедник «Вишерский» включает обширный массив ненарушенных экосистем в верховьях р. Вишеры, играя значимую роль в поддержании круговорота воды не только на северо-востоке края, но и в регионе в целом. Так, по некоторым гидрологическим критериям (средняя высота водосбора, среднегодовой модуль стока, среднемноголетний объем стока, среднегодовой расход, максимальный расход половодий и др.) именно Кама является притоком Вишеры, а не наоборот [30].

Согласно данным многолетних наблюдений [45] сток Вишеры составляет около 28,5% от суммарного регионального стока (р. Кама в районе г. Чайковский). При этом сама водосборная площадь реки занимает лишь 19,5% от территории края.

Круговороты других химических элементов и соединений в экосистемах «Вишерского» пока изучены недостаточно. В научной литературе только первые данные по этой теме были опубликованы сравнительно недавно. Так, известна серия работ Е.А. Ларионовой, Е.А. Ворончихиной [5, 17, 42] о содержании тяжелых металлов в экосистемах, публикации о фоновых значениях некоторых химических элементов в почвах [2, 11, 60], водах [14, 62]. Имеются публикации, оценивающие влияние глобальных климатических изменений на природную среду Вишерского заповедника [3, 53, 54, 71]. Необходимо продолжение исследований естественных круговоротов.

Также перспективной остается оценка роли природных комплексов заповедника в снижении негативных эффектов, наблюдаемых при изменении климата, закислении природных сред, снижении надежности экосистем.

Если рассматривать горный северо-восток Пермского края, то существующих крупных ООПТ, здесь всего две: Вишерский заповедник и охраняемый ландшафт «Кваркуш». Существующая общая доля ООПТ (35,7%) в этом районе вполне соответствует Российским (17%) и мировым (20–30%) нормам территориальной охраны природы [63]. В случае отсутствия/ликвидации Вишерского заповедника, общая доля ООПТ на северо-востоке региона снизилась бы до уровня (6,7%). Это, как минимум, в 2,5–3 раза ниже минимально необходимого [63].

#### **Заключение**

Для решения ряда научных и прикладных задач существует необходимость разработки методики комплексной оценки природоохранного значения для отдельной ООПТ.

Обзор мировой и отечественной природоохранной практики, и теоретических представлений позволяет выделить 4 группы основных показателей, определяющих природоохранную ценность.

Сохранение природных комплексов, в основном реализуется через категоризацию (для природоохранных задач) регионов в системах природных (биогеографических, ботанических, почвенных и др.) районирований, разработанных как на мировом, так и на российском уровнях. Иной подход заключается в выявлении и сохранении отдельных ценных, как правило крупных, природных объектов, природных феноменов, экосистем.

Оценка вклада ООПТ в устойчивое существование биологического разнообразия, чаще всего, реализуется на популяционно-видовом и биоценотическом уровнях. Для оценки роли ООПТ в поддержании популяций, могут быть использованы совокупные значения общего биоразнообразия, данные по отдельным хозяйственно значимым видам или сведения о местах обитания редких и исчезающих видов, занесенных в Красные книги региона, страны, мира. Работа на уровне сообществ требует более сложной подготовки, предварительных исследований, выявляющих редкие и уязвимые типы биоценозов.

Сохранение абиотических природных компонентов нередко, оказывается, сильно затруднено отсутствием

конкретных сведений о их распространении. Наиболее перспективным представляется оценка роли ООПТ в сохранении ценных геологических и почвенных объектов. В отношении атмосферы, наземных и подземных водных объектов, на данный момент, перспективна разработка методической основы по определению их природоохранной значимости.

Наиболее очевидной характеристикой вклада ООПТ в поддержание экологического равновесия мы считаем данные о круговороте воды. В этом случае, базовой единицей оценки становятся речные бассейны, водосборы.

Для дифференциации результатов оценки предлагается использовать 3 пространственных уровня: региональный или зональный, общегосударственный (для крупных стран, например, России), мировой.

Предлагаемая методика оценки использует сведения об ООПТ, накапливаемые посредством многолетних наблюдений (ЗМУ, фотоловушка, мониторинг состояния природных сред) и профильные исследования ученых. Для их сравнения с региональными, зональными, общегосударственными сведениями, также предполагается пользоваться открытыми данными публикуемыми, как отдельными учеными, исследовательскими коллективами, так и органами государственной власти.

Сформулированный алгоритм оценки природоохранной значимости представляется достаточно универсальным. Типовой набор источников исходной информации позволяет расширить опыт подобной оценки на любую крупную ООПТ со средним или высоким уровнем изученности.

Предложенная методика опробована на примере государственного природного заповедника «Вишерский», который находится на восточном краю Европы, на западном склоне Северного Урала. Анализ природоохранной значимости заповедника «Вишерский» показал следующее.

На региональном уровне Вишерский, очевидно, является самой ценной ООПТ в Пермском крае по всем рассматриваемым показателям. Значимость Вишерского заповедника заметно превышает, аналогичные показатели Басег (второй заповедник региона) и, тем более, региональных ООПТ. Например, в границах заповедника отмечено 36% всех видов животных и 12% сосудистых растений и 60% лишайников, занесенных в региональную Красную книгу. Популяции соболя еще сохраняется в Пермском крае, фактически только благодаря Вишерскому заповеднику. Здесь находится 2 лесных генетических резервата кедра и 8 ценных геологических объектов. Несмотря на относительно небольшую площадь внутри Пермского края, экосистемы заповедника играют заметную роль в региональном круговороте воды.

На российском и европейском уровне значение заповедника также достаточно велико. Внутри своих физико-географических и биогеографических районов Вишерский, по площади, больше половины – двух третей остальных ООПТ того же ранга. Здесь расположена ключевая орнитологическая территория. Обитает относительно крупная группировка дикого северного

оленя – одна из самых южных в России и Европе. Наибольшая в Европе группировка европейского хариуса также существует в водотоках заповедника. На территории Вишерского выявлено 14,1%, 22,8%, 21,6% всех видов млекопитающих, птиц и мохообразных России, а также 6% охраняемых лишайников Европы.

На глобальном уровне Вишерский заповедник выполняет значимую роль сохранения природной среды провинции Западно-Евразийской тайги, экорегиона Уральских горной тайги и тундр, опережая по площади 70-80% заповедников, национальных и природных парков, крупных заказников. Мировая значимость заповедника заключается в сохранении значительной части южного отрога малонарушенной лесной территории, меридионально вытянутой вдоль Северного и Приполярного Урала. Три вида, обитающих здесь, признаны глобально редкими. Это северный олень, овсянка-ремез, таймень.

Вместе с тем, анализ природоохранного значения показал, что имеется целый ряд показателей (редкие экосистемы, ценные гидрологические объекты, атмосферные явления, круговороты химических элементов в экосистемах заповедника и др.) изученность которых пока не позволяет оценивать их предметно.

#### Сведения об авторском вкладе

П.Ю. Санников – поиск и анализ данных, подготовка первого варианта рукописи, вычитка финального варианта статьи.

П.Н. Бахарев – поиск и анализ фондовых данных заповедника «Вишерский», вычитка финального варианта статьи.

#### Contribution of the authors

P.Yu. Sannikov – data search and analysis, preparation of the first edition of the manuscript, proofreading of the final version of the manuscript.

P.N. Bakharev – collection and analysis of «Visherskiy» State Nature Reserve stock data, proofreading of the final version of the manuscript.

#### Список источников

1. Аксенов Д.Е., Дубинин М.Ю., Карпачевский М.Л., Ликсакова Н.С., Скворцов В.Э., Смирнов Д.Ю., Яницкая Т.О. Выделение лесов высокой природоохранной ценности в Приморском крае. Категории, важные для сохранения растительного покрова. М.: Издательство МСОЭС, 2006. 186 с.

2. Андреев Д.Н., Дзюба Е.А. Суммарное химическое загрязнение почв тяжелыми металлами в различных биотопах на территории Вишерского заповедника // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18(2-2). С. 283–287.

3. Андреев Д.Н., Хотяновская Ю.В. Анализ изменения радиального прироста ели сибирской (*Picea obovata*) и пихты сибирской (*Abies sibirica*) на территории заповедника «Вишерский» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18(2). С. 30–34.

4. Андреев М.П., Гимельбрандт Д.Е. (ред.). Флора лишайников России. Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников.

М.; СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 392 с.

5. Бахарев П.Н., Ворончихина Е.А., Ильиных С.И., Лоскутова Н.М. Технофильные элементы в особо охраняемых экосистемах западноуральской тайги // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14(1-8). С. 2136–2139.

6. Бахарев П.Н., Семёнов В.В. Заповедник «Вишерский» // Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. С. 30–35.

7. Безгоднов А.Г., Константинова Н.А. Редкие мохообразные Европы в Пермском крае // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. 2019. Сер. № 2. Физико-математические и естественные науки. Вып. 1. С. 34–45.

8. Белковская Т.П., Переведенцева Л.Г., Мухутдинов О.И., Селиванов А.Е., Бахарев П.Н., Прокошева И.В. Растительность и флора, грибы, лишайники заповедника «Вишерский». Соликамск, 2014. 400 с.

9. Бойков Т.Г. Редкие растения и фитоценозы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1999. 264 с.

10. Бузмаков С.А., Воронов Г.А. Основные подходы в определении качества окружающей среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18(2). С. 587–590.

11. Бузмаков С.А., Дзюба Е.А. Определение фоновое содержания циклических элементов в почвах Тулымского камня (Пермский край) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 19(3). С. 49–57.

12. Бузмаков С.А., Зайцев А.А. Состояние региональных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2011. (3). С. 3–12.

13. Булохов А.Д. (ред.). Зеленая книга Брянской области (растительные сообщества, нуждающиеся в охране). Брянск: ГУП «Брянское областное полиграфическое Объединение», 2012. 144 с.

14. Ваганов С.С., Блинов С.М. Влияние разгрузки подземных вод на формирование химического состава воды р. Вишеры // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2020. Вып. 3. С. 251–257.

15. Воронов А.Г., Кучерук В.В. Биотическое разнообразие Палеарктики: проблемы изучения и охраны // Биосферные заповедники / ред. В.Е. Соколова. Л.: Гидрометиздат, 1977. С. 7–20.

16. Воронцов Е.М. Птицы Камского Приуралья (Молотовской области). Горький: Изд-во ГГУ, 1949. 113 с.

17. Ворончихина Е.А., Блинов С.М. Меньшикова Е.А. Технофильные металлы в естественных и урбанизированных экосистемах Пермского края // Экология урбанизированных территорий. 2013. (1). С. 103–108.

18. Геологические памятники Пермского края: Энциклопедия / под. общ. ред. И.И. Чайковского; Горный институт УрО РАН. Пермь: «Книжная площадь», 2009. 616 с.

19. Дидух Я.П. (ред.). Зеленая книга Украины. Киев: Альтерпрес, 2009. 448 с.

20. Данилова М.М. Геоботанические районы Пермской области // Доклады IV Всеуральского совещания

по физико-географическому и экономико-географическому районированию. Пермь, 1958. С. 1–5.

21. Данные зимних маршрутных учетов в Пермском крае за 2006-2016 гг. // Фондовые данные Управления по охране и использованию объектов животного мира Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края.

22. *Зиновьев Е.А., Семёнов В.В.* Рыбы Вишерского заповедника. Пермь: Астер, 2013. 96 с.

23. *Зиновьев Е.А., Семёнов В.В., Бакланов М.А.* О расширении списка фауны рыб заповедника «Вишерский» // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. (2). С. 122–127.

24. *Золотов Д.В., Кузменкин Д.В., Черных Д.В., Соломахин Д.Н., Грибков А.В.* Рекомендации по выделению высоких природоохранных ценностей категории «Редкие экосистемы и местообитания» в лесах Алтайского края. Всемирный фонд дикой природы (WWF). Красноярск, 2019. 66 с.

25. *Игнатова Е.А., Игнатов М.С., Константинова Н.А., Безгодов А.Г.* Мохообразные заповедника «Вишерский». Пермь: ИЦ Титул, 2019. 124 с.

26. Ключевые орнитологические территории Европейской России. Союз охраны птиц России. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rbcu.ru/programs/93/> (дата обращения: 12.02.2022).

27. *Козьминых В.О.* Современные данные о таксономическом составе и разнообразии отряда жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) в Пермском крае // Инновации в науке. Материалы XIX Международной заочной научно-практической конференции, 2013. Новосибирск, 22 апреля 2013 г. Новосибирск: Издательство «СибАК». С. 37–40.

28. *Козьминых В.О., Санников П.Ю.* Жесткокрылые насекомые (Insecta, Coleoptera) заповедника «Вишерский» и соседних территорий // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. (4). С. 60–66.

29. *Колбин В.А.* Птицы заповедника «Вишерский» // Русский орнитологический журнал. 2009. Т. 18(510). С. 1555–1572.

30. *Комлев А.М., Черных Е.А.* Реки Пермской области: режим, ресурсы, прогноз, проблемы. Пермь: Пермское книжное издательство, 1984. 215 с.

31. Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местообитаний водоплавающих птиц. 1971. 5 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/pdf/waterfowl.pdf](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/waterfowl.pdf) (дата обращения: 20.07.2023).

32. *Королев А.Н.* Дикая северный олень европейской части России. Прошлое, настоящее, будущее // Лесной северный олень – проблемы и перспективы сохранения на европейском севере России: сборник статей / Н. Шматкова (Ред.). М.: WWF, 2021. С. 5–8.

33. *Коропачинский И.Ю.* (ред.). Зеленая книга Сибири: редкие и нуждающиеся в охране растительные сообщества. Новосибирск: Наука, 1996. 396 с.

34. *Кортаев Н.Я.* Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. 279 с.

35. Красная книга Пермского края / под ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 230 с.

36. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М: «Товарищество научных изданий КМК», 2008. 855 с.

37. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. / под редакцией Д.С. Павлова. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». 2021, 1128 с.

38. *Кревер В.Г., Стишов М.С., Онуфреня И.А.* Особо охраняемые природные территории России: современное состояние и перспективы развития. М.: «Орбис Питкус», 2009. 455 с.

39. *Крестов П.В., Верхолат В.П.* Редкие растительные сообщества Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВО РАН, 2002. 200 с.

40. *Кулакова С.А., Зайцев А.А.* Трансформация природной среды на особо охраняемых природных территориях и ее влияние на экологическую комфортность // Географический вестник. 2016. Т. 39(4). С. 91–99.

41. *Лавренко Е.М., Гентнер В.Г., Кириков С.В., Формозов А.Н.* Перспективный план географической сети заповедников СССР (проект) // Охрана природы и заповедное дело в СССР. 1958. Вып. 3. С. 3–87.

42. *Ларионова Е.А.* Тяжелые металлы в горно-таежных ландшафтах (на примере заповедников «Басеги» и «Вишерский»): дисс. канд. геогр. наук. Пермь. 2004. 158 с.

43. Леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) России. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://hevf.ru/ru/maps/hevf-russia> (дата обращения: 13.03.2022).

44. *Мандрица С.А., Зиновьев Е.А., Шепель А.И., Бакланов М.А.* Биоразнообразие позвоночных Пермского края. Определитель позвоночных. Пермь: Пермский государственный университет, 2008. 164 с.

45. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. Выпуск 25. Бассейн реки Камы (1976-1980 гг.). 1988. Л.: Гидрометиздат. 706 с.

46. *Назаров Н.Н.* Классификация ландшафтов Пермской области // Вопросы физической географии и геоэкологии: Уральский межвузовский сборник научных трудов. Пермь, 1996. С. 4–10.

47. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2020 году. Государственный доклад. Пермь: Минприроды Пермского края, 2021. 285 с.

48. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.

49. *Овёснов С.А.* Ботанико-географическое районирование Пермской области // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2000. Вып. 2. С. 13–21.

50. *Овёснов С.А.* Местная флора. Флора Пермского края и ее анализ: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь: Пермский государственный университет, 2009. 171 с.

51. *Овёснов С.А., Ефимик Е.Г., Санников П.Ю.* Предварительный список редких лесных экосистем Пермского края // Устойчивое лесопользование. 2020. 4 (63). С. 30–38. [https://doi.org/10.47364/2308-541X\\_2020\\_63\\_4\\_30](https://doi.org/10.47364/2308-541X_2020_63_4_30)

52. *Переведенцева Л.Г.* Агарикоидные базидиомицеты Пермского края // Грибные сообщества лесных

- экосистем. 2012. Т. 3. Петрозаводск: КарНЦ РАН, С. 96–116.
53. Прокошева И.В. Динамика фенологических процессов в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника (Северный Урал) под влиянием климатических изменений // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28(2). С. 40–55.
54. Прокошева И.В. Фенология березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в горнотаёжном поясе Вишерского заповедника (Северный Урал) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2019. Т. 30, № 1-2. С. 53–69.
55. Рачковская Е.И., Огарь Н.П., Маринич О.В. Редкие растительные сообщества степей Казахстана и их охрана // Степной бюллетень. 1999. № 3–4. С. 41–46.
56. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия молодая», 1994. 367 с.
57. Рихтер Г.Д. Природное районирование СССР. Карта // Известия АН СССР, серия географическая. 1961. (3). С. 3–13.
58. Розозин М.В., Запоров А.Ю., Жекин А.В. К обоснованию необходимого количества лесных генетических резерватов для Пермского края // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2007. 10(5). С. 161–171.
59. Саксонов С.В., Лысенко Т.М., Ильина В.Н., Колева Н.В., Лобанова А.В., Матвеев В.И., Митрошенкова А.Е., Симонова Н.И., Соловьева В.В., Ужамецкая Е.А., Юрицына Н.А. Зеленая книга Самарской области. Самара: СамарНЦРАН, 2006. 201 с.
60. Самофалова И.А. Геопространственное моделирование физико-химических свойств горных почв (Северный Урал, заповедник «Вишерский») // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 2(18). С. 35–41.
61. Санников П.Ю. Обзор методов оценки репрезентативности сетей ООПТ // Географический вестник. 2014. №2 (29). С. 107–115.
62. Санников П.Ю., Бахарев П.Н. Использование прибора Multi 350i для определения гидрохимических характеристик р. Вишеры // Географический вестник. 2015. 32(1). С. 81–88.
63. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2015. 173 с.
64. Сводные данные по биоразнообразию заповедника «Вишерский». Информационно-аналитическая система «ООПТ России». 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Вишерский/bio/cadastre> (дата обращения: 03.03.2022).
65. Селиванов А.Е., Урбанавичюс Г.П., Шкараба Е.М., Шаяхметова З.М., Урбанавичене И.Н. Предварительный список лишенофлоры Пермского края: монография. Пермь: Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 2015. 208 с.
66. Семенов В.В. (ред.). Изучение естественных процессов, протекающих в природных комплексах заповедника «Вишерский», выявление взаимосвязей между составляющими их компонентами (Летопись природы 2011/2012 гг.). 2013. Книга 19. Красновишерск. 180 с.
67. Семенов В.В. (ред.). Изучение естественных процессов, протекающих в природных комплексах заповедника «Вишерский», выявление взаимосвязей между составляющими их компонентами (Летопись природы 2012/2013 гг.). 2014. Книга 20. 182 с.
68. Солодько А.С. Зеленая книга Сочинского Причерноморья. Сочи: РГО (Сочинское отд.), 2013. 99 с.
69. Список семейств жуков России с данными о числе видов // Зоологический институт РАН. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/dbase1.htm> (дата обращения: 17.03.2022).
70. Торсуев Н.П. (ред.). Зеленая книга Республики Татарстан. Казань: КГУ, 1993. 421 с.
71. Хотяновская Ю.В. Результаты первых дендрохронологических исследований на территории ГПЗ «Вишерский» // Антропогенная трансформация природной среды. 2016. Т. 2. С. 173–178.
72. Чазов Б.А. К итогам работы по физико-географическому районированию Урала // Вопросы географии и охраны природы Урала. 1960. (2–4). С. 1–9.
73. Чибилев А.А., Мусихин Г.Д., Павлейчик В.М., Паришина В.П. Зеленая книга Оренбургской области: Кадастр объектов Оренбургского природного наследия; Оренбургский филиал Русского Географического общества. Оренбург: Издательство «ДиМур», 1996. 260 с.
74. Юшков Р.А., Воронов Г.А. Амфибии и рептилии Пермской области (предварительный кадастр). Пермь: Изд-во Пермского университета, 1994. 157 с.
75. Ярошенко А.Ю., Потапов П.В., Турубанова С.А. Методика и результаты картирования малонарушенных лесных территорий Европейского Севера России Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России. М.: Гринпис России, 2001. 75 с.
76. Bolshakov S., Kalinina L., Palomozhnykh E., Potapov K., Ageyev D., Arslanov S., Filippova N., Palamarchuk M., Tomchin D., Voronina E. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country-scale checklist of scientific names based on literature data // Biological Communications. 2021. Vol. 6 (4). P. 316–325. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2021.404>
77. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Council of Europe. 1979. [Электронный ресурс]. URL: <https://rm.coe.int/1680078aff> (дата обращения: 24.03.2022).
78. Dasmann R.F. A system for defining and classifying natural regions for purposes of conservation // IUCN occasional paper. 1973. (7). 47 p.
79. Hodgetts, N., Cáliz, M., Englefield, E., Fettes, N., García Criado, M., Patin, L., Nieto, A., Bergamini, A., Bisang, I., Baisheva, E., Campisi, P., Cogoni, A., Hallingbäck, T., Konstantinova, N., Lockhart, N., Sabovljevic, M., Schnyder, N., Schröck, C., Sérgio, C., Sim Sim, M., Vrba, J., Ferreira, C.C., Afonina, O., Blockeel, T., Blom, H., Caspari, S., Gabriel, R., Garcia, C., Garilleti, R., González Mancebo, J., Goldberg, I., Hedenäs, L., Holyoak, D., Hugonnot, V., Huttunen, S., Ignatov, M., Ignatova, E., Infante, M., Juutinen, R., Kiebacher, T., Köckinger, H., Kučera, J., Lönnell, N., Lüth, M., Martins, A., Maslovsky, O., Papp, B., Porley, R., Rothero, G., Söderström, L., Ștefănuț, S.,

Syrjänen, K., Untereiner, A., Váňa, J. I., Vanderpoorten, A., Vellak, K., Aleffi, M., Bates, J., Bell, N., Brugués, M., Cronberg, N., Denyer, J., Duckett, J., During, H.J., Enroth, J., Fedosov, V., Flatberg, K.-I., Ganeva, A., Gorski, P., Gunnarsson, U., Hassel, K., Hespanhol, H., Hill, M., Hodd, R., Hylander, K., Ingerpuu, N., Laaka-Lindberg, S., Lara, F., Mazimpaka, V., Mežaka, A., Müller, F., Orgaz, J.D., Patiño, J., Pilkington, S., Puche, F., Ros, R.M., Rumsey, F., Segarra-Moragues, J.G., Seneca, A., Stebel, A., Virtanen, R., Weibull, H., Wilbraham, J., Żarnowiec, J. A miniature world in decline: European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts. Brussels: IUCN, 2019. 100 p. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.ERL.2.en>

80. Important Bird Areas. Site search. The International Database «Important Bird Areas». 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://datazone.birdlife.org/site/search> (дата обращения: 01.03.2022).

81. Important Plant Areas (IPA) Database. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.plantlifeipa.org/home>

82. IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iucnredlist.org/> (дата обращения: 12.02.2022).

83. Karyakin I.V. The information about An Important Bird Area «Verkhnevisherski mountain» (RU1199). The International Database «Important Bird Areas». 2021. [Электронный ресурс]. URL: <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/1622> (дата обращения: 25.02.2022).

84. Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B., Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities // *Nature*. 2000. Vol. 403(6772). P. 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

85. Olson D.M., Dinerstein E. The global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions // *Conservation Biology*. 1998. Vol. 12(3). P. 502–515. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.012003502.x>

86. Olson D.M., Dinerstein E. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation // *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 2002. Vol. 89(2). P. 199–224.

87. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth // *Bioscience*. 2001. Vol. 51(11). P. 933–938. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)

88. Udvardi M.D.F. A classification of the biogeographical provinces of the World (UNESCO. Man and Biosphere Programme. Project №8) // IUCN occasional paper. 1975. №18. 49 p.

## References

1. Aksenov D.E., Dubinin M.YU., Karpachevskij M.L., Liksakova N.S., Skvorcov V.E., Smirnov D.YU. and Yanickaya T.O., 2006. Allocation of forests of high conservation value in the Primorsky Region. Categories important for the preservation of vegetation cover. Moscow: Izdatel'stvo MSoES. 186 p. (in Russian)

2. Andreev D.N. and Dzjuba E.A., 2016. Total chemical contamination of soil with heavy metals in various biotopes of «Vishersky strict nature reserve». *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 18(2-2): 283–287. (in Russian)

3. Andreev D.N. and Hotjanovskaja Ju.V., 2016. Analysis of changes in the radial growth of Siberian spruce (*Picea obovata*) and Siberian fir (*Abies sibirica*) in «Vishersky» reserve. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 18(2): 30–34. (in Russian)

4. Andreev M.P. and Gimel'brandt D.E. (Eds.). 2014. *Flora of lichens of Russia. Biology, ecology, diversity, distribution and methods of studying lichens*. Moscow-St. Petersburg: Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK. 392 p. (in Russian)

5. Baharev P.N., Voronchihina E.A., Il'inyh S.I. and Loskutova N.M., 2012. Technophilic elements in protected ecosystems of West Ural taiga. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 14(1-8): 2136–2139. (in Russian)

6. Bakharev P.N. and Semenov V.V., 2017. «Visherskiy State Nature Reserve». In: S.A. Buzmakov (Ed.): *Atlas of protected areas of the Perm region*. Perm: Aster, P. 30–35. (in Russian)

7. Bezgodov A.G. and Konstantinova N.A., 2019. Rare European Bryophyta species in Perm territory *Bulletin of the Perm State Humanitarian and Pedagogical University*. Ser. № 2. Physical-mathematical and natural sciences (1). P. 34–45. (in Russian)

8. Belkovskaja T.P., Perevednceva L.G., Muhutdinov O.I., Selivanov A.E., Baharev P.N. and Prokosheva I.V., 2014. *Vegetation and flora, mushrooms, lichens of «Vishersky» reserve*. Solikamsk. 400 p. (in Russian)

9. Bojkov T.G., 1999. Rare plants and phytocenoses of Transbaikalia. Novosibirsk: Nauka. 264 p. (in Russian)

10. Buzmakov S.A. and Dzjuba E.A., 2016. Determination of the background content of cyclic elements in the soils of the Tulim stone (Perm region). *Izvestiya vuzov. Nortn-Caucasus region. Natural Sciences* 191(3): 49–57. (in Russian)

11. Buzmakov S.A. and Voronov G.A., 2016. Basic approaches to identification of environment condition. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 18(2): 587–590. (in Russian)

12. Buzmakov S.A. and Zaitcev A.A., 2011. The state of regional protected areas of the Perm region. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences* (3): 3–12. (in Russian)

13. Bulohov A.D. (Ed.). 2012. *The Green Book of the Bryansk region (plant communities in need of protection)*. Bryansk: GUP «Bryanskoe oblastnoe poligraficheskoe Ob"edinenie». 144 p. (in Russian)

14. Vaganov S.S. and Blinov S.M., 2020. The influence of groundwater discharge on the formation of the chemical composition of the water of the Vishery River. *Geology and minerals of the Western Urals* 3: 251–257. (in Russian)

15. Voronov A.G. and Kucheruk V.V., 1977. Biotic diversity of Palearctic: problems of research and preservation. In: E.K. Sokolov (Ed.): *Biosphere Reserves*. Saint Petersburg: Gidrometizdat. 7–20. (in Russian)

16. Vorontsov E.M., 1949. *Birds of the Kama Cis-Urals (Molotov region)*. Gor'kij: Izd-vo GGU, 113 p. (in Russian)
17. Voronchihina E.A., Blinov S.M. and Men'shikova E.A., 2013. Technophilic metals in natural and urbanized ecosystems of the Perm region. *Ecology of urban areas*. (1): 103–108. (in Russian)
18. Chaikovskiy I.I. (ed.). 2009. *Geological monuments of the Perm region: Encyclopedia*. Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Perm': «Knizhnaja ploshhad'». 616 p. (in Russian)
19. Diduh Ya.P. (Ed.). 2009. *Green Book of Ukraine*. Kiev: Al'terpres. 448 p. (in Russian)
20. Danilova M.M., 1958. Geobotanical districts of Perm region. *Reports of the IV All-Ural meeting on physical-geographical and economic-geographical zoning*. Perm'. P. 1–5. (in Russian)
21. Winter route account data in the Perm Region for 2006–2016. Stock data of the Department for the Protection and Use of Wildlife Objects of the Ministry of Natural Resources, Forestry and Ecology of the Perm Region. (in Russian)
22. Zinov'ev E.A., and Semenov V.V., 2013. *Fishes of the «Visherskiy State Nature Reserve»*. Perm': Aster, 96 p. (in Russian)
23. Zinov'ev E.A., Semenov V.V. and Baklanov M.A., 2016. About expansion the list of fishes fauna in reserve «Visherskiy». *Anthropogenic Transformation of Nature* (2). P. 122–127. (in Russian)
24. Zolotov D.V., Kuzmenkin D.V., ChErnyh D.V., Solomahin D.N. and Gribkov A.V., 2019. *Recommendations on the allocation of high environmental values of the category "Rare ecosystems and habitats" in the forests of the Altai Region*. *The World Wildlife Fund (WWF)*. Krasnoyarsk. 66 p. (in Russian)
25. Ignatova E.A., Ignatov M.S., Konstantinova N.A. and Bezgodov A.G., 2019. *Bryophyta of the «Visherskiy State Nature Reserve»*. Perm': ITs Titul, 124 p. (in Russian)
26. Key ornithological territories of European Russia. Union for the Protection of Birds of Russia. 2021. [Electronic source]. URL: <http://www.rbcu.ru/programs/93/> [Accessed at: 12 February 2022]. (in Russian)
27. Kolbin V.A., 2009. Birds of «Visherskiy State Nature Reserve». *The Russian Journal of Ornithology* 18(510). P. 1555–1572. (in Russian)
28. Koz'minykh V.O., 2013. Modern data on the taxonomic composition and diversity of the order of coleoptera insects (Insecta, Coleoptera) in Perm Region // Innovations in Science. Materials of the XIX International Correspondence Scientific and Practical Conference, Novosibirsk, April 22, 2013. Novosibirsk: Izdatel'stvo "SibAK". P. 37–40. (in Russian)
29. Koz'minykh V.O. and Sannikov P.Yu., 2018. Coleoptera insects (Insecta, Coleoptera) of «Visherskiy State Nature Reserve» and adjacent areas. *Anthropogenic Transformation of Nature* (4). P. 60–66. (in Russian)
30. Komlev A.M. and Chernyh E.A. *Rivers of Perm Region: regime, resources, forecast, problems*. 1984. Perm': Permskoe knizhnoe izdatel'stvo. 215 p. (in Russian)
31. Ramsar Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat. 1971. 5 p. [Electronic source]. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/pdf/waterfowl.pdf](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/waterfowl.pdf) [Accessed at: 20 July 2023]. (in Russian)
32. Korolev A.N., 2021. Wild reindeer of the European part of Russia. Past, present, future // Forest reindeer – problems and prospects of conservation in the European North of Russia: collection of articles / N. SHmatkova (Eds.). Moscow: WWF. P. 5–8. (in Russian)
33. Koropachinskij I.YU. (Ed.). 1996. *The Green Book of Siberia: rare and in need of protection plant communities*. Novosibirsk: Nauka. 396 p. (in Russian)
34. Korotaev N.Ja., 1962. *Soils of Perm region*. Perm': Permskoe knizhnoe izd-vo. 279 p. (in Russian)
35. Baklanov M.A. (ed.). 2018. *Red list of the Perm region*. Perm: «Knizhnyj mir». 256 p. (in Russian)
36. *Red list of the Russian Federation (plants and mushrooms)*. 2008. Moscow: «Tovarishhestvo nauchnykh izdanij KMK». 855 p. (in Russian)
37. Pavlov D.S. (ed.). 2021. *Red list of the Russian Federation, volume «Animals»*. Second edition. Moscow: FGBU "VNII Ecology". 1128 p. (in Russian)
38. Krever V.G., Stishov M.S. and Onufrenja I.A., 2009. *Protected areas of Russia: current state and development prospects*. Moscow: «Orbis Pitkus». 455 p. (in Russian)
39. Krestov P.V. and Verholat V.P., 2002. *Rare plant communities of Primorye and the Amur region*. Vladivostok: DVO RAN. 200 p. (in Russian)
40. Kulakova S.A. and Zaitcev A.A., 2016. Transformation of nature on protected areas and its influence on ecological comfort. *Geographical bulletin* 39(4): 91–99. (in Russian)
41. Lavrenko E.M., Geptner V.G., Kirikov S.V. and Formozov A.N., 1958. Perspective plan of the geographical network of reserves of the USSR (project). *Nature protection and conservation in the USSR*. (3): 3-87. (in Russian)
42. Larionova E.A., 2004. *Heavy metals in mountain-taiga landscapes (on the example of the reserves «Basegi» and «Visherskiy»)*: PhD of Geography paper. Perm'. 158 p. (in Russian)
43. Forests of high conservation value (LVPC) of Russia. 2022. [Electronic source]. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-russia> [Accessed at: 13 March 2022]. (in Russian)
44. Mandrica S.A., Zinov'ev E.A., SHepel' A.I. and Baklanov M.A., 2008. *Biodiversity of vertebrates of the Perm region. Vertebrate determinant*. Perm: Permskiy gosudarstvennyj universitet. 164 p. (in Russian)
45. *Long-term data on the regime and resources of surface land waters. Volume 1. Number 25. The basin of the Kama River (1976-1980)*. 1988. Saint Petersburg: Gidrometizdat. 706 p. (in Russian)
46. Nazarov N.N., 1996. Classification of landscapes of the Perm region. *Issues of physical geography and geology: Ural interuniversity collection of scientific papers*. Perm', p. 4–10. (in Russian)
47. On the state and environmental protection of the Perm region in 2020. State report. Perm: Ministry of Natural Resources of Perm region, 2021. 285 p. (in Russian)
48. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2019. State report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2020. 1000 p. (in Russian)

49. Ovesnov S.A., 2000. Botanic-geographical zoning of Perm region. *Bulletin of Perm University. Biology* (2): 13–21. (in Russian)
50. Ovesnov S.A., 2009. *Local flora. Flora of the Perm Region and its analysis: studies. Special course manual*. Perm: Permskij gosudarstvennyj universitet. 171 p. (in Russian)
51. Ovesnov S.A., Efimik E.G. and Sannikov P.Yu., 2020. Preliminary list of rare forest ecosystems of Perm Region. *Sustainable forest management* 4(63): 30–38. [https://doi.org/10.47364/2308-541X\\_2020\\_63\\_4\\_30](https://doi.org/10.47364/2308-541X_2020_63_4_30) (in Russian)
52. Perevedentseva L.G., 2012. Agaricomycetes of the Perm Region. *Fungal communities of forest ecosystems*. (3). Petrozavodsk: KarNTs RAN, P. 96–116. (in Russian)
53. Prokosheva I.V., 2017. Dynamics of phenological processes in the mountain-reliable belt of «Vishersky» reserve (Northern Urals) under the influence of climate change. *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems* 28(2): 40–55. (in Russian)
54. Prokosheva I.V., 2019. Phenology of the fluffy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) in the mountain taiga belt of the «Visherskiy State Nature Reserve» (Northern Urals). *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems* 30(1-2): 53–69. (in Russian)
55. Rachkovskaya E.I., Ogar' N.P. and Marinich O.V., 1999. Rare plant communities of the steppes of Kazakhstan and their protection. *Steppe Bulletin* (3-4): P. 41–46. (in Russian)
56. Rejmers N.F., 1994. *Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)*. Moscow: Zhurnal «Ros-sija molodaja». 367 p. (in Russian)
57. Rihter G.D., 1961. Physic-geographical zoning of USSR. The map. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Geographic series*. (3): 3–13. (in Russian)
58. Rogozin M.V., Zaporov A.Ju. and Zhekin A.V., 2007. To justify the required number of forest genetic reserves for the Perm region. *Bulletin of Perm University. Biology* 10(5): 161–171. (in Russian)
59. Saksonov S.V., Lysenko T.M., Il'ina V.N., Kon-eva N.V., Lobanova A.V., Matveev V.I., Mitroshenkova A.E., Simonova N.I., Solov'eva V.V., Uzhamskaya E.A. and Yuritsyna N.A., 2006. *The Green Book of the Samara region*. Samara: SamarNCRAN. 201 p. (in Russian)
60. Samofalova I. A., 2019. Geospatial modeling of physico-chemical properties of mountain soils (Northern Urals, «Visherskiy State Nature Reserve»). *Russian Journal of Applied Ecology* 2(18): 35–41. (in Russian)
61. Sannikov P.Yu., 2014. Review of methods for assessing the representativeness of protected area networks. *Geographical Bulletin* 2(29): 107–115. (in Russian)
62. Sannikov P.Yu. and Baharev P.N., 2015. Estimation of hydrochemical indices of Vishera river with special device Multi 350i. *Geographical bulletin* 32(1): 81–88. (in Russian)
63. Sannikov P.Yu. and Buzmakov S.A., 2015. *Prospects for the development of a network of protected areas of the Perm Region*. Perm: Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet. 173 p. (in Russian)
64. Biodiversity summary «Visherskiy State Nature Reserve». Information and Analytical System «Protected areas of Russia». [Electronic source]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Вишерский/bio/cadastre> [Accessed at: 3 March 2022]. (in Russian)
65. Selivanov A.E., Urbanavichyus G.P., SHkaraba E.M., SHayahmetova Z.M. and Urbanavichene I.N., 2015. Preliminary list of lichenoflora of Perm Region: monograph. Perm: Permskij gosudarstvennyj gumanitarno-pedagogicheskij universitet. 208 p. (in Russian)
66. Semenov V.V. (Ed.). 2013. The study of natural processes occurring in the natural complexes of the «Visherskiy State Nature Reserve», the identification of relationships between their components (Chronicle of Nature 2011/2012) Book 19. Krasnovishersk. 180 p. (in Russian)
67. Semenov V.V. (Ed.). 2014. The study of natural processes occurring in the natural complexes of the «Visherskiy State Nature Reserve», the identification of relationships between their components (Chronicle of Nature 2012/2013) Book 20. Krasnovishersk. 182 p. (in Russian)
68. Solod'ko A.S., 2013. *The Green Book of the Sochi Black Sea region*. Sochi: RGO (Sochinskoe otd.). 99 p. (in Russian)
69. Torsuev N.P. (Ed.). 1993. *The Green Book of the Republic of Tatarstan*. Kazan: KGU. 421 p. (in Russian)
70. Hotjanovskaja Ju.V., 2016. The results of the first dendrochronological studies in «Visherskiy» reserve. *Anthropogenic transformation of nature* (2):173–178. (in Russian)
71. List of beetle families of Russia with data on the number of species. Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 2022. [Electronic source]. URL: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/dbase1.htm> [Accessed at: 17 March 2022]. (in Russian)
72. Chazov B.A., 1960. To the results of work on the physiographic zoning of the Urals. *Issues of geography and nature protection of the Urals* (2-4): 1–9. (in Russian)
73. CHibilev A.A., Musihin G.D., Pavlejchik V.M. and Parshina V.P., 1996. *The Green Book of the Orenburg Region: Cadastre of objects of the Orenburg Natural Heritage*; Orenburg branch of the Russian Geographical Society. Orenburg: Izdatel'stvo «DiMur». 260 p. (in Russian)
74. Jushkov R.A. and Voronov G.A., 1994. *Amphibians and reptiles of the Perm region (preliminary inventory)*. Perm: Izd-vo Permskogo universiteta. 157 p. (in Russian)
75. Yaroshenko A., Potapov P. and Turubanova S., 2001. *Mapping of intact forest landscapes in northern European Russia using high-resolution satellite images – methods and results*. Moscow, Greenpeace Russia, 75 p. (in Russian)
76. Bolshakov, S., Kalinina, L., Palomozhnykh, E., Potapov, K., Ageyev, D., Arslanov, S., Filippova, N., Pal-amarchuk, M., Tomchin, D. and Voronina, E., 2021. Agaricoid and boletoid fungi of Russia: the modern country-scale checklist of scientific names based on literature data. *Biological Communications* 66(4): 316–325. <https://doi.org/10.21638/spbu03.2021.404>
77. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 1979. *Council of Europe*. [Electronic source]. URL: <https://rm.coe.int/1680078aff> [Accessed at: 24 March 2022].
78. Dasmann R.F., 1973. A system for defining and classifying natural regions for purposes of conservation. *IUCN occasional paper* (7): 47.

79. Hodgetts, N., Cálix, M., Englefield, E., Fettes, N., García Criado, M., Patin, L., Nieto, A., Bergamini, A., Bisang, I., Baisheva, E., Campisi, P., Cogoni, A., Hallingbäck, T., Konstantinova, N., Lockhart, N., Sabovljevic, M., Schnyder, N., Schröck, C., Sérgio, C., Sim Sim, M., Vrba, J., Ferreira, C.C., Afonina, O., Blockeel, T., Blom, H., Caspari, S., Gabriel, R., Garcia, C., Garilleti, R., González Mancebo, J., Goldberg, I., Hedenäs, L., Holyoak, D., Hugonnot, V., Huttunen, S., Ignatov, M., Ignatova, E., Infante, M., Juutinen, R., Kiebacher, T., Köckinger, H., Kučera, J., Lönnell, N., Lüth, M., Martins, A., Maslovsky, O., Papp, B., Porley, R., Rothero, G., Söderström, L., Ștefănuț, S., Syrjänen, K., Untereiner, A., Váňa, J. I., Vanderpoorten, A., Vellak, K., Aleffi, M., Bates, J., Bell, N., Brugués, M., Cronberg, N., Denyer, J., Duckett, J., During, H.J., Enroth, J., Fedosov, V., Flatberg, K.-I., Ganeva, A., Gorski, P., Gunnarsson, U., Hassel, K., Hespanhol, H., Hill, M., Hodd, R., Hylander, K., Ingerpuu, N., Laaka-Lindberg, S., Lara, F., Mazimpaka, V., Mežaka, A., Müller, F., Orgaz, J.D., Patiño, J., Pilkington, S., Puche, F., Ros, R.M., Rumsey, F., Segarra-Moragues, J.G., Seneca, A., Stebel, A., Virtanen, R., Weibull, H., Wilbraham, J. and Żarnowiec, J., 2019. *A miniature world in decline: European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts*. Brussels, Belgium: IUCN. 100 p.  
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.ERL.2.en>
80. Important Bird Areas. Site search. The International Database «Important Bird Areas». 2022. [Electronic source]. URL: <http://datazone.birdlife.org/site/search> [Accessed at: 1 March 2022].
81. Important Plant Areas (IPA) Database. 2022. [Electronic source]. URL: <https://www.plant-lifeipa.org/home> [Accessed at: 12 February 2022].
82. IUCN Red List of Threatened Species. *International Union for Conservation of Nature*. 2022. [Electronic source]. URL: <http://www.iucnredlist.org/> [Accessed at: 7 February 2022].
83. Karyakin I.V. The information about An Important Bird Area «Verkhnevisherski mountain» (RU1199). *The International Database «Important Bird Areas»*. 2022. [Electronic source]. URL: <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/1622> [Accessed at: 25 February 2022].
84. Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B. and Kent J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403(6772): 853–858.  
<https://doi.org/10.1038/35002501>
85. Olson D.M. and Dinerstein E., 1998. The global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology* 12(3): 502–515. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.012003502.x>
86. Olson D.M. and Dinerstein E., 2002. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 89(2): 199–224.
87. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettenberg W.W., Hedao P. and Kassem K.R., 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience*. 51(11): 933–938. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)
88. Udvardi M.D.F., 1975. A classification of the biogeographical provinces of the World (UNESCO. Man and Biosphere programme. Project №8). *IUCN occasional paper*. (18): 49 p.

Статья поступила в редакцию 16.08.2023; одобрена после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 16.08.2023; approved after reviewing 15.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.

## РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 502.43

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-23-37>

## Природная среда долины реки Большая Мотовилиха

Сергей Алексеевич Бузмаков<sup>1</sup>, Илья Анатольевич Кувшинский<sup>2</sup>, Игорь Евгеньевич Шестаков<sup>3</sup>, Ирина Фиргатовна Абдулманова<sup>4</sup>, Леонид Сергеевич Кучин<sup>5</sup>, Денис Сергеевич Исаков<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>6</sup> Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, Пермь, Россия

<sup>1</sup> [buzmakov2012@gmail.com](mailto:buzmakov2012@gmail.com)

<sup>2</sup> [mdqq@mail.ru](mailto:mdqq@mail.ru)

<sup>3</sup> [galendil@yandex.ru](mailto:galendil@yandex.ru)

<sup>4</sup> [a.ir-flora@mail.ru](mailto:a.ir-flora@mail.ru)

<sup>5</sup> [kleond@bk.ru](mailto:kleond@bk.ru)

<sup>6</sup> [isakovdenis@inbox.ru](mailto:isakovdenis@inbox.ru)

**Аннотация.** Одним из наиболее эффективных методов сохранения биоразнообразия и поддержания экологического равновесия является организация особо охраняемых природных территорий. Особенно это актуально для крупных городов с исторически сложившимся промышленным уклоном развития экономики, где зачастую сильно трансформированы почти все компоненты природной среды. В сообщении приведены данные о выявленных ценных природных объектах на территории долины р. Большая Мотовилиха. В результате прямых полевых обследований обнаружены: ценный почвенный объект, местонахождения видов растений и животных, включённых в Красные книги РФ и Пермского края или приложения к ним. Рекомендуется организация ООПТ «Мотовилихинский», с присвоением ей категории охраняемый ландшафт местного значения.

**Ключевые слова:** особо охраняемые природные территории, город Пермь, экосистема, равновесие, разнообразие, почвенный покров, растительность, животный мир, редкие виды.

**Для цитирования:** Бузмаков С.А., Кувшинский И.А., Шестаков И.Е., Абдулманова И.Ф., Кучин Л.С., Исаков Д.С. Природная среда долины реки Большая Мотовилиха // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 2. С. 23–37. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-23-37>

## SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Original paper

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-23-37>

## Natural environment of the Bolshaya Motovilikha river valley

Sergei A. Buzmakov<sup>1</sup>, Ilya A. Kuvshinsky<sup>2</sup>, Igor E. Shestakov<sup>3</sup>, Irina F. Abdulmanova<sup>4</sup>, Leonid S. Kuchin<sup>5</sup>, Denis S. Isakov<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Perm State University, Perm, Russia,

<sup>6</sup> Department of ecology and nature management of the Perm city administration, Perm, Russia

<sup>1</sup> [buzmakov2012@gmail.com](mailto:buzmakov2012@gmail.com)

<sup>2</sup> [mdqq@mail.ru](mailto:mdqq@mail.ru)

<sup>3</sup> [galendil@yandex.ru](mailto:galendil@yandex.ru)

<sup>4</sup> [a.ir-flora@mail.ru](mailto:a.ir-flora@mail.ru)

<sup>5</sup> [kleond@bk.ru](mailto:kleond@bk.ru)

<sup>6</sup> [isakovdenis@inbox.ru](mailto:isakovdenis@inbox.ru)

**Abstract.** One of the most effective methods of preserving biodiversity and maintaining ecological balance is the organization of protected areas. This is especially true for large cities with a historically industrial bias in economic development, where almost all components of the natural environment are often greatly transformed. The message provides data on identified valuable natural objects in the territory of the river valley. Big Motovilikha. As a result of direct field surveys, the following were discovered: a valuable soil object, locations of plant and animal species included in the Red lists of the Russian Federation and the Perm region or annexes to them. It is recommended to organize protected area «Motovilikhinskiy» and assign it the category of a protected landscape of local importance.

**Key words:** protected areas, Perm city, ecosystem, balance, diversity, soil cover, vegetation, fauna, rare species.

© Бузмаков С.А., Кувшинский И.А., Шестаков И.Е., Абдулманова И.Ф., Кучин Л.С., Исаков Д.С., 2023



**For citation:** Buzmakov, S., Kuvshinsky, I., Shestakov, I., Abdulmanova, I., Kuchin, L., Isakov, D., 2023. Natural environment of the Bolshaya Motovilikha river valley. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 9(2). pp. 23–37. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-23-37> (in Russian)

На сегодняшний день антропогенное воздействие на природу достигло колоссальных размеров, что неминуемо приводит как к масштабным трансформациям природных комплексов, так и к стремительному ухудшению состояния окружающей среды. Особенно остро данный вопрос стоит в крупных городах с исторически сложившимся промышленным уклоном развития экономики. Пермь является ярким представителем подобных агломераций, где формирование городской среды происходило под сильным влиянием добывающей и перерабатывающей промышленности. Текущая и прошлая хозяйственная деятельность предприятий города обуславливает высокий уровень нагрузки на окружающую среду, сильную трансформацию её природной основы, не позволяет достичь требуемого качества жизни горожан и обеспечить сохранение природных систем.

Создание развитой и научно обоснованной системы особо охраняемых природных территорий (далее ООПТ) в городах является эффективным способом сохранения уцелевших естественных экосистем и техногенных территорий муниципального образования, которые важны как в экологическом плане, так и представляют особую ценность для местных жителей в природоохранном, культурно-историческом, научном и эстетическо-рекреационном отношении. Долины малых рек Перми являются основой экологического каркаса города, зачастую выполняя роль экологических коридоров между ядрами каркаса. Как следствие требуют к себе пристального внимания и охраны с целью

стабилизации экологической обстановки в густонаселённых районах.

Цель исследования – проведение комплексного экологического обследования территории долины р. Большая Мотовилиха и её притока р. Огаршиха для выявления перспектив организации ООПТ местного значения.

#### Материал и методика

Для проведения комплексного экологического обследования территории была составлена программа работ, которая включала в себя сбор и анализ фондового и картографического материала, определение объектов наблюдения, рекогносцировочное и натурное обследование территории (рис. 1 / fig. 1).

Для характеристики почвенного покрова было заложено 5 площадок. Данные о растительном покрове и флоре получены с трех геоботанических маршрутов, пройденных в первой половине мая и в середине июня; с двух геоботанических профилей, на которых заложено 17 площадок описания растительности; дополнительно были заложены еще 3 площадки описания растительности. Геоботанические исследования проведены классическими методами [26, 31]. Орнитологические данные получены с трех маршрутов. В ходе полевых исследований отмечалась степень и характер антропогенной трансформации базовых экосистем в соответствии с методикой экологической оценки состояния ООПТ регионального значения [4]. Каждой выявленной экосистеме и её компонентам присвоен определённый балл деградации (от 0 до 5).

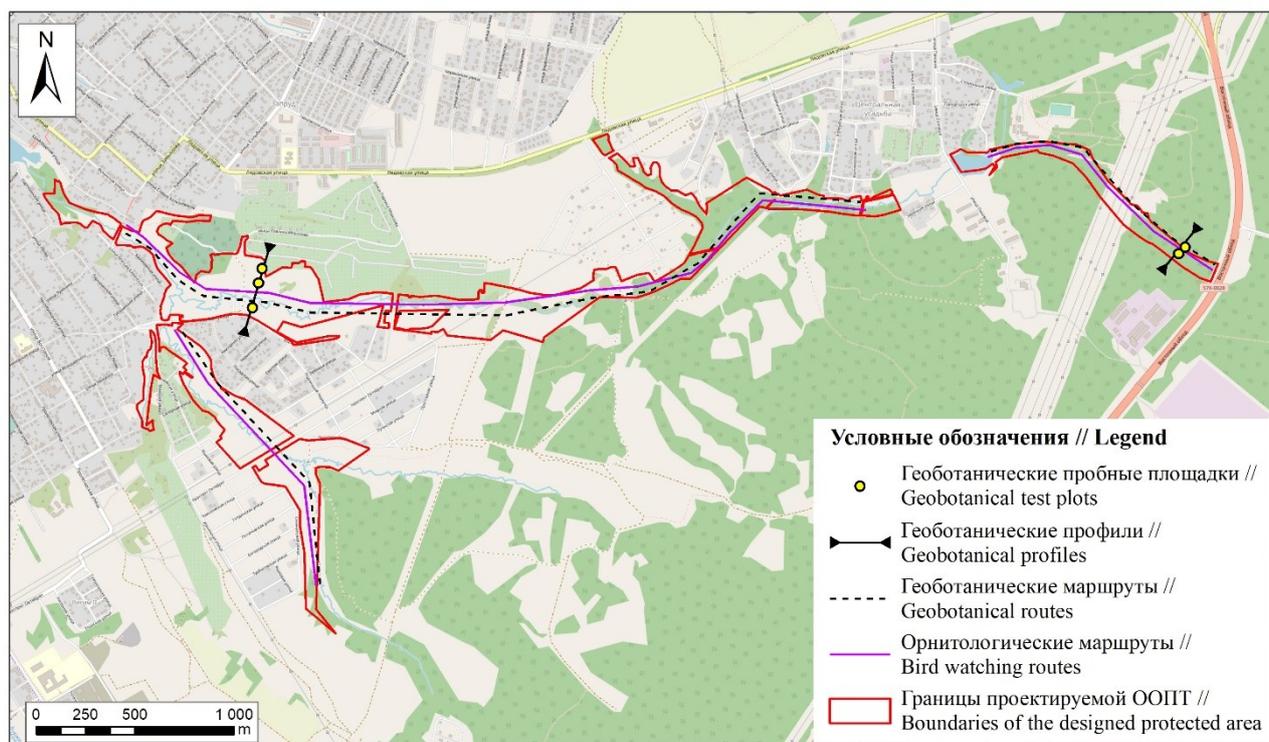


Рис. 1. Схема проведения обследований

Fig. 1 Survey map

### Результаты и их обсуждение

**Природные характеристики проектируемой ООПТ.** Подавляющая часть обследованной территории приурочена к долине р. Большая Мотовилиха, полностью расположенной в административных границах Мотовилихинского района г. Перми. Для этого участка характерен бугристый и мелко-грядовый рельеф с широкими пологими междуречьями, местами изрезанными неглубокими молодыми оврагами.

**Нарушенность территории.** Почти повсеместно на склонах речной долины, а нередко непосредственно и в водоохранной зоне рр. Большая Мотовилиха и Огаршиха, располагаются частные дома с хозяйственными постройками и огородами. Через реку проложено множество трубопроводов, небольших мостовых переходов и автомобильных бродов. Нередко встречаются стихийные свалки бытового и строительного мусора [10, 17].

В верховье р. Большая Мотовилиха, недалеко от истока, располагается микрорайон «Центральная усадьба», спортивная лыжная база и садовые участки, вокруг которых создан относительно небольшой каскад прудов. Плотина первого пруда расположена на расстоянии 400 м от истока, а в 500 м ниже по течению находится ещё один, более крупный, пруд. Его плотина имеет длину около 130 м, ширину 25 м и высоту 5 м. В теле плотины проложены две бетонные трубы диаметром 1,4 м. Ниже плотины вода из труб попадает на бетонную плиту, которая служит гасителем энергии потока и препятствует размыву основания плотины [2]. Данная плита и русло реки ниже по течению сильно захламлены бытовым и строительным мусором.

На левом берегу второго пруда ранее располагался свинокомплекс. На протяжении нескольких десятилетий это сельскохозяйственное предприятие являлось мощным источником органического загрязнения пруда и верхнего течения р. Большая Мотовилиха [8, 9]. В настоящее время хозяйственные постройки бывшего свинокомплекса используются в качестве складских и производственных корпусов рядом предприятий по производству стройматериалов: компания «ЭКО БЕ-ТОН»; ООО «Лес Сибири»; «Полимер Пермь».

Участок обследования, расположенный в низовьях р. Большая Мотовилиха, подвержен ещё более сильному антропогенному воздействию. Тут речная долина от места слияния рр. Чикулайка, Огаршиха и Большая Мотовилиха и до границ ООПТ «Мотовилихинский пруд» проходит по границам сопряжения густонаселённых микрорайонов г. Перми: Висим; Запруд; Пихтовая Стрелка. Густая частная малоэтажная застройка по склонам берегов является мощным источником загрязнений различного типа. Это осложняется ещё и тем фактом, что многие старые домовладения тут не подключены к централизованной канализационной системе города и не имеют своих локальных очистных сооружений. Также такое тесное соседство с жилыми массивами приводит к достаточно сильному захламлению прирусловой территории, а в районе старого «Запрудского кладбища» отмечается массовое стихийное складирование мусора.

**Краткая характеристика геологического строения.** Территория исследований расположена на восточной окраине Восточно-Европейской платформы,

Русской плиты, Волго-Уральской антиклизы. В вертикальном разрезе восточного крыла антиклизы выделяются два структурно-тектонических этажа. Архейско-нижнепротерозойский этаж, являющийся складчатым кристаллическим фундаментом, залегающий на глубинах свыше 3 км и несогласно залегающий на нем верхнепротерозойский-фанерозойский этаж, сложенный породами осадочного чехла, который в свою очередь подразделяется на рифейский и верхневендско-фанерозойский структурные этажи.

Территория находится в пределах Пермского свода – это крупная антиклинальная структура, консолидировавшаяся в послераннепермскую эпоху и прослеживаемая от фундамента через весь осадочный чехол. На всем своём протяжении свод сохраняет северо-восточное простирание оси, в осадочном чехле отчётливо выделяется в девонских и каменноугольных отложениях. Протяжённость Пермского свода достигает 200-250 км [19, 20, 15].

Осадочный чехол в пределах полигона обследования представлен отложениями палеозоя и кайнозоя. На поверхности выходят породы пермской системы, нижнего отдела, уфимского яруса, шешминской свиты (P1ss), которые перекрыты маломощными отложениями четвертичного периода. [9, 8, 29, 30] Естественных обнажений коренных пород не обнаружено, но в нижней части русла р. Большая Мотовилиха, в бортах стихийных грунтовых автомобильных дорог обнажаются небольшие по мощности (0,3–0,5 м) выходы зеленовато-бурых песчаников, с прослоями красноцветных аргиллитов и алевролитов, что может служить признаком того, что на обследуемой территории на поверхности развита только нижнешешминская подсвита (P1ss1).

Четвертичные отложения представлены комплексом рыхлых континентальных осадков, среди которых преобладают аллювиальные и полигенетические, а также техногенные образования (различный насыпной грунт, щебень, песок, галька, крупнообломочный строительный материал).

В долине р. Большая Мотовилиха геологических, минералогических и палеонтологических объектов, представляющих собой особую научную, культурную и эстетическую ценность, не выявлено.

**Краткое описание гидрологической сети.** Река Большая Мотовилиха относится к малым рекам [17] и является левым притоком р. Кама. Длина водотока – 8,5 км, общая площадь водосбора – 28 км<sup>2</sup>. На всём протяжении имеет неширокую (50–10 м в верховьях и 500 в низовьях), глубоко врезанную долину (10–15 м в верховьях и 50–70 м в низовьях). Пойма двусторонняя, покрытая луговой растительностью и кустарниками, реже лесом, в верхнем течении местами заболоченная из-за многочисленных выходов грунтовых вод в виде ключей.

Из десятка притоков р. Большая Мотовилиха только два являются относительно крупными – это реки Огаршиха протяжённостью 4,9 км и Малая Мотовилиха протяжённостью 3,5 км. Обе впадают в р. Большую Мотовилиху в нижнем её течении на расстоянии от устья в 2,6 км и 1,3 км, соответственно. Также в верхнем течении р. Большая Мотовилиха располагается каскад старых сильно заиленных прудов, берега которых частично заняты частной застройкой.

На западной границе участка обследования располагается ООПТ «Мотовилихинский пруд», гидрологическое и экологическое равновесие которого неразрывно связано с предполагаемой к организации ООПТ «Мотовилихинский».

**Краткая характеристика почвенного покрова.**

Долина реки Большая Мотовилиха находится в пределах г. Перми, который согласно почвенно-географическому районированию [33, 32] расположен в Европееко-Западно-Сибирской таежно-лесной области в подзоне дерново-подзолистых умеренно-промерзающих почв южной тайги.

Большую часть территории Перми (63%) согласно среднемасштабной карте почв Пермского края [32] занимали дерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на элювиально-делювиальных глинах и тяжелых суглинках. В левобережной части Перми по крутым склонам долин мелких рек, логов и оврагов среди дерново-подзолистых почв повсеместно встречались ар-

алы серогумусовых и темногумусовых (дерново-бурых и дерновокарбонатных) почв на элювии коренных пород. В поймах малых рек сформировались аллювиальные почвы [25, 20, 11].

Так как участок обследования расположен в черте города, естественный почвенный покров значительно осложнен антропогенным воздействием, целинные почвы практически отсутствуют, в основном встречаются нарушенные и измененные.

*Дерново-подзолистые поверхностно и глубоко преобразованные почвы* были обнаружены только в восточной, самой высокой, части обследуемой территории. Данные почвы залегают на возвышенных позициях и в верхних частях пологих склонов залесенного лога, по которому протекает р. Большая Мотовилиха до микрорайона «Центральная усадьба». Профиль почв сохраняет черты естественного строения, отчетливо видны элювиальный и текстурный горизонты (рис. 2 / fig. 2).



**Рис. 2. Дерново-подзолистые поверхностно (a) и глубоко (b) преобразованные почвы; профиль (c) аллювиальных (пойменных) почв; эродированные почвы склонов (d, e) и серогумусовые почвы на элювии пермских пород (f).**

**Fig. 2. Saddy-podzolic superficially (a) and deeply (b) transformed soils; profile (c) of alluvial (floodplain) soils; eroded soils of slopes (d, e) and gray humus soils on eluvium of Permian rocks (f)**

В почвенном отношении основной фон на обследованной территории задают *аллювиальные* (залегающие в пойме) и *серогумусовые* (встречающиеся на склонах) почвы; а также широко распространены разнообразные *техногенные поверхностные образования* (ТПО) (рис. 2 / fig. 2).

В зависимости от положения в рельефе и глубины залегания вод меняется мощность органогенного горизонта и степень трансформации органики: на подтопленных участках серогумусовый горизонт оглеён, мажущийся, пластичный, сырой, бесструктурный, тёмно-серого цвета на более высоких позициях АУ приобретает хорошо выраженную комковато-зернистую структуру. Оглеенная материнская порода неоднородна по гранулометрическому составу, иногда включает погребённые органогенные горизонты, в нижней части приобретает серовато-голубую окраску. Вблизи застроенных участков по всей протяжённости профиля попадаются угли, бытовой и строительный мусор.

На склонах долины, почвообразующими породами являются делювий и элюво-делювий с включением антропогенных насыпных грунтов различного состава и мощности. Здесь формируются слабообразованные серогумусовые почвы, в разной степени эродированные (рис. 2 / fig. 2).

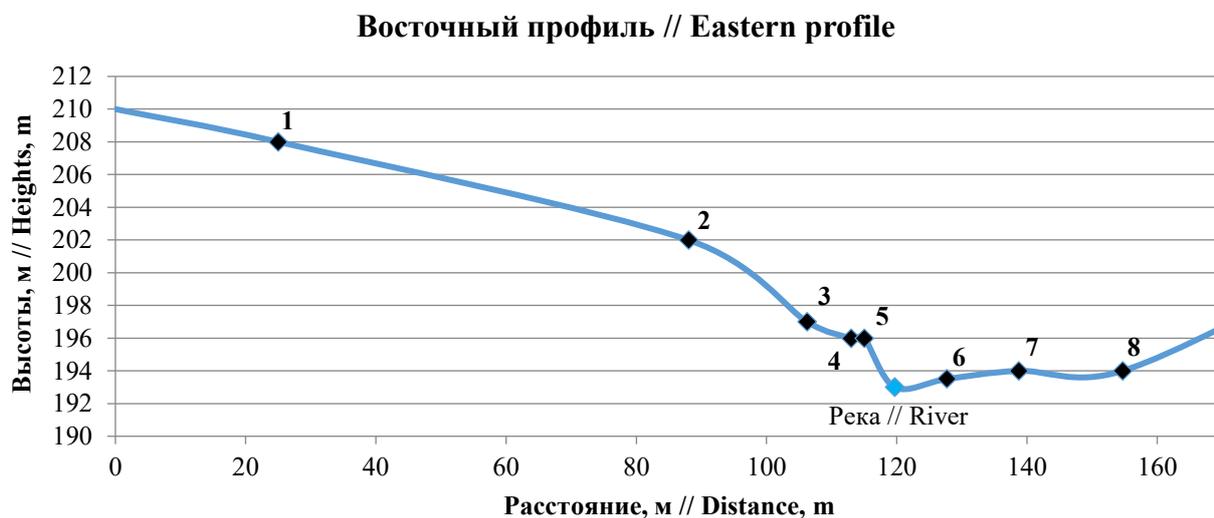
*Серогумусовые* почвы на элювии выходящих на поверхность красноцветных пород (рис. 2 / fig. 2) небольшими участками встречаются на крутых склонах в западной части района обследования. Данные почвы, образованные на элювии пермских глин, конгломератов, гипсов и на древнеаллювиальных отложениях, внесены в Красную книгу почв Пермского края [34].

**Краткая характеристика растительности.** Согласно ботанико-географическому районированию

Пермского края долина р. Большая Мотовилиха расположена в районе широколиственно-елово-пихтовых (подтаёжных) лесов [27, 28]. Структура лесов этого района достаточно сложна. Для них характерно сосуществование бореальных и неморальных видов в древостое и преобладание последних в подлеске и травяном ярусе. Наиболее распространёнными в этом районе являются широколиственно-хвойные леса, среди которых чаще других встречаются травяные. В долинах рек, в притеррасных понижениях и в водораздельных депрессиях рельефа развиты ольховые и ивовые леса. Довольно большие площади заняты вырубками и вторичными березовыми, осиновыми, липовыми и смешанными травяными лесами [28]. Луга приурочены к поймам рек, долинам мелких речек и ручьев, к склонам и вершинам увалов. Часто луга имеют антропогенное происхождение. Такой генезис лугов, в целом, характерен для всех равнинных районов Прикамья. Исключение составляют лишь пойменные заливные луга, обладающие наиболее высокой естественной продуктивностью [1].

На исследуемой территории были выявлены следующие основные типы растительных сообществ: леса широколиственные, хвойно-широколиственные, смешанные (16,4%); пойменные ивовые и ольхово-черемуховые леса (31,3%); луга пойменные (19,1%), луга суходольные (27,9%); мелколиственный лес на техногенном участке (2,3%). Общая площадь выявленных пустырей составила 3,4 га или 2,9% от площади проектируемой ООПТ.

Распределение растительных сообществ по профилю «Восточный» в долине реки показано на профиле рис. 3 / fig. 3.



**Рис. 3. Геоботанический профиль долины р. Б. Мотовилиха «Восточный»\***

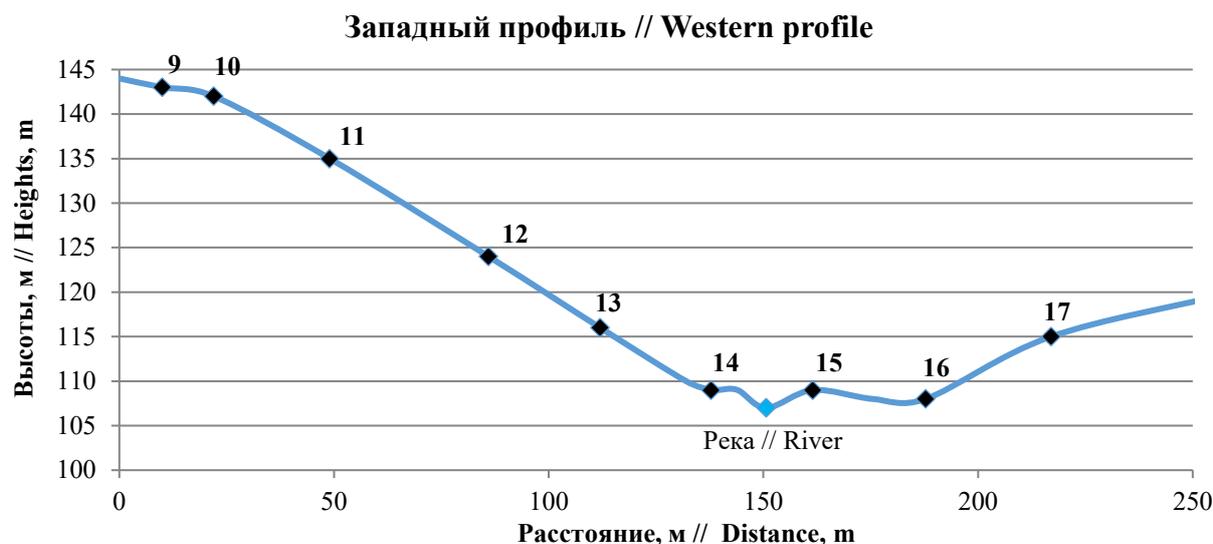
**Fig. 3. Geobotanical profile of the river valley B. Motovilikha «Eastern»\***

\* *Примечание: // Note:*

*Растительные сообщества: 1 – Липняк снытьевый; 2 – Елово-липовый травяной лес; 3 – Смешанный мелкопапоротниковый лес; 4 – Липняк цицербитовый; 5 – Стрелитово-таволгово-крапивное; 6 – Стрелитовое; 7 – Елово-липовый папоротниковый лес; 8 – Елово-липовый снытьевый лес // Vegetation communities: 1 – Linden goutweed forest; 2 – Spruce-linden grass forest; 3 – Mixed small fern forest; 4 – Cicerbite linden forest; 5 – Shuttlecock fern -meadowsweet-nettle; 6 – Shuttlecock fern; 7 – Spruce-linden fern forest; 8 – Spruce-linden goutweed forest.*

В нижнем течении реки растительные сообщества трансформированы в значительно большей степени, чем в верхнем течении. Здесь распространены луговые

сообщества, характер распределения которых по профилю долины реки представлен на профиле «Западный» (рис. 4 / fig. 4)



**Рис. 4. Геоботанический профиль долины р. Б. Мотовилиха «Западный»\***

**Fig. 4. Geobotanical profile of the river valley B. Motovilikha «Western»\***

\* *Примечание: // Note:*

*Растительные сообщества: 9 – Злаково-разнотравный луг; 10 – Злаково-разнотравный луг; 11 – Сорно-рудеральная растительность; 12 – Кострецовый луг; 13 – Вязолистनावолговый луг; 14 – Ивняк крапивно-двукисточниковый; 15 – Двукисточниковый луг; 16 – Дернистоосоковый луг; 17 – Разнотравно-снытьевый луг // Vegetation communities: 9 – Grass-forb meadow; 10 – Grass-forb meadow; 11 – Segetal-ruderal vegetation; 12 – Brome meadow; 13 – Meadowsweet meadow; 14 – Willow nettle-grass forest; 15 – Large-grass meadow; 16 – Soddy sedge meadow; 17 – Forb goutweed meadow*

Вне заложенных профилей также был обследован ольхово-черемуховый вязолистनावолговый пойменный лес, разнотравный луг под линией электропередач, разнотравный луг на опушке широколиственно-хвойного леса.

На полигоне обследования зафиксированы 240 видов высших сосудистых растений из 4 отделов: Хвощевидные (Equisetophyta) – 6 видов, Папоротниковидные (Polypodiophyta) – 8 видов, Голосеменные (Pinophyta) – 3 вида, Покрытосеменные (Magnoliophyta) – 223 вида. Отдел Покрытосеменные представлен двумя классами: Однодольные (Liliopsida) – 40 видов, Двудольные (Magnoliopsida) – 183 вида. Зафиксированные виды представляют 61 семейство, наиболее многочисленны из которых Астровые (Asteraceae) – 23 вида, Розовые (Rosaceae) – 22 вида, Злаки (Poaceae) – 18 видов, Лютиковые (Ranunculaceae) – 15 видов, Бобовые (Fabaceae) – 13 видов, Гвоздичные (Caryophyllaceae) – 12 видов, Губоцветные (Lamiaceae) – 10 видов.

На исследуемой территории выявлены местообитания трёх редких видов растений: ятрышник мужской (*Orchis mascula*); любка двулистная (*Platanthera bifolia*); пальчатокоренник мясо-красный (*Dactylorhiza incarnata*). Первый вид занесён в Красные книги Российской Федерации и Пермского края [22, 23, 34], два последних вида занесены в Приложение Красной книги Пермского края, как виды, нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде. [22].

Большая часть охраняемых видов растений, произрастают в верховьях реки Большая Мотовилиха.

**Краткие сведения о животном мире.** В работах предшественников по обследованию долины р. Большая Мотовилиха выявлялось до 25 видов млекопитающих [5] и до 10 видов рыб [2].

В рамках работ по обследованию проектируемой ООПТ был проведен учёт орнитофауны методом линейных маршрутов.

Проведённый учёт орнитофауны выявил 62 вида птиц. Доминирующими видами птиц в долине реки Большая Мотовилиха являются: рябинник (*Turdus pilaris*), белобровик (*Turdus iliacus*), зарянка (*Erithacus rubecula*), пеночка-весничка (*Phylloscopus trochilus*), зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides*), зяблик (*Fringilla coelebs*). Для долины реки Огаршиха доминирующими видами во время летнего сезона являются: рябинник (*Turdus pilaris*), белобровик (*Turdus iliacus*), черноголовый чекан (*Saxicola rubicola*), серая славка (*Sylvia communis*), чечевичка (*Carpodacus erythrinus*).

На исследуемой территории был выявлен (рис. 5 / fig 5) редкий вид птиц: камышница (*Gallinula chloropus*), который занесен в Приложение к Красной книге Пермского края [22]. Данный вид обнаружен в верховьях р. Большая Мотовилиха на пруду микрорайона «Центральная усадьба». Учитывая имеющиеся факты размножения камышницы на территории водных объектов города Перми, вероятен факт гнездования на данной территории.



Рис. 5. Камышница (*Gallinula chloropus*)  
Fig. 5. Common moorhen (*Gallinula chloropus*)

**Краткие сведения о лесном фонде.** В границы проектируемой ООПТ входят части лесных кварталов 4, 5, 10 Мотовилихинского участкового лесничества, Пермского городского лесничества. Проектируемая ООПТ находится в границах выделов 1–11, 13–

17, 19, 20, 22–25 квартала 4; выделов 1, 2, 4, 7, 12–15, 18, 19, 26, 28, 29, 31, 34, 35 квартала 5; выделов 1–3, 11 квартала 10. Границы проектируемой ООПТ относительно лесных кварталов отражены на рис. 6 / fig. 6.



Рис. 6. Карта лесных кварталов Мотовилихинского участкового лесничества, сопряжённых с проектируемой ООПТ  
Fig. 6. Map of forest blocks of the Mотовилиkhinsky district forestry adjacent to the designed protected area

**Краткая характеристика основных экосистем проектируемой ООПТ.** В границах полигона обследования выявлено 5 основных типов экосистем.

Леса занимают 16,4% площади проектируемой ООПТ. Распространены в верхней части долины р. Большая Мотовилиха. Представлены типичными зональными широколиственными (липняк снытьевый,

липняк цицербитовый), хвойно-широколиственными (слово-липовые папоротниковые, снытьевые, цицербитовые), смешанными (смешанный мелкопапоротниковый) лесными сообществами. Лесные экосистемы, в целом, характеризуются, как слабодegradированные и нуждаются в регулировании рекреационной нагрузки, запрете мототриала.

На краю опушки у границы хвойно-широколиственного леса отмечен ятрышник мужской (*Orchis mascula*), занесенный в Красные книги Российской Федерации и Пермского края и любка двулистная (*Platanthera bifolia*), занесенная в Приложение к Красной книге Пермского края. Любка двулистная отмечена также в смешанном лесу.

Пойменные ивняки и ольхово-черемуховые леса занимают 31,3% территории. Распространены в средней и нижней части долины реки. Являются типичными экосистемами для долин рек Пермского края. На обследуемой территории характеризуются, как слабодеградированные.

На облесенных участках склонов сформировались суходольные (злаково-разнотравные, кострцовые, разнотравно-снытьевые) луга. В пойме реки Большая Мотовилиха расположены коренные пойменные луга (вязолистнотаволговые, двухкосточниковые, дернистоосоковые, страусниковые, страусниково-таволгово-крапивные). В пойменных лугах произрастает занесенный в Приложение к Красной книге Пермского края пальчатокоренник мясо-красный (*Dactylorhiza incarnata*). Луговые сообщества занимают 47,1% территории. Суходольные луга подвержены наибольшей антропогенной

нагрузке и характеризуются, как средне- и сильнодеградированные. Уровень деградации пойменных лугов варьирует от очень слабого до среднего.

Часть территории находится в сукцессионной стадии мелколиственных лесов и антропогенных пустырей.

На склонах долины реки под линией электропередач формируется мелколиственный лес. Экосистемой занято 2,3% площади. Основу сообщества формируют осина (*Populus tremula*), береза повислая (*Betula pendula*), черемуха обыкновенная (*Padus avium*), ива козья (*Salix caprea*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), образующие достаточно густые заросли.

Антропогенными пустырями занято 2,9% обследуемой территории. Пустыри представляют собой наиболее деградированные экосистемы ООПТ.

Наиболее ценными экосистемами проектируемой ООПТ являются лесные сообщества всех типов, а также пойменные сообщества. Их ценность обусловлена типичностью для зональной полосы, относительно хорошей сохранностью и отмеченными на них местами обитания охраняемых видов растений.

Расположение особо ценных и нуждающихся в охране видов растений и растительных сообществ на территории проектируемой ООПТ представлено на рис. 7 / fig. 7.

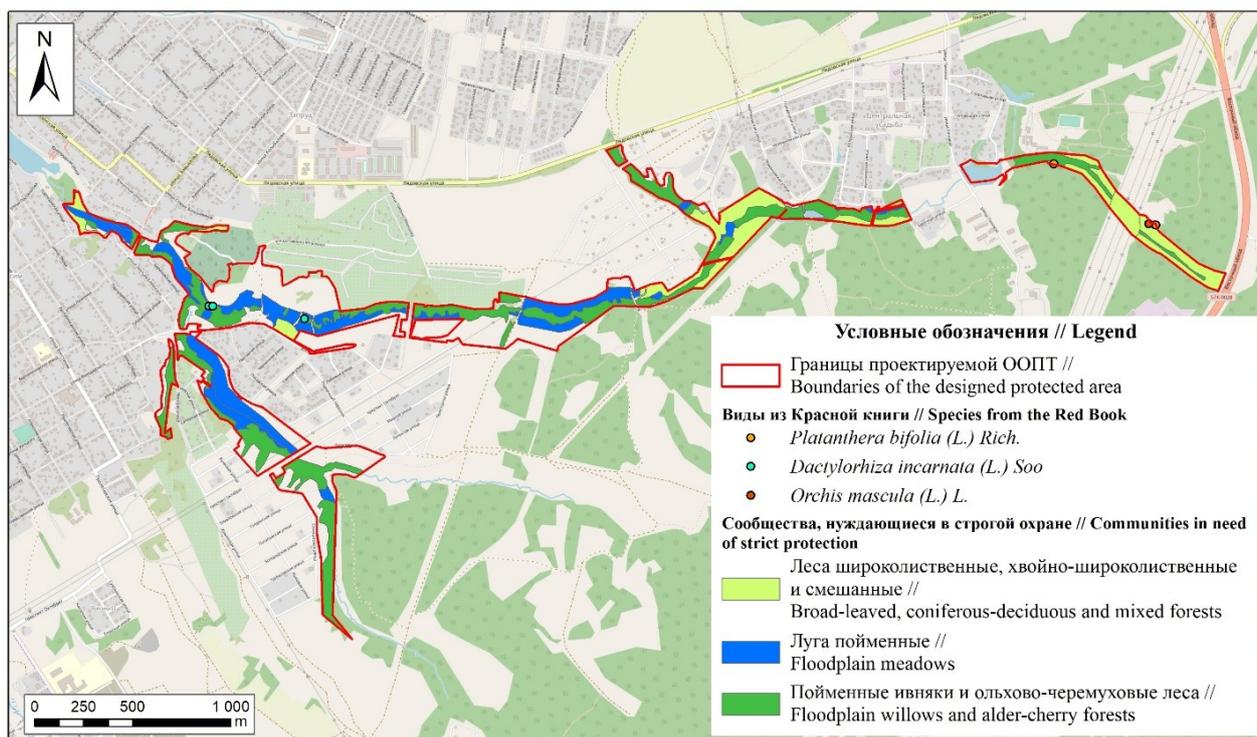


Рис. 7. Особо ценные и нуждающиеся в строгой охране растительные сообщества проектируемой ООПТ  
Fig. 7. Particularly valuable and in need of strict protection plant communities of the designed protected area

**Оценка современного состояния и вклада ООПТ в поддержание экологического баланса окружающих территорий.** Оценка качества окружающей среды как места обитания осуществлялась в программе InVest. Основанием для оценки служили базовые экосистемы пригодные для обитания животных: леса, луга и пруды. После чего выделялись основные области угроз для мест обитания – такие как дороги и здания. В результате автоматической обработки формировалась

карта (рис. 8 / fig. 8), показывающая относительный уровень качества среды обитания на проектируемой ООПТ. Более высокие числа указывают на лучшее качество среды обитания по сравнению с распределением качества среды обитания по остальной части ландшафта. Участки ландшафта, не являющиеся средой обитания, получают оценку качества 0. Эта оценка качества безразмерна и не относится к какому-либо конкретному показателю биоразнообразия [40].

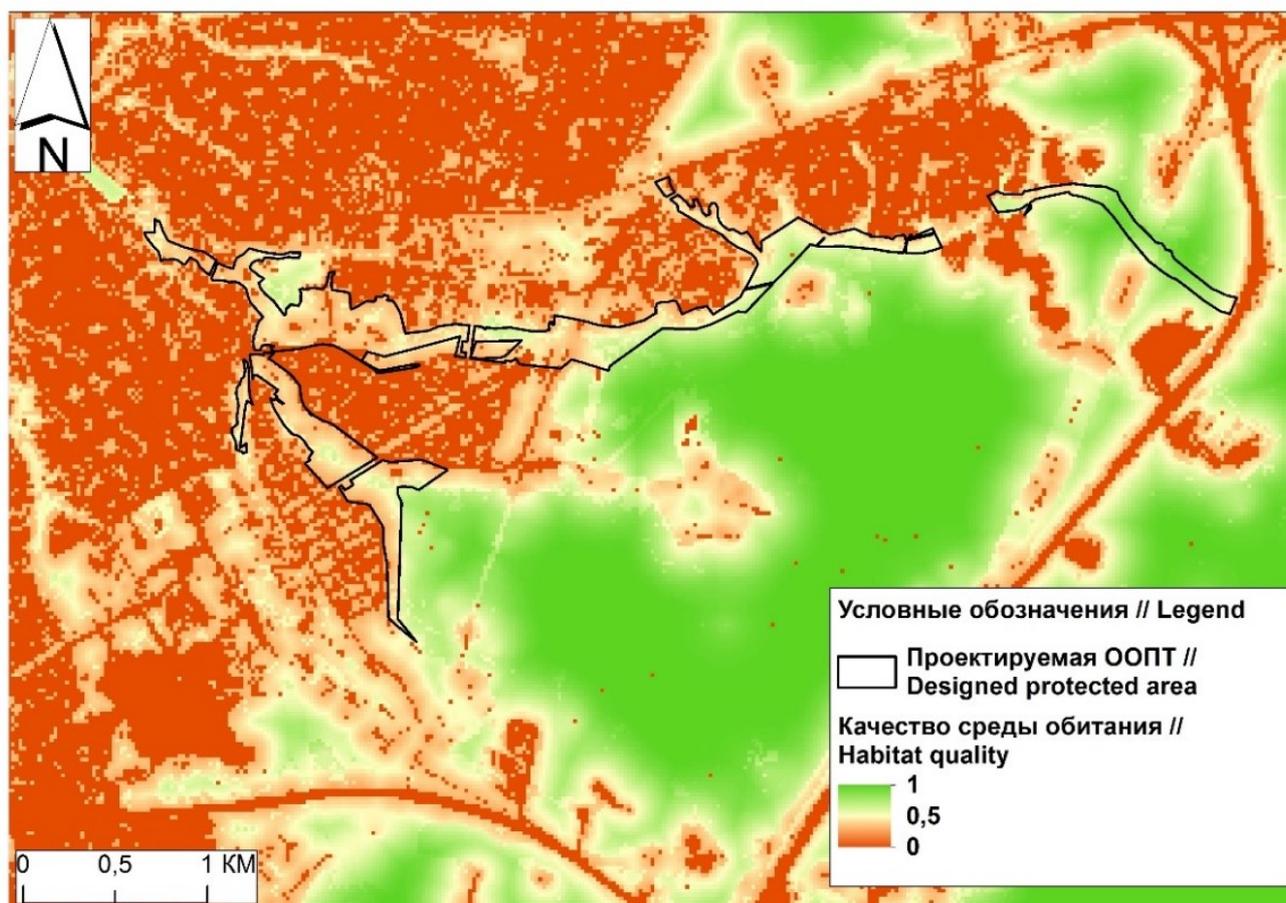


Рис. 8. Карта индекса качества среды обитания полигона обследования и окрестностей  
Fig. 8. Habitat quality index map of the survey site and surrounding area

Наша оценка показала, что проектируемая ООПТ обладает высоким (0,5 и более) коэффициентом качества среды обитания. Наиболее пригодные, в качестве среды обитания, участки ООПТ находятся в верховьях реки Большая Мотовилиха. Территория проектируемого охраняемого ландшафта, находящаяся в низовьях реки Большая Мотовилиха, менее пригодна в качестве среды обитания, поскольку более застроена и чаще используется населением для рекреации.

Для оценки запаса углерода в границах ООПТ применялась программа InVest. Для дорог и зданий коэффициент запаса углерода считался равным нулю. Для лесов, расположенных в границах проектируемой ООПТ использовалось среднее значение запаса углерода для лесов Перми равный 55 т/га, для лугов запас был ниже – 10 т/га [36].

В результате обработки данных была получена карта запасов углерода (рис. 9 / fig. 9) в каждом пикселе [40]. Как видно наибольшим запасом углерода обладают экосистемы, расположенные в верховьях р. Боль-

шая Мотовилиха. Это связано с тем, что на здесь преобладает древесная растительность. На участках ООПТ, расположенных в низовьях р. Большая Мотовилиха, а также в долине реки Огаршиха, запас углерода ниже. Это объясняется тем, что здесь в большей степени распространена травянистая растительность, которая в низовьях рр. Большая Мотовилиха и Огаршиха подвержена вытаптыванию.

Одной из проблем крупных городов является формирование «острова тепла» на их территории. В результате увеличения количества аэрозолей под тепловым куполом повышаются среднегодовые температуры воздуха, увеличивается испарение, снижается поступление прямой солнечной радиации, в результате чего повышается количество осадков. Формирование ООПТ с лесными массивами позволяет снизить эффект городского «острова тепла» [24]. Состояние температурного баланса нами оценивалось на основе термального снимка за 14.06.2023 г., полученного со спутника Landsat 8 (рис. 10 / fig. 10).

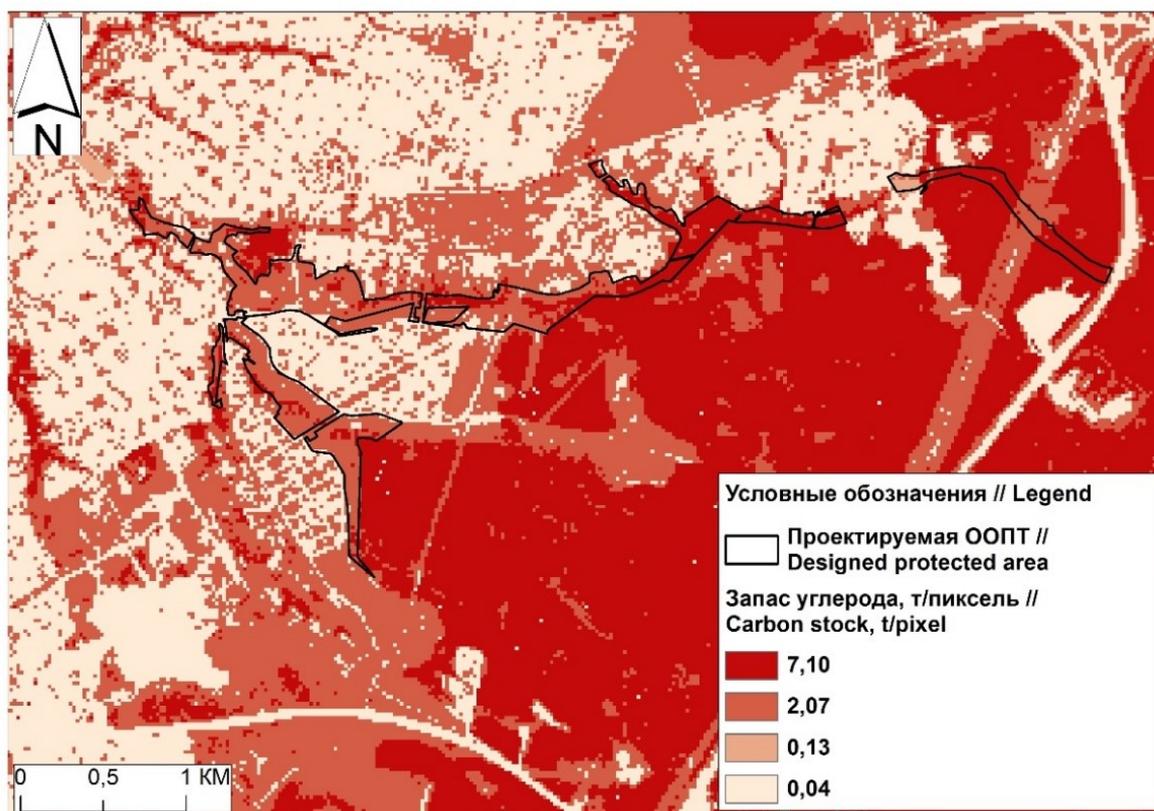


Рис. 9. Карта распределения запасов углерода полигона обследования  
Fig. 9. Carbon stock distribution map of the survey site

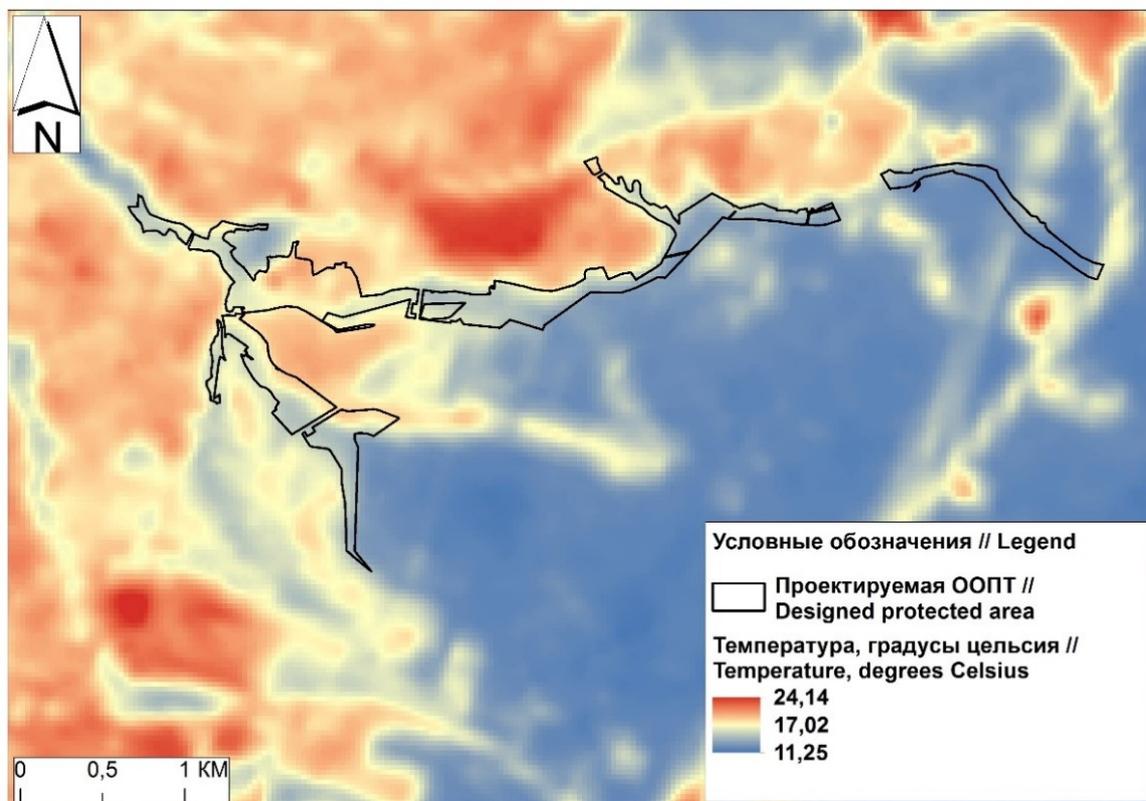


Рис. 10. Термальный снимок района исследования (термальный канал Landsat 8, 14.06.2023)  
Fig. 10. Thermal image of the survey area (thermal band of Landsat 8 from 14.06.2023)

Согласно этим данным, наиболее высокой температурой характеризуются здания и дороги, граничащие с проектируемой ООПТ; наименьшей температурой – леса.

Результаты оценки состояния ООПТ, природных компонентов и базовых экосистем представлены в таб-

лице 1 / table 1. Степень деградации отдельных компонентов проектируемой ООПТ варьирует от слабодеградированного до очень сильнодеградированного. Общее экологическое состояние территории оценивается, как среднедеградированное.

Таблица 1

### Экологическая оценка состояния проектируемой ООПТ

Table 1

#### Environmental assessment of the state of the designed protected area

Базовые экосистемы // Basic ecosystems	Площадь // Area		Оценка состояния // Condition assessment			
	га // ha	Доля // Share	Растительность // Vegetation	Почвы // Soils	Экосистема // Ecosystem	ООПТ // PA
Леса смешанные, широколиственные и хвойно-широколиственные // Mixed, deciduous and coniferous-deciduous forests	19,1	0,164	2	2	2	2
Пойменные ивняки и ольхово-черемуховые леса // Floodplain willow and alder forests	36,6	0,313	2	1	2	1,7
Луга пойменные // Floodplain meadows	22,3	0,191	1	2	2	1,7
Луга суходольные // Dry meadows	32,6	0,279	2	2	4	2,7
Мелколиственный лес на техногенном участке // Small-leaved forest on a technogenic site	2,6	0,023	3	4	3	3,3
Пустыри // Sandlot	3,4	0,029	5	5	5	5
<i>Амплитуда (min-max) // Amplitude (min-max)</i>			1 – 5	1 – 5	2 – 5	1,7 – 5,0
Средневзвешенная оценка // Weighted average score			1,9	2,6	3	2,7

#### Выводы

Проведённая экологическая оценка состояния природной среды долины реки Большая Мотовилиха показала, что экосистемы в районе нижнего течения р. Большая Мотовилиха наиболее нарушены. Вызвано это, в первую очередь, тесным соседством с частной малоэтажной застройкой, хозяйственной деятельностью в прошлом, а также захлаплением прирусловой зоны и повышенной рекреационной нагрузкой. Территории, приуроченные к верховью р. Большой Мотовилихи характеризуются меньшей степенью деградации, так как ранее были в меньшей степени затронуты хозяйственной деятельностью человека, а из-за своей удалённости и относительной труднодоступности сейчас испытывают на себе меньшую рекреационную нагрузку. Но из-за достаточно бурного малоэтажного строительства в микрорайоне «Запрудский лес», и, в целом, вдоль Лядовского тракта, ситуация с антропогенной нагрузкой в верховьях долины р. Большая Мотовилиха может резко измениться в негативную сторону.

Основными почвами долины р. Большая Мотовилиха являются аллювиальные почвы, залегающие в пойме в комплексе с серогумусовыми почвами, встречающимися на склонах. Также в почвенном покрове, особенно в нижнем течении реки, выявлены разнообразные техногенные поверхностные образования. В ходе полевых изысканий на проектируемой ООПТ был обнаружен ценный почвенный объект: серогумусовые почвы на элювии красноцветных пород. Данные почвы, образованные на элювии пермских глин, конгломератов, гипсов и на древнеаллювиальных отложениях, внесены в Красную книгу почв Пермского края].

Растительность обследуемой территории типична для ботанико-географического района широколиственно-елово-пихтовых (подтаёжных) лесов. На проектируемой ООПТ, зафиксированы 240 видов высших сосудистых растений. За период обследования на исследуемой территории были выявлены редкие виды растений: ятрышник мужской (*Orchis mascula*), занесённый в Красные книги Российской Федерации и Пермского края; а также любка двулистная (*Platanthera bifolia*) Rich.) и пальчатокоренник мясокрасный (*Dactylorhiza incarnata*). Большая часть охраняемых видов растений произрастает в верховьях р. Большая Мотовилиха. При увеличении антропогенной нагрузки существует риск уничтожения местобитания этих видов.

Проведённый учёт орнитофауны выявил 62 вида птиц. Один из них внесён в Приложение к Красной книге Пермского края – камышница (*Gallinula chloropus*). Данный вид обнаружен на пруду в верховьях р. Большая Мотовилиха.

Придание долине реки Большая Мотовилиха статуса ООПТ с соответствующим режимом особой охраны необходимо для нормального функционирования экологического каркаса города, обеспечения сохранности почвенных, фаунистических и флористических объектов природы, сохранения биоразнообразия водной и околоводной фауны восточной оконечности г. Перми. Организация ООПТ в долине Большой Мотовилихи позволит обеспечить сохранение лесных экосистем. Это будет способствовать улучшению качества воздуха в жилых массивах за счет снижения поступлений загрязняющих веществ от потоков автотранспорта, движущихся по восточному обходу

г. Перми. Организация ООПТ также поможет избежать роста рекреационной нагрузки за счёт её нормирования.

Кроме того, экосистемы долины реки обеспечивают экологическое равновесие значительной части водосборного бассейна и нижележащей ООПТ «Мотовилихинский пруд».

В связи с вышеизложенным рекомендуется организация ООПТ «Мотовилихинский» с присвоением ей категории охраняемый ландшафт (местного значения).

#### Сведения об авторском вкладе

С.А. Бузмаков – постановка задачи исследования, формулировка идеи статьи, научное редактирование, вычитка итоговой версии статьи;

И.А. Кувшинский – подготовка и редактирование рукописи;

И.Е. Шестаков – сбор, систематизация сведений о ценных почвенных объектах, вычитка итоговой версии статьи;

И.Ф. Абдулманова – сбор и систематизация сведений о флоре и растительности, вычитка итоговой версии статьи;

Д.С. Исаков – сбор, систематизация сведений о ценных орнитологических объектах, вычитка итоговой версии статьи;

Л.С. Кучин – обработка пространственных данных, подготовка карт.

#### Contribution of the authors

Sergei A. Buzmakov – setting the research objective, formulating the idea for the article, scientific editing, proofreading the final version of the manuscript;

Ilya A. Kuvshinsky – preparation and editing of the manuscript;

Igor E. Shestakov – collecting, systematizing information on valuable soil features, writing an manuscript, proofreading the final version of the manuscript;

Irina F. Abdulmanova – collecting and systematizing information on flora and vegetation, writing an manuscript, proofreading the final version of the manuscript;

Denis S. Isakov – collecting and systematizing information on valuable ornithological sites, writing an manuscript, proofreading the final version of the manuscript;

Leonid S. Kuchin – spatial data processing, preparation of maps.

#### Список источников

1. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 374 с.

2. Бакланов М.А. Ихтиологическая и гидробиологическая характеристика реки Большая Мотовилиха г. Перми. Пермь: ООО «ТАУРУС», 2016. 81 с.

3. Боголюбов А.С. Методы учетов численности птиц: маршрутные учеты: метод. пособие / под ред. А.С. Боголюбова. М.: Экосистема, 1996. 17 с.

4. Бузмаков С.А., Овеснов С.А., Шепель А.И., Зайцев А.А. Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения // Географический вестник. 2011. № 2(17). С. 49–59.

5. Воронов Г.А. Животные города Перми. Позвоночные: монография. Пермь: Форвард-С, 2010. 296 с.

6. Гатина Е.Л. Охраняемые виды растений на территории г. Перми // Антропогенная трансформация природной среды: материалы международной конференции. Пермь, 18–21 октября 2010 г. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2010. Т.3. С. 72–77.

7. Геологические памятники Пермского края: Энциклопедия / под общ. ред. И.И. Чайковского. Пермь: Ги УрОРАН, 2009. 616 с.

8. Государственная геологическая карта (карта дочетвертичных отложений). Масштаб 1:200 000. Пермская серия. О-40-ХV (Пермь) / ред. О.А. Щербаков. Ленинград: ВСЕГИНГЕО, 1992.

9. Государственная геологическая карта (карта четвертичных отложений). Масштаб 1:200 000. Пермская серия. О-40-ХV (Пермь). Автор И.И. Черткова. Редактор В.П. Горский. Ленинград: ВСЕГИНГЕО, 1992.

10. Двинских С.А., Ларченко О.В., Березина О.А. Условия формирования донных отложений и их влияние на экосистему Мотовилихинского пруда г. Перми // Географический вестник. 2017. № 1 (40). С. 55–65. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2017-1-55-65>

11. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края. Пермь: Б.И., 2010. 92 с.

12. Ефимик Е.Г., Овеснов С.А. Травы лесов города Перми: атлас-определитель. Пермь: Пермское книжное издательство, 2018. 200 с.

13. Иллюстрированный определитель растений Пермского края / под ред. С.А. Овеснова. Пермь: Книжный мир, 2007. 743 с.

14. Карта почвенно-географического районирования СССР. М 1:8 000 000. М., 1986.

15. Катаев В.Н., Щукова И.В. Подземные воды города Перми. Пермь: ГОУ ВПО «Перм. гос. ун-т», 2006. 142 с.

16. Классификация и диагностика почв России / под общ. ред. Л.Л. Шишова, В.Д. Тонконогова, И.И. Лебедевой, М.И. Герасимовой. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.

17. Коблик Е.А., Архинов В.Ю. 2014. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов // Зоологические исследования. № 14. 171 с.

18. Комлев А.М., Черных Е.А. Реки Пермской области. Пермь: Пермь, 1984. 213 с.

19. Копылов И.С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края: монография. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2021. 501 с.

20. Копылов И.С. Гидрогеологическое доизучение с геоэкологическим картированием масштаба 1:200 000 листа О-40-ХV. Информационный отчет ФГУП «Геокарта-Пермь» о результатах незавершенных гидрогеологических и геоэкологических работ в 1996–2002 гг. Пермь, 2004.

21. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1962. 280 с.

22. Красная книга Пермского края / под общ. ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.

23. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.

24. Крюков В.А. Экосистемные и социальные функции городских ООПТ (на примере Москвы и Санкт-Петербурга). Дис. канд. геогр. наук. Москва, 2022. 225с.

25. Маландин Г.А. Почвы среднего Урала. Почвы СССР. Европейская часть СССР. Т. II. Почвы лесных областей. М.: Изд-во АН СССР, 1939. 288 с.

26. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология: принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с.

27. Овеснов С.А. Ботанико-географическое районирование Пермской области // Вестник Пермского университета. 2000. Вып. 2. Биология. С. 13-21.

28. Овеснов С.А. Местная флора Пермского края и ее анализ. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2009. 215 с.

29. Плюснин А.В. Левшинская пачка шешминского горизонта юго-восточной окраины г. Перми // Пермская система: стратиграфия, палеонтология, палеогеография, геодинамика и минеральный ресурс: сб. материалов Междунар. науч. конф. Пермь: ПГУ, 2011. С. 164–167.

30. Плюснин А.В. Шешминские отложения (верхняя пермь, уфимский ярус) в разрезе «Протон» (Пермский край) // Эволюция органического мира в палеозое и мезозое. Спб.: Маматов, 2011. С. 91–92.

31. Полевая геоботаника: в 5 т. / под общ. ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М.; Л.: Наука, 1959–1977.

32. Почвенная карта Пермского края. 1:300 000. - Пермь, 1979.

33. Почвенная карта Пермской области / под ред. Р.К. Сигнаевского. Пермь, 1989.

34. Приказ МПР РФ от 25.10.2005 № 289 «Перечень (список) объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (по состоянию на 1 июня 2005 г.)». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_568\\_19/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_568_19/) (дата обращения: 10.04.2022)

35. Рябицев В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири. Справочник-определитель. Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2008. 634 с.

36. Усольцев В.А., Бараковских Е.В., Малеев К.И. Депонирование углерода в фитомассе лесного покрова Пермского края // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008. № 21. 136–139.

37. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях», [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_60\\_72/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60_72/) (дата обращения 25.07.2023)

38. Физико-географическое районирование СССР: Характеристика регион. единиц / под ред. Н. А. Гвоздецкого. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 576 с.

39. Шепель А.И., Матвеева Г.К. Птицы города Перми. Пермь: Книжный мир. 2014. 344 с.

40. Natural Capital Project, 2023. InVEST 3.13.0. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal

Swedish Academy of Sciences. [Электронный ресурс]. URL: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (дата обращения 25.07.2023)

## References

1. Buzmakov, S., (ed.), 2017. *Atlas osobo ohranjajemyh prirodnyh territorij Permskogo kraja* [Atlas of protected areas of the Perm region]. Perm, Russia. Aster. 374 p. (in Russian)

2. Baklanov, M., 2016. *Ihtiologicheskaya i gidrobiologicheskaya harakteristika reki Bol'shaya Motoviliha g. Permi* [Ichthyological and hydrobiological characteristics of the Bolshaya Motovilikha River in Perm]. Perm, Russia. ООО «TAURUS». 81 p. (in Russian)

3. Bogolyubov, A., 1996. *Metody uchetov chislennosti ptic: marshrutnye uchety: metod. posobie* [Methods for counting bird numbers: route counts: method. allowance]. Moscow, Ekosistema, 17 p. (in Russian)

4. Buzmakov, S., Ovesnov, S., Shepel, A. and Zaycev, A., 2011. Ecological assessment of the state of specially protected natural areas of regional significance. *Geographical bulletin*, (2). pp. 49–59. (in Russian)

5. Voronov, G., 2010. *Zhivotnye goroda Permi. Pozvonochnye* [Animals of the city of Perm. Vertebrates]. Perm, Russia. Forward-S. 296 p. (in Russian)

6. Gatina, E., 2010. *Accounting and mapping of protected plant species on the territory city of Perm. In. Anthropogenic Transformation of Nature. The international conference, 18-21 October 2010. Perm, Russia. Perm State University, pp. 72–77. (in Russian)*

7. Tchaikovskiy, I (ed.), 2009. *Geologicheskie pamyatniki Permskogo kraja: Enciklopediya* [Geological monuments of the Perm region: Encyclopedia]. Perm: GI UrORAN, 2009. 616 p. (in Russian)

8. Leonova-Vendrovskaya, Z., Larionova, E., Gorskiy, V. and Sherbakov, O. (ed). 1992. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta (karta dochetvertichnyh otlozhenij). Masshtab 1:200 000. Permskaya seriya. O-40-XV (Perm')* [State geological map (map of pre-Quaternary deposits). Scale 1:200,000. Perm series. O-40-XV (Perm)]. Leningrad, Russia, VSEGINGEO. (in Russian)

9. Chertkova, I. and Gorskiy, V. (ed.). 1992. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta (karta chetvertichnyh otlozhenij). Masshtab 1:200 000. Permskaya seriya. O-40-XV (Perm')* [State geological map (map of Quaternary deposits). Scale 1:200,000. Perm series. O-40-XV (Perm)]. Leningrad, Russia, VSEGINGEO. (in Russian)

10. Dvinskikh, S., Larchenko, O. and Berezina, O., 2017. The conditions of benthal deposits formation and their effect on the ecosystem (a case study of the Motovilikha pond in Perm) // *Geographical bulletin*. 1(40). pp. 55–65. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2017-1-55-65> (in Russian)

11. Eremchenko, O., Fil'kin, T., and Shestakov, I., 2010. *Redkie i ischezayushchie pochvy Permskogo kraja* [Rare and endangered soils in Perm Region]. Perm, Russia. B.I. publ. 92 p. (in Russian)

12. Efimik, E. and Ovesnov, S. 2018. *Travy lesov goroda Permi: atlas-opredelitel'* [Herbs of the forests of the city of Perm: atlas-identifier]. Perm, Russia. Permskoe knizhnoe izdatel'stvo. 200 p. (in Russian)

13. Ovesnov, S. (ed), 2007. *Illyustrirovannyj opredelitel' rastenij Permskogo kraja* [Illustrated guide to plants of the Perm region]. Perm, Russia. Knizhnyj mir. 743 p. (in Russian)
14. *Karta pochvenno-geograficheskogo rajonirovaniya USSR. Masshtab 1:8 000 000* [Map of soil-geographical zoning of the USSR. M 1:8 000 000]. Moscow, 1986. (in Russian)
15. Kataev, V. and Shchukova, I. 2006. *Podzemnye vody goroda Permi* [Groundwater of the city of Perm]. Perm, Russia. Perm State University. 142 p. (in Russian)
16. Shishov, L., Tonkonogov, V., Lebedeva, I. and Gerasimova, M. (ed.), 2004. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, Russia. Oycumena. 235p. (in Russian)
17. Koblik, E. and Arhipov, V., 2004. Fauna ptic stran Severnoj Evrazii v granicah byvshego SSSR: cpiski vidov [Bird fauna of the countries of Northern Eurasia within the borders of the former USSR: lists of species]. *Zoologicheskie issledovaniya*. 14. 171 p. (in Russian)
18. Komlev, A. and Chernyh, E. 1984. *Reki Permskoj oblasti* [Rivers of the Perm region]. Perm, Russia. Perm. 213 p. (in Russian)
19. Kopylov, I. 2021. *Geoekologiya, gidrogeologiya i inzhenernaya geologiya Permskogo kraja: monografiya* [Geoecology, Hydrogeology and Engineering Geology of the Perm Region: monograph]. Perm, Russia. Perm State University. 501 p. (in Russian)
20. Kopylov, I., 2004. *Gidrogeologicheskoe doizuchenie s geoekologicheskim kartirovaniem masshtaba 1:200 000 lista O-40-XV. Informacionnyj otchet «Geokarta-Perm'» o rezul'tatah nezavershennyh gidrogeologicheskikh i geoekologicheskikh rabot v 1996-2002 gg* [Hydrogeological additional study with geoecological mapping on a scale of 1:200,000 sheet O-40-XV. Information report of FSUE "Geokarta-Perm" on the results of unfinished hydrogeological and geoecological works in 1996-2002]. Perm, Russia. (in Russian)
21. Korotaev, N. 1962. *Pochvy Permskoj oblasti* [Soils of the Perm region]. Perm: Permskoe knizhnoe izdvo. 280 p. (in Russian)
22. Baklanov, M. (ed.) 2018. *Krasnaya kniga Permskogo kraja* [Red List of the Perm Region 2018]. Perm, Aldari. 232 p. (in Russian)
23. *Krasnaya kniga Rossijskoj Federacii (rasteniya i griby)* [Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)]. Moscow. Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK, 2008. 855 p. (in Russian)
24. Kryukov, V. 2022. *Ekosistemnye i social'nye funkcii gorodskih OOPT (na primere Moskvy i Sankt-Peterburga)* [Ecosystem and social functions of urban protected areas (using the example of Moscow and St. Petersburg)]. Dissertation of Candidate of Sciences in Geography. Moscow. 225 p. (in Russian)
25. Malandin, G. 1939. *Pochvy srednego Urala. Pochvy USSR. Evropejskaya chast' USSR. T. II. Pochvy lesnyh oblastej* [Soils of the Middle Urals. Soils of the USSR. European part of the USSR. T. II. Soils of forest areas]. Moscow. Izd-vo AN SSSR. 288 p. (in Russian)
26. Mirkin, B. and Rozenberg, G., 1978. *Fitoecologiya: principy i metody* [Phytocenology: principles and methods]. Moscow. Nauka. 212 p. (in Russian)
27. Ovesnov, S., 2000. *Botaniko-geograficheskoe rajonirovanie Permskoj oblasti* [Botanical and geographical zoning of the Perm region]. Bulletin of Perm University. 2. pp. 13–21. (in Russian)
28. Ovesnov, S., 2009. *Mestnaya flora Permskogo kraja i ee analiz* [Local flora of the Perm region and its analysis]. Perm, Russia. Perm State University. 215 p. (in Russian)
29. Plyusnin, A., 2011. *Levshinskaya pachka sheshminskogo gorizonta yugo-vostochnoj okrainy g. Permi [Levshinskaya member of the Sheshminsky horizon of the south-eastern outskirts of Perm]. Permian system: stratigraphy, paleontology, paleogeography, geodynamics and mineral resources: collection of materials of the International Scientific Conference. Perm, Russia. Perm State University. pp. 164–167. (in Russian)*
30. Plyusnin, A., 2011. Sheshminskie otlozheniya (verhnyaya perm, ufimskij yarus) v razreze «Proton» (Permskij kraj) [Sheshma deposits (Upper Permian, Ufimian stage) in the Proton section (Perm region)]. *Evoluciya organicheskogo mira v paleozoe i mezozoe*. Saint Petersburg. Mamatov. pp. 91-92. (in Russian)
31. Lavrenko, E. and Korchagin, A. (eds), 1959-1976: *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany]. 1-5. Moscow-Leningrad. Nauka, (in Russian)
32. *Pochvennaya karta Permskogo kraja. 1979. Masshtab 1:300 000* [Soil map of the Perm region. Scale 1:300 000]. Perm. (in Russian)
33. Signayevskiy, R., 1989. *Pochvennaya karta Permskoj oblasti* [Soil map of the Perm region]. Perm. (in Russian)
34. Ob utverzhdanii perechney (spiskov) ob'yektov rastitel'nogo mira, zanesennykh v Krasnuyu knigu Rossijskoj Federatsii i iskluchennykh iz Krasnoj knigi Rossijskoj Federatsii (po sostoyaniyu na 1 iyunya 2005 g.) [On approval of lists (lists) of flora objects included in the Red Book of the Russian Federation and excluded from the Red Book of the Russian Federation (as of June 1, 2005)]. Decree of the Ministry of Natural Resources of Russia from 25.10.2005 N 289 (as amended on 20.12.2018). Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_56819/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_56819/) [Accessed 10th April 2022] (in Russian)
35. Ryabitsev, V., 2008. *Ptitsy Urala, Priural'ya i Zapadnoi Sibiri* [Birds of the Urals, Urals and Western Siberia]. Ekaterinburg, Russia. Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta. 634 p. (in Russian)
36. Usoltsev, V., Barakovskikh E. and Maleyev K., 2008. Deponirovaniye ugleroda v fitomasse lesnogo pokrova Permskogo kraja [Carbon sequestration in the phytomass of forest cover in the Perm region]. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. Izdatel'stvo Ural'skogo universitet*. (21). pp 136-139. (in Russian)
37. Federal Law "On Specially Protected Natural Areas". N 33-FZ from 14.03.1995. Available from: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_6072/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/) [Accessed 25th July 2023] (in Russian)
38. Gvozdetsky, N., 1968. *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye SSSR: Kharakteristika regional'nykh yedinitis* [Physico-geographical zoning of the USSR: Characteristics of the regional units]. Moscow. Izd-vo Mosk. unta. 576 p. (in Russian)

39. Shepel, A., Matveeva, G., 2014. Ptitsy goroda Permi [Birds of the city of Perm]. Perm, Russia. Knizhnyi mir. 344 p.
40. Natural Capital Project, 2023. InVEST 3.13.0. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences. Available from: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> [Accessed 25th July 2023]

Статья поступила в редакцию 23.10.2023; одобрена после рецензирования 02.11.2023; принята к публикации 10.11.2023.

The article was submitted 23.10.2023; approved after reviewing 02.11.2023; accepted for publication 10.11.2023.

## SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-38-54>**Estimate of air quality in valleys of Yegoshikha river and Danilikha river****Olga Klochikhina**

Perm State University, Perm, Russia

[olgasilphy@gmail.com](mailto:olgasilphy@gmail.com)

**Abstract.** The quality of air is the main issue that humankind faces every day. It is an essential aspect of health of the population. The objectives of this research are to determine what pollutants are the most significant and what sources of pollution are the greatest emitter in Perm.

Data for this study comes from national net of measurements of air pollution of Rosgridromet and researches of air quality in different areas of Perm. There has been quantitative analysis of results of measurements that was hold close to valleys of minor rivers Danilikha and Yegoshikha in this study since 2016 to 2022. Air quality was estimated by comparing measurements of concentration of chemical substances with established hygienic standards.

The analyzed data show that the main pollutants in air of Perm are Formaldehyde, Nitrogen Dioxide, Phenol and Ethylbenzene. Exceedances of maximum one-time concentrations of all significant pollutants were identified. Exceedances of daily mean concentrations of formaldehyde were observed during all the period of study. A possible explanation for presence of pollutants might be that burning of fossil fuels by transport and by fuel power industry, by impact of mechanical engineering plants.

The results of this study indicate that the national net of measurements is non-effective and does not give enough information for estimation of air quality in Perm. We need to measure more pollutants, and to have more monitoring sites to determine the air quality and the impact of transport or industry or other sources of air pollution on human health.

**Key words:** atmospheric air, sources of air pollution, pollutants, hygienic standards, transport, national net of measurements

**For citation:** Klochikhina, O., 2023. Estimate of air quality in valleys of Yegoshikha river and Danilikha river. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 9(2), pp. 38–54. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-38-54> (in English)

## РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.3.054

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-38-54>**Оценка качества атмосферного воздуха в долине реки Егошиха и долине реки Данилиха****Ольга Сергеевна Клочихина**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

[olgasilphy@gmail.com](mailto:olgasilphy@gmail.com)

**Аннотация.** Атмосферный воздух – ключевая составляющая жизни на Земле. Загрязнение атмосферного воздуха – основная проблема, с которой сталкивается человечество по всему миру. Качество атмосферного воздуха в городах является важной составляющей здоровья населения. По данным Всемирной организации здравоохранения 91% мирового населения проживает в районах, где уровень загрязнения превышает допустимые значения. По данным Росгидромета в 40 городах Российской Федерации уровень загрязнения воздуха характеризуется как высокий и очень высокий.

Основная цель исследования определить наиболее значимые и опасные загрязняющие вещества, присутствующие в воздухе г. Пермь, а также выявить источники, которые вносят наибольший вклад в загрязнение воздуха. В статье были проанализированы данные, полученные в результате наблюдений на постах государственной сети наблюдений Росгидромета, за 2016–2020 гг. Также были использованы результаты оценки качества атмосферного воздуха в различных районах г. Пермь. Для оценки качества воздуха были выбраны посты наблюдений, располагающиеся вблизи долин малых рек, в связи с тем, пониженные формы рельефа способствуют накоплению различных примесей в атмосферном воздухе. Качество воздуха было оценено путем сравнения полученных результатов измерений со значениями действующих гигиенических нормативов.

Результаты анализа данных показали, что значимыми загрязняющими веществами в г. Пермь являются: формальдегид, азота диоксид, фенол и этилбензол. В течение всего периода наблюдений были выявлены превышения максимальных разовых концентрации указанных выше загрязняющих веществ, а также превышения среднесуточных концентраций формальдегида. Присутствие азота диоксида, формальдегида и этилбензола в атмосферном воздухе города объясняется значительными выбросами от сжигания органического топлива (транспорт, тепловая энергетика). Что подтверждают ранее проведенные исследования. Присутствие фенола в воздухе объясняется близостью предприятий машиностроительного комплекса к постам наблюдений.

Результаты исследования выявили неэффективность государственной сети наблюдений, недостаточность постов наблюдений за загрязнением атмосферы в г. Пермь. В статье подчеркивается необходимость расширения сети наблюдений и увеличение количества измеряемых загрязняющих веществ для объективной оценки качества атмосферного воздуха в г. Пермь и оценки воздействия различных источников выбросов на здоровье населения.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, источники выбросов, загрязняющие вещества, гигиенические нормативы, автотранспорт, государственная сеть наблюдений

**Для цитирования:** Клочихина О.С. Оценка качества воздуха в долинах рек Егошиха и Данилиха // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 2. С. 38–54. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-38-54>

## Introduction

The air pollution is the vital issue that humankind faces every day. The quality of air is an essential aspect of health of the population.

According to World Health Organization (WHO) report 91% of all population lives in places where level of air pollution exceeds established standards. 4.2 million of death are result of negative effect of polluted air (2020). According to Rosgidromet final report about activity in 2019 and agenda of 2020, the level of air pollution is estimated as ‘very high’ or ‘the highest’ in 40 Russian cities with 13,5 million of population (2020).

The air quality in city depend on many aspects, which are topographic features, features of buildings, prevailing wind direction and speed, microclimate features, demographic, industrial and traffic load [26].

Evolution of level of air pollution happen by influence of many factors, which are volume of emission, characteristics of sources of emission, their location in the territory of the city, features of building, physico-geographical conditions of the city, presence of river, prevail meteorological conditions [25]. Topographic features, especially presence of low forms of relief (cloughs, valleys of minor rivers) and significant level variations, influence on accumulation of pollutants in atmospheric air [6, 24].

The major emitters in the city are industrial facilities, power plants, waste water treatment facilities and all kinds of transport [4, 27].

Industrial plants of different sectors are located in Perm. Composition of pollution of industrial plants is specific and combined by pollutants with different level of potential danger for the environment and for the human health. For example, mechanical engineering plants are sources of sulfur dioxide, phenol, metal oxides, such as diiron trioxide, titanium dioxide, magnesium oxide, aluminium oxide, cupric oxide, chromium [16]. Oil refineries are sources of hydrogen sulphide, hydrocarbons, mercaptans, some acids and aldehydes [14]. Plants of building sectors are sources of particulate matters and organic compositions [14].

Sharp growth of car park, rise of vehicle density, cluster of vehicles on main roads and its crossings, lead to growth of volume of emission in the city [4]. Key features of mobile sources of air pollution are location of exhaust stack of vehicle on the level of human breathing, closeness to

residential quarters and low dispersion in the atmospheric air [8]. Main pollutants that are emitted by transport are nitrogen oxides, sulfur dioxide, carbon, carbon oxide, formaldehyde, hydrocarbons. Also transport are sources of particulate matters that presented by dust from fretting and attrition of tires [14].

The monitoring of air quality is the main area of activity of Federal services for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (2020). The most important guidance document regulated all part of environmental monitoring is Manual of air pollution monitoring (RD 52.04.189-91) that is published in 1991.

System of measurements was created to reduce negative impact of air pollution on human health [25]. The national net consists of 7 monitoring sites, which are located in six different areas of Perm close to main traffic routes and industrial hubs [25]. It is significant disadvantage.

There is little quantitative analysis of measurements of the concentration of pollutants during the period from 2016 to 2022 in this study. Results of measurements from monitoring sites located in valleys of minor rivers are analyzed during the study. Conditions which facilitate accumulating of pollutants are formed in valleys of minor rivers due to microclimate features, which are connected with level variations.

Minor rivers cover huge distances and cross over residential areas of Perm. The most of valley of Yegoshikha river passes through multistoried Motovilhinsky and Sverdlovsky areas of Perm. The river is crossed by north dam, middle dam, south dam and Chkalova motorway. There is Bulvar Gagarina motorway of a substantial length along the mouth of the river at a distance of 0.17-1.02 km.

There is territory of industrial area ‘Yuzni’ which is located 5.4 km to the west from the mouth of Yegoshikha (JSC «UEC-Aviadvigatel», OJSC «Proton – Perm Motors», JSC «Remos – Perm Motors», JSC «Reductor – Perm Motors», JSC «ELKAM ArtEfficial Lift»). Several garages, stores, car service and petrol stations are located in the valley of the Yegoshikha river.

Valley of Danilikha river passes through multistoried Dzershinsky and Sverdlovsky areas of Perm. The river is crossed by Chkalova and Shosse Kosmonavtov motorways. There is railway of a substantial length along the

mouth of the river at a distance of 0.2–1.00 km. The Geroev Hasana and Vasilya Vasilyeva motorways also length along the mouth of the Dahilikha river.

There is territory of industrial area ‘Yuzni’ between Kuibysheva and Geroev Hasana streets which is located 5.4 km from the mouth of Danilikha (JSC «UEC – Perm Engines»). There is territory of LLC «Prikamskaya gipsovaya kompanya» which is located 8.7 km from mouth of Danilikha river. Several garages, stores, car service and petrol stations are located in the valley of the Danilikha river.

#### Materials and Methods

Air quality in valleys of minor rivers (Danilikha and Yegoshikha) in Perm was estimated by results of measurements which were conducted in monitoring stations included into the national net of measurements of Rosgidromet on the territory of Perm region.

According to National standard 17.2.3.01-86 «Nature protection. Atmosphere. Air Quality Control Regulations for Populated Areas» number of monitoring stations is

determined depending on population. 10–20 monitoring stations are needed for estimation of air quality in cities with 1 million of population.

There are 7 monitoring stations for measurements of air quality in 6 areas of Perm. Air quality monitoring station #12 is located at Kachkanarskaya st., 45, the station #13 is located at Uralskaya st., 91; the station #14 is located at L.Shatrova st., 1; the station #16 is located at Pushkina st., 112; the station #17 is located at crossroad of Glinka st. and Sviyazeva st; the station #18 is located at Pobedy st., 41; the station #20 is located at Krupskoi st., 83B. All monitoring stations are located close to main traffic routes and industrial hubs.

Data from air quality monitoring stations #14 and 20 which are located at Shatrova st, 1 and Krupskoi st., 83B was used to estimate air quality in valley of Yegoshikha river. Data from air quality monitoring station #16 which is located at Pushkina st, 112 was used to estimate air quality in valley of Danilikha river (Fig. 1 / Рис. 1).

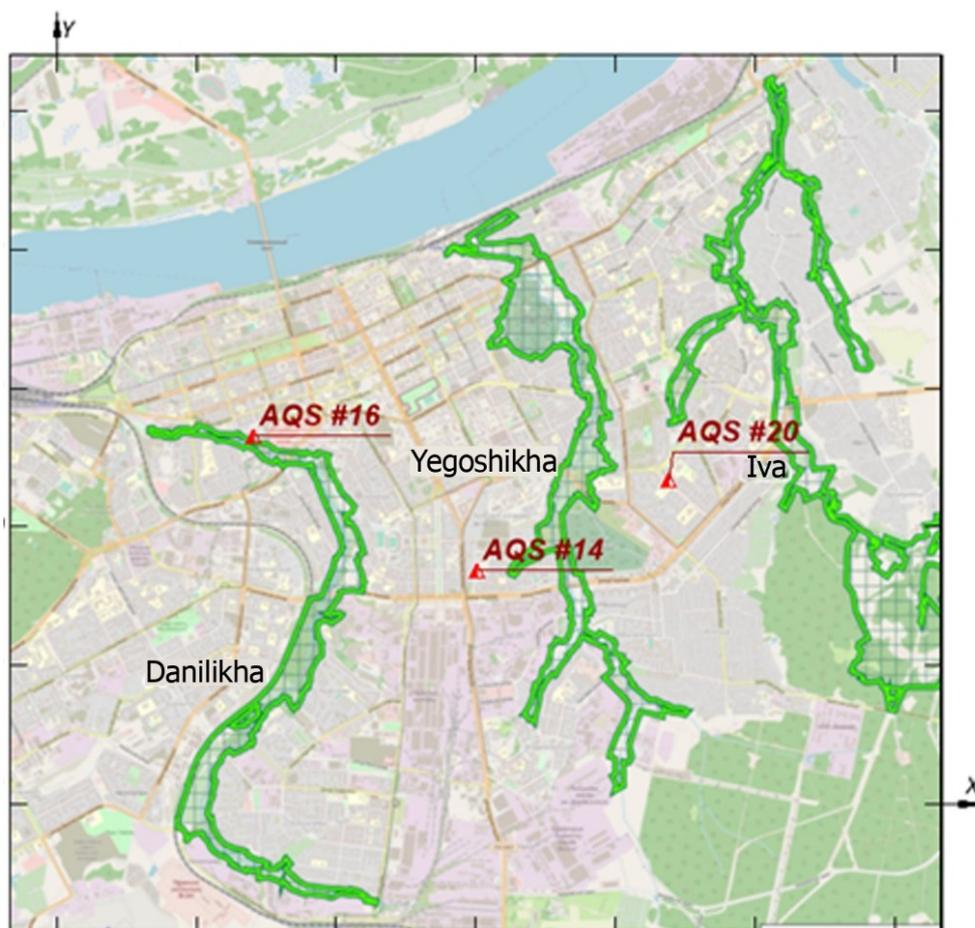


Fig. 1. Location of air quality stations

Рис. 1. Расположение станций контроля качества воздуха

Air sampling on the level of human breathing is proceeded during the measurements of air quality in monitoring stations. After that maximum one-time and daily mean concentrations of pollutants are determined in the air.

According to interstate standard GOST 17.2.3.01-86 (2005) measurements are conducted daily by continuous registration and discretely through equal periods of time minimum four times a day at 01, 07, 13 and 19 local time. It lets us get information about maximum one-time and

daily mean concentrations of pollutants. Annual mean concentrations of pollutants are calculated.

The list of measured pollutants in air quality monitoring stations includes 24 items. The list of pollutants with their classes of hazard and values of maximum permissible concentrations is presented on Table 1 / Таблица 1. Classes of hazard and values of maximum permissible concentrations are established in Sanitary Rules and Regulations 1.2.3685-21 “Hygienic Standards and Demands to Security

Support and (or) Harmlessness for Human Health of Habitat Factors” (2021).

The greatest share from all volume of measurements of emission goes to highly hazardous and moderately hazardous substances. It is around 38 % for both groups. Compared with these two groups of substances share of measurements of enormously hazardous substances is less and it is 17%. The most significant share of measurements is conducted for criteria pollutants, such as nitrogen dioxide,

nitrogen oxide, sulfur dioxide, carbon monoxide and particulate matter.

There are pollutants which are carcinogenic to humans (Groups 1 and A) and probably carcinogenic to humans (Groups 2B and B1) in the list. Information about risk index of carcinogenic effects of measured pollutants according to IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans and Risk Assessment for Carcinogenic Effects is presented in Table 2 / Таблица 2.

Table 1

### The list of measured pollutants

Таблица 1

#### Перечень загрязняющих веществ, по которым осуществляются наблюдения на ПНЗ

<i>Pollutant // Загрязняющее вещество</i>			<i>Class of hazard // Класс опасности</i>	<i>Value of one-time MPC, mg/m<sup>3</sup> // Значение ПДК м.р., мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Value of daily mean MPC, mg/m<sup>3</sup> // Значение ПДК с.с., мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Value of annual mean MPC, mg/m<sup>3</sup> // Значение ПДК с.г., мг/м<sup>3</sup></i>
<i>Code // код</i>	<i>CAS number // регистрационный номер CAS</i>	<i>Name // наименование</i>				
1	2	3	4	5	6	7
0123	1309-37-1	Iron(III)oxide // диЖелезо триоксид	3	–	0,04	–
0133	7440-43-9	Cadmium(II)oxide // Кадмий оксид	1	–	0,0003	–
0143	–	Manganese // Марганец и его соединения	2	0,01	0,001	0,00005
0146	1317-38-0	Cupric oxide // Медь оксид	2	–	0,002	0,00002
0163	7440-02-0	Nickel // Никель и его соединения	2	–	0,001	0,00005
0184	7439-92-1	Lead // Свинец и его неорганические соединения	1	0,001	0,0003	0,00015
0203	18540-29-91	Chromium // Хром	1	–	0,0015	0,000008
0207	1314-13-2	Zinc oxide // Цинк оксид	3	–	0,05	0,035
0301	10102-44-0	Nitrogen dioxide // Азота диоксид	3	0,2	0,1	0,04
0303	7664-41-7	Ammonia // Аммиак	4	0,2	0,1	0,04
0304	10102-43-9	Nitrogen oxide // Азота (II) оксид	3	0,4	–	0,06
0316	7647-01-0	Hydrogen chloride // Гидрохлорид	2	0,2	0,1	0,02
0330	7446-09-5	Sulfur dioxide // Сера диоксид	3	0,5	0,05	–
0333	7783-06-4	Hydrogen sulfide // Дигидросульфид	2	0,008	–	0,002
0337	630-08-0	Carbon monoxide // Углерода оксид	4	5,0	3,0	3,0
0342	7664-39-3	Hydrogen fluoride // Фтористые газообразные соединения	2	0,02	0,014	0,005
0602	71-43-2	Benzene // Бензол	2	0,3	0,06	0,005
0616	1330-20-7	Xylene // Ксилолы	3	0,2	–	0,1
0621	108-88-3	Toluene // Толуол	3	0,6	–	0,4
0627	100-41-4	Ethylbenzene // Этилбензол	3	0,02	–	0,04
0703	50-32-8	Benzo[a]pyrene // Бенз(а)пирен	1	–	0,000001	0,000001
1071	108-95-2	Hydroxybenzene // Гидроксibenзол (Фенол)	2	0,01	0,006	0,003
1325	50-00-0	Formaldehyde // Формальдегид	2	0,05	0,01	0,003
2902	–	Particulate matter // Взвешенные вещества	3	0,5	0,15	0,075

Table 2

## Information about risk index of carcinogenic effects of measured pollutants

Таблица 2

## Сведения о показателях опасности развития канцерогенных эффектов

Pollutant // Загрязняющее вещество		CAS number // регистрационный номер CAS	Classification // Классификация		
Code // код	Name // наименование		IARC // МАИР	U.S.EPA	Sanitary Rules and Regulations // СанПиН
1	2	3	4	5	6
0123	Iron(III)oxide // диЖелезо триоксид	1309-37-1	3	–	–
0133	Cadmium(II)oxide // Кадмий оксид	7440-43-9	1	B1	+
0143	Manganese // Марганец и его соединения	-	–	D	–
0146	Cupric oxide // Медь оксид	1317-38-0	–	–	–
0163	Nickel // Никель и его соединения	7440-02-0	2B	A	+
0184	Lead // Свинец и его неорганические соединения	7439-92-1	2B	B2	+
0203	Chromium // Хром	18540-29-91	1	A	+
0207	Zinc oxide // Цинк оксид	1314-13-2	–	–	–
0301	Nitrogen dioxide // Азота диоксид	10102-44-0	–	–	–
0303	Ammonia // Аммиак	7664-41-7	–	–	–
0304	Nitrogen oxide // Азота (II) оксид	10102-43-9	–	–	–
0316	Hydrogen chloride // Гидрохлорид	7647-01-0	3	–	–
0330	Sulfur dioxide // Сера диоксид	7446-09-5	3	–	–
0333	Hydrogen sulfide // Дигидросульфид	7783-06-4	–	–	–
0337	Carbon monoxide // Углерода оксид	630-08-0	–	–	–
0342	Hydrogen fluoride // Фтористые газообразные соединения	7664-39-3	–	–	–
0602	Benzene // Бензол	71-43-2	1	A	+
0616	Xylene // Ксилолы	1330-20-7	3	–	–
0621	Toluene // Толуол	108-88-3	3	–	–
0627	Benzo[a]pyrene // Бенз(а)пирен	100-41-4	2B	D	–
0703	Hydroxybenzene // Гидроксibenзол (Фенол)	50-32-8	1	A	+
1071	Formaldehyde // Формальдегид	108-95-2	3	D	–
1325	Particulate matter // Взвешенные вещества	50-00-0	1	B1	+
2902	Particulate matter // Твердые частицы	-	–	–	–

Thus, measurements of air quality in the monitoring stations are conducted 4 times a day during the week days for 24 pollutants. The greatest share from all volume of measurements goes to highly hazardous and moderately hazardous substances (79.5%). Maximum one-time and daily mean concentrations of pollutants are determined in the air during the measurements. The results of measurements of air quality during the period 2013-2020 are published on the web-site "Nature of Perm". The results of measurements on monitoring station #14, 20 and 16 have been used during the study.

### Results

The results of measurements on monitoring station #14 that is located to the west of the valley of Yegoshikha at the distance of 0.99 km and monitoring station #20 that is located to the east of valley of Yegoshikha at the distance of 1 km have been used to estimate air quality in the valley

of Yegoshikha river. The results of measurements on monitoring station #16 that is located to the north-east of valley of Danilikha at the distance of 0.06 km have been used to estimate air quality in the valley of Danilikha river.

There is little quantitative analysis of regular measurements of the concentration of pollutants during the period from 2016 to 2022 in this study.

Maximum one-time and daily mean concentrations have been determined at monitoring stations during the period 2016-2022. The daily mean concentrations have been determined for following substances: iron (III) oxide, cadmium (II) oxide, manganese, cupric oxide, nickel, lead, zinc oxide, chromium.

The number of exceedances of concentrations of pollutants, that has been discovered during the measurements on air quality monitoring stations #14, 16 and 20, according to data about quality of atmospheric air in Perm (2016–2022) is presented in Table 3 / Таблица 3.

The number of exceedances of concentrations of pollutants (AQS №14, AQS №16, AQS №20)  
during the period of 2016–2022

Общее число превышений на постах наблюдений за загрязнением атмосферы  
(ПНЗ №14, ПНЗ №20, ПНЗ №16) за 2016–2022

Pollutants // Загрязняющие вещества			The number of exceedances of maximum one-time concentrations // Общее число превышений максимальных разовых концентраций																									
			AQS №14 // ПНЗ №14								AQS №16 // ПНЗ №16								AQS №20 // ПНЗ №20									
#	Code // Код	Name // Наименование	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2016-2022	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2016-2022	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2016-2022		
1	0123	Iron(III)oxide // диЖелезо триоксид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0133	Cadmium(II)oxide // Кадмий оксид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0143	Manganese // Марганец и его соединения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0146	Cupric oxide // Медь оксид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0163	Nickel // Никель и его соединения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0184	Lead // Свинец и его неорганические соединения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0203	Chromium // Хром	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0207	Zinc oxide // Цинк оксид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0301	Nitrogen dioxide // Азота диоксид	0	1	1	0	1	1	0	4	1	0	0	0	1	2	3	7	0	2	0	0	1	0	0	3	3	
10	0303	Ammonia // Аммиак	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0304	Nitrogen oxide // Азота (II) оксид	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0316	Hydrogen chloride // Гидрохлорид	0	0	1	7	6	6	6	26	2	0	0	7	10	8	8	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0330	Sulfur dioxide // Сера диоксид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0333	Hydrogen sulfide // Дигидросульфид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	3	4	4	
15	0337	Carbon monoxide // Углерода оксид	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
16	0342	Hydrogen fluoride // Фтористые газообразные соединения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	0	2	2	62	6	93	3	
17	0602	Benzene // Бензол	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0616	Xylene // Ксилолы	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	6	2	2	1	0	18	0	1	3	0	0	0	0	4	4	
19	0621	Toluene // Толуол	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0627	Benzo[a]pyrene // Бенз(а)пирен	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	25	4	18	4	1	73	10	11	8	0	1	1	4	35	5	
21	0703	Hydroxybenzene // Гидроксibenзол (Фенол)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1071	Formaldehyde // Формальдегид	0	2	3	1	14	0	4	24	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	1	5	3	3	1	23	3	
23	1325	Particulate matter // Взвешенные вещества	1	2	2	0	2	3	14	24	0	0	1	1	0	0	0	2	3	1	1	0	1	0	0	6	6	
24	2902	Particulate matter // Твердые частицы	0	0	0	2	7	0	0	9	0	0	0	0	1	1	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total/Всего			1	5	7	10	32	10	24		16	18	33	15	39	16	17		25	34	13	7	9	66	15			

The number of exceedances of concentrations of pollutants, that has been discovered during the measurements on the Station #14, located in L. Shatrova st., 1, increased from one in 2016 to 32 in 2020. The number of exceedances of concentrations of pollutants, that has been discovered during the measurements on the Station #20, located in Krupskoi st., 83, decreased from 34 in 2017 to 9 in 2020 and sharply increased to 66 in 2022. The total number of exceedances, that has been discovered during the measurements on the Station #16, located in Pushkina st., 112, fluctuated during seven-year period. The most significant number of exceedances was observed in 2020, which was 39 cases. The least significant number was 15 and it was observed in 2019.

Exceedances on the station #14 were observed for six pollutants during the seven-year period. There are highly hazardous pollutants: hydrogen chloride, hydroxybenzene, formaldehyde, moderately hazardous pollutants: nitrogen dioxide, particulate matter, and slightly hazardous pollutants: ammonia. The most significant number of exceedances of maximum one-time concentrations was detected for hydrogen chloride (26 cases), hydroxybenzene (24 cases) and formaldehyde (24 cases) during the seven-year period.

The exceedances of the maximum one-time concentrations of hydrogen chloride were identified from 2018 to 2022. The largest number of exceedances was discovered during the period 2019-2022, there were 6 and 7 cases. There was only one exceedance in 2018. The extreme value of concentration was recorded in November of 2022 and it was 8.3 of MPC.

The most significant number of exceedances of concentrations of hydroxybenzene was identified on the station #14, which was 14 cases in 2020. The number of exceedances of concentrations of hydroxybenzene fluctuated from 1 to 4 cases a year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in January of 2022 and it was 3.0 of MPC.

The exceedances of the maximum one-time concentrations of formaldehyde were identified from 2018 to 2022. The largest number of exceedances was discovered in 2022, there were 14 cases. The number of exceedances of concentrations of formaldehyde fluctuated from 1 to 3 cases per year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in July of 2022 and it was 1.9 of MPC.

Smaller number of exceedances of particulate matter (7 cases) was observed. There was only one exceedance of nitrogen dioxide and ammonia.

Exceedances of maximum one-time concentration of particulate matter were observed in 2019 and 2020. The largest number of exceedances was identified in 2020. There were 7 cases a year. There were 2 cases in 2019. The extreme value of concentration was recorded in June of 2020 and it was 2.2 of MPC.

Ammonia and nitrogen dioxide once exceeded maximum permissible concentration. The extreme value of concentration of nitrogen dioxide was recorded in May of 2021 and it was 1.7 of MPC, while the extreme value of concentration of ammonia was recorded in August of 2021 and it was 1.3 MPC.

Mean daily concentration of nitrogen dioxide exceeded maximum permissible concentration during all period of

study. The largest number of exceedances was identified in 2020. There were 4 cases a year. The number of exceedances of mean daily concentrations of nitrogen dioxide fluctuated from 1 to 3 cases a year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in February of 2018 and it was 1.9 of MPC.

Exceedances of mean daily and one-time maximum permissible concentration of other chemical substances were not observed on the station #14.

Exceedances on the station #20 were observed for eight pollutants during the seven-year period. There are highly hazardous pollutants: hydrogen sulfide, hydrogen fluoride, hydroxybenzene, formaldehyde, moderately hazardous pollutants: nitrogen dioxide, carbon oxide, xylene, ethylbenzene. The most significant number of exceedances of maximum one-time concentrations was detected for hydrogen fluoride (93 cases), ethylbenzene (35 cases), and hydroxybenzene (phenol) (23 cases) during the seven-year period.

The exceedances of one-time concentration of hydrogen fluoride was identified during six out of seven years of study. There were not any exceedances in 2018. The most significant number of exceedances of concentrations of hydrogen fluoride was identified on the station #20, which was 62 cases in 2022. The lowest number of exceedances (2 cases) was identified in 2019 and 2020. The greatest value of concentration was recorded in February of 2017 and it was 1.8 of MPC.

The most significant number of exceedances of concentrations of ethylbenzene was identified on the station #20, which was 10 and 11 cases in 2016 and 2017 respectively. There were 8 cases of exceedances in 2018, but this number decreased to one in 2020. The extreme value of concentration was recorded in July of 2022 and it was 7.8 of MPC.

The most significant number of exceedances of concentrations of hydroxybenzene was observed in 2018, which was 8 cases a year. The number of exceedances fluctuated from 1 to 5 cases per year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in July of 2021 and it was 2.2 of MPC.

The least number of exceedances was detected for formaldehyde (6 cases), xylene (4 cases) and hydrogen sulfide (4 cases). Singular exceedances of maximum one-time concentrations of nitrogen dioxide and carbon oxide were observed during the all period of study on the station #20.

Only one case of exceedance of maximum one-time concentration of formaldehyde was identified during all period of study, but there were 3 cases of exceedances in 2016. The extreme value of concentration was recorded in February of 2016 and it was 1.3 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of xylene were observed two times during period of study in 2017 and 2018. There were 3 cases in 2018, the exceedance was observed once in 2017. The extreme value of concentration was recorded in October of 2022 and it was 1.8 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of hydrogen sulfide were observed three times during period of study in 2020 and 2021. There were 3 cases in 2021, the exceedance was observed once in 2020. The extreme value of concentration was recorded in January of 2021 and it was 1.3 of MPC.

Carbon oxide and nitrogen dioxide once exceeded maximum permissible concentrations. The extreme value of concentration of nitrogen dioxide was recorded in January of 2017 and it was 1.5 of MPC, while the extreme value of concentration of carbon oxide was recorded in February of 2021 and it was 1.8 of MPC.

Exceedances of mean daily and one-time maximum permissible concentration of other chemical substances were not observed on the station #20.

Exceedances on the station #16 were observed for nine pollutants during the seven-year period. There are highly hazardous pollutants: hydrogen chloride, hydrogen sulfide, formaldehyde, moderately hazardous pollutants: nitrogen dioxide, nitrogen oxide, xylene, ethylbenzene, particulate matter, and slightly hazardous pollutants: carbon monoxide. The most significant number of exceedances of maximum one-time concentrations was detected for ethylbenzene (73 cases) during the seven-year period.

The most significant number of exceedances of concentrations of ethylbenzene was identified on the station #16, which was 25 and 18 cases in 2018 and 2020 respectively. The number of exceedances was 10 and 11 cases in 2016 and 2017. The lowest number was identified in 2022, when there was 1 case a year. The extreme values of concentration were recorded in January of 2019 and it was 7.9 of MPC and in June of 2017 and it was 6 of MPC. The value did not exceed of 3.5 of MPC level during the remaining period of study.

The least number of exceedances of one-time concentration of hydrogen chloride and xylene was identified during the whole period of study, it was 35 cases and 18 cases a year respectively.

The exceedances of maximum one-time concentration of hydrogen chloride were observed in 2016, 2019 – 2022. The most significant number was identified in 2020 and it was 10 cases per year. The exceedances of maximum one-time concentration of hydrogen chloride were observed twice in 2016. The extreme value of concentration was recorded in August of 2016 and it was 3.0 of MPC and in June of 2019 and it was 2.9 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of xylene were observed during the whole period of study. There were 5 cases in 2017, the exceedance was observed 6 times in 2018. The extreme value of concentration was

recorded in August of 2020 and it was 3.7 of MPC. The maximum permissible concentration was exceeded twice during the remaining period. The extreme value of concentration was recorded in January of 2019 and it was 6.6 of MPC and in May of 2018 and it was 4.3 of MPC.

The least number of exceedances was detected for carbon monoxide (7 cases), nitrogen dioxide (7 cases), nitrogen oxide (5 cases) and particulate matters (5 cases). Singular exceedances of maximum one-time concentrations of hydrogen sulfide and formaldehyde were observed during the whole period of study on the station #16.

The exceedances of maximum one-time concentration of carbon monoxide were observed in 2020. There were 7 cases. The extreme value of concentration was recorded in February of 2020 and it was 2.3 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of nitrogen dioxide were observed in 2016, 2020, 2021 and 2022. There were from 1 to 3 cases a year. The extreme value of concentration was recorded in January of 2021 and it was 2.3 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of nitrogen oxide were observed in 2016, 2017, 2019 and 2022. There were from 1 to 2 cases a year. The extreme value of concentration was recorded in August of 2017 and it was 1.8 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of particulate matters were observed from 2020 to 2022. There were from 1 to 3 cases a year. The extreme value of concentration was recorded in May of 2021 and it was 3.0 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of hydrogen sulfide were observed once in 2018 and 2020, the exceedances of formaldehyde were observed in 2018 and 2019. The extreme value of concentration of hydrogen sulfide was recorded in February of 2018 and it was 1.1 of MPC. The extreme value of concentration of formaldehyde was recorded in April of 2019 and it was 1.2 of MPC.

Exceedances of mean daily and maximum one-time concentration of other chemical substances were not observed on the station #16.

The analysis of measurements of maximum one-time concentration of pollutants during 2016-2022 on the station #14, 20 and 16 is presented in Table 4 / Таблица 4.

Table 4

**Analysis of results of measurements of maximum one-time concentration of pollutants  
on air quality stations during the period of study 2016–2022**

Таблица 4

**Анализ результатов наблюдений на постах наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха  
за максимальными разовыми концентрация загрязняющих веществ 2016-2022**

№	Pollutants // Загрязняющие вещества		2016				2017				2018				2019				2020				2021				2022			
	Code// Код	Name // Наименование	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Data of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****
<b>AQS №14 // ПНЗ №14</b>																														
1	0301	Nitrogen dioxide // Диоксид азота	-	-	-	-	1.4	1.4	11.10	1	1.2	1.2	09.02	1	-	-	-	-	1.3	1.3	30.09	1	1.7	1.7	25.05	1	-	-	-	-
2	0303	Ammonia // Аммиак	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	1.2	10.03	2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0316	Hydrogen chloride // Хлористый водород								2.1	2.1	28.02	1	1.1	2.4	26.08	7	1.1	1.5	23.09	6	1.1	1.3	16.08	6	1.1	8.3	15.11	6	
4	1071	Hydroxybenzene // Гидроксibenзол	-	-	-	-	1.1	1.1	16.03	2	1.1	1.4	14.02	3	1.7	1.7	24.07	1	1.1	2.9	03.06	14	-	-	-	-	1.2	3	10.01	4
5	1325	Formaldehyde // Формальдегид	6.8	6.8	17.02	1	1.1	1.8	31.08	2	1.1	1.1	13.10	2	-	-	-	-	1.1	1.5	09.06	2	1.1	1.7	20.08	3	1.1	1.9	18.07	14
6	2902	Particulate matter // Твердые частицы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	25.06	2	1.6	2.2	29.06	7	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total number of exceedances of MPC // Общее количество превышений ПДК</b>						1								7																24
<b>AQS №20 // ПНЗ №20</b>																														
1	0301	Nitrogen dioxide // Диоксид азота	-	-	-	-	1.3	1.5	09.01	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	1.2	16.11	1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0333	Hydrogen sulfide // Сульфид водорода	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.1	07.03	1	1.3	1.3	28.01	3	-	-	-	-
3	0337	Carbon oxide // Ок- сид углерода	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	1.8	19.02	1	-	-	-	-	
4	0342	Hydrogen fluoride // Фтористый водород	1.1	1.7	04.07	10	1.1	1.8	03.02	11	-	-	-	-	1.1	1.5	01.11	2	1.1	1.2	06.08	2	1.1	1.3	12.08	6	1.2	7.8	13.07	62
5	0616	Xylene // Ксилол	-	-	-	-	1.1	1.1	18.02	1	1.8	1.8	08.05	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	0627	Ethylbenzene // Этилбензол	1.1	2.5	26.05	10	1.2	3	24.01	11	1.1	1.8	16.05	8	-	-	-	-	1.2	1.2	11.06	1	1.4	2.2	16.07	4	1.4	1.4	25.03	1
7	1071	Hydroxybenzene // Гидроксibenзол	1.2	1.2	24.03	2	1.1	1.6	20.03	8	1.5	1.5	13.03	1	1.1	1.4	19.09	5	1.1	1.3	18.04	3	1.5	1.5	06.09	1	1.1	1.8	29.10	3
8	1325	Formaldehyde // Формальдегид	1.3	1.3	17.02	3	1.1	1.1	06.09	1	1.2	1.2	26.11	1	-	-	-	-	1.2	1.2	30.11	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total number of exceedances of MPC // Общее количество превышений ПДК</b>						25								13																66

№	Pollutants // Загрязняющие вещества		2016				2017				2018				2019				2020				2021				2022			
	Code// Код	Name // Наименование	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****	MIN // МИН*	MAX // МАКС**	Date of MAX // Дата МАКС***	Number // Число****
<b>AQS №16 // ПНЗ №16</b>																														
1	0301	Nitrogen dioxide // Диоксид азота	1.2	<b>1.2</b>	12.02	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	<b>1.2</b>	01.10	1	2.3	2.3	15.01	2	1.3	2	22.02	3	
2	0304	Nitrogen oxide // Оксид азота	1.3	1.3	12.02	1	1.3	<b>1.8</b>	15.08	2				1.6	1.6	21.09	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.1	17.05	1	
3	0316	Hydrogen chloride // Хлорид водорода	1.2	<b>3</b>	30.08	2	-	-	-	-	-	-	-	1.3	2.9	19.06	7	1.1	1.7	27.01	10	1.1	1.7	18.08	8	1.2	2.6	09.11	8	
4	0333	Hydrogen sulfide // Сульфид водорода	-	-	-	-	-	-	-	1.1	<b>1.1</b>	10.02	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	1.3	09.08	1	
5	0337	Carbon monoxide // Моноксид углерода	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	<b>2.3</b>	22.02	7	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	0616	Xylene // Ксилол	1.4	1.6	03.06	2	1.2	2.9	06.06	5	1.2	4.3	16.05	6	6.6	<b>6.6</b>	21.01	2	3.7	3.7	03.08	2	1.4	1.4	01.09	1	-	-	-	
7	0627	Ethylbenzene // Этилбензол	1.7	2.4	19.02	10	1.2	6	06.06	11	1.3	3.5	16.05	25	1.5	<b>7.9</b>	21.01	4	1.2	3.4	20.02	18	1.4	3.4	01.09	4	1.2	1.2	12.11	1
8	1325	Formaldehyde // Формальдегид	-	-	-	-	-	-	-	1.1	1.1	20.02	1	1.2	<b>1.2</b>	16.04	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	2902	Particulate matter // Твердые частицы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	<b>1.2</b>	11.12	1	3.0	3.0	17.05	1	1.1	1.6	22.06	3	
<b>Total number of exceedances of MPC // Общее количество превышений ПДК</b>						<b>16</b>				<b>18</b>			<b>33</b>				<b>15</b>				<b>39</b>								<b>17</b>	

Примечание: // Note:

\* MIN – Minimal concentration from range of exceedances, MPC // МИН – Минимальная концентрация из общего числа случаев превышения в долях ПДК м.р.

\*\* MAX – Maximal concentration from range of exceedances, MPC // МАКС – Максимальная концентрация из общего числа случаев превышения в долях ПДК м.р.

\*\*\* Date of MAX – Data of detecting of maximal concentrations // Дата МАКС – Дата обнаружения максимальных превышений

\*\*\*\* Number – Total number of exceedances of MPC during the year // Число – Общее число случаев превышения ПДК в течение года

Analysis of data of national annual report «About sanitary and epidemiological welfare of the population in Perm region» was held during the study (2016-2022).

The tendency of decline of level of primary disease incidence of child population was observed during the period of study. The number of primary diseases reduced by 20% from 2230.7 per 1000 child population in 2016 to 1782.4 per 1000 child population in 2021. But regional level was greater than national level by 304 per 1000 child population during the all period of study.

The level of primary disease incidence of adult population fluctuated during all period of study. The minimum was recorded in 2021 and was 545 per 1000 adult population. The extreme level was recorded in 2021 and was 687.2 per 1000 adult population respectively. The regional level of primary disease incidence of as child population as

adult population was higher than national level by 33 per 1000 adult population.

Diseases of respiratory system were prevailing within primary disease incidence of child and adult population. They had 68% (average for the period 2016-2021) of primary disease incidence of child population and 34% (average for the period 2016-2021) of adult population.

Diseases of eyes (2.8%) and ears (2.5%) went after diseases of respiratory system within primary disease incidence of child population. Diseases of blood circulatory system (5.9%), diseases of eyes (3.6%) and ears (3.3%) had significant shares in primary disease incidence of adult population.

Analysis of levels of primary disease incidence of child and adult population of Perm region is presented in Table 5 / Таблица 5.

Table 5

**Analysis of level of primary disease incidence of population of Perm region  
(per 1000 population) during the period of study 2016–2021**

Таблица 5

**Анализ уровня заболеваемости населения Пермского края по классам болезней  
(на 1000 населения) 2016–2021**

	Level of primary disease incidence (per 1000 population) // Уровень первичной заболеваемости (на 1000 населения)											
	2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	Perm region // Пермский край	Russia // Россия	Perm region // Пермский край	Russia // Россия	Perm region // Пермский край	Russia // Россия	Perm region // Пермский край	Russia // Россия	Perm region // Пермский край	Russia // Россия	Perm region // Пермский край	Russia // Россия
	Child population // Детское население											
Total // Всего	2230,7	1794,4	2216,9	1758,2	2136,9	1751,2	2051,6	1724,4	1586,9	1485,4	1782,4	1662,9
Neoplasm // Новообразования	4,4	4,8	4,4	4,8	4,8	4,7	4,7	4,9	3,9	4,1	4,3	4,6
Diseases of the blood and hemopoietic organs // Болезни крови и кроветворных органов	28,8	13,8	29,3	12,4	27,1	11,9	21,7	11	12,3	9,0	12,1	9,4
Diseases of the endocrine system // Болезни эндокринной системы	24,9	15,7	23,8	15,1	23,2	15,3	22,6	16	13,9	13,3	14,5	14,3
Diseases of the nervous system // Болезни нервной системы	37,2	37,3	36,4	35,5	33,5	35,1	32,5	34,2	32,9	28,7	34,8	30,5
Diseases of eyes // Болезни глаза	71,5	59,7	67,5	57,3	68,4	57,1	63,2	53	36,7	39,0	39,3	41,5
Diseases of ears // Болезни уха	68,5	49,6	61,9	47,6	54,5	46,9	50,9	45,4	34,7	35,4	38,2	38,6
Diseases of the blood circulatory system // Болезни системы кровообращения	8,3	7	8,3	6,8	7,5	6,5	6,6	6,3	5,0	5,0	5,4	5,3
Diseases of the respiratory system // Болезни органов дыхания	1451,3	1187	1499,7	1174,5	1439,2	1173,8	1398,2	1159,9	1102,5	1018,6	1251,0	1145,0
Congenital defects // Врожденные аномалии	26,5	11	26,2	4,3	28,2	10,4	28,4	10,5	11,5	8,8	12,0	9,1
	Adult population // Взрослое население											
Total // Всего	619,9	551,6	591,6	545	608,4	546,6	617,2	548,3	624,1	578,5	687,3	654,7
Neoplasm // Новообразования	16,7	13	16,2	13,1	16,4	13,4	17,8	13,7	12,0	11,3	12,8	11,6
Diseases of the blood and hemopoietic organs // Болезни крови и кроветворных органов	2,8	2,6	2,5	2,6	1,9	2,4	2	2,5	1,6	1,8	1,6	2,0
Diseases of the endocrine system // Болезни эндокринной системы	11,9	13	10,9	13,2	10,4	12,1	10,9	13,5	9,3	10,0	10,0	10,1
Diseases of the nervous system // Болезни нервной системы	7,8	9,7	8	9,7	8,2	9,4	8,1	9,6	7,4	8,2	7,5	8,9
Diseases of eyes // Болезни глаза	26,7	25,9	23,4	24,4	22,8	24,6	23	23,7	18,7	19,6	18,8	19,9
Diseases of ears // Болезни уха	21,5	21,1	21,2	22,2	21,1	20,4	22,9	20,1	18,5	16,8	18,7	17,0
Diseases of the blood circulatory system // Болезни системы кровообращения	36,6	37,5	32,3	44,9	35	38,9	38	42,1	40,2	35,4	39,9	36,7
Diseases of the respiratory system // Болезни органов дыхания	179	162,9	190,7	172,1	208	167,5	207,1	164,7	253,1	213,7	254,8	228,3

### Discussion

The tendency of increase of cases of exceedances of concentration of chemical substances in atmospheric air was discovered during this study. The number of cases of

exceedances fluctuated between 32 and 39 cases per year last three years.

The exceedances of six chemical substances were observed on the station #14, exceedances of eight chemical

substances were observed on the station #20 during the period of the study. The highest number of chemical substances which were exceeded was 9 and was observed on the station #16.

Formaldehyde and nitrogen dioxide are in the list of chemical substances which were exceeded on all stations.

There were recorded exceedances of maximum one-time concentrations of formaldehyde on the station #14 every year. Exceedances of formaldehyde were observed on the station #16 in 2018 and 2019. Exceedances of formaldehyde were observed on the station #20 in four years out of seven (2016, 2017, 2018 and 2020). The extreme value of concentration of formaldehyde was recorded in February of 2016 on the station #14. The extreme value on the other station didn't exceed 1.3 of MPC.

There were recorded exceedances of mean daily concentrations of formaldehyde on the station #14 every year. The most significant number of exceedances of concentrations of formaldehyde was identified in 2017 and 2020 which was 6 cases per year. The extreme value of concentration of formaldehyde was recorded in July of 2020 and was 2.0 of MPC.

There were recorded exceedances of maximum one-time concentrations of nitrogen dioxide on all stations in four years during the all period of study. Exceedances of nitrogen dioxide were observed on the station #16 in 2016 and 2020–2022, on the station #14 in 2017–2018, 2020–2021. Exceedances of nitrogen dioxide were observed on the station #20 in two times in 2017 and 2020. The extreme value of concentration of nitrogen dioxide was recorded in May of 2021 on the station #14. The extreme value on the other station didn't exceed 1.5 of MPC.

The exceedances of mean daily concentrations of nitrogen dioxide were identified on the station #14 every year. The most significant number of exceedances of concentrations was identified in 2020 which was 4 cases per year. The number of exceedances fluctuated from 1 to 3 in other years during the study. The extreme value of concentration of nitrogen dioxide was recorded in February of 2018 and was 1.9 of MPC.

Exceedances of formaldehyde and nitrogen dioxide indicate significant rate of emission of fossil fuels burning, including burning in internal combustion engine of cars [5]. Monitoring station is located close to main traffic routes.

This result was confirmed by results of measurements which were conducted in Dzershinsky area of Perm city according to a contract with local government (2009; 2020). The same results were reached in cities of the USA and Europe during the studies which are holding in the University of West Virginia, in laboratory of applied thermodynamics of Aristotle University of Thessaloniki and in the Joint Research Centre of European Commission [10, 19].

Presence of exceedances of mean daily concentration of formaldehyde is approved by earlier studies. Mean daily concentration of formaldehyde exceeds permissible concentration in the cities. The tendency of increasing of concentration was found over the last years. Value of mean daily concentration of formaldehyde changed slightly from 1992 to 2006, but it has always exceeded permissible concentration. Value of formaldehyde has been increased

since 2006 and it changed from 0.006 to 0.014 mg/m<sup>3</sup> (MPC = 0.01, it changed in 2014 from 0.003).

The maximum values of concentration of formaldehyde are identified in warm part of the year (May–August) in Perm as well as it is in the majority of cities. The most significant values of concentration are between 0.009 and 0.018 mg/m<sup>3</sup> in summer time. The winter maximum is formed by December [25].

Clearly defined summer maximum of value of concentration of formaldehyde is explained by transformation air under the influence of high summer temperatures and significant solar intensity [3]. The concentration of formaldehyde in the air, which is formed from emission of hydrocarbons, increases under the intensification of photochemical processes. The winter maximum is connected with emission of industry and transport [5].

According to researches nitrogen dioxide is the next high-priority chemical substance in the cities. This substance is emitted by all factories and transport in the cities [7]. Nitrogen dioxide is formed during the photochemical reactions. Nitrogen dioxide takes part in process of generation of formaldehyde and photochemical smog. The average concentration of nitrogen dioxide has changed between 0.04 and 0.05 mg/m<sup>3</sup>. The most significant values of concentration of NO<sub>2</sub> are observed in the winter part of the year [3].

The prevailing shares of diseases of respiratory system within primary disease incidence of child and adult population also confirm annual exceedances of mean daily concentrations of formaldehyde and nitrogen dioxide. According to "Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals" nitrogen dioxide has a negative effect on respiratory system and blood system during inhalation. Formaldehyde is also dangerous to respiratory system and can affect the eyes and immune system.

The most significant and the most frequent exceedances of concentration were identified for the next chemical substances: ethylbenzene (108 cases of exceedances), hydrogen fluoride (93 cases), hydrochloride (61 cases of exceedances) and hydroxybenzene (47 cases of exceedances).

The exceedances of maximum one-time concentration of ethylbenzene were identified in two stations #20 and #16. The most significant number of exceedances of concentrations of ethylbenzene was identified on the station #16, which was 25 and 18 cases in 2018 and 2020 respectively. There were 11 cases of exceedances in 2017, but this number decreased to one in 2022. The extreme value of concentration was recorded in January of 2019 and it was 7.9 of MPC.

The significant number of exceedances of concentrations of ethylbenzene was identified on the station #20, which was 11 and 10 cases in 2017 and 2016 respectively. The extreme values of concentration were recorded in January of 2017 and it was 3.0 of MPC.

Ethylbenzene is the part of emission of petrol station and of burning fossil fuels in internal combustion engines of transport. Exceedances of concentration of ethylbenzene is explained by high level of transport emission.

The most significant number of exceedances of concentrations of hydrogen fluoride was identified on the station #20 and was 62 cases in 2022. The number of exceedances

of concentrations of hydrogen fluoride fluctuated from 2 to 10 cases a year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in July of 2022 and it was 7.8 of MPC.

Exceedances of concentration of hydroxybenzene demonstrate negative effect of machine-building industry.

The most significant number of exceedances of concentrations of hydroxybenzene was identified on the station #14, which was 24 cases in 2020. The number of exceedances of concentrations of hydroxybenzene fluctuated from 1 to 4 cases a year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in January of 2022 and it was 3.0 of MPC.

The most significant number of exceedances of concentrations of hydroxybenzene on the station #20 was observed in 2017, which was 8 cases a year. The number of exceedances fluctuated from 1 to 5 cases per year during the remaining period of study. The extreme value of concentration was recorded in October of 2022 and it was 1.8 of MPC.

Exceedances of concentration of hydroxybenzene demonstrate negative effect of machine-building industry.

Exceedances of maximum one-time concentration of hydrogen chloride was identified on the station #14 and #16. The exceedances of the maximum one-time concentrations of hydrogen chloride on the station #14 were identified from 2018 to 2022. The largest number of exceedances was discovered in 2019, there were 7 cases. The extreme value of concentration was recorded in August of 2019 and it was 2.4 of MPC.

The exceedances of maximum one-time concentration of hydrogen chloride on the station #16 were observed in 2016 and from 2019 to 2022. The most significant number was identified in 2020 and it was 10 cases. The extreme value of concentration was recorded in August of 2016 and it was 3.0 of MPC.

These chemical substances have a negative impact on respiratory system during chronic inhalation.

Therefore, through an analysis we can conclude that the most significant source of air pollution in the valleys of minor rivers Yegoshikha and Danilikha is automobile and railway transports. The north, middle and south dams and Chkalova motorway, Shosse Kosmonavtov and Vasilisa Vasilieva motorway and central railway are the busiest ways in Perm.

The Chkalova motorway is one of the few enters of the Perm city and is close to huge manufacturing plants. Percent of lorry traffic and coach transport is higher on this motorway than the others. The Vasilisa Vasilieva motorway lies along warehouses, manufacturing plants, maintenance automobile entities. As a consequence lorry traffic is prevailing in total traffic flow.

The industrial plants and factories are also the most significant sources of air pollution. The majority of industrial area 'Yuzni' plants and factories are located along the valleys of Yegoshikha river and Danilikha river and are members of machine-building industry. The bigger part of these plants and factories are object of second and third categories of negative impact on the environment. These objects have moderate and insignificant impact on the environment.

In the list of the pollutants in Perm we can highlight the next chemical substances:

- pollutants, which are emitted from burning fossil fuels: nitrogen dioxide, nitrogen oxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, benzopyrene;

- pollutants, which are specific to machine-building industry: hydroxybenzene, Iron(III)oxide, titanium dioxide, magnesium oxide, aluminum oxide, cupric oxide, dust of yellow metal, chromium, lead;

- pollutants, which are specific to construction materials industry: dust of gypsum binder, inorganic dust, perlite, calcium hydroxide, particulate matters.

Group of different hydrocarbons (kerosene, petroleum-based mineral oil, oil solvent, xylene, ethylbenzene, alkanes) is also present in the list of pollutants of Perm. Ethanol, acetone, butyl acetate, butyl alcohol are found in air.

Garage cooperatives, warehouses, maintenance automobile entities, petrol station are sources of air pollution by nitrogen oxides, sulfur dioxide, carbon monoxide and aromatic hydrocarbons in the valley of Yegoshikha river and Danilikha river.

It is certain that present national net of measurements of air pollution is unrepresentative. Additional monitoring stations need to be settled.

Additional monitoring stations in national net of measurements of Rosgidromet need to be settled to control air quality in valley of Yegoshikha river (Fig. 2). This place will be:

- near the tram bridge on Parkovaya street on the territory of gardeners' non-commercial partnership #63 (Additional AQS #1);

- on 150-200 m to south from bridge (middle dam) on Revolucii street, near the building 1 on Veselaya street (Additional AQS #2);

- on the border of the territory of gardeners' non-commercial partnership "Energetic" (Additional AQS #3).

The list of priority measuring chemical substances includes hydroxybenzene, formaldehyde, ethylbenzene, nitrogen dioxide. The exceedances of MPC of these substances were observed. These substances are the most dangerous for human health. Measuring of concentration of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) is needed too. These substances are harmful for human health and it is particulate matters (dust) different nature.

Locations of the picked additional stations are due to the fact that ground relief can influence on accumulation of chemical substances under specific meteorological conditions. Level variations near the area "Alpiiskaya gorka" and valley of the Yegoshikha are 50-60 m with slow decreasing to planed picked additional station. Level variation on eastern slope of valley is significant and it is to a maximum 60 m.

Pollutants that are emitted from factories and plants of area "Yuzhni" move along the valley to north with southern, south-western and western winds. It is due to changes of wind direction long the valley in relation direction under the valley.

The measuring of air quality in station #2 is due to impact of group of factories and plants in the area "Yuzhni" with prevailing wind direction during the year and impact of transport that is moved on the southern dam with southern wind direction and on Revolucii street with northern one.

Additional monitoring stations in national net of measurements of Rosgidromet need to be settled to control air quality in valley of Danilikha river (Fig. 2 / Рис. 2). This place will be:

- near Chkalova motorway, at 90 m from apartment building on Cheluskincev st., 21 (Additional AQS #4);

- on the territory of cooperative gardens #142/7 at 75 m from apartment building on Tbilisskaya st., 19 (Additional AQS #5);

- near educational orphanage #85 on Muromskaya st., 32 (Additional AQS #6).

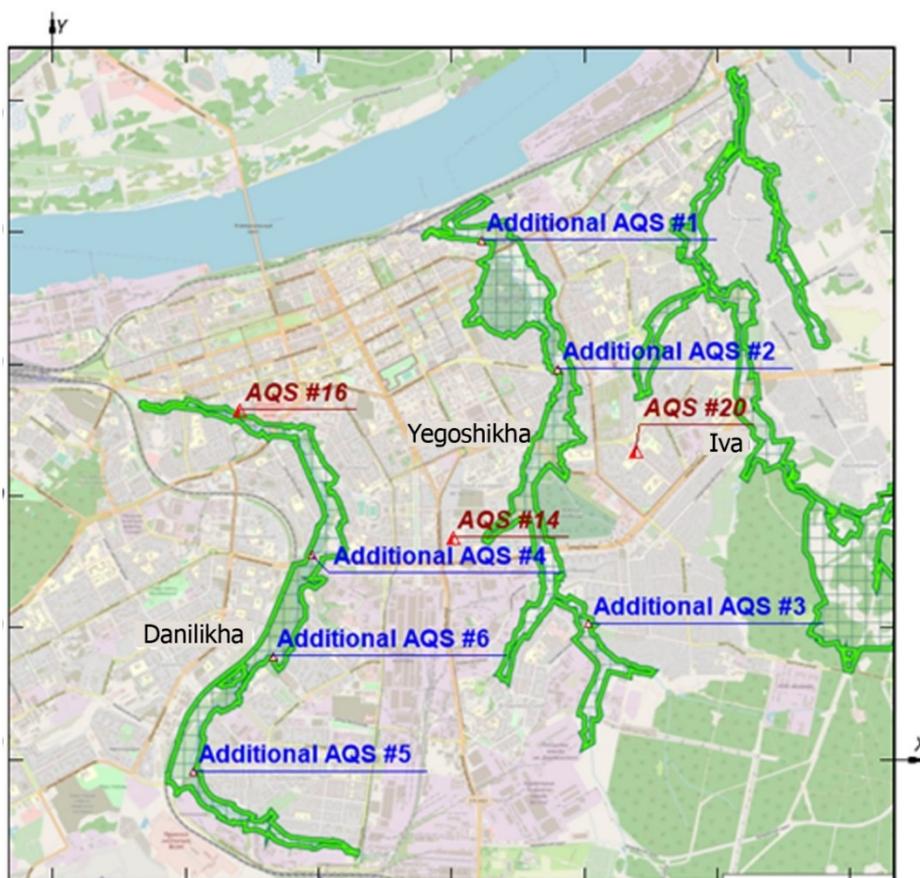


Fig. 2. Location of additional monitoring station

Рис. 2. Расположение дополнительной станции мониторинга

The list of priority measuring chemical substances includes ethylbenzene, hydrochloride and xylene. The exceedances of MPC of these substances were observed many times during the period of study and it reached 6 MPC. Measuring of concentration of particulate matter (PM10 and PM2.5) is needed too.

The prevailing wind direction in the valley of Danilikha is from south-west to north-east or from north-east to south-west. The pollutant transport from factories and plants of area “Yuzni” that is located further east, influences on level of air pollution in picked stations with south-westerly and north-easterly winds.

Emission of boilers and other sources of air pollution, which are located further west, influences of air quality in the valley of the Danilikha river with from north-westerly to south-westerly wind. As usual, air pollution with outlined wind directions will increase with low speed of wind and with raised inversion.

These air conditions are observed in winter part of the year or in summer part with anticyclonic weather pattern. But inversion is damaged and speed of wind increases in summer time at noon. In this case higher level of air pollution will be observed only in the night. The higher level of air pollution can be observed all over the day in the winter.

### Conclusion

1. Monitoring of air pollution in Perm is hold 4 times per day, 5 days per week on the stations that are included in the national net of measurements. There are measurements for 24 pollutants. The majority of measurements represents by measurements of highly hazardous and moderately hazardous pollutants (79.49%). Values of maximum one-time and mean daily concentrations of pollutants are measured.

2. The national net of measurements consists of 7 monitoring sites, which are located in six different areas of Perm close to main traffic routes and industrial hubs. This net is not representative.

3. The measured concentrations of formaldehyde and nitrogen dioxide exceed MPC all over the stations. The most significant and frequent exceedances of maximum one-time MPC was observed for ethylbenzene, hydroxybenzene and hydrochloride.

4. Exceedances of concentrations of formaldehyde, nitrogen dioxide and ethylbenzene report about significant percent of emission from burning of fossil fuel in cars and thermal power station. Exceedances of concentrations of hydroxybenzene report about negative impact of machine-building factories and plants.

5. Setting of additional stations of monitoring of air pollution and creating of dynamic model of emission of pollutants are needed for objective evaluation of air quality.

### References

1. About activity of Rosgidromet in 2019 and agenda of 2020 (Final report). Moscow. Ministry of natural resources and ecology of Russian Federation. 2020. Available from: [https://www.meteorf.ru/about/coordination/377/final/#DATE\\_FROM=01.01.2019&DATE\\_TO=31.12.2019&PAGEN\\_1=1&ID=377](https://www.meteorf.ru/about/coordination/377/final/#DATE_FROM=01.01.2019&DATE_TO=31.12.2019&PAGEN_1=1&ID=377) [Accessed 25th March 2021]
2. About quality and protection of environment in Russian Federation in 2019 (National report). Moscow. Ministry of natural resources and ecology of Russian Federation. 2020. Available from: <https://2019.ecology-gosdoklad.ru/> [Accessed 25th March 2021]
3. Bezyglyaya, E. and Smirnova, I., 2006. *Vozduh gorodov i ego izmeneniya* [Atmospheric air of cities and its changes]. Saint Petersburg, Asterion publ. 235 p. (in Russian)
4. Borodkina, T. and Varguzina, M., 2014. The main sources of air pollution in Voronezhskaya oblast. Territory of science. Vol. 1. pp. 110–118. Available from: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34053340> [Accessed 25th March 2021] (in Russian).
5. Davydova, I. and Gaponenko, A., The problem of air pollution in the cities. Sciences of Europe. 2017. Volume 14-2 (14). pp. 3–5. Available from: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34480539> [Accessed 25th March 2021] (in Russian).
6. Di Bernardino, A., Iannarelli, A., Casadio, S., Perrino, C., Barnaba, F., Tofful, L., Campanelli, M., Di Liberto, L., Mevi, G., Siani, A.M. and Cacciani, M., 2021 Impact of synoptic meteorological conditions on air quality in three different case studies in Rome, Italy. *Atmospheric Pollution Research*. 12. pp. 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.02.019>.
7. Dons, E., Laeremans, M., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., Brand, Ch., de Nazelle, A., Gaupp-Berhausen, M., Gotschi, T., Nieuwenhuijsen, M., Orjuela, J.P., Raser, E., Standaert, A., and Panis, L., 2018. Concern over health effects of air pollution is associated to NO<sub>2</sub> in seven European cities. *Air Quality, Atmosphere and Health*. (11). pp. 591–599. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0567-3>.
8. Egorova, O., Gogol, E., Shipilova, R. and Tunakova, U., 2013. Impact of mobile sources of air pollution. *Vestnik of Kazan National Research Technological University*. 16(19). pp. 71–74. (in Russian).
9. Guideline “Manual of Air pollution monitoring”. RD 52.04.186-89. Moscow. Gidrometeoizdat. 1991. Electronic database of legal documents and standards “Kodeks” Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> [Accessed 25th March 2021] (in Russian).
10. Grigoratov, T., Fontaras, G., Giechaskiel, B. and Zacharif, N., 2019. Real world emissions performance of heavy-duty Euro VI diesel vehicles. *Atmosphere Environment*. 201. pp. 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.042>
11. Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals. Electronic database of legal documents and standards “Kodeks”. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> [Accessed 25th March 2021] (in Russian)
12. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. International Agency for Research of Cancer. Available from: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/> [Accessed 25th March 2021]
13. Interstate standard. GOST 17.2.3.01-86 Nature protection. Atmosphere. Air quality control regulations for populated areas. Moscow: Standardinform. 2005. Electronic database of legal documents and standards “Kodeks”. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200012789> [Accessed 25th March 2021] (in Russian)
14. Kuzmina, R., Kozhakhina, A., Ivanova, U. and Livenczev, V., 2007. *Ohrana okruzhayushchej sredy v neftepererabotke* [Protection of environment during oil refining]. Saratov: Publishing house of Saratov University. 128 p. (in Russian).
15. National annual reports «About sanitary and epidemiological welfare of the population in Perm region in 2016-2022» Available from: <http://59.rospotrebнадzor.ru/319> [Accessed 30th March 2021] (in Russian).
16. Potylitsyna, E., Taseiko, O. and Sugak, E., 2015. Assessment of influence of air pollution produced by engineering enterprises on human health. *Vestnik SibGAU*. 16(4). pp. 958-968. (in Russian).
17. Quality of atmospheric air and human health: report of World Health Organization Available from: <https://www.who.int/airpollution/ru/> (Accessed 25th March 2021).
18. Quality of atmospheric air in Perm. Environment of Perm. Available from: <http://www.priroda-perm.ru/barometr/2015/04/02/2241> [Accessed 25th March 2021]
19. Quiros, C., Smith, J., Thiruvengadam, A., Huai, T. and Hu, S. 2017. Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport. *Atmospheric Air*. 168. pp. 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.066>
20. Kulakova, S., Mishlanova, Yu. Gatina, E., Harin, R. and Kolodkin, M. 2009. *Mikroklimaticheskoe obsledovanie doliny r. Daniliha* [Research of microclimate valley of Danilikha river]. Perm. 12 p.
21. Results of measurements that were hold in Dzerzhinsky area of Perm city according to a contract with local government. 2020.
22. Risk Assessment for Carcinogenic Effects. United States Environmental Protection Agency. Available from: <https://www.epa.gov/fera/risk-assessment-carcinogenic-effects> [Accessed 25th March 2021]
23. Sanitary rules and regulations SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and rules of safety and (or) harmlessness for human health of habitat factors. Authorized state law database. Available from: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) [Accessed 25th March 2021]
24. Schklyayev, V., Ermakova, L. and Shklyayeva, L., 2010. Research of microclimate of city for estimation of biometeorological factors of habitat territories. *Geographical bulletin*. 3(14). pp. 52–59. (in Russian).
25. Schklyayev, V. and Shklyayeva, S., 2008. Estimation of quality of national net of monitoring of air pollution

in Perm and its growth potential. *Geographical bulletin*. 2(8). pp. 196–205. (in Russian).

26. Shcherbatyuk, A., 2018. Optimization strategy of ecological safety management of the air environment of cities in conditions of intracontinental intermountane hollows. *Ecology of urbanizing territories*. 1. pp. 29–34. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2018-11029> (in Russian).

27. Steeneveld, G.-J., Klompmaker, J., Groen, R. and Holtslag, A., 2018. An urban climate assessment and management tool for combined heat and air quality judgements at neighbourhood scales. *Resources, Conversation and Recycling*. 132. pp. 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.002>

#### Список источников

1. О деятельности Росгидромета в 2019 году и задачах на 2020 год (Итоговый доклад) М. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2020. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.meteorf.ru/about/coordination/377/final/#DATE\\_FROM=01.01.2019&DATE\\_TO=31.12.2019&PAGEN\\_1=1&ID=377](https://www.meteorf.ru/about/coordination/377/final/#DATE_FROM=01.01.2019&DATE_TO=31.12.2019&PAGEN_1=1&ID=377) (дата обращения: 25.03.2021)

2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году (Государственный доклад). [Электронный ресурс]. URL: <https://2019.ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения: 25.03.2021)

3. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. СПб: «Астерион», 2006. 235 с.

4. Бородкина Т.А., Варгузина М.С., Основные источники загрязнения атмосферного воздуха в Воронежской области // Территория науки. 2014. №1. С. 110–118. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34053340> (дата обращения: 25.03.2021)

5. Давыдова И.С., Гапоненко А.В. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах // Sciences of Europe. 2017. №14 (14). С. 3–5. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34480539> (дата обращения: 25.03.2021)

6. Di Bernardino A., Iannarelli A., Casadio S., Perrino C., Barnaba F., Tofful L., Campanelli M., Di Liberto L., Mevi G., Siani A.M., Cacciani M. Impact of synoptic meteorological conditions on air quality in three different case studies in Rome, Italy // Atmospheric Pollution Research. 2021. Vol. 12. P. 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.02.019>

7. Dons E., Laeremans M., Anaya-Boig E., Avila-Palencia I., Brand Ch., de Nazelle A., Gaupp-Berhausen M., Gotschi T., Nieuwenhuijsen M., Orjuela J.P., Raser E., Standaert A., Panis L., Concern over health effects of air pollution is associated to NO2 in seven European cities // Air Quality, Atmosphere and Health. 2018. Iss. 11. P. 591–599. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0567-3>

8. Егорова О.С., Гоголь Э.В., Шитилова Р.Р., Тунакова Ю.А. Воздействие передвижных источников на качество атмосферного воздуха городов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 16 (19). С. 71–74

9. Руководящий документ Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Гидрометеоздат, 1991. [Электронный ресурс]. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 25.03.2021)

10. Grigoratos T., Fontaras G., Giechaskiel B., Zacharif N. Real world emissions performance of heavy-duty Euro VI diesel vehicles. *Atmosphere Environment*. 2019. Vol. 201. P. 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.042>

11. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов «Кодекс». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 30.03.2021)

12. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. International Agency for Research of Cancer. [Электронный ресурс]. URL: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/> (дата обращения: 25.03.2021)

13. Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. М. // Стандартиформ, 2005. 4 с.

14. Кузьмина Р.И., Кожихина А.В., Иванова Ю.В., Ливенцев П.В. Охрана окружающей среды в нефтепереработке. Саратов: Издательство Саратовского университета, 2007. 128 с.

15. Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2016–2020 годах. [Электронный ресурс] URL: <http://59.rosпотребнадзор.ru/319> (дата обращения: 30.03.2021)

16. Потылицына Е.Н., Тасейко О.В, Сугак Е.В. Оценка влияния загрязнения воздуха предприятиями машиностроения на здоровье населения // Вестник СибГАУ. Т.16. 2015. №4. С. 958–968

17. Quality of atmospheric air and human health: report of World Health Organization. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/policy-progress> (дата обращения: 25.03.2021)

18. Состояние атмосферного воздуха в городе Перми. Природа города Перми. [Электронный ресурс] URL: <http://www.prirodaperm.ru/barometr/2015/04/02/2241> (дата обращения: 25.03.2021)

19. Quiros, C., Smith, J., Thiruvengadam, A., Huai, T. and Hu, S. Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport. *Atmospheric Air*. 2017. Vol. 168. P. 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.066>

20. Кулакова С.А., Мишланова Ю.Л., Гатина Е.Л., Харин Р.В., Колодкин М.В. Микроклиматическое обследование долины р. Данилиха // Бюллетень долины малой реки Данилихи. Пермь, 2009. 12с.

21. Результаты инструментальных исследований, проводимых в Дзержинском районе г. Пермь (Отчет по результатам работ по муниципальному контракту). 2020.

22. Risk Assessment for Carcinogenic Effects. United States Environmental Protection Agency. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/fera/risk-assessment-carcinogenic-effects> (дата обращения: 25.03.2021)

23. СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Официальный портал правовой информации. [Электронный ресурс]. URL: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru) (дата обращения: 25.03.2021)

24. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории // Географический вестник. 2010. Т. 3. № 14. С. 52–59.

25. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Оценка качества сети наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в г. Перми и возможности ее совершенствования

ПГУ // Географический вестник. 2008. Т. 2. № 8. С. 196–205.

26. Щербатюк А.В. Стратегия оптимизации управления экологической безопасностью воздушной среды городов в условиях внутриконтинентальных межгорных котловин // Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. 2018. № 1. С. 29–34.

27. Steeneveld G-J., Klompaker J., Groen, R. and Holtslag A., An urban climate assessment and management tool for combined heat and air quality judgements at neighbourhood scales // Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 132. P. 204–217.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.002>

Статья поступила в редакцию 10.10.2023; одобрена после рецензирования 25.10.2023; принята к публикации 02.11.2023.

The article was submitted 10.10.2023; approved after reviewing 25.10.2023; accepted for publication 02.11.2023.

## РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

УДК 504.4.062.2

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-55-67>**Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы и эффективности их использования:  
обзор методологических подходов****Ирина Дмитриевна Рыбкина**

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

[Irina.rybkina@mail.ru](mailto:Irina.rybkina@mail.ru)

**Аннотация.** Антропогенная нагрузка как мера количественного измерения воздействий человека на водные ресурсы подлежит оценке в современных научных исследованиях. Актуальность подобного изучения связана с количественной ограниченностью и качественным преобразованием (загрязнением) водных объектов. Различают два основных методологических подхода – географический и гидрологический. Для первого характерен учет в большей степени косвенных воздействий на водные объекты, для второго – прямых и опосредованных (диффузный сток). Описаны виды воздействий, вносящие значительный вклад в трансформацию природных водных объектов (руслевое регулирование, орошаемое земледелие, перебошки стока, промышленно-коммунальное и сельскохозяйственное водоснабжение, осушение болот и заболоченных земель, вырубки и посадки леса, урбанизация и др.). Обсуждены особенности использования и достоверность применяемых показателей в оценках антропогенной нагрузки. Обобщены имеющиеся сведения и исходная информация для оценки эффективности водопользования.

**Ключевые слова:** прямые и косвенные воздействия, водоемкость, изъятие водных ресурсов, кратность разбавления сточных вод.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВЭП СО РАН №0306-2021-0002, а также при финансовой поддержке гранта РФФИ №21-55-75002 «Разработка рекомендаций в целях устойчивого совместного использования почв и грунтовых (подземных) вод: принятие решений при поддержке и участии заинтересованных сторон».

**Для цитирования:** Рыбкина И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы и эффективности их использования: обзор методологических подходов // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 2. С. 55–67. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-55-67>

## SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-55-67>**Assessment of anthropogenic pressure on water resources and efficiency of their use:  
review of methodological approaches****Irina D. Rybkina**

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

[Irina.rybkina@mail.ru](mailto:Irina.rybkina@mail.ru)

**Abstract.** Anthropogenic pressure as a measure of quantitative measurement of human impacts on water resources is subject to evaluation in modern scientific research. The relevance of such a study is related to the quantitative limitation and qualitative transformation (pollution) of water bodies. There are two main methodological approaches - geographical and hydrological. The first one is characterized by taking into account to a greater extent indirect impacts on water bodies, the second one - direct and indirect (diffuse runoff). Types of impacts that make a significant contribution to the transformation of natural water bodies (channel regulation, irrigated farming, flow diversions, industrial, municipal and agricultural water supply, drainage of marshes and wetlands, forest cutting and planting, urbanization, etc.) are described. The peculiarities of use and reliability of the applied indicators in assessments of anthropogenic load are discussed. Available data and initial information for water use efficiency assessment are summarized.

**Key words:** direct and indirect impacts, water intensity, water resources withdrawal, wastewater dilution rate.

**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of the IWEP SB RAS budget project No. 0306-2021-0002, as well as with the financial support of the RFBR grant No. 21-55-75002 «Stakeholder-supported decision making for sustainable conjunctive management of soil and groundwater».

**For citation:** Rybkina, I., 2023. Assessment of anthropogenic pressure on water resources and efficiency of their use: review of methodological approaches // *Anthropogenic transformation of the natural environment*. 9(2). pp. 55–67. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-55-67> (in Russian)

В современных научных исследованиях оценка водных ресурсов только на учете природных факторов их формирования, без изучения антропогенной составляющей невозможна. Антропогенное изменение речного стока, антропогенный фактор формирования водных ресурсов, антропогенная нагрузка на водные объекты, диффузный (рассредоточенный) сток стали неотъемлемой частью водно-ресурсных оценок.

При этом следует отметить различие подходов в оценках антропогенных нагрузок на водные ресурсы и эффективности их использования в географии и гидрологии. Данная тематика глубоко нами проработана при подготовке диссертационного исследования «Водоресурсное обеспечение долгосрочного регионального развития Западной Сибири (на примере Обь-Иртышского бассейна)» [72], а также в рамках выполнения гранта РФФИ №21-55-75002 «Разработка рекомендаций в целях устойчивого совместного использования почв и грунтовых (подземных) вод: принятие решений при поддержке и участии заинтересованных сторон».

Анализ опубликованных литературных источников [11, 58, 66] показывает, что антропогенная нагрузка или воздействие рассматривается как изъятие природного вещества человеком с последующим его изменением и трансформацией в процессе осуществления экономической деятельности, а также поступление измененного или трансформированного вещества (например, в виде сточных вод) в природу.

В географии под нагрузкой в самом широком понимании подразумевают количественную меру воздействия человека и его экономической деятельности на ландшафты и компоненты окружающей среды. Негативными последствиями антропогенных воздействий являются загрязнение, ухудшение или потеря качества окружающей среды, переход в качественно иное состояние природной системы и ее отдельных компонентов. Николай Федорович Реймерс [66] под антропогенной нагрузкой понимает степень прямого и косвенного воздействия людей и их хозяйства на природу в целом или на ее отдельные экологические компоненты и элементы. Прямое – непосредственное воздействие, не всегда планируемое изменение природы человеком в ходе реализации его хозяйственной деятельности (рис. 1 / fig. 1). Опосредованным воздействием принято считать непреднамеренное изменение природы в результате цепных реакций или вторичных явлений, связанных с экологией и хозяйственными мероприятиями.

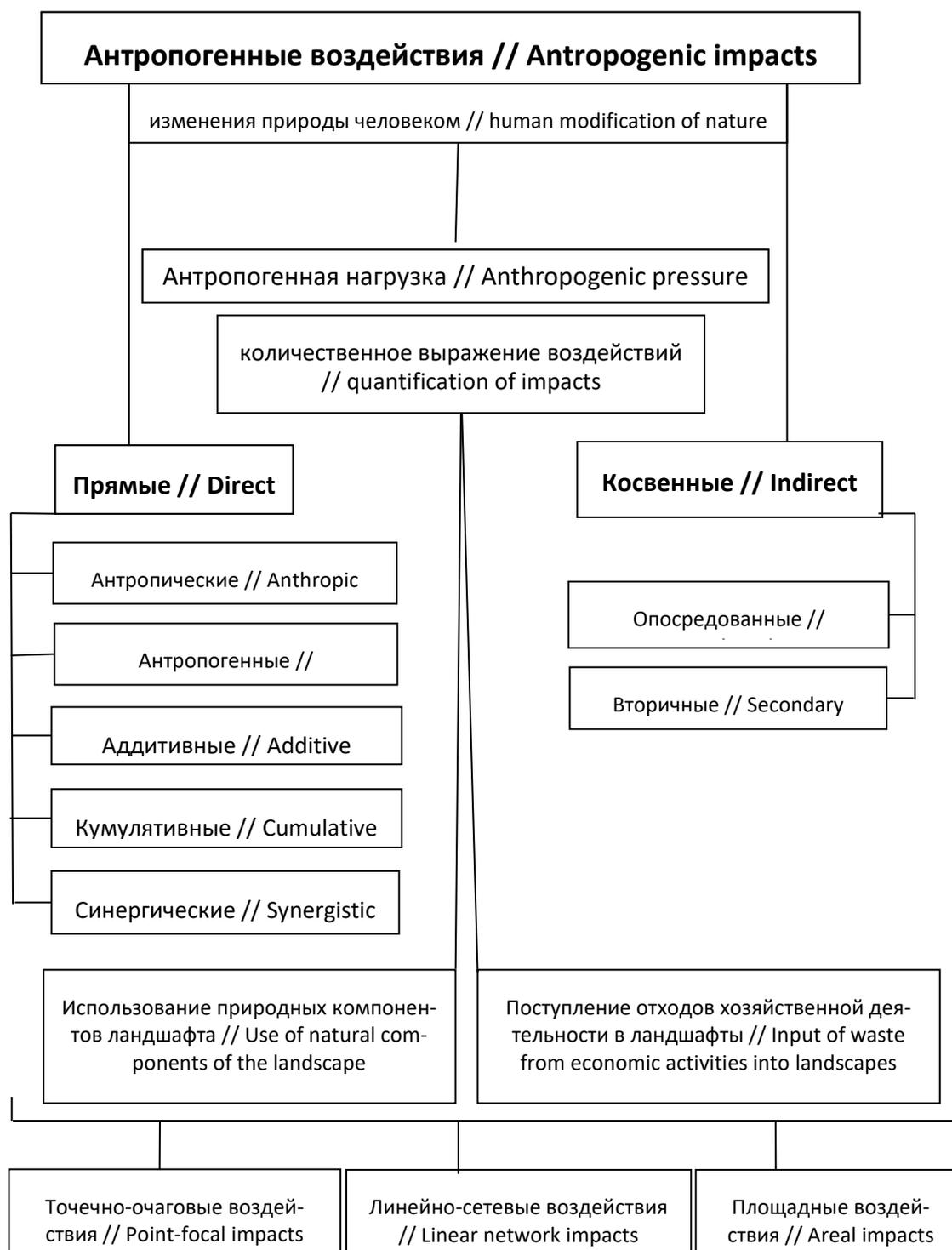
По Ю.А. Израэлю [29], хозяйственная нагрузка – это весьма разнообразный комплекс антропогенных факторов, влияющих на состояние биосферы и здоро-

вье населения. А.Н. Тетиор [84] антропогенные воздействия делит на загрязнения (внесение в среду нехарактерных для нее новых физических, химических или биологических агентов или превышение имеющегося естественного уровня (фона) этих агентов), технические преобразования и разрушение природных систем в процессе экономической деятельности, истощение природных ресурсов, глобальные климатические изменения, эстетические воздействия и др.

Используя термины «нагрузка» и «воздействие» как синонимы, и имея в виду, что между ними есть и тесная взаимосвязь, и некоторые различия, Н.В. Сорокинова [78] приводит следующие трактовки. В понимании автора воздействие человека ассоциируется с антропогенной деятельностью и представляет собой совокупность факторов, вызывающих негативные изменения в природных компонентах ландшафта, включая в себя: использование природных компонентов ландшафта (изъятие, трансформацию и нарушение земель в процессе хозяйственной деятельности, добычу полезных ископаемых, использование вод и т.д.), поступление отходов потребления и производства в ландшафты (выбросы вредных веществ в воздух промышленными, коммунально-бытовыми, сельскохозяйственными предприятиями и транспортом; сбросы сточных вод в водоемы, твердые отходы от различных источников и т.п.).

Следует различать воздействия: точечно-очаговые (таковы воздействия промышленности и поселений), линейно-сетевые (транспорта), площадные (сельского хозяйства). Они могут быть также длительные и кратковременные, непрерывные и импульсные, сезонные и круглогодичные [58]. При этом в качестве предмета оценки воздействий программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера» и выполненные под ее эгидой исследования предлагают рассматривать экономические, экологические и социальные последствия [53].

Антропогенную нагрузку связывает с трансформацией ландшафта А.Г. Исаченко [32], предлагая использовать такие показатели, как плотность городского и сельского населения, распаханность территории и животноводческую нагрузку или количество голов на единицу площади изучаемого ландшафта. Плотность городского населения автор считает индикатором очаговых нагрузок, создаваемых промышленным производством и урбанизацией, а плотность сельского населения и распаханность, по мнению ученого, наиболее репрезентативны в случае региональной оценки фоновых сельскохозяйственных нагрузок и степени трансформации природных систем.



**Рис. 1. Виды антропогенных воздействий [68]**  
**Fig. 1. Types of anthropogenic impacts**

Отметим, что показатель плотности населения широко используется в современных исследованиях именно как индикатор нагрузок и экологического состояния территорий, то есть как экологический критерий [2, 3, 9, 31, 37, 54]. Правда, в этих случаях авторы часто к показателю плотности населения также добавляют и другие характеристики антропогенного влияния на природу: плотность выбросов вредных веществ в атмосферу [32], плотность промышленного производства [57], площадь земель по видам и степени хозяйственной

освоенности [38], плотность автомобильных дорог и транспорта [77]. Общим для показателей этой группы является то, что они используются в региональных оценках воздействий человека на ландшафты.

В приложении к водным объектам эти величины могут быть применены только как показатели косвенных видов воздействий [69, 70, 82, 83], например, в пределах водосборных бассейнов рек, поскольку именно водосборная территория во многом определяет не только количество, но и качество речных вод.

Прямые воздействия, т.е. непосредственные изъятия водного ресурса и сброс сточных вод в водные объекты, наиболее часто используются для оценки нагрузок в гидрологических исследованиях. Учитывать антропогенные изменения речного стока стало возможным после введения в действие системы государственного учета использования водных ресурсов. Как отмечает Игорь Алексеевич Шикломанов с коллегами [88, 10], система учета начала свою работу в 1950-1960-х гг., с этого момента накоплены значительные массивы данных об антропогенных изменениях стока крупных речных систем и других параметрах воздействия.

В пределах речных водосборов, расположенных в наиболее освоенных в хозяйственном отношении регионов, на речной сток обычно влияют одновременно множество антропогенных факторов, основными из которых, с точки зрения воздействия на количественные изменения стока рек, являются: русловое регулирование, орошаемое земледелие, переброски и транспортировка речных вод, промышленно-коммунальное и сельскохозяйственное водоснабжение, осушение болот и заболоченных земель, вырубки и посадки леса, агролесомелиоративные мероприятия, урбанизация, обвалование, углубление и выпрямление русел, выемка грунта и др. Масштабы воздействия указанных факторов на гидрологические характеристики и качество вод определяются основными показателями водопотребления (объемом водозабора, безвозвратным изъятием, объемом сброса или водоотведения) по отношению к естественному стоку реки или объему возобновляемых водных ресурсов. В зависимости от указанных соотношений эти факторы хозяйственной деятельности могут оказывать заметное влияние, особенно на малые и средние, а иногда и большие реки, при этом условия формирования стока на водосборе практически не изменяются, а характеристики сброса или водоотведения являются важными в оценке загрязнения и изменения качества природных вод [10]. В разные годы изучением этой группы факторов занимались разные ученые [14, 17, 34, 64, 76, 91, 93]. В последние годы выполнены исследования, позволяющие провести сравнение уровней изъятия водных ресурсов в России и за рубежом [19, 35, 89], региональные оценки водопотребления и состояния водных ресурсов [4, 21, 82], фоновых и целевых гидрохимических показателей качества природных вод [5, 73], долговременных изменений стока крупнейших рек РФ [12], в том числе в результате антропогенных воздействий [36], а также оценки кратности разбавления сточных вод естественным речным стоком [75, 81].

Антропогенная трансформация гидрологического режима, качественного состояния природных вод, объемов суммарных водных ресурсов речного бассейна может быть вызвана созданием и эксплуатацией водохранилищ. Воздействие это, обычно тем больше, чем больше отношение объема водохранилища к общему стоку реки и чем значительнее суммарная дополнительная площадь водного зеркала водохранилищ [10]. Это еще один параметр, который может использоваться для оценки антропогенного изменения речного бассейна. Создание большого количества прудов обычно оказывает заметное влияние на сток малых и средних

рек. Самыми известными обобщениями по этой тематике в нашей стране являются работы С.Л. Вендрова [8], А.Б. Авакяна с соавторами [1], К.К. Эдельштейна [94, 95], Ю.М. Матарзина [49]. В региональном разрезе различные аспекты этой научной проблемы на примере регионов Сибири представлены в работах Л.К. Малик [46, 47], О.Ф. Васильева с соавторами [6, 7], В.М. Савкина [74], Т.С. Папиной [59], В.В. Мешкова и С.В. Макарычева [51], А.Т. Зиновьева [27] и других, а также в коллективных монографиях (например, [52]).

Оценка антропогенных нагрузок на водные ресурсы регионов часто имеет целевую направленность и различается в зависимости от вида экономической деятельности. Так, лесозаготовка изменяет компоненты водного баланса малых и средних рек, гидрологический режим и качество вод [10]; степень воздействия определяется типом и возрастом леса [13, 43, 65], сказывается на протяжении десятков лет и зависит от почвенно-климатических условий [16, 30, 62, 63]. Мелиорация как вид экономической деятельности тоже оказывает влияние на водные ресурсы путем осушения или обводнения территорий, о чем опубликованы работы общего плана [28, 33, 56, 67, 87] и в региональном приложении на отдельных примерах [15, 42, 48, 55, 85]. Горнорудные разработки, понижающие уровни грунтовых вод на больших территориях, влияют на все характеристики режима водных объектов, испарение и суммарный годовой сток; изменяют количественные и качественные показатели речного стока за счет сбросов в реки шахтных вод, а также в результате эрозии и размывов при горных выработках; особенно значительны воздействия на малые и средние водотоки [10], некоторые из них перестают существовать и исчезают с карты. Остро стоит проблема водоотведения шахтных вод угольных разрезов, что увеличивает сток малых рек и значительно ухудшает качество речной воды. На примере речных бассейнов Сибири эта проблема также получила количественную оценку [61, 80, 81, 86].

Важное место среди факторов формирования речного стока занимает урбанизация, которая изменяет все характеристики водного баланса территории, качество вод, наиболее заметно для малых рек, менее значимо – для средних и крупных рек [10]. Эти и другие последствия урбанизации показаны в работах известных гидрологов [22, 39, 40, 45, 79] и молодых ученых-исследователей [50]. Актуальность гидрологических исследований в последние десятилетия связана также с оценкой геохимической нагрузки на водные объекты [41, 73] и климатическими изменениями [90, 92, 98]. Благодаря формированию банка исходной информации возможным становится решение задач детализации таких оценок и прогноза, изменения и корректировки антропогенных воздействий [97]. Подобные работы выполняются в целях интегрированного управления водными ресурсами в странах Западной Европы [99], для которых регулярная сетка гидрологических наблюдений имеет шаг 1 км × 1 км. Многочисленные исследования по данной тематике в международном научном сообществе не позволяют привести их полный перечень. Между тем, анализ этих источников показывает, что современный кризис использования водных ресур-

сов – это кризис именно управления водными ресурсами [100]. Проблемы управления водными ресурсами тесно связаны не только с оценками антропогенных нагрузок, но и с исследованиями территориальной организации водопользования, проблемами функционирования водохозяйственных систем, эффективности использования водных ресурсов [71].

Что касается, вопросов эффективного и бережливого отношения к водным ресурсам, политики ресурсосбережения, то им в России уделяется пристальное внимание, как на федеральном, так и на региональном уровнях. Особенно актуальны проблемы ресурсосбережения в контексте обеспечения инновационного развития страны. Задачи по достижению эффективного и рационального использования водных ресурсов поставлены Правительством Российской Федерации в Водной стратегии России и Федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 гг.», других стратегических и программных документах.

Государственное статистическое наблюдение в России ведется по следующим группам водохозяйственных показателей: забор воды из поверхностных и подземных водных источников ( $\text{км}^3$ ); использование воды на хозяйственно-питьевые, производственные, сельскохозяйственные, ирригационные нужды, в целях рыбоводства ( $\text{км}^3$ ) и др.; объемы переданной воды в результате переброски из одной речной системы в другую ( $\text{км}^3$ ); потери воды при транспортировке ( $\text{км}^3$ ); объемы сброса сточных вод по категориям очистки ( $\text{км}^3$ ). Статистическая обработка данных производится ежегодно. Ознакомиться с показателями можно в открытых интернет-источниках [26]. Собирает и обрабатывает всю информацию Федеральное агентство водных ресурсов и его территориальные органы (бассейновые водные управления (БВУ)).

Эффективность использования водных ресурсов чаще всего можно определить через объемы оборотного и повторно-последовательного водоснабжения ( $\text{км}^3$ ) и водоемкость валового внутреннего продукта ( $\text{м}^3/\text{тыс. руб.}$ ). В последние годы для сравнения России с другими странами мира применяется показатель водоемкости валового внутреннего продукта (ВВП) ( $\text{м}^3/\text{тыс. руб.}$ ), рассчитанный по паритету покупательной способности (ППС) валют [20]. ППС – статистическая категория, выступающая инструментом обеспечения международной сравнимости таких макроэкономических показателей, как валовой национальный продукт (ВНП) или валовой внутренний продукт (ВВП). ППС представляет собой коэффициенты, характеризующие соотношение между ценами сравниваемых стран, они позволяют проводить корректные межстрановые сопоставления общего объема ВВП, исчисленного методом конечного использования, и его основных составляющих. Например, возможно использование расчетов ВВП по ППС, проведенные Организацией стран экономического сотрудничества и развития, Всемирным валютным фондом или Всемирным банком.

Различия в эффективности использования водных ресурсов субъектов РФ наглядно демонстрирует показатель водоемкости валового регионального продукта

(ВРП) (такую информацию представляет, например, научно-информационное агентство «Природа»). Отметим, что водоемкость характеризуется удельной (например, на единицу продукции) величиной использования водных ресурсов, единицами измерения которой выступают следующие размерности –  $\text{м}^3/\text{т}$ ,  $\text{м}^3/\text{шт.}$ ,  $\text{м}^3/\text{тыс. руб.}$ . Показатель введен еще в 1970–1980 гг. советскими учеными [44, 60].

При оценке эффективности использования водных ресурсов первостепенное значение бесспорно имеют характеристики водопотребления на производственные и сельскохозяйственные цели (особенно таких водоемких отраслей экономики, как электроэнергетика или мелиорация) [19]. Кроме этого, важное значение имеют так называемые «неводные» показатели, определяющие степень модернизации экономики, уровень развития инженерно-производственной инфраструктуры, в том числе и водохозяйственной обустроенности территорий: доля используемых оборотных вод в промышленности и ЖКХ, потери воды при транспортировке, износ водопроводных сетей, охват жилых домов приборами учета воды, обеспеченность населения и охват населенных пунктов водой питьевого качества. Эти и другие показатели предоставляются территориальными органами Росводресурсов, Роспотребнадзора и других федеральных ведомств и агентств РФ [71].

Согласно международной статистике ООН – Aquastat FAO [96], в целях оценки современного состояния и эффективности использования водных ресурсов рекомендуется использовать такие общие показатели оценки водно-ресурсного потенциала стран, как среднеголетние ресурсы поверхностных вод, ресурсы подземных вод ( $\text{км}^3$ ); суммарная емкость водохранилищ, отнесенная к среднему значению ресурсов местного поверхностного стока в стране (%); доля или коэффициент изъятия возобновляемых водных ресурсов (water stress, %); использование водных ресурсов на различные нужды – сельскохозяйственные, жилищно-коммунальные, промышленные (% от общего объема используемых вод); рост численности населения и изменение величины общих возобновляемых водных ресурсов в расчете на одного жителя или удельная водообеспеченность на человека ( $\text{м}^3/\text{чел.}$ ); доля населения, обеспеченного водой питьевого качества и услугами централизованного водоснабжения (%).

В зарубежной научной литературе применяются и другие оценочные показатели эффективного использования водных ресурсов: водоемкость в сельском хозяйстве ( $\text{м}^3/\text{долл.}$ ); водоемкость в промышленности ( $\text{м}^3/\text{долл.}$ ); доля оборотного и повторно-последовательного использования водных ресурсов в общей структуре водопотребления (%); доля «голубой» (испарившейся с поверхности искусственного водоема в процессе производства), «зеленой» (дождевой, снеговой, испарившейся с листьев растений), «серой» (использованной ранее на другие цели и очищенной воды для повторного применения) и «виртуальной» (поглощенной в промышленных товарах и продуктах питания) воды (%). Есть понятие «водного следа» (*Water Foot Print*).

Отдельной темой для обсуждения является достоверность статистических данных, публикуемых различными организациями. Так, А.Д. Думнов [23, 24, 25]

отмечает, что, как правило, материалы Института мировых ресурсов надежны, и приводит публикацию их результатов международных статистических сравнений для десяти стран мира с наибольшим водозабором. В то же время А.П. Демин в своей докторской диссертации и ряде других публикаций (например, [18, 20]), упоминая Институт мировых ресурсов в контексте расчета показателя современной водоемкости стран мира, советует к этим данным относиться с большой осторожностью. Более надежными и современными он считает данные по водопользованию Евростата, где дается разбивка объемов изымаемых водных ресурсов, как по источникам водоснабжения, так и по секторам экономики.

Также надежны данные Организации стран экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), большинство из которых составляют информацию по странам Европы, данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), охватывающие большинство стран мира, и Статистического комитета СНГ.

Вместе с тем, значительную трудность составляет сопоставимость данных по использованию водных ресурсов стран мира. Причины этого – организационно-методологические различия учета использования воды в каждой стране. Общеизвестные международные стандарты и методы статистических сравнений до настоящего времени не выработаны. Например, в США организацией статистики использования воды занимается Геологическая служба, которая в отличие от российской и европейской статистик предоставляет данные обобщения не годовые, а пятилетние.

Ряды данных большинства стран мира в значительной степени уступают многолетнему статистическому наблюдению в РФ. Отечественная учетно-отчетная система по использованию водных ресурсов, ведомственная статистика, созданная в 1970–1980-е гг. – крупное достижение не только нашей, но и мировой статистической теории и практики [20]. Поэтому в число возможных для сравнения характеристик по странам мира чаще всего попадает ограниченное количество показателей, доступных для целей анализа и оценки эффективности использования водных ресурсов.

### Заключение

Использование термина «антропогенная нагрузка» подразумевает последовательную количественную оценку триады «воздействие – изменение – последствия». При этом воздействие всегда связано с одним из видов экономической деятельности человека, а также удовлетворением потребностей в тех или иных природных ресурсах. Изменение происходит в экосистемах и характеризуется количественной оценкой состояний природных компонентов. Последствия антропогенных воздействий могут иметь социальные, экономические или экологические аспекты, которые в свою очередь также могут быть количественно оценены.

Представленный сравнительный анализ методологических подходов к оценке антропогенных нагрузок на водные объекты позволяет выделить особенности проводимых научных исследований в области географии и гидрологии. Различают прямые и косвенные воздействия на водные ресурсы изучаемых регионов, изу-

чение и оценка которых чаще всего соответствует гидрологическим и географическим методам исследований. При этом для оценки используется большое множество показателей – от социально-экономических и ландшафтных характеристик до гидрологических и водоресурсных величин. В каждом отдельном случае набор параметров зависит от фактора антропогенных воздействий и специфики проявления основного процесса в окружающей среде.

Степень трансформации водных объектов определяется уровнем и интенсивностью антропогенных воздействий, которые подлежат количественной оценке через призму водохозяйственных показателей. Среди них те, что применяются в российской и международной статистической практике: количество забранных вод, целевые виды использования и доли изъятия водных ресурсов, объемы сброса сточных вод по категориям очистки, оборотное и повторно-последовательное водоснабжение, удельное водопотребление, водоемкость произведенной продукции и другие.

Накопленный значительный массив данных об использовании и управлении водными ресурсами способствует детализации оценок антропогенных нагрузок и эффективности использования водных ресурсов.

### Список источников

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шаранов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
2. Алаев Э.Б. Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 350 с.
3. Антипова А.В. Географическое изучение использования территории при выявлении и прогнозировании экологических проблем // География и природные ресурсы. 1994. № 3. С. 26–32.
4. Безруков Л.А., Гагаринова О.В., Кичигина Н.В., Корытный Л.М., Фомина Р.А. Водные ресурсы Сибири: состояние, проблемы и возможности использования // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 30–41.
5. Беляев С.Д., Михайлова Т.И., Одинцева Г.Я., Чайкина Т.И. Установление приоритетов водоохранной деятельности в бассейне реки на основе целевых показателей качества (на примере бассейна реки Оби) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 2. С. 6–25.
6. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Дзуреченская С.Я., Попов П.А. Водохозяйственные и экологические проблемы Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 5. С. 581–589.
7. Васильев О.Ф., Сухенко С.А., Атавин А.А. и др. Экологические аспекты проекта Катунской ГЭС, обусловленные наличием ртути в природной среде Горного Алтая // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 107–122.
8. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речных систем. Ленинград: Гидрометеозидат, 1979. 207 с.
9. Владимиров В.В., Мукулина Е.М., Яргина З.Н. Город и ландшафт: проблемы, конструктивные задачи и решения. М.: Мысль, 1986. 238 с.
10. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. Санкт-Петербург: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.

11. Ретеюм А.Ю. Вторжение в природную среду: оценка воздействия (основные положения и методы). М.: Прогресс, 1983. 190 с.
12. Георгиади А.Г., Кацутина Е.А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 5. С. 70–81.
13. Гидрологическая роль лесных геосистем / под ред. В.А. Снытко. Новосибирск: Наука, 1989. 167 с.
14. Григорьев Е.Г. Водные ресурсы России: проблемы и методы государственного регулирования. М.: Научный мир, 2007. 240 с.
15. Губарев М.С., Магаева Л.А., Рыбкина И.Д., Шарбарина С.Н. Инвентаризация состояния осушительных каналов Барабы // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 4. С. 10–12.
16. Данилик В.Н. Влияние техники и технологии лесозаготовок на водно-физическую роль леса // Лесное хозяйство. 1979. № 1. С. 24–25.
17. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
18. Демин А.П. Изменение водоемкости экономики России // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 739–751.
19. Демин А.П. Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки: Автореф. ... дис. докт. геогр. наук: 25.00.27. М., 2011. 52 с.
20. Демин А.П. Современная водоемкость экономик стран мира // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 5. С. 71–81.
21. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И., Киреева М.Б., Игонина М.И. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод европейской части России // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 6. С. 571–589.
22. Доброумов Б.М., Устюжанин Б.С. Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 220 с.
23. Думнов А.Д. Водоемкость экономики России и других стран: какова же реальность? // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2009. № 3. С. 11–13.
24. Думнов А.Д. Международные сопоставления водопользования: некоторые итоги // Природно-ресурсные ведомости. 2011. № 5. С. 4.
25. Думнов А.Д. Сравнение водопользования в Российской Федерации и США. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.priroda.ru/reviews/detail.php?ID=6608> (дата обращения: 22.09.2023).
26. ЕМИСС: Единая межведомственная информационно-статистическая система. [Электронный ресурс]. <https://fedstat.ru/> (дата обращения: 22.09.2023).
27. Зиновьев А.Т. Математическое моделирование гидрологических процессов в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС на реках Сибири: диссертация ... докт. техн. наук. Барнаул, 2014. 331 с.
28. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
29. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
30. Исаев В.И. Поверхностный и внутрипочвенный сток на вырубках темнохвойных лесов Среднего Урала // Лесоведение. 1970. № 1. С. 69–74.
31. Исаченко А.Г. Ландшафтная структура Земли, расселение, природопользование. Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. 320 с.
32. Исаченко А.Г. Экологическая география России. СПб: Издательский дом СПбГУ, 2001. 328 с.
33. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 376 с.
34. Королев А.А., Розенберг Г.С., Гелашивили Д.Б., Панютин А.А., Иудин Д.А. Экологическое зонирование территории Волжского бассейна по степени нагрузки сточными водами на основе бассейнового принципа (на примере Верхней Волги) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2007. № 1. Т. 9. С. 265–269.
35. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикина Т.С., Зайцева И.С. Россия на водохозяйственной карте мира // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 1. С. 7–18.
36. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 1. С. 3–14.
37. Кочуров Б.И. Развитие геоэкологических терминов и понятий // Проблемы региональной экологии. 2000. № 3. С. 5–8.
38. Кочуров Б.И., Иванов Ю.Г. Оценка эколого-хозяйственного состояния территории административного района // География и природные ресурсы. 1987. № 4. С. 49–54.
39. Куприянов В.В. Гидрологические аспекты урбанизации. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 180 с.
40. Куприянов В.В. Урбанизация и проблемы гидрологии // Гидрологические аспекты урбанизации. 1978. С. 5–15.
41. Ладога / под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2013. 468 с.
42. Лана В.И., Кучеев А.М. Освоение Барабинской низменности: итоги работ за столетие // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. № 3. С. 5–10.
43. Лебедев Ю.В., Неклюдов И.А. Оценка водно-охранно-водорегулирующей роли лесов. Екатеринбург: УГЛУ, 2012. 35 с.
44. Левин А.П. Водный фактор в размещении промышленности производства. М.: Стройиздат, 1973. 167 с.
45. Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 256 с.
46. Малик Л.К. Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке. М.: Наука, 1990. 315 с.
47. Малик Л.К. Гидрологические проблемы преобразования природы Западной Сибири. М.: Наука, 1978. 179 с.
48. Маслов Б.С. Комплексная мелиорация Барабинской низменности и ее научное сопровождение // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 6. С. 11–16.
49. Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2003. 296 с.

50. Мельник К.С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы: автореф. ... канд. геогр. наук 25.00.27. М., 2015. 25 с.
51. Мешков В.В., Макарычев С.В. Гилевское водохранилище и его роль в обводнении поймы р. Алей. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. 131 с.
52. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / под ред. В.М. Савкина, О.Ф. Васильева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 393 с.
53. Мухина Л.И., Рунова Т.Г. Система показателей для изучения и оценки воздействий человека на природу // Изучение и оценка воздействия человека на природу. 1980. С. 7–16.
54. Неверов А.В. Экономика природопользования. М.: Высш. шк., 1990. 216 с.
55. Новиков С.М., Гончарова Ж.С. Влияние осушительных мелиораций на водный режим болот, сельскохозяйственных полей и речных бассейнов в Нечерноземной зоне. Обзорная информация. Обнинск: ВНИИ-ГМИ-МЦД, 1984. 49 с.
56. Новиков С.М., Гончарова Ж.С. Прогноз изменений водных ресурсов крупных рек СССР под влиянием осушительных мероприятий // Труды ГГИ. 1978. Вып. 255. С. 54–68.
57. Одессер С.В. Территориальная дифференциация в экономико-географических типологиях // Известия АН СССР. Серия географическая. 1991. № 6. С. 61–69.
58. Оценка влияния хозяйства на природу. Воздействие – изменение – последствия / под ред. В.С. Преображенского, В. Ворачек. Т. 1. Брно, 1985.
59. Папина Т.С. Эколого-аналитическое исследование распределения тяжелых металлов в водных экосистемах бассейна р. Оби: дисс. ... докт. хим. наук. Москва, 2004. 259 с.
60. Паписов В.К. Водоемкость народного хозяйства (промышленность). М.: Наука, 1989. 103 с.
61. Парамонов Е.Г., Рыбкина И.Д. Стабилизация водоносности реки Алей лесными насаждениями // Сибирский лесной журнал. 2016. № 3. С. 57–66.
62. Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2013. 208 с.
63. Побединский А.В., Кречмер В.В. Функции лесов в охране вод и почв. Прага: Государственное земледельческое издательство, 1984. 252 с.
64. Раткович Д.Я. Актуальные вопросы водообеспечения. М.: Наука, 2003. 342 с.
65. Рахманов В.В. Гидрологическая роль леса. М.: Лесная промышленность, 1984. 240 с.
66. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь – справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
67. Романов В.В. Гидрофизика болот. Ленинград: Гидрометеиздат, 1961. 360 с.
68. Рыбкина И.Д. Оценка экологической опасности в системах расселения Алтайского края: диссертация ... канд. геогр. наук: 25.00.36. Барнаул, 2005. 229 с.
69. Рыбкина И.Д., Стоянцева Н.В. Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию Верхней и Средней Оби // Мир науки, культуры и образования. 2010. № 6 (25). Ч. 2. С. 295–299.
70. Рыбкина И.Д., Стоянцева Н.В., Курепина Н.Ю. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 4. С. 42–52.
71. Рыбкина И.Д. Сопоставительный анализ эффективности использования водных ресурсов в регионах Западной Сибири в сравнении с общероссийским и западноевропейским уровнями // Водное хозяйство России. 2015. №3. С. 80–88.
72. Рыбкина И.Д. Водоресурсное обеспечение долгосрочного регионального развития Западной Сибири (на примере Обь-Иртышского бассейна): дис. ... докт. геогр. наук: 25.00.36. Барнаул, 2020. 229 с.
73. Савичев О.Г. Методология оценки фактического и допустимого влияния хозяйственной деятельности на химический состав и качество пресных природных вод // Фундаментальные исследования. 2013. № 8. С. 704–708.
74. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). Новосибирск: Изд-во «Наука», 2000. 152 с.
75. Селезнев В.А., Беспалова К.В. Экологические критерии нормирования сброса загрязняющих веществ в водные объекты // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2015. № 1(23). С. 130–136.
76. Селезнева А.В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2003. № 2. Т. 5. С. 268–277.
77. Скрипко В.В., Пестерева Н.Н. Современная территориальная структура природопользования Заринского муниципального района (Алтайский край) // География и природопользование Сибири. 2010. №12. С. 139–154.
78. Сороковикова Н.В. Экологическое нормирование хозяйственной нагрузки на ландшафты // Биогеохимические основы экологического нормирования / под ред. В.Н. Башкина, Е.В. Евстафьевой, В.В. Снакина. М.: Наука, 1993. С. 269–274.
79. Стефенсон Д. Гидрология и дренаж ливневых вод. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 261 с.
80. Стоянцева Н.В. Лесные насаждения как фактор устойчивости речного стока в бассейне реки Алей // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. № 1(3). С. 897–900.
81. Стоянцева Н.В. Проблема загрязнения малых рек Кузбасса сточными водами промышленных предприятий // Вестник КемГУ. 2015. № 4(64). Т. 3. С. 156–163.
82. Стоянцева Н.В., Рыбкина И.Д. Водные ресурсы Обь-Иртышского бассейна и их использование // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 3–9.
83. Стоянцева Н.В., Рыбкина И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию и водные объекты трансграничного бассейна р. Иртыш // Ползуновский вестник. 2011. № 4-2. С. 98–102.
84. Тетиор А.Н. Биопозитивная техносфера и устойчивое развитие. Симферополь: Б.И. 1994. 148 с.

85. Фатуллаев Г.Ю. Современные изменения водных ресурсов и водного режима рек Южного Кавказа. Баку, 2003. 167 с.

86. Цибудеева Д.Ц., Рыбкина И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборные территории речных бассейнов Республики Бурятия // Мир науки, культуры, образования. 2014. № 2 (45). С. 405–410.

87. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 302 с.

88. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 334 с.

89. Шикломанов И.А., Бабкин В.И., Балонишниковна Ж.А. Водные ресурсы, их использование и водообеспеченность в России: современные и перспективные оценки // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 2. С. 131–141.

90. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Тезисы докл. VI Всерос. гидрологического съезда. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2004. Секц. 3. С. 200–201.

91. Шикломанов И.А., Маркова О.Л. Проблемы водообеспечения и переброски речного стока в мире. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 294 с.

92. Шикломанов И.А., Шикломанов А.И. Изменение климата и приток речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. 2003. № 6. С. 645–654.

93. Щерба В.А., Абрамова Е.А. Оценка нагрузки сточными водами на водотоки бассейна реки Москвы // Методы экологических исследований. 2011. № 6. С. 116–124.

94. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1991. 175 с.

95. Эдельштейн К.К. Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

96. Aquastat FAO. Официальный сайт Глобальной водной информационной системы Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/nr/aquastat/> (дата обращения: 22.09.2023)

97. Crawford N.H., Linsley R.K. Computation of a synthetic streamflow record on a digital computer // International Association of Scientific Hydrology Publication. 1960. 51. P. 526–538.

98. Shiklomanov I.A. Water resources as a challenge of the twenty-first century. Tenth WMO lecture // WMO. 2004. № 959. P. 13–146.

99. Volk M., Hirschfeld J., Schmidt G. et al. A SDSS-based Ecological-economic Modelling Approach for Integrated River Basin Management on Different Scale Levels – The Project FLUMAGIS // Water Resources Management. 2007. Vol. 21. Is. 12. P. 2049–2061. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9158-z>

100. WWDR. 2012. The United Nations World Water Development Report 4. Managing Water under Uncertainty and Risk // World Water Assessment Programme (WWAP). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/wwap> (дата обращения: 22.09.2023).

## References

1. Avakyan, A., Saltankin, V. and Sharapov, V., 1987. *Vodokhranilishcha* [Reservoirs]. Moscow, Mysl. 325 p. (in Russian)

2. AlaeV, E., 1983. *Sotsial'no-ehkonomicheskaya geografiya: Ponyatiino-terminologicheskii slovar'* [Socio-economic geography: Conceptual and terminological dictionary]. Moscow, Mysl. 350 p. (in Russian)

3. Antipova, A., 1994. *Geograficheskoe izuchenie ispol'zovaniya territorii pri vyyavlenii i prognozirovanii ehkologicheskikh problem* [Geographical study of the use of territory in identifying and forecasting environmental problems]. *Geografiya i prirodnye resursy*. (3), pp. 26–32. (in Russian)

4. Bezrukov, L., Gagarinova, O., Kichigina, N., Korytny, L., and Fomina, R., 2014. The water resources of siberia: present state, problems, and potential uses. *Geography and natural resources*, (4), pp. 30–41

5. Belyaev, S., Mikhailova, T., Odintseva, G. and Chaikina, T., 2013. The choice of priorities in water protection activity based on water quality targets: case study of the Oka Basin. *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problema, tekhnologii, upravleniye*, (2), pp. 6–25. (in Russian)

6. Vasil'ev, O., Savkin, V., Dvurechenskaya, S. and Popov, P., 1997. Water-management and environmental problems of the Novosibirskoe reservoir. *Water Resources*, 24(5), pp. 538–545. (in Russian)

7. Vasiliev, O., Sukhenko, S., Atavin, A. and others. 1992. *Ekologicheskiye aspekty proyekta Katunskoy GES, obuslovlennyye nalichiyem rtuti v prirodnoy srede Gornogo Altaya* [Environmental aspects of the Katunskaya HPP project due to the presence of mercury in the natural environment of the Altai Mountains]. *Water Resources*. (6), pp. 107–122. (in Russian)

8. Vendrov, S., 1979. *Problemy preobrazovaniya rechnykh sistem* [Problems of transformation of river systems]. *Gidrometeoizdat*, 207 p. (in Russian)

9. Vladimirov, V., Mikulina, E. and Yargina, Z., 1986. *Gorod i landshaft: problemy, konstruktivnyye zadachi i resheniya* [City and landscape: problems, constructive tasks and solutions]. Moscow, Mysl. 238 p. (in Russian)

10. Shiklomanova, I. (ed.), 2008. *Vodnyye resursy Rossii i ikh ispol'zovaniye* [Water resources of Russia and their use]. St. Petersburg, Gosudarstvennyy gidrologicheskiy institut. 600 p. (in Russian)

11. Reteum, A. (ed.), 1983. *Vtorzheniye v prirodnyuyu sredu: otsenka vozdeystviya (osnovnyye polozheniya i metody)* [Invasion of the natural environment: impact assessment (fundamentals and methods)]. Moscow, Progress. 190 p.

12. Georgiadi, A. and Kashutina, E., 2016. Long-term runoff changes of the largest siberian rivers. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (5), pp. 70–81. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-5-70-81> (in Russian)

13. Snytko, V. (ed.), 1989. *Gidrologicheskaya rol' lesnykh geosistem* [Hydrological role of forest geosystems]. Novosibirsk, Nauka. 167 p. (in Russian)

14. Grigoriev, E., 2007. *Water resources of Russia: problems and methods of state regulation*. Moscow, Nauchnyy mir. 240 p. (in Russian)

15. Gubarev, M., Magaeva, L., Rybkina, I. and Shara-barina, S., 2014. Inventory status of drainage channels at baraba. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*, (4), pp. 10–12. (in Russian)
16. Danilik, V., 1979. Vliyaniye tekhniki i tekhnologii lesozagotovok na vodno-fizicheskuyu rol' lesa [The influence of logging equipment and technology on the water-physical role of forests]. *Lesnoye khozyaystvo*. (1), pp. 24–25. (in Russian)
17. Danilov-Danilyan, V. and Losev K., 2006. *Potrebleniye vody: ekologicheskiy, ekonomicheskiy, sotsial'nyy i politicheskiy aspekty* [Water consumption: environmental, economic, social and political aspects]. Moscow, Nauka. 221 p. (in Russian)
18. Demin, A., 2010. Izmeneniye vodoyemkosti ekonomiki Rossii [Changes in the water intensity of the Russian economy]. *Water Resources*. 37(6), pp. 739–751. (in Russian)
19. Demin, A., 2011. *Ispol'zovaniye vodnykh resursov Rossii: sovremennoye sostoyaniye i perspektivnyye otsenki* [Use of water resources in Russia: current state and perspective estimates]. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Geography. Moscow, 52 p.
20. Demin, A., 2012. Contemporary water intensity of the economies of the countries of the world. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, (5), pp. 71–81. (in Russian)
21. Dzhamalov, R., Krichevets, G., Safronova, T., Igonina, M., Frolova, N. and Kireeva M., 2012. The formation of present-day resources of surface and subsurface waters in European Russia. *Water Resources*, 39(6), pp. 571–589. (in Russian)
22. Dobroumov, B. and Ustyuzhanin, B. 1980. *Preobrazovaniye vodnykh resursov i rezhima rek tsentra YETS* [Transformation of water resources and river regime of the ETS center.] Leningrad, Gidrometeoizdat. 220 p. (in Russian)
23. Dumnov, A., 2009. Water-retaining capacity of economic of Russia and other countries: what's reality? *Ispol'zovaniye i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*, (3), pp. 11–13. (in Russian)
24. Dumnov, A., 2011. Mezhdunarodnyye sopostavleniya vodopol'zovaniya: nekotoryye itogi [International comparisons of water use: some results]. *Prirodno-resursnyye vedomosti*, (5), p. 4. (in Russian)
25. Dumnov, A. Sravneniye vodopol'zovaniya v Rossiyskoy Federatsii i SSHA [Comparison of water use in the Russian Federation and the USA]. Available from: <http://www.priroda.ru/reviews/detail.php?ID=6608> [Accessed 22nd September 2023].
26. EMISS: Unified interdepartmental information and statistical system. Available from: <https://fedstat.ru/> [Accessed 22nd September 2023].
27. Zinoviev, A., 2014. *Matematicheskoye modelirovaniye gidrologicheskikh protsessov v vodokhranilishchakh i nizhnikh b'yefakh GES na rekakh Sibiri* [Mathematical modeling of hydrological processes in reservoirs and tailwaters of hydroelectric power stations on the rivers of Siberia]. Doctor's Dissertation of Sciences in Technical. Barnaul, 331 p.
28. Ivanov, K., 1975. *Vodoobmen v bolotnykh landshaftakh* [Water exchange in swamp landscapes]. Leningrad, Gidrometeoizdat. 280 p. (in Russian)
29. Israel, Yu., 1984. *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoy sredy* [Ecology and control of the state of the natural environment]. Moscow, Gidrometeoizdat. 560 p. (in Russian)
30. Isaev, V., 1970. Poverkhnostnyy i vnutripochvennyy stok na vyrubkakh temnokhvoynnykh lesov Srednego Urala [Surface and intrasoil runoff in clearings of dark coniferous forests of the Middle Urals]. *Lesovedenie*. (1), pp. 69–74. (in Russian)
31. Isachenko, A., 2008. *Landshaftnaya struktura Zemli, rasseleniye, prirodopol'zovaniye* [Landscape structure of the Earth, settlement, environmental management]. St. Petersburg, St. Petersburg Publishing House. Univ. 320 p. (in Russian)
32. Isachenko, A., 2008. *Landshaftnaya struktura Zemli, rasseleniye, prirodopol'zovaniye* [Landscape structure of the Earth, settlement, environmental management]. St. Petersburg, St. Petersburg Publishing House. Univ. 320 p. (in Russian)
33. Kalinin, G., 1969. *Problemy global'noy gidrologii* [Problems of global hydrology]. Leningrad, Gidrometeoizdat. 376 p. (in Russian)
34. Korolev, A., Rozenberg, G., Gelashvili, D., Panutin, A. and Iudin, D., 2007. Ecological zoning of the Volga basin territory on the sewage loading degree on the basin principle basis (by the top Volga example). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 1(9), pp. 265–269. (in Russian)
35. Koronkevich, N., Barabanova, Ye., Bibikova, T. and Zaitseva, I., 2014. Russia on the world map of water use. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (1), pp. 7–18. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-1-7-18> (in Russian)
36. Koronkevich, N., Mel'nik, K., 2017. Changes in Moskva r. runoff under anthropogenic impacts. *Water Resources*, 44(1), pp. 1–11. (in Russian)
37. Kochurov, B., 2000. Razvitiye geoeologicheskikh terminov i ponyatiy [Development of geoeological terms and concepts]. *Problemy regional'noy ekologii*. (3), pp. 5–8. (in Russian)
38. Kochurov, B. and Ivanov, Yu., 1987. Otsenka ekologo-khozyaystvennogo sostoyaniya territorii administrativnogo rayona [Assessment of the ecological and economic state of the territory of the administrative region]. *Geografiya i prirodnyye resursy*. (4), pp. 49–54. (in Russian)
39. Kupriyanov, V., 1977. *Gidrologicheskiye aspekty urbanizatsii* [Hydrological aspects of urbanization]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 180 p. (in Russian)
40. Kupriyanov, V., 1978. *Urbanizatsiya i problemy gidrologii* [Urbanization and problems of hydrology]. Moscow, Gidrologicheskkiye aspekty urbanizatsii. pp. 5–15. (in Russian)
41. Rumyantsev, V. and Kondratiev, S. (ed.), 2013. *Ladoga*. St. Petersburg, Nestor-Istoriya. 468 p. (in Russian)
42. Lapa, V. and Kucheev, A., 1995. Osvoeniye Barabinskoy nizmennosti: itogi rabot za stoletiy [Development of the Baraba Lowland: results of work over a century]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*. (3), pp. 5–10. (in Russian)
43. Lebedev, Yu. and Neklyudov, I., 2012. *Otsenka vodookhranno-vodoreguliruyushchey roli lesov* [Assessment

of the water protection and water regulation role of forests]. Ekaterinburg, USFEU. 35 p. (in Russian)

44. Levin, A., 1973. *Vodnyy faktor v razmeshchenii promyshlennogo proizvodstva* [Water factor in the location of industrial production]. Moscow, Stroyizdat. 167 p. (in Russian)

45. Lvovich, M., 1986. *Voda i zhizn'* [Water and life]. Moscow, Mysl'. 256 p. (in Russian)

46. Malik, L., 1990. *Geograficheskiye prognozy posledstviy gidroenergeticheskogo stroitel'stva v Sibiri i na Dal'nem Vostoke* [Geographical forecasts of the consequences of hydropower construction in Siberia and the Far East]. Moscow, Nauka. 315 p. (in Russian)

47. Malik, L., 1978. *Gidrologicheskiye problemy preobrazovaniya prirody Zapadnoy Sibiri* [Hydrological problems of transformation of the nature of Western Siberia]. Moscow, Nauka. 179 p. (in Russian)

48. Maslov, B., 2005. *Kompleksnaya melioratsiya Barabinskoy nizmennosti i yeye nauchnoye soprovozhdeniye* [Complex reclamation of the Barabinskaya lowland and its scientific support]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*. (6), pp. 11–16. (in Russian)

49. Matarzin, Yu., 2003. *Gidrologiya vodokhranilishch* [Hydrology of reservoirs]. Perm, PSU, PSI, PSSGK. 296 p. (in Russian)

50. Melnik, K., 2015. *Antropogennyye vozdeystviya na stok reki Moskvy* [Anthropogenic impacts on the flow of the Moscow River]. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Geography. Moscow, 25 p.

51. Meshkov, V., Makarychev, S., 2010. *Gilevskoye vodokhranilishche i yego rol' v obvodnenii poymy r. Aley* [Gilevskoye Reservoir and its role in watering the river floodplain Aley]. Barnaul, ASAU. 131 p. (in Russian)

52. Vasiliev, O. (ed.), 2014. *Mnogoletnyaya dinamika vodno-ekologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha* [Long-term dynamics of the water-ecological regime of the Novosibirsk reservoir]. Novosibirsk, SB RAS. 393 p. (in Russian)

53. Mukhina, L. and Runova, T., 1980. *Sistema pokazateley dlya izucheniya i otsenki vozdeystviy cheloveka na prirodu* [System of indicators for studying and assessing human impacts on nature] Moscow, Izucheniye i otsenka vozdeystviya cheloveka na prirodu. pp. 7–16. (in Russian)

54. Neverov, A., 1990. *Ekonomika prirodnopol'zovaniya* [Environmental economics]. Minsk, HSE. 216 p. (in Russian)

55. Novikov, S. and Goncharova, Zh., 1984. *Vliyaniye osushitel'nykh melioratsiy na vodnyy rezhim bolot, sel'skokhozyaystvennykh poley i rechnykh basseynov v Nechernozemnoy zone. Obzornaya informatsiya*. [The influence of drainage reclamation on the water regime of swamps, agricultural fields and river basins in the Non-Chernozem Zone. Overview information.] Obninsk, VNI-IGMI-MCD. 49 p. (in Russian)

56. Novikov, S. and Goncharova, Zh., 1978. *Prognoz izmeneniy vodnykh resursov krupnykh rek SSSR pod vliyaniem osushitel'nykh meropriyatiy* [Forecast of changes in water resources of large rivers of the USSR under the influence of drainage measures]. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*. (255), pp. 54–68. (in Russian)

57. Odesser, S., 1991. *Territorial'naya differentsiatsiya v ekonomiko-geograficheskikh tipologiyakh* [Territorial differentiation in economic-geographical typologies]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. (6), pp. 61–69. (in Russian)

58. Preobrazhensky, V., Voracek, V. (ed.), 1985. *Otsenka vliyaniya khozyaystva na prirodu. Vozdeystviye – izmeneniye – posledstviya* [Assessment of the impact of the economy on nature. Impact – change – consequences]. Brno. 1. (in Russian)

59. Papin, T., 2004. *Ekologo-analiticheskoye issledovaniye raspredeleniya tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh basseyna r. Obi* [Ecological and analytical study of the distribution of heavy metals in aquatic ecosystems of the river basin]. Doctor's Dissertation of Sciences in Chemical. Moscow, 259 p.

60. Papisov, V., 1989. *Vodoyemkost' narodnogo khozyaystva (promyshlennost')* [Water intensity of the national economy (industry)]. Moscow, Nauka. 103 p. (in Russian)

61. Paramonov, E. and Rybkina, I., 2016. *Stabilizatsiya vodonosnosti reki Aley lesnymi nasazhdeniyami* [Stabilization of water flow in the Alei River by forest plantings]. *Siberian Journal of Forest Science*. (3), pp. 57–66. (in Russian)

62. Pobedinsky, A., 2013. *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* [Water-protective and soil-protective role of forests]. Pushkino, VNIILM. 208 p. (in Russian)

63. Pobedinsky, A. and Kretschmer V., 1984. *Funktsii lesov v okhrane vod i pochv* [Functions of forests in protecting water and soil]. Prague, Gosudarstvennoye zemledel'cheskoye izdatel'stvo. 252 p. (in Russian)

64. Ratkovich, D., 2003. *Aktual'nyye voprosy vodooobespecheniya* [Current issues of water supply]. Moscow, Nauka. 342 p. (in Russian)

65. Rakhmanov, V., 1984. *Gidrologicheskaya rol' lesa* [Hydrological role of forests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost'. 240 p. (in Russian)

66. Reimers, N., 1990. *Prirodnopol'zovaniye. Slovar' – spravochnik*. [Nature management. Dictionary - reference book.] Moscow, Mysl'. 637 p. (in Russian)

67. Romanov, V., 1961. *Gidrofizika bolot* [Hydrophysics of swamps]. Leningrad, Gidrometeoizdat. 360 p. (in Russian)

68. Rybkina, I., 2005. *Otsenka ekologicheskoy opasnosti v sistemakh rasseleniya Altayskogo kraya* [Assessment of environmental hazards in settlement systems of the Altai Territory]. Doctor's Dissertation of Sciences in Geography. Barnaul, 229 p. (in Russian)

69. Rybkina, I. and Stoyasheva, N., 2010. *Assessment of anthropogenic load on water modular territory of the upper and mid Ob*. *Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya*, 6 (25), part 2, pp. 295–299. (in Russian)

70. Rybkina, I., Stoyasheva, N. and Kurepina, N., 2011. *Methods of river basin territory zoning in terms of aggregate anthropogenic load (the ob-irtysh river basin as a study case)*. *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, (4), pp. 42–52. (in Russian)

71. Rybkina, I., 2015. *Sopostavitel'nyy analiz effektivnosti ispol'zovaniya vodnykh resursov v regionakh Zapadnoy Sibiri v sravnenii s obshcherossiyskim i zapadnoyevropeyskim urovnyami* [Comparative analysis of the

- efficiency of water resource use in the regions of Western Siberia in comparison with all-Russian and Western European levels]. *Vodnoye khozyaystvo Rossii*. (3), pp. 80–88. (in Russian)
72. Rybkina, I., 2020. *Vodoresursnoye obespecheniye dolgosrochnogo regional'nogo razvitiya Zapadnoy Sibiri (na primere Ob'-Irtyskogo basseyna)* [Water resource support for long-term regional development of Western Siberia (using the example of the Ob-Irtysk basin)]. Doctor's Dissertation of Sciences in Geography: 25.00.36. Barnaul, 229 p. (in Russian)
73. Savichev, O., 2013. Methodology of the estimation of actual and assumption permissible antropogenic impact on the chemical composition and quality of fresh natural waters. *Fundamental'nyye issledovaniya*, (8), pp. 704–708. (in Russian)
74. Savkin, V., 2000. *Ekologo-geograficheskiye izmeneniya v basseynakh rek Zapadnoy Sibiri (pri krupnomasshtabnykh vodokhozyaystvennykh meropriyatiyakh)* [Ecological and geographical changes in river basins of Western Siberia (during large-scale water management activities)]. Novosibirsk, Nauka. 152 p. (in Russian)
75. Seleznev, V. and Bespalova, K., 2015. Ekologicheskiye kriterii normirovaniya sbrosa zagryaznyayushchikh veshchestv v vodnyye ob'yekty [Environmental criteria for regulating the discharge of pollutants into water bodies]. *Vestnik of Volzhsky University named after V.N. Tatishchev*. 1 (23), pp. 130–136. (in Russian)
76. Selezneva, A., 2003. Anthropogenic load on rivers by point springs of pollution. News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 5(2), pp. 268–277. (in Russian)
77. Skripko, V. and Pestereva, N., 2010. Sovremennaya territorial'naya struktura prirodopol'zovaniya Zarinnskogo munitsipal'nogo rayona (Altayskiy kray) [Modern territorial structure of environmental management of the Zarinsky municipal district (Altai Territory)]. *Geografiya i prirodopol'zovaniye Sibiri*. (12), pp. 139–154. (in Russian)
78. Sorokovikova, N., 1993. Ekologicheskoye normirovaniye khozyaystvennoy nagruzki na landshafty [Ecological regulation of economic load on landscapes]. *Biogekhimicheskiye osnovy ekologicheskogo normirovaniya*. Moscow, Nauka. pp. 269–274. (in Russian)
79. Stephenson, D., 1986. *Stormwater Hydrology and Drainage*. Leningrad, Gidrometeoizdat. 261 p. (in Russian)
80. Stoyashcheva, N., 2010. Lesnyye nasazhdeniya kak faktor ustoychivosti rechnogo stoka v basseyne reki Aley [Forest plantations as a factor in the stability of river flow in the Alei River basin]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 12 (1(3)), pp. 897–900. (in Russian)
81. Stoyashcheva, N., 2015. The problem of kuzbass small rivers pollution with industrial wastewater. *Bulletin of Kemerovo State University*, 3(4(64)), pp. 156–163. (in Russian)
82. Stoyashcheva, N. and Rybkina, I., 2014. Water resources of the Ob-Irtysk River basin and their use. *Water resources*, 41(1), pp. 3–9. <https://doi.org/10.7868/s0321059614010106> (in Russian)
83. Stoyashcheva, N. and Rybkina, I., 2011. Otsenka antropogennoy nagruzki na vodosbornuyu territoriyu i vodnyye ob'yekty transgranichnogo basseyna r. Irtysh [Assessment of anthropogenic load on the drainage area and water bodies of the transboundary river basin Irtysh]. *Polzunovskiy vestnik*. (4-2), pp. 98–102. (in Russian)
84. Tetior, A., 1994. *Biopozitivnaya tekhnosfera i ustoychivoye razvitiye* [Biopositive technosphere and sustainable development]. Simferopol, B.I. publ. 148 p. (in Russian)
85. Fatullaev, G., 2003. *Sovremennyye izmeneniya vodnykh resursov i vodnogo rezhima rek Yuzhnogo Kavkaza* [Modern changes in water resources and water regime of rivers in the South Caucasus]. Baku. 167 p. (in Russian)
86. Tsibudeyeva, D. and Rybkina I., 2014. Assessment of anthropogenic impact on river basins of buryatia republic. *The world of science, culture and education*, 2(45), pp. 405–410. (in Russian)
87. Shiklomanov, I., 1979. *Antropogennyye izmeneniya vodnosti rek* [Anthropogenic changes in river water content]. Leningrad, Gidrometeoizdat. 302 p. (in Russian)
88. Shiklomanov, I., 1989. *Vliyaniye khozyaystvennoy deyatel'nosti na rechnoy stok* [Impact of economic activities on river flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat. 334 p. (in Russian)
89. Shiklomanov, I., Babkin, V. and Balonishnikov, Z., 2011. Water resources, their use, and water availability in Russia: current estimates and forecasts. *Water Resources*, 38 (2), pp. 139–148. (in Russian)
90. Shiklomanov, I. and Georgievsky, V., 2004. Izmeneniye stoka rek Rossii pri global'nom potepnenii klimata [Changes in the flow of Russian rivers under global climate warming]. *Abstracts of reports. VI All-Russian hydrological congress*. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 3, pp. 200–201. (in Russian)
91. Shiklomanov, I. and Markova O., 1987. *Problemy vodoobespecheniya i perebroski rechnogo stoka v mire* [Problems of water supply and river flow transfer in the world]. Leningrad, Gidrometeoizdat. 294 p. (in Russian)
92. Shiklomanov, I. and Shiklomanov, A., 2003. Izmeneniye klimata i pritok rechnykh vod v Severnyy Ledovityy okean [Climate change and river water influx into the Arctic Ocean]. *Water Resources*. (6), pp. 645–654. (in Russian)
93. Scherba, V. and Abramova, E., 2011. The estimation of the wastewater's level loading on the surface water in the Moscow. *Metody ekologicheskikh issledovaniy*, (6), pp. 116–124. (in Russian)
94. Edelshtein, K., 1991. *Vodnyye massy dolinnykh vodokhranilishch* [Water masses of valley reservoirs]. Moscow, Moscow State University. 175 p. (in Russian)
95. Edelshtein, K., 1998. *Vodokhranilishcha Rossii: ekologicheskiye problemy, puti ikh resheniya* [Reservoirs of Russia: environmental problems, ways to solve them]. Moscow, GEOS. 277 p. (in Russian)
96. Aquastat FAO. Official website of the Global Water Information System of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <https://www.fao.org/aquastat/en/> [Accessed 22nd September 2023]

97. Crawford, N. and Linsley, R., 1960. Computation of a synthetic streamflow record on a digital computer. *International Association of Scientific Hydrology Publication*, 51, pp. 526–538.
98. Shiklomanov, I., 2004. Water resources as a challenge of the twenty-first century. Tenth WMO lecture. *WMO*, (959), pp. 13–146.
99. Volk, M., Hirschfeld, J. and Schmidt G. et al., 2007. A SDSS-based Ecological-economic Modelling Approach for Integrated River Basin Management on Different Scale Levels – The Project FLUMAGIS. *Water Resources Management*, 21(12), pp. 2049–2061. <http://doi10.1007/s11269-007-9158-z>
100. WWDR, 2012. The United Nations World Water Development Report 4. Managing Water under Uncertainty and Risk. World Water Assessment Programme (WWAP). Available from: <https://www.unesco.org/en/wwap> [Accessed 22nd September 2023]

Статья поступила в редакцию 22.09.2023; одобрена после рецензирования 02.11.2023; принята к публикации 13.11.2023.

The article was submitted 22.09.2023; approved after reviewing 02.11.2023; accepted for publication 13.11.2023.

## РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

УДК 579.2/579.6

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-68-88>

**Полихлорированные бифенилы как причина экологических проблем  
и разработки ремедиационных технологий на основе биологических агентов**

**Дарья Олеговна Егорова**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь, Россия

[daryao@rambler.ru](mailto:daryao@rambler.ru)

**Аннотация.** В обзоре представлен анализ актуальных на данный момент проблем, связанных с загрязнением окружающей среды полихлорированными бифенилами – соединениями, включенными в рамках международной конвенции в список Стойких органических загрязнителей. Показаны особенности строения молекулы полихлорбифенилов и их взаимодействия с окружающей средой и живыми организмами. Основное внимание уделено аэробным бактериям, одному из основных компонентов микробиоценоза почв. Показано, что длительное воздействие полихлорбифенилов привело к преимущественному отбору в загрязненных микробиоценозах бактерий, способных использовать полихлорированные бифенилы как источник углерода и энергии. Наиболее активные штаммы послужили основой биотехнологических препаратов, направленных на удаление полихлорбифенилов из окружающей среды.

**Ключевые слова:** полихлорированные бифенилы, бактерии, штаммы, аэробная деструкция, очистка почв/

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания номер АААА-А19-119112290009-1 «Молекулярные механизмы адаптации микроорганизмов к факторам среды».

**Для цитирования:** Егорова Д.О. Полихлорированные бифенилы как причина экологических проблем и разработки ремедиационных технологий на основе биологических агентов // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 2. С. 68–88. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-68-88>

## SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

DOI: <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-68-88>

**Polychlorinated biphenyls as a cause of ecological problems and development  
of remediation technologies based on biological agents**

**Darya O. Egorova**

Perm State University, Perm, Russia

Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms UB RAS, Perm, Russia

[daryao@rambler.ru](mailto:daryao@rambler.ru)

**Abstract.** The review presents an analysis of currently pressing problems associated with environmental pollution by polychlorinated biphenyls – compounds included in the list of Persistent Organic Pollutants under the international convention. The structural features of the polychlorinated biphenyl molecule and their interaction with the environment and living organisms are shown. The main attention is paid to aerobic bacteria, one of the main components of soil microbiocenosis. It was shown that long-term exposure to polychlorinated biphenyls led to the preferential selection in contaminated microbiocenosis of bacteria capable of using polychlorinated biphenyls as a source of carbon and energy. The most active strains served as the basis for biotechnological preparations aimed at removing PCBs from the environment.

**Key words:** polychlorinated biphenyls, bacteria, strains, aerobic destruction, soil purification

**Acknowledgments:** the work was carried out within the framework of state assignment number АААА-А19-119112290009-1 «Molecular mechanisms of adaptation of microorganisms to environmental factors».

**For citation:** Egorova, D., 2023. Polychlorinated biphenyls as a cause of ecological problems and development of remediation technologies based on biological agents // *Anthropogenic transformation of the natural environment*. 9(2). pp. 68–88. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2023-2-68-88> (in Russian)

## Введение

Одной из центральных проблем в сфере реализации мировой концепции устойчивого развития, в части, посвященной окружающей среде и экологии, является выведение из природных сред и техногенных образований стойких органических загрязнителей (СОЗ). Согласно Стокгольмской конвенции «О стойких органических загрязнителях» (2001 г), полихлорированные бифенилы (ПХБ) включены в список СОЗ и запрещены к производству и применению как особо опасные для животных и человека соединения, а их запасы должны быть уничтожены до 2028 г [46]. Россия приняла на себя обязательства по выполнению положений Стокгольмской конвенции в 2011 г ФЗ от 27.06.2011 № 164-ФЗ. По химической структуре ПХБ входят в класс ароматических соединений, содержащих в молекуле два ароматических кольца, на которых в качестве заместителей расположены атомы хлора в количестве от 1 до 10 [39]. Всего в группу хлорированных бифенилов входят 209 конгенов (соединений, имеющих в своей основе одинаковую химическую структуру, но отличающихся количеством и положением заместителей в молекуле). За период их производства в 1930 по 1980-е гг., по разным подсчетам, было выпущено более 1.5 млн тонн, из которых не менее 10% находятся в окружающей среде. В коммерческих целях ПХБ производились в виде смесей, содержащих от 40 до 70 конгенов, под различными торговыми марками. Так в США смеси ПХБ носили торговое название Aroclor, в Германии – Klorphen, в Чехии – Delor, в России – Совол и Трихлорбифенил, в Японии – Kaneclor [37, 77, 94].

ПХБ несут угрозу нормальному существованию экосистем, вызывают тяжелые заболевания живых организмов и аккумулируются в верхнем звене пищевой цепи в значительном количестве. При этом часть конгенов ПХБ по своей токсичности превосходят такие опасные СОЗ как полихлорированные дибензофураны и дибензо-диоксины [37, 94]. ПХБ устойчивы к воздействию физико-химических факторов, что обуславливает их длительное присутствие в природных объектах. Несмотря на то, что проблеме уничтожения ПХБ посвящено значительное количество исследований в области физики, химии и биологии, до сих пор остаются открытыми фундаментальные вопросы, связанные с поиском оптимальных экологически безопасных и экономически целесообразных механизмов удаления ПХБ из природных и техногенных объектов. Одним из перспективных направлений в решении данных вопросов является изучение деградационного потенциала природных аэробных бактерий.

ПХБ, являясь новым субстратом для бактериальных штаммов, спровоцировали эволюцию метаболических процессов в клетке в направлении адаптации к использованию новой химической структуры в качестве источника питания. Известно, что разложение ПХБ у аэробных бактерий идет с использованием метаболического пути трансформации незамещенного бифенила [16, 32, 62, 80, 90]. Выделяют две части бифенильного метаболического пути: верхнюю и нижнюю. В «верхнем» пути происходит окисление молекулы

бифенила под действием комплекса ферментов до образования бензойной и пентадиеновой кислот [16, 32, 62, 100]. «Нижний» путь – окисление бензойной и пентадиеновой кислот с участием различных групп ферментов [16, 32, 77, 78]. В большинстве случаев в штаммах-деструкторах представлен либо «верхний», либо «нижний» путь трансформации бифенила [17, 45, 90]. Полная утилизация бифенила/ПХБ возможна при наличии в микробиоценозе нескольких бактериальных штаммов, находящихся в синтрофных взаимодействиях [127]. Описано незначительное количество штаммов, осуществляющих разложение полихлорированных бифенилов до соединений основного обмена клетки [19, 52, 60, 63, 87].

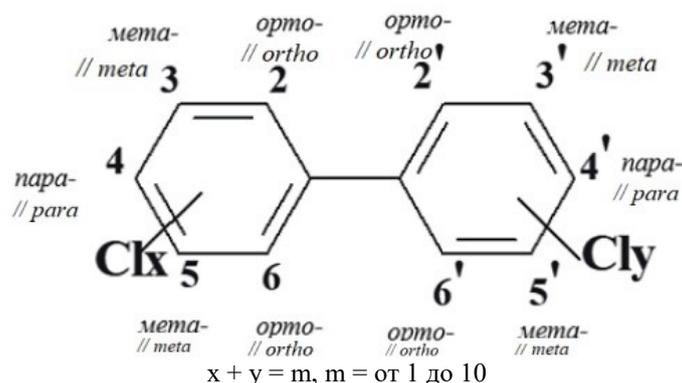
Проведение всестороннего анализа метаболических особенностей аэробных бактериальных штаммов-деструкторов бифенила/ПХБ, выделенных из районов с высокой техногенной нагрузкой, внесет существенный вклад в развитие фундаментальных знаний в области микробной экологии, а также послужит основой для разработки эффективных эколоботехнологий, направленных на восстановление ПХБ-загрязненных территорий, и на уничтожение неустойчивых смесей ПХБ.

Цель исследования – комплексная оценка разнообразия аэробных бактерий-деструкторов полихлорированных бифенилов, а также их применения для очистки окружающей среды от ПХБ.

## Полихлорированные бифенилы: физико-химические свойства

В основе химической структуры полихлорированных бифенилов лежит бифенил – по своему строению он представляет два ароматических цикла, соединенных С-С связью. ПХБ были синтезированы в результате хлорирования молекулы бифенила в присутствии железной стружки. Количество заместителей в молекуле бифенила зависело от времени протекания реакции и составляло от 1 до 10 атомов хлора на молекулу бифенила (рис.1 / fig. 1).

Всего к группе ПХБ относится 209 конгенов, отличающихся количеством и положением заместителей в молекуле. Бензольные кольца могут располагаться в одной плоскости или под углом друг к другу (угол может составлять до 90°). Положение бензольных колец зависит от количества заместителей в орто-положении. Молекулярная масса ПХБ составляет 188.7–498.7 у различных конгенов групп, растворимость в воде колеблется в пределах 0.000001–5.5 мг/дм<sup>3</sup>, logK<sub>ов</sub> – 0.015–8.26, однако, ПХБ хорошо растворимы в жирах, маслах и органических растворителях. ПХБ обладают высокими диэлектрическими характеристиками (диэлектрическая константа 2.5–2.7), высокой теплопроводностью и высокой температурой вспышки (170–380°C). ПХБ характеризуются высокой химической стабильностью, не поддаются гидролизу и окислению в широком диапазоне температур, устойчивы к действию кислот и щелочей. По агрегатному состоянию смеси ПХБ представляют собой масла и смолы, от бесцветных до желтых [2].



**Рис. 1. Химическая формула молекулы полихлорбифенилов:**

**x, y – количество заместителей в каждом кольце**

**Fig. 1. Chemical formula of a polychlorinated biphenyl molecule:**

**x, y – number of substituents in each ring**

### Производство и применение ПХБ

Промышленное производство ПХБ было открыто в США в 1929 г, в СССР – в 1939 г. В этот же отрезок времени предприятия по производству ПХБ были открыты в ряде стран Европы и в Японии. ПХБ производили в виде смесей, содержащих от 30 до 70 конгенов, под различными торговыми марками: Aroclor – в США, Delor (Чехословакия), Klofen (Германия), Kaneclor (Япония), Совол, Совтол, Трихлорбифенил (ТХБ) (СССР), Fenclor (Франция) [8, 9, 11, 39]. Каждая из указанных марок имеет еще дополнительное цифровое обозначение, характеризующее соотношение входящих в нее конгенов. Следует отметить, что ряд коммерческих смесей, выпускавшихся в разных странах, имеют очень близкий состав. Одним из таких примеров являются смеси ТХБ (СССР) и Delor 103 (Чехословакия).

На территории России коммерческие смеси ПХБ выпускали на ПО «Оргстекло» г. Дзержинск, ОАО «Оргсинтез» г. Новомосковск. География предприятий, использовавших ПХБ как основное сырье в технологическом цикле, существенно шире: ОАО «Средневожжский завод химикатов» г. Чапаевск, конденсаторный завод г. Серпухов (в настоящее время АО «КВАР»), нефте- и маслозаводы гг. Нижний Новгород, Санкт-Петербург, Оренбург, Уфа, Пермь. Потребителями продукции данных производств являются предприятия топливно-энергетического, металлургического и химического комплекса страны.

ПХБ применяли в качестве диэлектриков в трансформаторах и конденсаторах, в составе пластификаторов, смазочных смесей, лаков, красок, клеев, теплоносителей, хладагентов, эластомеров, поливинилхлоридов, неопрена, пластмасс, пенорезины, кровельных и изоляционных материалов (торговые марки Galbestos, Armaflex, Agobor), гидравлических и смазочных жидкостей (торговые марки Turbinol, Santovac) [123, 126, 128]. За время производства было синтезировано более 1 млн. тонн различных смесей ПХБ [94]. По различным оценкам в объектах окружающей среды находится порядка 40% всех произведенных ПХБ. Уровень загрязненности почв и водных объектов варьирует от 1–2 ПДК до нескольких десятков тысяч

ПДК. Согласно инвентаризации 2000 г в России в составе оборудования находится около 28–35 тыс. т. смесей ПХБ, из них около 21 тыс. т. – Совол и Совтол, и около 14 тыс. т. – Трихлорбифенил [11, 39]. Данные об анализе количества ПХБ в окружающей среде на территории РФ отсутствуют, но известно, что наиболее загрязненными являются районы их производства и активного использования, в том числе г. Дзержинск, г. Новомосковск, г. Чапаевск, г. Серпухов. Следует отметить, что ПХБ обнаруживаются как на территориях производства и применения, так и в удаленных районах, в том числе в Антарктике, Арктике и песках Сахары [11, 82, 126, 129]. Такое широкое распространение связано с высокой сорбционной способностью конгенов ПХБ, что способствует их переносу с пылевыми частицами на большие расстояния. Благодаря физико-химическим свойствам ПХБ долго остаются в окружающей среде в неизмененном виде. Производство ПХБ было прекращено в конце 20-го века [2].

### ПХБ – угроза для живых организмов

Первые сообщения о негативном влиянии ПХБ на здоровье человека появились в 80-х годах 20 века. Массовые отравления ПХБ выражались в появлении угреподобной сыпи на коже людей, занятых на производстве данных соединений. Заболевание получило название хлоракне. Появились сведения и об отравлении людей, не связанных с производством, но употреблявшими в пищу продукты, содержащие ПХБ. Было установлено, что ПХБ вызывают не только кожные поражения, но и нарушения в деятельности нервной системы (невралгии, депрессии, нарушение иннервации внутренних органов), сердечно-сосудистой системы, иммунной системы, липидного обмена, эндокринной системы. ПХБ оказывают канцерогенный и тератогенный эффект [57, 79, 80, 97, 103]. При этом дозы, вызывающие негативные последствия, крайне низкие и сопоставимы с таковыми полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов. Были разработаны международные коэффициенты токсичности конгенов ПХБ, которые рассчитываются относительно 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-1,4-диоксида. Значения данных коэффициентов варьируют в диапазоне 0.1–0.00001 [7].

К проникновению ПХБ в организм приводит их способность растворяться в органических растворителях, что ведет к их накоплению в жирах и, как следствие, продвижению по пищевым цепям с концентрированием в верхних сегментах [14, 76, 117]. В окружающую среду ПХБ поступали в результате аварийных выбросов на предприятиях, неправильной эксплуатации ПХБ-содержащего оборудования [82]. В настоящее время, несмотря на прекращение производства, ПХБ продолжают проникать в природные объекты из мест складирования, в результате нарушений технологий утилизации, возгорания промышленного оборудования. География загрязненных территорий увеличивается за счет трансграничного переноса с пылевыми частицами и перемещения живых объектов [4, 126, 128].

В ряде стран, в том числе в РФ, разработаны нормативы, регламентирующие безопасный уровень ПХБ в различных объектах. Согласно классификации опасных соединений, ПХБ отнесены ко II классу (высокоопасные вещества). В России ПДК для воздуха рабочей зоны составляет 1 мг ПХБ/м<sup>3</sup>, в воде – 1 мкг/л, в почве – 0.1 мг/кг. ОДК для отдельных групп конгенов в почве составляют: триХБ – 0.03 мг/кг, тетраХБ – 0.06 мг/кг, пентаХБ – 0.1 мг/кг; для пищевых продуктов: в рыбе – 2.0 мг/кг, в печени рыбы – 5.0 мг/кг, в рыбьем жире – 3.0 мг/кг, в молоке – 1.5 мг/кг (ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН 4630-88). Установленные нормативы ПХБ для почв жилых зон в Германии составляют 0.8–1.0 мг/кг, в Китае – 2 мг/кг, в Нидерландах – 0.02 мг/кг, во Франции – 0.024 мг/кг, в Белоруссии – 0.02 мг/кг, для питьевой воды в США Агентством по окружающей среде установлена ПДК 0.5 мкг ПХБ/л воды, по нормативам Австралии присутствие ПХБ в питьевой воде недопустимо в любых концентрациях [8, 82].

#### **Проблема реализации Стокгольмской конвенции в части, касающейся ПХБ**

Реализация Стокгольмской конвенции в отношении ПХБ требует разработки методов по уничтожению ПХБ как в местах складирования, так и в объектах окружающей среды. Как было сказано выше, ПХБ обладают уникальными физико-химическими характеристиками, что существенно затрудняет их уничтожение. Разработки ведутся в направлении физических, химических и биологических методов.

В настоящее время наиболее распространенными являются термические методы, основанные на сжигании ПХБ при высоких температурах ( $t = 2000^{\circ}\text{C}$ , 4–6 т  $\text{O}_2/1$  т ПХБ). Данная технология позволяет уничтожать ПХБ с эффективностью 99.99% при скорости 1 т/ч. Стоимость зависит от концентрации ПХБ в сжигаемой смеси и начинается от 1500 долларов США. При этом даже незначительные нарушения в технологии приводят к образованию из ПХБ еще более токсичных продуктов – ПХДФ и ПХДД [1]. Пиротехнические методы основаны на сжигании ПХБ с использованием пиротехнических смесей. Однако данные методы приводят к неконтролируемому образованию ПХДФ и ПХДД [1]. Электрохимические методы ограничены поиском эффективных и устойчивых электродов, которые не будут подвергаться коррозии в процессе реакции. Химические методы активно развиваются и являются

перспективными в направлении подготовки ПХБ для последующего уничтожения. Оценка всех имеющихся технологий позволяет сделать вывод, что уничтожение ПХБ является с экономических позиций высокозатратным, а с экологических – опасным для окружающей среды [2, 3, 7].

Наиболее «дружественными» для природы и единственными, позволяющими удалить ПХБ из природных объектов без разрушения самих объектов, являются методы, основанные на использовании биоремедиационного потенциала бактериальных штаммов.

#### **Бактерии – основной агент экологически безопасной деструкции полихлорированных бифенилов**

Основная роль в разложении ПХБ в природных условиях принадлежит микроорганизмам, и, в частности, бактериям [82]. В трансформации ПХБ принимают участие как анаэробные, так и аэробные бактерии. В анаэробных условиях (донные отложения морей, озер, рек, грунтовые воды) штаммы осуществляют восстановительное дегалогенирование высокохлорированных бифенилов, что не позволяет уничтожить ПХБ, но снижает их опасность и повышает биодоступность вследствие снижения степени хлорирования молекулы [13, 38]. Дегалогенирование обусловлено использованием ПХБ в качестве акцептора электронов, в результате чего происходит восстановление молекулы ПХБ до незамещенного бифенила, или до хлорбифенилов, содержащих 2–4 атомов хлора в молекуле [38, 70, 74, 109]. Обнаружены наиболее активные анаэробные штаммы-деструкторы ПХБ, принадлежащие родам *Acidovorax*, *Achromobacter*, *Anaeromyxobacter*, *Clostridium*, *Dehalobacter*, *Dehalococcoides*, *Desulfotobacterium*, *Desulfomonile*, *Desulfuromonas*, *Geobacter*, *Sedimentibacter* и *Sulfuricurvum* [67, 73, 125]. Анаэробное восстановление коммерческих смесей ПХБ в природных условиях приводит к существенному изменению в соотношениях конгенов (доля низкохлорированных бифенилов повышается в несколько раз), а также ведет к преобладанию *орто*-замещенных хлорбифенилов [28, 45, 121].

В результате деятельности аэробных бактерий в большинстве случаев происходит окисление молекулы ПХБ до образования хлорбензойной кислоты (ХБК) и (хлор)пентадиеновой кислоты [90, 100]. Однако известны штаммы, осуществляющие минерализацию ПХБ [19, 52, 63, 87]. В данном случае происходит деструкция молекулы полихлорбифенила до соединений основного обмена клетки. Основными ограничениями доступности ПХБ для аэробных бактерий является степень хлорирования и расположение заместителей в молекуле. Использование аэробных штаммов-деструкторов либо их комбинация с анаэробными штаммами позволяет существенно снизить уровень загрязнения природных объектов смесями полихлорбифенилов.

#### **География распространения аэробных штаммов-деструкторов ПХБ**

Исследования нескольких десятилетий выявили широкую географическую распространенность аэробных бактериальных штаммов, осуществляющих разложение хлорированных бифенилов (рис. 2 / fig. 2).

Показано, что штаммы, способные окислять (моно-гекса)-хлорированные бифенилы, выделяются из экониш различных континентов, и приурочены к местам загрязнения соединениями группы СОЗ. Описанные штаммы-деструкторы ПХБ принадлежат родам *Achromobacter*, *Agromyces*, *Alcaligenes*, *Aquamicrobium*, *Arthrobacter*, *Aspergillus*, *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Brevibacterium*, *Castellaniella*, *Ceriporia*, *Chi-*

*tinophaga*, *Comamonas*, *Cupriavidus*, *Enterobacter*, *Hydrogenophaga*, *Janibacter*, *Janthinobacterium*, *Luteibacter*, *Mesorhizobium*, *Ochrotrichum*, *Paenibacillus*, *Pandora*, *Phanerochaete*, *Pleurotus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Shigella*, *Sphingobium*, *Sphingomonas*, *Stenotrophomonas*, *Subtercola*, *Talaromyces*, *Thermoascus*, *Trametes* и *Williamsia* [22, 36, 56, 57, 60, 66, 70, 80, 91, 92, 103, 105].

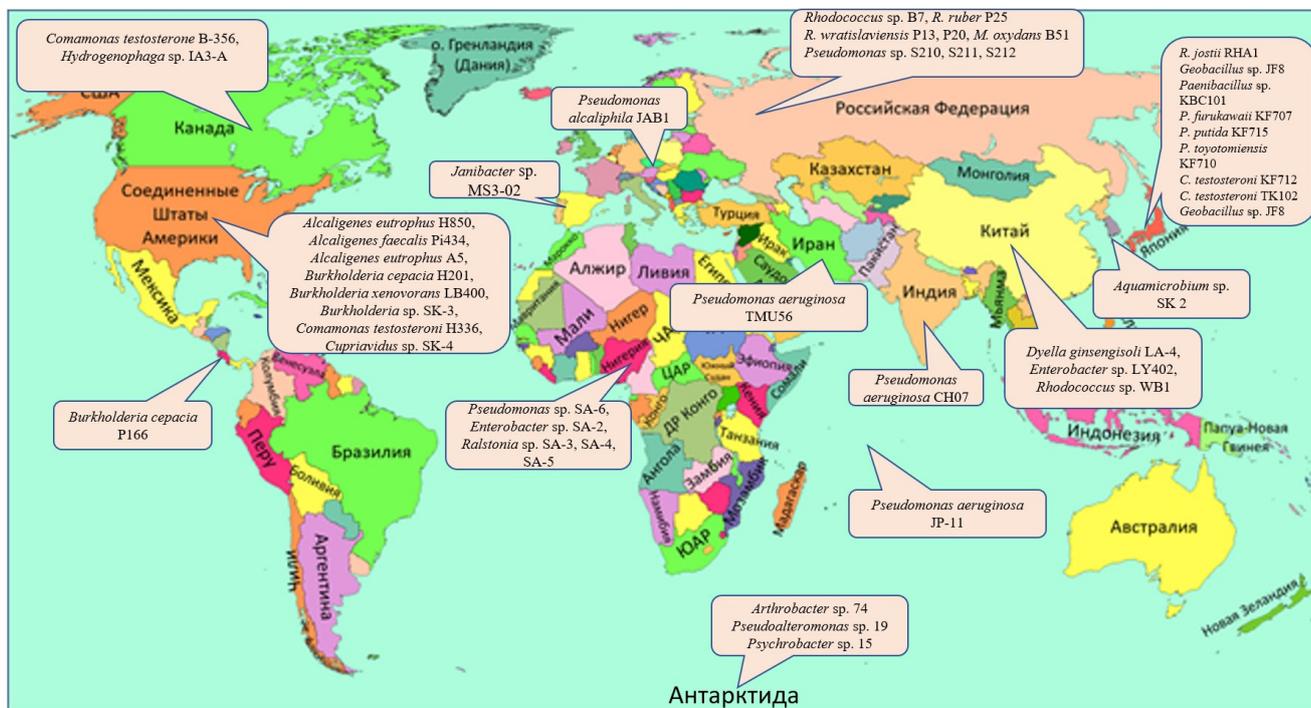


Рис. 2. Карта-схема мест выделения наиболее активных аэробных штаммов-деструкторов бифенила/ПХБ [5, 10, 12, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 31, 33, 35, 40, 45, 47, 49, 54, 61, 69, 71, 72, 75, 95, 96, 98, 102, 104, 106, 112, 113, 116, 119, 120, 123, 124]

Fig. 2. Schematic map of the isolation sites of the most active aerobic biphenyl/PCB degrader strains [5, 10, 12, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 31, 33, 35, 40, 45, 47, 49, 54, 61, 69, 71, 72, 75, 95, 96, 98, 102, 104, 106, 112, 113, 116, 119, 120, 123, 124]

Наиболее ранние работы по выделению и описанию штаммов-деструкторов бифенила/ПХБ проводились на территориях США и Японии. В результате проведенных исследований из ПХБ-загрязненных районов данных стран выделено значительное количество штаммов, обладающих различным деструктивным потенциалом. Наиболее изученными являются штаммы *Alcaligenes eutrophus* H850, *Burkholderia xenovorans* LB400, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* KF707, *Rhodococcus jostii* RHA1 [22, 50, 68, 75].

Штамм *Alcaligenes eutrophus* H850 использовал в качестве источника углерода не только незамещенный бифенил, но и 2-хлорбифенил, а также осуществлял разложение до хлорбензойных кислот тетра-, пента- и гекса-хлорированных конгенов. Bedard с соавторами показал, что *A. eutrophus* H850 осуществляет деструкцию коммерческих смесей ПХБ торговых марок Aroclor 1242 и 1254 [24].

Штамм *Burkholderia xenovorans* LB400 первоначально был идентифицирован как представитель рода *Pseudomonas*, далее реклассифицирован в род *Burkholderia*, а на основании анализа полногеномной последовательности был отнесен к роду *Paraburkhold-*

*eria* [30]. Показано, что LB400 осуществляет трансформацию как индивидуальных конгенов ПХБ с различной степенью хлорирования, так и коммерческих смесей. Пути деструкции бифенила/ПХБ подробно изучены на генетическом и молекулярном уровнях и являются модельными системами при аналогичных исследованиях других штаммов [23, 51].

Штамм *Pseudomonas pseudoalcaligenes* KF707 был выделен в Японии и первоначально идентифицирован как *Pseudomonas furukawaii* [48]. Отличительной особенностью штамма является его способность эффективно разлагать 4,4'-дихлорбифенил, слабо подверженный разложению другими известными штаммами-деструкторами. Однако штамм KF707 разлагал достаточно узкий диапазон изомеров ПХБ, что ограничивало перспективность его применения для биоремедиации [48].

Штамм *R. jostii* RHA1 был изолирован из почвы, загрязненной  $\gamma$ -гексахлорциклогексаном, отобранной на территории Японии, и характеризовался высокой деструктивной активностью по отношению к моно-, ди-, три-, тетра-, гекса- гептаХБ, как *орто*-, так и *пара*-замещенным изомерам ПХБ [72, 98, 118]. Показано, что

штамм *R. jostii* RHA1 осуществлял разложение технических смесей Kaneclor 200, 300, 400 (включающих три-, тетра- и пентахлорбифенилы, соответственно) в течение трех суток [48]. Следует отметить, что штамм *R. jostii* RHA1 проявлял активность и в отношении ди- и трихлорбензойных кислот, основных метаболитов ПХБ, о чем свидетельствовало снижение данных соединений в процессе деструкции хлорбифенилов. Исследования генома штамма показали, что в нем содержится два набора генов, кодирующих ферменты деструкции ПХБ [48].

Помимо данных штаммов с территорий США и Японии были выделены и другие активные деструкторы ПХБ. Так, штамм *Paenibacillus* sp. KBC101 активно утилизировал (три-гекса)-хлорированные бифенилы: 100 % – 2,5,2'-ХБ, 72 % – 2,5,2',5'-ХБ, 58 % – 2,4,5,2',5'-ХБ, так и *napa*-ХБ: 58 % – 2,4,3',4'-ХБ, 33 % – 2,4,2',4'-ХБ, 11 % – 2,4,5,2',4',5'-ХБ, в концентрации 10 мг/л [96]. Штаммы *Burkholderia* sp. SK-3 и *Cupriavidus* sp. SK-4, использовали монохлорбифенилы (2-ХБ, 3-ХБ, 4-ХБ), а также дихлорбифенилы – 2,2'-диХБ и 2,4'-диХБ (имеющие атомы хлора в *орто*-положении), в качестве единственного источника углерода и энергии [63, 64, 116].

С территории Китая выделены штаммы, проявляющие активность как к незамещенному бифенилу, так и к его хлорпроизводным. Штамм *Dyella ginsengisoli* LA-4 утилизировал около 95% бифенила (100 мг/л) в течение 72 часов [18], штамм *Rhodococcus* sp. WB1 проявлял активность к (моно-тетра)-хлорированным бифенилам, в том числе к 4,4'-диХБ [122, 123], штамм *Enterobacter* sp. LY402 обладал способностью трансформировать 92% – пентаХБ, 76% – гексаХБ и 37% – гептаХБ, содержащихся в коммерческих смесях ПХБ, а также обладал активностью по отношению к некоторым октаХБ [61, 122].

Особый интерес представляют штаммы, изолированные с территории Нигерии. Штаммы *Ralstonia* sp. SA-3, *Ralstonia* sp. SA-4, *Ralstonia* sp. SA-5, *Pseudomonas* sp. SA-6 и *Enterobacter* sp. SA-2 характеризовались способностью к деструкции *мета*- и *орто*-дихлорированных бифенилов, а также *орто*-триХБ, содержащих заместители в обоих кольцах молекулы [15, 49]. В работе [59] описан штамм *Achromobacter xylosoxidans* IR08, который, в отличие от ранее выделенных *Ralstonia* sp. SA-4, *Ralstonia* sp. SA-5, *Pseudomonas* sp. SA-6, был способен утилизировать 4,4'-диХБ без накопления токсичных промежуточных продуктов. Интересным представляется и тот факт, что штамм *A. xylosoxidans* IR08 эффективнее рос на хлорированных бифенилах, чем на бифениле и бензоате. Вероятно, присутствие заместителей не оказывало ингибирующего действия на ферменты. На основании этого авторы сделали предположение об уникальности ферментных систем деструкции ПХБ штамма IR08 [59].

Одним из первых описанных штаммов, осуществляющих разложение ПХБ, является штамм *Burkholderia cepacia* P166, выделенный из загрязненных почв Панамы, и первоначально идентифицированный как *Pseudomonas cepacia* [20]. Штамм P166 характеризовался способностью использовать в качестве источника углерода все моно-хлорированные бифенилы.

Однако активный рост был отмечен только на 4-хлорбифениле, так как штамм P166 обладал системами утилизации и 4-хлорбензойной кислоты, основного метаболита 4-ХБ. Рост на 3-ХБ и 2-ХБ сопровождался накоплением токсичных продуктов. Так же, как и у вышеописанного штамма *A. xylosoxidans* IR08, скорость роста штамма *B. cepacia* P166 на 4-ХБ превышала рост на бифениле [45].

Способностью к деструкции бифенила/ПХБ обладает штамм *Aquamicrobium* sp. SK-2, выделенный из активного ила сточных вод (г. Сеул, Южная Корея). Следует отметить, что штамм SK-2 активно рос на бифениле в широком диапазоне концентраций (от 0.65 до 9.75 мМ), а эффективность деструкции при этом составляла от 46.7% до 100%, и находилась в обратной корреляционной зависимости от концентрации субстрата [32]. Штамм *Pseudomonas aeruginosa* JP-11, выделенный из донных отложений Бенгальского залива (Индийский океан), осуществлял разложение 200 мг/л бифенила за 72 часа на 98.85% [31].

Штаммы, выделенные из активного ила и ПХБ-загрязненных почв на территории Канады, осуществляли разложение (моно-три)-хлорированных бифенилов, а также коммерческой смеси ПХБ марки Agoclor 1242 [69, 106]. Для штамма *Comamonas testosteroni* B-356 отмечено предпочтительное окисление конгенов ПХБ, содержащих заместители в *мета*-положении [106]. Высокой активностью в отношении смеси ПХБ Agoclor 1242 обладал штамм *Janibacter* sp. MS3-02, выделенный из почвы, загрязненной выбросами мусоросжигательного завода на территории Испании [104]. Штамм *Pseudomonas aeruginosa* TMU56, выделенный из почв, загрязненных отходами электрохимической промышленности (Иран), эффективно разлагал смеси Agoclor 1242 и 1260. Помимо коммерческих смесей, данный штамм осуществлял деструкцию высоких концентраций таких конгенов ПХБ, как моноХБ (2-ХБ, 4-ХБ), диХБ (2,4-, 2,5-, 2,2'-, 4,4'-ХБ), триХБ (2,4,4'-ХБ), тетраХБ (2,2',5,5'-ХБ), гексаХБ (2,2',4,4',5,5'-ХБ) [52].

Штаммы-деструкторы ПХБ, изолированные из почв территории Российской Федерации, представлены в настоящем исследовании и будут описаны в экспериментальной части работы.

Большинство описанных штаммов-деструкторов ПХБ являются мезофильными организмами. Однако известно, что биодеструкция ПХБ возможна и при условиях, отклоняющихся от средних по ряду факторов, таких как температура или содержание солей. Способность разлагать ПХБ при условиях повышенного засоления описана для ограниченного числа бактерий [32, 33]. В частности, штамм *Pseudomonas aeruginosa* CH07, изолированный из прибрежной зоны в Индии, осуществлял деструкцию таких конгенов ПХБ как 3,3',4,4',5-пентахлорбифенил и 2,2',3,4,4',5,5'-гептахлорбифенил (в концентрации 100 мг/л), при концентрации NaCl ~ 3,4 %. Известно несколько психротолерантных штаммов (*Arthrobacter* sp. 74, *Pseudoalteromonas* sp. 19, *Psychrobacter* sp. 15, *Hydrogenophaga faeniospiralis* IA3-A), способных утилизировать ПХБ при +4°C и +15°C. Данные штаммы выделены из почв Антарктиды и Канады [69, 85]. Среди термофильных бактерий описан только один штамм

*Geobacillus* sp. JF8 (Япония), осуществляющий разложение бифенила при +60°C [31, 101].

#### **Ассоциации бактерий, осуществляющие разложение полихлорбифенилов**

Важную роль в разложении ПХБ играют бактериальные сообщества. Многочисленные исследования показали, что ассоциации бактерий, осуществляющие разложение ПХБ, формируются в различных средах: в почве, в донных отложениях, а также в экстремальных по физико-химическим условиям районах [29, 65, 89]. Видовой состав данных сообществ не стабилен, зависит от ряда факторов, в том числе от спектра присутствующих в среде загрязнителей [53]. Так как в процессе биоремедиации количество и разнообразие загрязняющих веществ изменяется, то в бактериальных сообществах отмечается явление сукцессии [29, 99, 108, 114].

Бактериальное сообщество, выделенное из ПХБ-загрязненных почв, было представлено в основном родами *Burkholderia*, *Variovorax*, *Xylophilus*, *Nevskia* и *Sphingomonas* (*Betaproteobacteria*), основными деструкторами выступали штаммы рода *Burkholderia*. Представители класса *Actinobacteria* занимали минорное положение [83]. Однако в ряде работ описано иное соотношение классов *Proteobacteria* и *Actinobacteria* в ПХБ-разлагающих бактериальных сообществах. В бактериальных ассоциациях RMC1, RMC2, ZMC56, ZMC57, DMC3, DMC14, выделенных из почв Хорватии, деструкцию ПХБ осуществляли штаммы рода *Rhodococcus* (класс *Actinobacteria*) [65]. Штамм *Rhodococcus* sp. Z6 являлся основным активным деструктором ПХБ в ассоциации TSZ7 [89].

Бактериальные сообщества проявляют активность как к индивидуальным конгенерам ПХБ, так и к коммерческим смесям. Из почв Чехии выделены три ассоциации аэробных бактерий, проявляющих активность к коммерческой смеси ПХБ марки Delor 103. Показано, что ассоциация III осуществляла 50% разложение Delor 103 и являлась более перспективной, чем ассоциации I и II, осуществляющие разложение низко хлорированных конгенов, входящих в состав смеси Delor 103 [27].

Существенную роль в разложении ПХБ играют анаэробные бактериальные сообщества. Ассоциация анаэробных бактерий, изолированная из иловых отложений Балтиморского порта, проявляла активность в отношении заместителей, находящихся в орто-положении в молекулах ПХБ [53]. Natarajan с коллегами [81] выделил анаэробное метаногенное бактериальное сообщество, проявляющее активность к заместителям в молекуле ПХБ во всех возможных положениях (*орто*-, *мета*- и *пара*-) и осуществляющее восстановление 2,3,4,5,6-пентаХБ до стадии образования бифенила. Несмотря на то, что основным конечным продуктом восстановительного дегалогенирования ПХБ у анаэробных сообществ является незамещенный бифенил, описана метаногенная ассоциация, осуществляющая разложение бифенила до углекислого газа и метана через стадию образования *пара*-крезола [81].

В ряде работ описаны бактериальные ассоциации, сконструированные на основе штаммов с известной деградационной активностью. Так, ассоциация ЕСОЗ

включала штамм *Pseudomonas* sp. СРЕ1, осуществляющий разложение 4-хлорбифенила и 3,4'-дихлорбифенила, а также два штамма, субстратом деструкции для которых являлись образующиеся при разложении ПХБ хлорбензойные кислоты. Показано, что в условиях биореактора смешанные культуры бактерий, в состав которых включены штаммы-деструкторы ПХБ и ХБК, эффективно разлагали (моно-ди)-хлорбифенилы и коммерческие смеси ПХБ марок Fenclor 42 и Agoclor 1221 [42-44]. Бактериальная ассоциация, состоящая из штамма *B. xenovorans* LB400 и генетически-модифицированного штамма *P. putida* mt-2a, осуществляла утилизацию высоких концентраций 2,4'-дихлорбифенила [93].

Таким образом, бактерии-деструкторы ПХБ представлены в микробиоценозах на всех континентах. В большинстве случаев они приурочены к территориям со специфическим загрязнением (ПХБ и другие соединения группы СОЗ). Выделенные и описанные штаммы представляют различные филогенетические группы, основную долю среди которых занимают представители классов *Actinobacteria*, *Proteobacteria* и *Firmicutes*. Высокую деградационную активность к ПХБ проявляют как индивидуальные штаммы бактерий, так и ассоциации.

#### **Применение бактерий для очистки ПХБ-загрязненных почв**

Производство ПХБ в промышленных масштабах и широкое использование в различных отраслях народного хозяйства послужило причиной загрязнения данными соединениями обширных территорий. Принимая во внимание особую опасность ПХБ для живых организмов, проблема очистки почв, производственных поверхностей и донных отложений является одной из активно исследуемых в последние десятилетия. Выявлены основные группы процессов, которые могут быть задействованы для уничтожения ПХБ в природных объектах (рис. 3 / fig. 3).

Анализ экспериментальных и литературных данных показал, что в естественных условиях разложение ПХБ протекает под действием физико-химических и биологических факторов, однако этот процесс очень длительный во времени и, по настоящее время, не обеспечивает полное разложение загрязнителя. Разработанные физико-химические технологии позволяют достичь 99.9% деструкции ПХБ, но при этом они энерго- и экономически затратны, а также приводят к разрушению очищаемого субстрата (почвы, донных отложений), при этом могут выделяться токсические соединения.

Биоремедиация является экологически безопасным методом очистки почв от ПХБ. С позиций экономических затрат данные технологии наиболее выгодны. Однако есть недостатки – процесс ремедиации относительно медленный (может занимать от нескольких месяцев до нескольких лет) и разрушению подвергаются не все конгенеры ПХБ. В последнее время появляются сообщения о применении комбинированных методов (сорбция ПХБ + бактериальная деструкция, электрохимическая обработка почв перед биоаугментацией и др.). Однако эти методы еще недостаточно используются и находятся в стадии изучения [88, 115, 110].

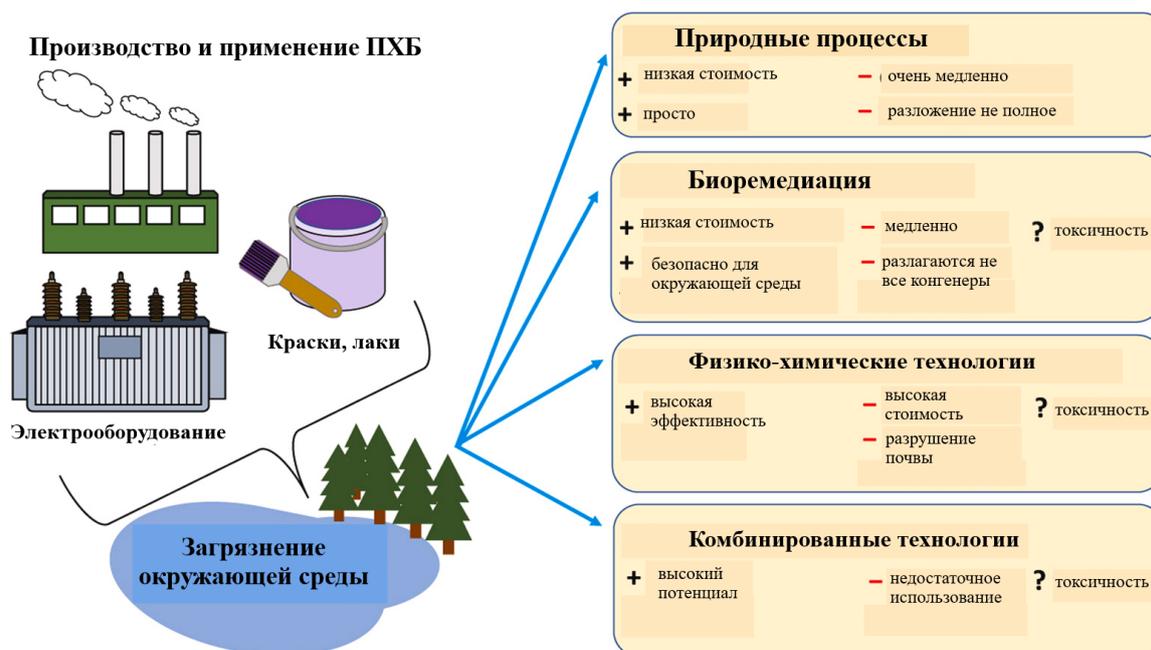


Рис. 3. Основные группы процессов, используемые для восстановления ПХБ-загрязненных территорий (авторский перевод) [110]

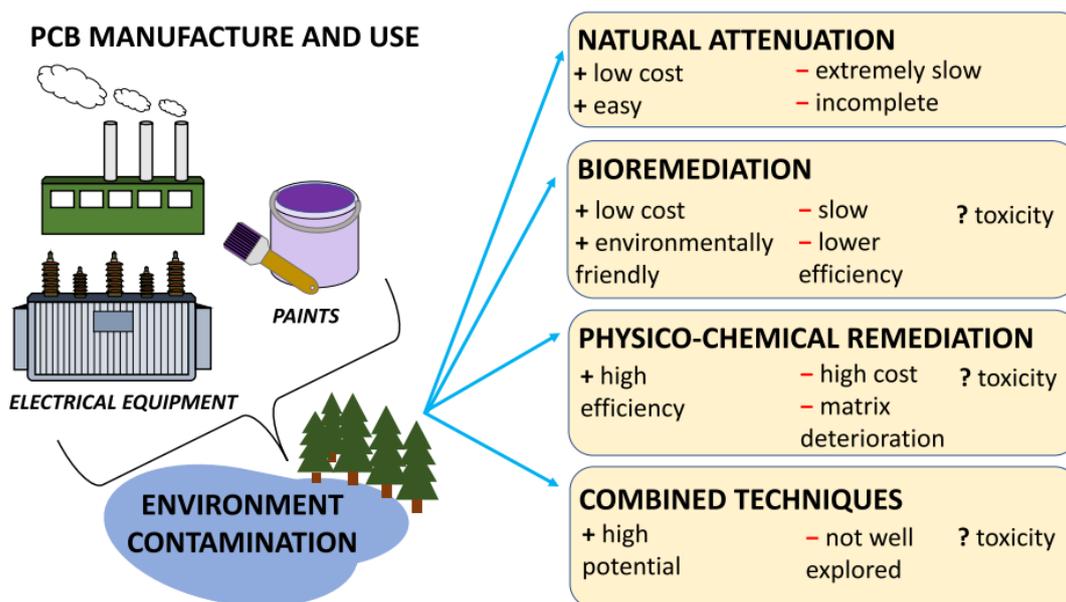


Fig. 3. Main groups of processes used for remediation of PCB-contaminated areas [110]

Основываясь на результатах проведенного анализа, можно заключить, что наиболее перспективным и эффективным подходом в восстановлении ПХБ-загрязненных почв является биоремедиация с применением бактериальных штаммов. Процесс биоремедиации почв в естественных условиях обусловлен активностью анаэробных и аэробных бактерий. Анаэробное восстановление ПХБ приводит к снижению количества заместителей в молекуле хлорбифенила, что способствует снижению диоксин-подобной токсичности конгенеров ПХБ и повышает их биодоступность для аэробных бактерий. Очистка почв от ПХБ может быть обеспечена только применением аэробных бактерий, так как в аэробном метаболизме происходит расщепление молекул до не токсичных или менее токсичных

соединений, тогда как в анаэробных условиях происходит снижение степени хлорирования без расщепления молекулы [88, 115].

Основными направлениями биоремедиации ПХБ-загрязненных почв с использованием метаболического потенциала бактериальных штаммов являются биостимуляция и биоаугментация.

Применение методов биостимуляции (внесение азота, лактата, инкубация в анаэробных условиях) позволило снизить концентрацию высоко хлорированных конгенеров ПХБ и достичь 32–62% деструкции ПХБ, присутствовавших в почве и донных отложениях [34, 41, 73, 107, 108].

В рамках методов биоаугментации применяют внесение в почву как индивидуальных штаммов, так и их

сообществ. При этом следует учитывать риски внесения новых видов в сложившийся микробиоценоз [88]. Одним из подходов к снижению данных рисков является использование штаммов, ранее выделенных из загрязненных почв.

Одними из первых сообщений об эффективном применении для очистки почв от ПХБ являются патенты, связанные с применением штаммов *B. xenovorans* LB400 и *Alcaligenes eutrophus* H850 (патент США № 4843007, № 4843009, № 4876201, № 5009999). Внесение данных штаммов в почву, содержащую 50 ppm Aroclor 1242, 500 ppm Aroclor 1242 или 50 ppm Aroclor 1254, приводило к снижению концентрации смесей ПХБ на 43–85%. Наилучшие показатели отмечены при исходном уровне загрязнения в 50 ppm Aroclor 1242.

В результате внесения в почву, содержащую 100 мг Aroclor 1242/г почвы, штамма *Arthrobacter* sp. В1В через 9 сут происходило снижение концентрации дихлорбифенилов на 88%, трихлорбифенилов на 40%, тетрахлорбифенилов на 11% и пентахлорбифенилов на 3%. В случае, если почва была загрязнена ПХБ 2, ПХБ 3 и ПХБ 8 в концентрациях, сопоставимых с указанной выше (100 мг/г почвы), внесение штамма *Cupriavidus necator* JMS34 обуславливало снижение уровня загрязнения на 99%, а штамма *B. xenovorans* LB400 – на 85% (патент США № 7989194).

Российским агентством по патентам и товарным знакам выдан патент на штамм *Alcaligenes latus* ТХД-13, внесение которого в почву обеспечивает снижение содержания ПХБ на 35–50% при начальной концентрации загрязнителя 52.3–70.2 мг/кг почвы (патент РФ 2155804 С1). Жариков с коллегами [6] сообщает об эффективной биоаугментации двух штаммов микроорганизмов в почву г. Серпухов. На территории завода «Конденсатор» степень разложения ПХБ составила 90% (концентрация снизилась с 1600 до 160 мг/кг), на территории сквера концентрация ПХБ снизилась с 12–14 мг/кг до 0.1 мг/кг, а в сельскохозяйственных почвах, загрязненных высокохлорированными бифенилами, на участке в 1 га удалось достичь снижение ПХБ на 80–90% [6].

Применение бактериальных консорциумов позволяет эффективно восстанавливать ПХБ-загрязненные почвы. Совместное внесение трех аэробных бактерий (*Mycolicibacterium frederiksbergense* IN53, *Rhodococcus erythropolis* IN129, *Rhodococcus* sp. IN306) приводит к снижению концентрации ПХБ в почве через 6 месяцев на 84.5%, в том числе – на 58.6% ПХБ 180 [111]. Близкие результаты получены в случае применения штаммов родов *Rhodococcus* и *Achromobacter* [55].

Для повышения эффективности биоаугментации, а также улучшения технологических свойств вносимых биопрепаратов, предлагается использовать в качестве носителей различные органические материалы, а также дополнительно вносить в почву сурфактанты и другие соединения, повышающие биодоступность ПХБ [88, 110, 115]. Внесение сурфактантов «Saronin» и «Rhamnolipids R-90» при биоаугментации штамма *Achromobacter xylosoxidans* приводило к повышению эффективности удаления ПХБ с 30% до 55% и 60% соответственно. В качестве носителей предлагается ис-

пользовать альгинатный гель, гранулированный активированный уголь, биоуголь (biochar) [84, 109, 115]. Показано, что иммобилизация бактериального консорциума GYB1 в альгинатных гранулах снижает время полураспада ПХБ 118 с 8.14 до 3.79 дней [84]. Внесение биоугля, полученного из бамбука, совместно с бактериальным сообществом приводило к снижению концентрации ПХБ в почве на 65.68–78.93% при начальном содержании 60 мг Aroclor 1242/кг почвы [58].

Сочетание биостимуляции и биоаугментации также используется в технологиях биоремедиации ПХБ-загрязненных почв. Одним из примеров реализации данного подхода является очистка почвы с разным уровнем загрязнения ПХБ (127 мкг/г и 484 мкг/г). Внесение питательных веществ совместно с четырьмя бактериальными штаммами, обуславливало деградацию 58% и 60.8% ПХБ соответственно [29].

Таким образом, разработка технологий восстановления ПХБ-загрязненных почв на основе бактериальных штаммов является в настоящее время актуальным и перспективным направлением для решения вопросов сохранения безопасных условий окружающей среды.

### Заключение

Анализ данных многочисленных исследований выявил высокий интерес к проблеме обезвреживания полихлорированных бифенилов, входящих в перечень стойких органических загрязнителей (СОЗ) [1, 46, 82]. Острую актуальность данной проблемы подтверждает тот факт, что Стокгольмская конвенция, регламентирующая список СОЗ и процедуры обращения с веществами данной группы, ратифицирована 185 странами (<http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatories/tabid/4500/Default.aspx>).

Наиболее перспективным подходом для решения данной проблемы является деструкция ПХБ при участии аэробных бактерий [1, 38, 82]. Глобальная распространенность ПХБ обуславливает негативное давление на биоценозы как в регионах с развитой промышленностью, так и на территориях, удаленных от техногенных воздействий, что приводит к изменениям в составе микробиоценозов, направленных на увеличение доли бактерий, осуществляющих трансформацию/деструкцию ПХБ. Анализ мест выделения бактерий-деструкторов ПХБ показал, что в большинстве случаев экотопы были загрязнены полихлорбифенилами, а география охватывает все континенты [4, 11, 26, 82, 126–129].

Следует отметить, что описанные в литературе штаммы-деструкторы ПХБ существенно отличаются спектром разлагаемых конгенов хлорбифенилов (всего существует 209 конгенов ПХБ, отличающихся количеством и положением заместителей в молекуле) [22, 36, 56, 57, 60, 66, 70, 80, 91, 92, 103, 105]. Выявлена основная закономерность – наиболее доступными для аэробных бактерий являются хлорбифенилы, содержащие от 1 до 4 атомов хлора в молекуле, преимущественно в *орто*- или *мета*-положении. Описано незначительное количество штаммов, способных разлагать конгены ПХБ с количеством заместителей более 5, а также несущих атомы хлора в *пара*-положении [23, 24, 25, 48, 51, 59, 60]. Однако, ПХБ производились и применялись в виде смесей, основную долю в которых составляли высокохлорированные конге-

неры [9, 11, 39]. В связи с этим отмечается необходимость поиска бактериальных штаммов, осуществляющих разложение широкого спектра ПХБ, в том числе представленных в составе коммерческих смесей.

Адаптация аэробных бактерий к ПХБ-загрязнению привела к эволюции метаболических процессов. Разложение ПХБ осуществляется под действием ферментного комплекса, обуславливающего поэтапное окисление ароматического кольца. В основе лежит биохимический путь трансформации незамещенного бифенила [16, 47, 86].

Одной из основных мировых тенденций является развитие природоподобных технологий, направленных на удаление ПХБ из объектов окружающей среды, а также из мест складирования [110]. Данные технологии должны сочетать экологическую безопасность и экономическую эффективность. На современном этапе исследований показано, что основными агентами экобиотехнологий являются штаммы аэробных бактерий. Описанные выше особенности бактериальной деструкции ПХБ обуславливают необходимость дальнейшего поиска перспективных штаммов, а также новых направлений в развитии ПХБ-утилизирующих технологий.

#### Список источников

1. Горбунова Т.И., Первова М.Г., Забелина О.Н., Салоутин В.И., Чупахин О.Н. Полихлорбифенилы: Проблемы экологии, анализа и химической утилизации М.: КРАСАНД; Екатеринбург: УрО РАН. 2011. 400 с.
2. Горбунова Т.И., Первова М.Г., Салоутин В.И., Чупахин О.Н. Химическая функционализация полихлорированных бифенилов: новые достижения Екатеринбург: Издательство Уральского Университета. 2018. 728 с.
3. Горбунова Т.И., Салоутин В.И., Чупахин О.Н. Химические методы превращений полихлорбифенилов // Успехи химии. 2010. Т. 79, № 6. С. 565–586.
4. Демин Д.В. Ремедиация почв, загрязнённых полихлорбифенилами: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.13. Пушкино, 2013. 38 с.
5. Егорова Д.О., Шумкова Е.С., Демаков В.А., Плотникова Е.Г. Разложение хлорированных бифенилов и продуктов их биоокисления штаммом *Rhodococcus* sp. В7а // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46, № 6. С. 644–650.
6. Жариков Г.А., Марченко А.И., Крайнов О.А., Капранов В.В., Жариков М.Г. Разработка и полевые испытания технологий биоремедиации территорий, загрязнённых токсичными химическими веществами // Медицина экстремальных ситуаций. 2013. №2(44). С. 41–51.
7. Занавескин Л.Н., Аверьянов А.В. Полихлорбифенилы: проблемы загрязнения окружающей среды и технологические методы обезвреживания // Успехи химии. 1998. Т. 67, № 8. С. 788–800.
8. Крятов И.А., Тонкопий Н.И., Ушаков О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Ушаков Д.И., Туркова И.С., Воробьева О.В., Цанкова Н.Н. Регулирование безопасных уровней содержания полихлорированных бифенилов в почве: российский и международный опыт // Гигиена и санитария. 2013. № 6. С. 52–57.
9. Первова М.Г., Плотникова К.А., Горбунова Т.И., Салоутин В.И., Чупахин О.Н. Исследование конгенов полихлорированных бифенилов в технической смеси «Трихлорбифенил» // Журнал общей химии. 2015. Т. 85, № 8. С. 1374–1379. <https://doi.org/10.1134/S1070363215080216>
10. Плотникова Е.Г., Соляникова И.П., Егорова Д.О., Шумкова Е.С., Головлева Л.А. Особенности разложения 4-хлорбифенила и 4-хлорбензойной кислоты штаммом *Rhodococcus ruber* P25 // Микробиология. 2012. Т. 81. № 2. С. 159–159
11. Трегер Ю. СОЗ – стойкие и очень опасные // The Chemical Journal. 2013. №1. Р. 30–34.
12. Шумкова Е.С., Егорова Д.О., Боронникова С.В., Плотникова Е.Г. Полиморфизм генов *bphA* бактерий-деструкторов бифенила/хлорированных бифенилов // Молекулярная биология. 2015. Т. 49. № 4. С. 638–638.
13. Abramowicz D.A. Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment // Environmental health perspectives. 1995. Vol. 103. № 5. P. 97–99.
14. Adams C.I.M., Baker J.E., Kjellerup B.V. Toxicological effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) on freshwater turtles in the United States // Chemosphere. 2016. Vol. 154. P. 148–154.
15. Adebuseye S.A., Picardal F.W., Ilori M.O., Amund O.O., Fuqua C. Characterization of multiple novel aerobic polychlorinated biphenyl (PCB)-utilizing bacterial strains indigenous to contaminated tropical African soils // Biodegradation. 2008. Vol. 19, № 1. P. 145–159.
16. Agulló L., Pieper D.H., Seeger M. Genetics and Biochemistry of Biphenyl and PCB Biodegradation. In: Rojo F. (eds) Aerobic Utilization of Hydrocarbons, Oils, and Lipids. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology // Springer, Cham. 2019. P. 595–622.
17. Aken B.V., Correa P.A., Schnoor J.L. Phytoremediation of polychlorinated biphenyls: new trends and promises // Environ. Sci. Technol. 2010. Vol. 44. № 8. P. 2767–2776.
18. Ang L.I., Yuanyuan Q.U., Jiti Z., Min G. Isolation and characteristics of a novel biphenyl-degrading bacterial strain, *Dyella ginsengisoli* LA-4 // Journal of Environmental Sciences. 2009. Vol. 21. № 2. P. 211–217.
19. Arensdorf J. J., Focht D. D. Meta cleavage pathway for 4-chlorobenzoate, an intermediate in the metabolism of 4-chlorobiphenyl by *Pseudomonas cepacia* P166 // Appl. Environ. Microbiol. 1995. Vol. 61. P. 443–447.
20. Arensdorf J. J., Focht D. D. Formation of chlorocatechol meta cleavage products by a pseudomonad during metabolism of monochlorobiphenyls // Appl. Environ. Microbiol. 1994. Vol. 60. P. 2884–2889.
21. Asturias J.A., Timmis K.N. Three different 2,3-dihydroxybiphenyl-1,2-dioxygenase genes in the gram-positive polychlorobiphenyl-degrading bacterium *Rhodococcus globerulus* P6 // Journal of bacteriology. 1993. Vol. 175. №. 15. P. 4631–4640.
22. Atago Y, Shimodaira J, Araki N, Bin Othman N, Zakaria Z, Fukuda M, Futami J, Hara H. Identification of novel extracellular protein for PCB/biphenyl metabolism in *Rhodococcus jostii* RHA1 // Biosci Biotechnol Biochem. 2016. Vol. 80. № 5. P. 1012–1019. <https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1127134>

23. Bako C.M., Mattes T.E., Marek R.F., Hornbuckle K.C., Schnoor J.L. Biodegradation of PCB congeners by *Paraburkholderia xenovorans* LB400 in presence and absence of sediment during lab bioreactor experiments // *Environ Pollut.* 2021. Vol. 271. Article 116364. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116364>
24. Bedard D.L., Wagner R.E., Brennan M.J., Haberl M.L., Brown J.F. Extensive degradation of Aroclors and environmentally transformed polychlorinated biphenyls by *Alcaligenes eutrophus* H850 // *Appl Environ Microbiol.* 1987 Vol. 53. № 5. P. 1094–102. <https://doi.org/10.1128/aem.53.5.1094-1102.1987>
25. Bedard D.L., Haberl M.L. Influence of chlorine substitution pattern on the degradation of polychlorinated biphenyls by eight bacterial strains // *Microbial ecology.* 1990. Vol. 20. № 1. P. 87–102.
26. Blasco R., Wittich R.M., Mallavarapu M., Timmis K.N., Pieper D.H. From xenobiotic to antibiotic, formation of protoanemonin from 4-chlorocatechol by enzymes of the 3-oxoadipate pathway. // *J Biol Chem.* 1995. Vol. 270. № 49. P. 29229–35. <https://doi.org/10.1074/jbc.270.49.29229>
27. Bokvajová A., Burkhard J. Screening and separation of microorganisms degrading PCBs // *Environmental Health Perspectives Supplements.* 1994. Vol.102. № 2. P. 552–559.
28. Brown J.F., Wagner R.E.; Bedard D.L., Brennan M.J.; Carnahan, J.C. PCB transformations in upper Hudson sediments // *Northeastern Environmental Science.* 1984. Vol. 3. P. 166–178.
29. Cervantes-González E., Guevara-García M.A., García-Mena J., Ovando-Medina V.M. Microbial diversity assessment of polychlorinated biphenyl-contaminated soils and the biostimulation and bioaugmentation processes // *Environmental monitoring and assessment.* 2019. Vol. 191. № 2. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7227-4>
30. Chain PS, Deneff VJ, Konstantinidis KT, Vergez LM, Agulló L, Reyes VL, Hauser L, Córdova M, Gómez L, González M, Land M, Lao V, Larimer F, LiPuma JJ, Mahenthiralingam E, Malfatti SA, Marx CJ, Parnell JJ, Ramette A, Richardson P, Seeger M, Smith D, Spilker T, Sul WJ, Tsoi TV, Ulrich LE, Zhulin IB, Tiedje JM. *Burkholderia xenovorans* LB400 harbors a multi-replicon, 9.73-Mbp genome shaped for versatility // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2006. Vol. 103. № 42. P. 15280–15287.
31. Chakraborty J., Das S. Characterization of the metabolic pathway and catabolic gene expression in biphenyl degrading marine bacterium *Pseudomonas aeruginosa* JP-11 // *Chemosphere.* 2016. Vol. 144. P. 1706–1714.
32. Chang YC, Takada K, Choi D, Toyama T, Sawada K, Kikuchi S. Isolation of biphenyl and polychlorinated biphenyl-degrading bacteria and their degradation pathway // *Applied biochemistry and biotechnology.* 2013. Vol. 170. № 2. P. 381–398. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0191-5>
33. Chang YC, Sawada K, Kim ES, Jung K, Kikuchi S. Whole-genome sequence of *Aquamicrobium* sp. strain SK-2, a polychlorinated biphenyl-utilizing bacterium isolated from sewage sludge // *Genome Announce.* 2015. Vol. 3. № 3. <https://doi.org/10.1128/genomeA.00439-15>
34. Chun C.L. Electrical stimulation of microbial PCB degradation in sediment // *Water Res.* 2013. Vol. 47. P. 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.038>
35. Chung S.Y., Maeda M., Song E., Horikoshij K., Kudo T. A Gram-positive polychlorinated biphenyl-degrading bacterium, *Rhodococcus erythropolis* strain TA421, isolated from a termite ecosystem // *Bioscience, biotechnology, and biochemistry.* 1994. Vol. 58. № 11. P. 2111–2113.
36. Colbert C.L., Agar N.Y., Kumar P., Chakko M.N., Sinha S.C., Powlowski J.B., Eltis L.D., Bolin J.T. Structural characterization of *Pandoraea pnomena* B-356 biphenyl dioxygenase reveals features of potent polychlorinated biphenyl-degrading enzymes // *PLoS One.* 2013. Vol. 8, № 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052550>
37. Devi N.L. Persistent Organic Pollutants (POPs): Environmental risks, toxicological effects, and bioremediation for Environmental Safety and Challenges for Future Research. In: Saxena G., Bharagava R. (eds) *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety.* 2020. Springer, Singapore. P. 53–76. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7_4)
38. Elangovan S., Pandian S.B.S., S. J. G., Joshi S.J. Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Environmental Fate, Challenges and Bioremediation // *Microbial Metabolism of Xenobiotic Compounds.* 2019. P. 165–188.
39. Erickson B.D., Kaley II R.G. Application of polychlorinated biphenyls // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2011. Vol. 18. P. 135–151.
40. Erickson B.D., Mondello F.J. Enhanced biodegradation of polychlorinated biphenyls after site-directed mutagenesis of a biphenyl dioxygenase gene // *Appl. Environ. Microbiol.* 1993. Vol. 59. № 11. P. 3858–3862.
41. Ewald J.M., Humes S.V., Martinez A., Schnoor J.L., Mattes T.E. Growth of *Dehalococcoides* spp. and increased abundance of reductive dehalogenase genes in anaerobic PCB-contaminated sediment microcosms // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. Vol. 27. P. 8846–8858. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05571-7>
42. Fava F., Di Gioia D., Marchetti L., Quattroni G. Aerobic dechlorination of low-chlorinated biphenyls by bacterial biofilms in packed-bed batch bioreactors // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1996. Vol. 45. P. 562–568.
43. Fava F., Di Gioia D., Cinti S., Marchetti L., Quattroni G. Degradation and dechlorination of low-chlorinated biphenyls by a three-membered bacterial co-culture // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1994. Vol. 41. P. 117–123.
44. Fava F., Di Gioia D., Marchetti L. Role of the reactor configuration in the biological detoxification of a damp site-polychlorobiphenyl-contaminated soil in lab-scale slurry phase conditions // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2000. Vol. 53. P. 243–248.
45. Field J.A., Sierra-Alvarez R. Microbial transformation of chlorinated benzoates // *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2008. Vol. 7. P. 191–210.
46. Final act of the Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm, 22-23 May // UNEP / POPS/CONF/4. United Nations Environment Programme. Geneva. 2001. 44 p.
47. Fukuda K., Hosoyama A., Tsuchikane K., Ohji S, Yamazoe A., Fujita N., Shintani M., Kimbara K. Complete genome sequence of polychlorinated biphenyl degrader *Comamonas testosteroni* TK102 (NBRC 109938) // *Genome Announce.* 2014. Vol. 2, № 5. <https://doi.org/10.1128/genomea.00865-14>
48. Furukawa K. Biochemical and genetic bases of microbial degradation of polychlorinated biphenyls

- (PCBs) // The Journal of general and applied microbiology. 2000. Vol. 46. № 6. P. 283–296.
49. Gioia R., Akindele A.J., Adebusoye S.A., Asante K.A., Tanabe S., Buekens A., Sasco A.J. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in Africa: a review of environmental levels // Environmental Science and Pollution Research. 2014. Vol. 21. № 10. P. 6278–6289. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05571-710.1007/s11356-013-1739-1>
50. Gómez-Gil L., Kumar P., Barriault D., Bolin J.T., Sylvestre M., Eltis L.D. Characterization of biphenyl dioxygenase of *Pandoraea pnomenus* B-356 as a potent polychlorinated biphenyl-degrading enzyme // Journal of bacteriology. 2007. Vol. 189. № 15. P. 5705–5715.
51. Goris J., De Vos P., Caballero-Mellado J., Park J., Falsen E., Quensen J.F., Tiedje J.M., Vandamme P. Classification of the biphenyl- and polychlorinated biphenyl-degrading strain LB400<sup>T</sup> and relatives as *Burkholderia xenovorans* sp. nov // International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2004. Vol. 54. № 5. P. 1677–1681.
52. Hatamian-Zarmi A., Shojaosadati S.A., Vashghani-Farahani E., Hosseinkhani S., Emamzadeh A. Extensive biodegradation of highly chlorinated biphenyl and Aroclor 1242 by *Pseudomonas aeruginosa* TMU56 isolated from contaminated soils // International Biodeterioration & Biodegradation. 2009. Vol. 63. № 6. P. 788–794.
53. Holoman T.R., Elbersen M.A., Cutter L.A., May H.D., Sowers K.R. Characterization of defined 2,3,5,6-tetrachlorobiphenyl-ortho-dechlorinating microbial community by comparative sequence analysis of genes coding for 16S rRNA // Appl. Environ. Microbiol. 1998. Vol. 64. P. 3359–3367.
54. Hong Q., Dong X., He L., Jiang X., Li S. Isolation of a biphenyl-degrading bacterium, *Achromobacter* sp. BP3, and cloning of the *bph* gene cluster // International Biodeterioration & Biodegradation. 2009. Vol. 63. № 4. P. 365–370.
55. Horvathova, H., Laszlova K., Dercova K. Bioremediation of PCB-contaminated shallow river sediments: the efficacy of biodegradation using individual bacterial strains and their consortia // Chemosphere. 2018. Vol. 193. P. 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.012>
56. Hou L.H., Dutta S.K. Phylogenetic characterization of several para- and meta-PCB dechlorinating *Clostridium* species: 16s rDNA sequence analyses // Letters in applied microbiology. 2000. Vol. 30. № 3. P. 238–243.
57. Hu J., Qian M., Zhang Q., Cui J., Yu C., Su X., Shen C., Hashmi M.Z., Shi J. *Sphingobium fuliginis* HC3: a novel and robust isolated biphenyl- and polychlorinated biphenyls-degrading bacterium without dead-end intermediates accumulation // PloS one. 2015. Vol. 10. № 4. Article e0122740 <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05571-710.1371/journal.pone.0122740>
58. Huang S., Shan M., Chen J., Penttinen P., Qin H. Contrasting dynamics of polychlorinated biphenyl dissipation and fungal community composition in low and high organic carbon soils with biochar amendment // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. P. 33432–33442
59. Ilori M.O., Robinson G.K., Adebusoye S.A. Aerobic mineralization of 4,4'-dichlorobiphenyl and 4-chlorobenzoic acid by a novel natural bacterial strain that grows poorly on benzoate and biphenyl // World J. Microbiol. Biotechnol. 2008. Vol. 24. P. 1259–1265. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9597-y>
60. Ilori M.O., Picardal F.W., Aramayo R., Adebusoye S.A., Obayori O.S., Benedik M.J. Catabolic plasmid specifying polychlorinated biphenyl degradation in *Cupriavidus* sp. strain SK-4: Mobilization and expression in a pseudomonad // Journal of basic microbiology. 2015. Vol. 55. № 3. P. 338–345.
61. Jia L.Y., Zheng A.P., Xu L., Huang X.D., Zhang Q., Yang F.L. Isolation and characterization of comprehensive polychlorinated biphenyl degrading bacterium, *Enterobacter* sp. LY402 // J Microbiol Biotechnol. 2008. Vol. 18. № 5. P. 952–957.
62. Jia Y., Wang J., Ren C., Nahurira R., Khokhar I., Wang J., Fan S., Yan Y. Identification and characterization of a meta-cleavage product hydrolase involved in biphenyl degradation from *Arthrobacter* sp. YC-RL1 // Appl. Microb. Biotech. 2019. Vol. 103. P. 6825–6836. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09956-z>
63. Kim S., Picardal F.W. A novel bacterium that utilizes monochlorobiphenyls and 4-chlorobenzoate as growth substrates // FEMS Microbiology Letters. 2000. Vol. 185. № 2. P. 225–229.
64. Kim S., Picardal F.W. Microbial growth on dichlorobiphenyls chlorinated on both rings as a sole carbon and energy source // Appl. Environ. Microbiol. 2001. Vol. 67. № 4. P. 1953–1955.
65. Kolar A.B., Hršak D., Fingler S., Četković H., Petrić I., Kolić N.U. PCB-degrading potential of aerobic bacteria enriched from marine sediments // Int. Biodeter. Biodegrad. 2007. Vol. 60. P. 16–24. <https://doi.org/10.16/j.ibiod.2006.11.004>
66. Kour D., Rana K.L., Kumar R., Yadav N., Rastegari A.A., Yadav A.N. Singh K. Gene manipulation and regulation of catabolic genes for biodegradation of biphenyl compounds // In New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. 2019. P. 1–23.
67. Kranzioch I., Stoll C., Holbach A., Chen H., Wang L., Zheng B., Norra S., Bi Y., Schramm K.W., Tiehm A. Dechlorination and organohalide-respiring bacteria dynamics in sediment samples of the Yangtze Three Gorges Reservoir // Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20. № 10. P. 7046–7056.
68. Kumar P., Mohammadi M., Viger J.F., Barriault D., Gomez-Gil L., Eltis L.D., Bolin J.T., Sylvestre M. Structural insight into the expanded PCB-degrading abilities of a biphenyl dioxygenase obtained by directed evolution // Journal of molecular biology. 2011. Vol. 405. № 2. P. 531–547.
69. Lambo A.J., Patel T.R. Cometabolic degradation of polychlorinated biphenyls at low temperature by psychrotolerant bacterium *Hydrogenophaga* sp. IA3-A // Current microbiology. 2006. Vol. 53. № 1. P. 48–52.
70. Liang Y., Martinez A., Hornbuckle K.C., Mattes T.E. Potential for polychlorinated biphenyl biodegradation in sediments from Indiana Harbor and Ship Canal // International biodeterioration & biodegradation. 2014. Vol. 89. P. 50–57.
71. Maltseva O.V., Tsoi T.V., Quensen J.F. 3rd, Fukuda M., Tiedje J.M. Degradation of anaerobic reductive

- dechlorination products of Aroclor 1242 by four aerobic bacteria // *Biodegradation*. 1999. Vol. 10. № 5. P. 363–371.
72. Masai E., Yamada A., Healy J.M., Hatta T., Kimbara K., Fukuda M., Yano K. Characterization of biphenyl catabolic genes of gram-positive polychlorinated biphenyl degrader *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // *Appl. Environ. Microbiol.* 1995. Vol. 61. № 6. P. 2079 – 2085.
73. Matturo B., Ubaldi C., Grenni P., Caracciolo A.B., Rossetti S. Polychlorinated biphenyl (PCB) anaerobic degradation in marine sediments: microcosm study and role of autochthonous microbial communities // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 12613–12623. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.004>
74. Mohn W.W., Tiedje J.M. Microbial reductive dehalogenation // *Microbiological Reviews*. 1992. Vol. 56. P. 482–507.
75. Mondello F.J. Cloning and expression in *Escherichia coli* of *Pseudomonas* strain LB400 genes encoding polychlorinated biphenyl degradation // *Journal of bacteriology*. 1989. Vol. 171. № 3. P. 1725–1732.
76. Müller M.H.B., Polder A., Brynildsrud O.B., Karimi M., Lie E., Manyilizu W.B., Mdegela R.H., Mokiti F., Murtadha M., Nonga H.E., Skaare J.U., Lyche J.L. Organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in human breast milk and associated health risks to nursing infants in Northern Tanzania // *Environmental research*. 2017. Vol. 154. P. 425–434.
77. Murinová S., Dercová K., Dudášová H. Degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs) by four bacterial isolates obtained from the PCB-contaminated soil and PCB-contaminated sediment. // *Int. Biodeter. Biodegrad.* 2014. Vol. 91. P. 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.011>
78. Murinová S., Dercová K. Potential Use of newly isolated bacterial strain *Ochrobactrum anthropi* in bioremediation of polychlorinated biphenyls. // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2014. Vol. 225. Article 1980. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1980-3>
79. Murugan K., Vasudevan N. Intracellular toxicity exerted by PCBs and role of VBNC bacterial strains in biodegradation // *Ecotoxicology and environmental safety*. 2018. Vol. 157. P. 40–60.
80. Nam I.H., Chon C.M., Jung K.Y., Kim J.G. Biodegradation of biphenyl and 2-chlorobiphenyl by a *Pseudomonas* sp. KM-04 isolated from PCBs-contaminated coal mine soil // *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 2014. Vol. 93. № 1. P. 89–94. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1286-6>
81. Natarajan M.R., Wu W.-M., Sanford R., Jain M.K. Degradation of biphenyl by methanogenic microbial consortium // *Biotechnol. Lett.* 1999. Vol. 21. P. 741–745.
82. Negrete-Bolagay D., Zamora-Ledezma C., Chuya-Sumba C., De Sousa F.B., Whitehead D., Alexis F., Guerrero V.H. Persistent organic pollutants: the trade-off between potential risks and sustainable remediation methods. // *Journal of environmental Management*. 2021. Vol. 300. Article 113737. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113737>
83. Nogales B., Moore E.R., Llobet-Brossa E., Rosello-Mora R., Amann R., Timmis K.N. Combined use of 16S ribosomal DNA and 16S rRNA to study the bacterial community of polychlorinated biphenyl-polluted soil // *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. Vol. 67. P. 1874–1884.
84. Ouyang X., Yin H., Yu X., Guo Z., Zhu M., Lu G., Dang Z. Enhanced bioremediation of 2,3',4,4',5-prnta-chlorobiphenyl by consortium GYB1 immobilized on sodium alginate-biochar // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 788. Article 147774.
85. Papale M., Giannarelli S., Francesconi S., Di Marco G., Mikkonen A., Conte A., Rizzo C., De Domenico E., Michaud L., Giudice A.L. Enrichment, isolation and biodegradation potential of psychrotolerant polychlorinated-biphenyl degrading bacteria from the Kongsfjorden (Svalbard Islands, High Arctic Norway) // *Marine pollution bulletin*. 2017. Vol. 114. № 2. P. 849–859.
86. Parales R.E., Resnic S.M. Aromatic ring hydroxylating dioxygenases // In: Ramos J.L., Levesque R.C. (eds) *Pseudomonas*. 2006. Springer. Boston, MA. P. 287–340.
87. Park S.H., Oh K.H., Kim C.K. Adaptive and cross-protective responses of *Pseudomonas* sp. DJ-12 to several aromatics and other stress shocks // *Curr. Microbiol.* 2001. Vol. 43. № 3. P. 176–181.
88. Passatore L., Rossetti S., Juwarkar A.A., Masciaci A. Phytoremediation and bioremediation of polychlorinated biphenyls (PCBs): state of knowledge and research perspectives // *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Vol. 278. P. 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.051>
89. Petrić I., Hršak D., Fingler S., Udiković-Kolić N., Bru D., Martin-Laurent F. Insight in the PCB-degrading functional community in long-term contaminated soil under bioremediation // *Journal of soils and sediments*. 2011. Vol. 11. № 2. P. 290–300.
90. Pieper D.H. Aerobic degradation of polychlorinated biphenyls // *Applied microbiology and biotechnology*. 2005. Vol. 67. № 2. P. 170–191. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1810-4>
91. Pieper D.H., Seeger M. Bacterial metabolism of polychlorinated biphenyls // *Journal of molecular microbiology and biotechnology*. 2008. Vol. 15. № 2-3. P. 121–138.
92. Ponce B.L., Latorre V.K., González M., Seeger M. Antioxidant compounds improved PCB-degradation by *Burkholderia xenovorans* strain LB400 // *Enzyme and microbial technology*. 2011. Vol. 49. № 6-7. P. 509–516.
93. Potrawfke T., Armengaud J., Wittich R.-M. Chlorocatechols substituted at positions 4 and 5 are substrates of the broad-spectrum chlorocatechol 1,2-dioxygenase of *Pseudomonas chlororaphis* RW71 // *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. Vol. 183. P. 997–1011.
94. Reddy A.V.B., Moniruzzaman M., Aminabhavi T.M. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment: recent updates on sampling, pretreatment, cleanup technologies and their analysis. // *Chemical Engineering Journal*. 2019. Vol. 358. P. 1186–1207. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.205>
95. Ridl J., Suman J., Fraraccio S., Hradilova M., Strejcek M., Cajthaml T., Zubrova A., Macek T., Strnad H., Uhlik O. Complete genome sequence of *Pseudomonas alcaliphila* JAB1 (= DSM 26533), a versatile degrader of organic pollutants // *Standards in genomic sciences*. 2018. Vol. 13. № 1. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.00410.1186/s40793-017-0306-7>

96. Sakai M., Miyauchi K., Kato N., Masai E., Fukuda M. 2-Hydroxypenta-2, 4-dienoate metabolic pathway genes in a strong polychlorinated biphenyl degrader, *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // Appl. Environ. Microbiol. 2003. Vol. 69. № 1. P. 427–433
97. Serdar B., LeBlanc W.G., Norris J.M., Dickinson L.M. Potential effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) and selected organochlorine pesticides (OCPs) on immune cells and blood biochemistry measures: a cross-sectional assessment of the NHANES 2003–2004 data // Environmental Health. 2014. Vol. 13. № 1. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.00410.1186/1476-069x-13-114>
98. Seto M., Kimbara K., Shimura M., Hatta T., Fukuda M., Yano K. A novel transformation of polychlorinated biphenyls by *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // Appl. Environ. Microbiol. 1995. Vol. 61. № 9. P. 3353–3358.
99. Shah V., Zakrzewski M., Wibberg D., Eikmeyer F., Schlüter A., Madamwar D. Taxonomic profiling and metagenome analysis of a microbial community from a habitat contaminated with industrial discharges // Microbiol Ecol. 2013. № 66. P. 533–550. <https://doi.org/10.1007/s00248-013-0253-9>
100. Sharma J.K., Gautam R.K., Nanekar S.V., Weber R., Singh B.K., Singh S.K., Juwarkar A.A. Advances and perspective in bioremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. P. 16355–16375.
101. Shimura M., Mukerjee-Dhar G., Kimbara K., Nagato H., Kiyohara H., Hatta T. Isolation and characterization of a thermophilic *Bacillus* sp. JF8 capable of degrading polychlorinated biphenyls and naphthalene // FEMS microbiology letters. 1999. Vol. 178. № 1. P. 87–93.
102. Shintani M., Ohtsubo Y., Fukuda K., Hosoyama A., Ohji S., Yamazoe A., Fujita N., Nagata Y., Tsuda M., Hatta T., Kimbara K. Complete genome sequence of the thermophilic polychlorinated biphenyl degrader *Geobacillus* sp. strain JF8 (NBRC 109937 // Genome Announce. 2014. Vol. 2. № 1. <http://dx.doi.org/10.1128/genomeA.01213-13>
103. Shuai J., Yua X., Zhang J., Xiong A., Xiong F. Regional analysis of potential polychlorinated biphenyl degrading bacterial strains from China // Brazilian journal of microbiology. 2016. Vol. 47. № 3. P. 536–541.
104. Sierra I., Valera J.L., Marina M.L., Laborda F. Study of the biodegradation process of polychlorinated biphenyls in liquid medium and soil by a new isolated aerobic bacterium (*Janibacter* sp.) // Chemosphere. 2003. Vol. 53. № 6. P. 609–618.
105. Somaraja P.K., Gayathri D., Ramaiah N. Molecular characterization of 2-chlorobiphenyl degrading *Stenotrophomonas maltophilia* GS-103 // Bulletin of environmental contamination and toxicology. 2013. Vol. 91. № 2. P. 148–153.
106. Sondossi M., Barriault D., Sylvestre M. Metabolism of 2,2'-and 3,3'-dihydroxybiphenyl by the biphenyl catabolic pathway of *Comamonas testosteroni* B-356 // Appl. Environ. Microbiol. 2004. Vol. 70. № 1. P. 174–181.
107. Song M., Luo C., Li F., Jiang L., Wang Y., Zhang D., Zhang G. Anaerobic degradation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Biphenyls Ethers (PBDEs), and microbial community dynamics of electronic waste-contaminated soil. // Sci. Total Environ. 2015. Vol. 502. P. 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.Sci-totenv.2014.09.045>
108. Song M., Jiang L., Zhang D., Luo C., Yin H., Li Y., Zhang G. Identification of biphenyl-metabolizing microbes in activated biosludge using cultivation-independent and -dependent approaches // Journal of Hazardous Materials. 2018. Vol. 353. P. 534–541.
109. Sowers K.R., May H.D. In situ treatment of PCBs by anaerobic microbial dechlorination in aquatic sediment: are we there yet? // Current opinion in biotechnology. 2013. Vol. 24. № 3. P. 482–488
110. Šrédlová K., Cajthaml T. Recent advances in PCB removal from historically contaminated environmental matrices // Chemosphere. 2022. Vol. 287. Article 132096.
111. Steliga T., Wojtowicz K., Kapusta P., Brzeszcz J. Assessment of biodegradation efficiency of polychlorinated biphenyls (PCBs) and petroleum hydrocarbons (TPH) in soil using three individual bacterial strains and their mixed culture. // Molecules. 2020. Vol. 25. Article 709.
112. Suenaga H., Yamazoe A., Hosoyama A., Kimura N., Hirose J., Watanabe T., Fujihara H., Futagami T., Goto M., Furukawa K. Draft genome sequence of the polychlorinated biphenyl-degrading bacterium *Cupriavidus basilensis* KF708 (NBRC 110671) isolated from biphenyl-contaminated soil // Genome Announce. 2015. Vol. 3. № 2. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.00410.1128/genomeA.00143-15>
113. Suenaga H., Fujihara H., Kimura N., Hirose J., Watanabe T., Futagami T., Goto M., Shimodaira J., Furukawa K. Insights into the genomic plasticity of *Pseudomonas putida* KF715, a strain with unique biphenyl-utilizing activity and genome instability properties // Environmental microbiology reports. 2017. Vol. 9. № 5. P. 589–598.
114. Tu C., Ma L., Guo P., Song F., Teng Y., Zhang H., Luo Y. Rhizoremediation of a dioxin-like PCB polluted soil by alfalfa: dynamic characterization at temporal and spatial scale // Chemosphere. 2017. Vol. 189. P. 517–524.
115. Valizadeh S., Lee S.S., Baek K., Choi Y.J., Jeon B.H., Rhee G.H., Andrew Lin K.Y., Park Y.K. Bioremediation strategies with biochar for polychlorinated biphenyls (PCBs)-contaminated soils: A review // Environmental Research. 2021. Vol. 200. Article 111757.
116. Vilo C., Benedik M.J., Ilori M., Dong Q. Draft genome sequence of *Cupriavidus* sp. strain SK-4, a di-ortho-substituted biphenyl-utilizing bacterium isolated from polychlorinated biphenyl-contaminated sludge // Genome Announce. 2014. Vol. 2, № 3. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.00410.1128/genomeA.00474-14>
117. Warenik-Bany M., Maszewski S., Mikolajczyk S., Piskorska-Pliszczynska J. Impact of environmental pollution on PCDD/F and PCB bioaccumulation in game animals // Environmental Pollution. 2019. Vol. 255. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.004> [10.1016/j.environpol.2019.113159](https://doi.org/10.1016/j.environpol.2019.113159)
118. Warren R., Hsiao W.W., Kudo H., Myhre M., Dosanjh M., Petrescu A., Kobayashi H., Shimizu S., Miyauchi K., Masai E., Yang G., Stott J.M., Schein J.E., Shin H.,

- Khattra J., Smailus D., Butterfield Y.S., Siddiqui A., Holt R., Marra M.A., Jones S.J., Mohn W.W., Brinkman F.S., Fukuda M., Davies J., Eltis L.D. Functional characterization of a catabolic plasmid from polychlorinated-biphenyl-degrading *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // *Journal of bacteriology*. 2004. Vol. 186. № 22. P. 7783–7795.
119. Watanabe T., Yamazoe A., Hosoyama A., Fujihara H., Suenaga H., Hirose J., Futagami T., Goto M., Kimura N., Furukawa K. Draft genome sequence of *Cupriavidus pauculus* strain KF709, a biphenyl-utilizing bacterium isolated from biphenyl-contaminated soil // *Genome Announce*. 2015. Vol. 3. № 2. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.00410.1128/genomeA.00222-15>
120. Watanabe T., Yamazoe A., Hosoyama A., Fujihara H., Suenaga H., Hirose J., Futagami T., Goto M., Kimura N., Furukawa K. Draft genome sequence of *Pseudomonas toyotomiensis* KF710, a polychlorinated biphenyl-degrading bacterium isolated from biphenyl-contaminated soil // *Genome Announce*. 2015. Vol. 3. № 2. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.00410.1128/genomeA.00223-15>
121. Wiegel J., Wu Q.Z. Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls // *FEMS Microbiol. Lett.* 2000. Vol. 32. № 1. P. 1–15.
122. Xu L., Xu J.J., Jia L.Y., Liu W.B., Jian X. Congener selectivity during polychlorinated biphenyls degradation by *Enterobacter* sp. LY402 // *Current microbiology*. 2011. Vol. 62. № 3. P. 784–789.
123. Xu Y., Yu M., Shen A. Complete genome sequence of the polychlorinated biphenyl degrader *Rhodococcus* sp. WB1 // *Genome Announce*. 2016. Vol. 4. № 5. [https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.004\\_e00996-16](https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.004_e00996-16)
124. Yang X., Liu X., Song L., Xie F., Zhang G., Qian S. Characterization and functional analysis of a novel gene cluster involved in biphenyl degradation in *Rhodococcus* sp. strain R04 // *J. Appl. Microbiol.* 2007. Vol. 103. № 6. P. 2214–2224.
125. Yu H., Wan H., Feng Ch., Yi X., Liu X., Ren Y., Wei C. Microbial polychlorinated biphenyl dechlorination in sediments by electrical stimulation: The effect of adding acetate and nonionic surfactant // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 580. P. 1371–1380.
126. Zhang P., Ge L., Gao H., Yao T., Fang X., Zhou C., Na G. Distribution and transfer pattern of polychlorinated biphenyls (PCBs) among the selected environmental media of Ny-Alesund, the Arctic: as a case study // *Marine pollution bulletin*. 2014. Vol. 89. № 1-2. P. 267–275.
127. Zhang Y., Deng C.P., Shen B., Yang J.S., Wang E.T., Yuan H.L. Syntrophic interactions within a butane-oxidizing bacterial consortium isolated from Puguang Gas Field in China. // *Microb. Ecol.* 2016. Vol. 72. P. 538–548. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0799-4>
128. Zhao Q., Bai J., Lu Q., Gao Z., Jia J., Cui B., Liu X. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments/soils of different wetlands along 100-year coastal reclamation chronosequence in the Pearl River Estuary, China // *Environmental pollution*. 2016. Vol. 213. P. 860–869.
129. Zhu L., Zhou J., Zhang R., Tang X., Wang J., Li Y., Zhang Q., Wang W. Degradation mechanism of biphenyl and 4,4'-dichlorobiphenyl cis-dihydroxylation by non-heme 2,3 dioxygenases BphA: A QM/MM approach / L. Zhu [et al.] // *Chemosphere*. 2020. Vol. 247. Article 125844.

## References

- Gorbunova, T., Pervova, M., Zabelina, O., Saloutin, V. and Chupakhin, O., 2011. *Polikhlorbifenily: Problemy ekologii, analiza i khimicheskoy utilizatsii* [Polychlorinated biphenyls: Problems of ecology, analysis and chemical disposal] M.: KRASAND; Yekaterinburg: UrO RAN. 400 p. (in Russian)
- Gorbunova, T., Pervova, M., Saloutin, V. and Chupakhin, O., 2018. *Khimicheskaya funktsionalizatsiya polikhlrorirovannykh bifenilov: novyye dostizheniya* [Chemical functionalization of polychlorinated biphenyls: new achievements] Yekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo Universiteta. 728 p. (in Russian)
- Gorbunova T.I., Saloutin V.I., Chupakhin O.N. 2010. *Khimicheskiye metody prevrashcheniy polikhlrorirovannykh bifenilov* [Chemical methods for the transformation of polychlorinated biphenyls] // *Uspekhi khimii*, 79(6), pp. 565–586. (in Russian)
- Demin, D., 2013. *Remediatsiya pochv, zagryaznennykh polikhlorbifenilami* [Remediation of soils contaminated with polychlorinated biphenyls]. Ph.D. dissertation. Pushchino, 38 p. (in Russian)
- Egorova, D., Shumkova, Ye., Demakov, V. and Plotnikova Ye., 2010. *Razlozheniye khlorirovannykh bifenilov i produktov ikh biokonversii shtammom Rhodococcus sp. V7a* [Decomposition of chlorinated biphenyls and their bioconversion products by *Rhodococcus* sp. B7a] // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 46(6), pp. 644–650. (in Russian)
- Zharikov, G., Marchenko, A., Kraynov, O., Kapranov, V. and Zharikov, M., 2013. *Razrabotka i polevyye ispytaniya tekhnologiy bioremediatsii territoriy, zagryaznennykh toksichnymi khimicheskimi veshchestvami* [Development and field testing of technologies for bioremediation of territories contaminated with toxic chemicals] // *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*, 2(44), pp. 41–51. (in Russian)
- Zanaveskin, L. and Aver'yanov, A., 1998. *Polikhlorbifenily: problemy zagryazneniya okruzhayushchey sredy i tekhnologicheskiye metody obezvezhivaniya* [Polychlorinated biphenyls: problems of environmental pollution and technological methods of neutralization] // *Uspekhi khimii*, 67(8), pp. 788–800. (in Russian)
- Kryatov, I., Tonkopi, N., Ushakov, O., Vodyanova, M., Doner'yan, L., Yevseyeva, I., Ushakov, D., Turkova, I., Vorob'yeva, O. and Tsapkova, N., 2013. *Regulirovaniye bezopasnykh urovney sodержaniya polikhlrorirovannykh bifenilov v pochve: rossiyskiy i mezhdunarodnyy opyt.* [Regulation of safe levels of polychlorinated biphenyls in soil: Russian and international experience] // *Gigiyena i sanitariya*, (6), pp. 52–57. (in Russian)
- Pervova, M., Plotnikova, K., Gorbunova, T., Saloutin, V. and Chupakhin, O., 2015. *Issledovaniye kongenerov polikhlrorirovannykh bifenilov v tekhnicheskoy smesi «Triklorbifenil»* [Study of congeners of polychlorinated biphenyls in the technical mixture “Trichlorobiphenyl”] // *Zhurnal obshchey khimii*. 85(8), pp. 1374–

1379. <https://doi.org/10.1134/S1070363215080216> (in Russian)
10. Plotnikova, Ye., Solyanikova, I., Yegorova, D., Shumkova, Ye. and Golovleva, L., 2012. Osobennosti razlozheniya 4-khlorbifenila i 4 khlorbenzoynoy kisloty shtammom *Rhodococcus ruber* P25 [Features of the decomposition of 4-chlorobiphenyl and 4-chlorobenzoic acid by the *Rhodococcus ruber* strain P25] // *Mikrobiologiya*, 81(2), pp. 159–159 (in Russian)
11. Treger, Y., 2013. SOZ – stoykiye i ochen' opasnyye [POPs – persistent and very dangerous] // *The Chemical Journal*, (1), pp. 30–34. (in Russian)
12. Shumkova, Ye., Yegorova, D., Boronnikova, S. and Plotnikova, Ye., 2015. Polimorfizm genov bphA bakteriy-destruktorov bifenila/khlorirovannykh bifenilov [Polymorphism of the bphA genes of biphenyl/chlorinated biphenyl degrading bacteria] // *Molekulyarnaya biologiya*, 49(4), pp. 638–638. (in Russian)
13. Abramowicz, D., 1995. Aerobic and anaerobic PCB biodegradation in the environment // *Environmental health perspectives*, 103(5), pp. 97–99.
14. Adams, C., Baker, J. and Kjellerup, B., 2016. Toxicological effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) on freshwater turtles in the United States // *Chemosphere*, 154, pp. 148–154.
15. Adebuseye, S., Picardal, F., Ilori, M., Amund, O. and Fuqua C., 2008. Characterization of multiple novel aerobic polychlorinated biphenyl (PCB)-utilizing bacterial strains indigenous to contaminated tropical African soils // *Biodegradation*, 19(1), pp. 145–159.
16. Agulló, L., Pieper, D. and Seeger, M., 2019. Genetics and Biochemistry of Biphenyl and PCB Biodegradation. In: Rojo F. (ed.) *Aerobic Utilization of Hydrocarbons, Oils, and Lipids. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*. Springer, Cham. pp. 595–622.
17. Aken, B., Correa, P. and Schnoor, J., 2010. Phytoremediation of polychlorinated biphenyls: new trends and promises // *Environ. Sci. Technol.*, 44(8), pp. 2767–2776.
18. Ang, L., Yuanyuan, Q., Jiti, Z. and Min, G., 2009. Isolation and characteristics of a novel biphenyl-degrading bacterial strain, *Dyella ginsengisoli* LA-4 // *Journal of Environmental Sciences*, 21(2), pp. 211–217.
19. Arensdorf, J. and Focht, D., 1995. Meta cleavage pathway for 4-chlorobenzoate, an intermediate in the metabolism of 4-chlorobiphenyl by *Pseudomonas cepacia* // *Appl. Environ. Microbiol.*, 61, pp. 443–447.
20. Arensdorf, J. and Focht, D., 1994. Formation of chlorocatechol meta cleavage products by a pseudomonad during metabolism of monochlorobiphenyls // *Appl. Environ. Microbiol.*, 60, pp. 2884–2889.
21. Asturias, J. and Timmis, K., 1993. Three different 2,3-dihydroxybiphenyl-1,2-dioxygenase genes in the gram-positive polychlorobiphenyl-degrading bacterium *Rhodococcus globerulus* P6 // *Journal of bacteriology*, 175(15), pp. 4631–4640.
22. Atago, Y., Shimodaira, J., Araki, N., Bin Othman, N., Zakaria, Z., Fukuda, M., Futami, J. and Hara, H., 2016. Identification of novel extracellular protein for PCB/biphenyl metabolism in *Rhodococcus jostii* RHA1 // *Biosci Biotechnol Biochem.*, 80(5), pp. 1012–1019. <https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1127134>
23. Bako, C., Mattes, T., Marek, R., Hornbuckle, K. and Schnoor, J., 2021. Biodegradation of PCB congeners by *Paraburkholderia xenovorans* LB400 in presence and absence of sediment during lab bioreactor experiments // *Environ Pollut.*, 271, Article 116364. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116364>
24. Bedard, D., Wagner, R., Brennan, M., Haberl, M. and Brown, J., 1987. Extensive degradation of Aroclors and environmentally transformed polychlorinated biphenyls by *Alcaligenes eutrophus* H850 // *Appl Environ Microbiol.*, 53(5), pp. 1094–102. <https://doi.org/10.1128/aem.53.5.1094-1102.1987>
25. Bedard, D. and Haberl, M., 1990. Influence of chlorine substitution pattern on the degradation of polychlorinated biphenyls by eight bacterial strains // *Microbial ecology*, 20(1), pp. 87–102.
26. Blasco, R., Wittich, R., Mallavarapu, M., Timmis, K. and Pieper, D. 1995. From xenobiotic to antibiotic, formation of protoanemonin from 4-chlorocatechol by enzymes of the 3-oxoadipate pathway // *J Biol Chem.* V., 270(49), pp. 29229–35. <https://doi.org/10.1074/jbc.270.49.29229>
27. Bokvajová, A. and Burkhard, J., 1994. Screening and separation of microorganisms degrading PCBs // *Environmental Health Perspectives Supplements*, 102(2), pp. 552–559.
28. Brown, J., Wagner, R., Bedard, D., Brennan, M. and Carnahan, J., 1984. PCB transformations in upper Hudson sediments // *Northeastern Environmental Science*, 3, pp. 166–178.
29. Cervantes-González, E., Guevara-García, M., García-Mena, J. and Ovando-Medina, V., 2019. Microbial diversity assessment of polychlorinated biphenyl-contaminated soils and the biostimulation and bioaugmentation processes // *Environmental monitoring and assessment*, 191(2). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7227-4>
30. Chain, PS, Deneff, VJ, Konstantinidis, KT, Vergez, LM, Agulló, L, Reyes, VL, Hauser, L, Córdova, M, Gómez, L, González, M, Land, M, Lao, V, Larimer, F, LiPuma, JJ, Mahenthalingam, E, Malfatti, SA, Marx, CJ, Parnell, JJ, Ramette, A, Richardson, P, Seeger, M, Smith, D, Spilker, T, Sul, WJ, Tsoi, TV, Ulrich, LE, Zhulin, IB and Tiedje, JM., 2006. *Burkholderia xenovorans* LB400 harbors a multi-replicon, 9.73-Mbp genome shaped for versatility // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(42), pp. 15280–15287.
31. Chakraborty, J. and Das, S., 2016. Characterization of the metabolic pathway and catabolic gene expression in biphenyl degrading marine bacterium *Pseudomonas aeruginosa* JP-11 // *Chemosphere*, 144, pp. 1706–1714.
32. Chang, YC, Takada, K, Choi, D, Toyama, T, Sawada, K and Kikuchi, S., 2013. Isolation of biphenyl and polychlorinated biphenyl-degrading bacteria and their degradation pathway // *Applied biochemistry and biotechnology*, 170(2), pp. 381–398. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0191-5>
33. Chang, YC, Sawada, K, Kim, ES, Jung, K and Kikuchi, S., 2015. Whole-genome sequence of *Aquamicrobium*

- crobiom sp. strain SK-2, a polychlorinated biphenyl-utilizing bacterium isolated from sewage sludge // *Genome Announce*, 3(3), <https://doi.org/10.1128/genomeA.00439-15>
34. Chun, C., 2013. Electrical stimulation of microbial PCB degradation in sediment // *Water Res.*, 47, pp.141–152. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.038>
35. Chung, S., Maeda, M., Song, E., Horikoshij, K. and Kudo, T., 1994. A Gram-positive polychlorinated biphenyl-degrading bacterium, *Rhodococcus erythropolis* strain TA421, isolated from a termite ecosystem // *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 58(11), pp. 2111–2113.
36. Colbert, C., Agar, N., Kumar, P., Chakko, M., Sinha, S., Powlowski, J., Eltis, L. and Bolin, J., 2013. Structural characterization of *Pandoraea pnomenus* B-356 biphenyl dioxygenase reveals features of potent polychlorinated biphenyl-degrading enzymes // *PLoS One*, 8(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052550>
37. Devi, N., 2020. Persistent Organic Pollutants (POPs): Environmental risks, toxicological effects, and bioremediation for Environmental Safety and Challenges for Future Research. In: Saxena G., Bharagava R. (eds) *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*. Springer, Singapore. pp. 53–76. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1891-7_4)
38. Elangovan, S., Pandian, S. and Joshi, S., 2019. Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Environmental Fate, Challenges and Bioremediation // *Microbial Metabolism of Xenobiotic Compounds*, pp. 165–188.
39. Erickson, B. and Kaley II, R., 2011. Application of polychlorinated biphenyls // *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 18, pp. 135–151.
40. Erickson, B. and Mondello, F., 1993. Enhanced biodegradation of polychlorinated biphenyls after site-directed mutagenesis of a biphenyl dioxygenase gene // *Appl. Environ. Microbiol.*, 59(11), pp. 3858–3862.
41. Ewald, J., Humes, S., Martinez, A., Schnoor, J. and Mattes, T., 2020. Growth of *Dehalococcoides* spp. and increased abundance of reductive dehalogenase genes in anaerobic PCB-contaminated sediment microcosms // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, pp. 8846–8858. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05571-7>
42. Fava, F., Di Gioia, D., Marchetti, L. and Quattroni G., 1996. Aerobic dechlorination of low-chlorinated biphenyls by bacterial biofilms in packed-bed batch bioreactors // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 45, pp. 562–568.
43. Fava, F., Di Gioia, D., Cinti, S., Marchetti, L. and Quattroni, G., 1994. Degradation and dechlorination of low-chlorinated biphenyls by a three-membered bacterial co-culture // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 41, pp. 117–123.
44. Fava, F., Di Gioia, D. and Marchetti, L., 2000. Role of the reactor configuration in the biological detoxification of a damp site-polychlorobiphenyl-contaminated soil in lab-scale slurry phase conditions // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 53, pp. 243–248.
45. Field, J. and Sierra-Alvarez, R., 2008. Microbial transformation of chlorinated benzoates // *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 7, pp. 191–210.
46. Final act of the Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm, 22-23 May // UNEP / POPS/CONF/4. United Nations Environment Programme. Geneva. 2001. 44 p.
47. Fukuda, K., Hosoyama, A., Tsuchikane, K., Ohji, S., Yamazoe, A., Fujita, N., Shintani, M. and Kimbara, K., 2014. Complete genome sequence of polychlorinated biphenyl degrader *Comamonas testosteroni* TK102 (NBRC 109938) // *Genome Announce*, 2(5). <https://doi.org/10.1128/genomeA.00865-14>
48. Furukawa, K., 2000. Biochemical and genetic bases of microbial degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs) // *The Journal of general and applied microbiology*, 46(6), pp. 283–296.
49. Gioia, R., Akindele, A., Adebuseye, S., Asante, K., Tanabe, S., Buekens, A. and Sasco, A., 2014. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in Africa: a review of environmental levels // *Environmental Science and Pollution Research*, 21(10), pp. 6278–6289. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1739-1>
50. Gómez-Gil, L., Kumar, P., Barriault, D., Bolin, J., Sylvestre, M. and Eltis L., 2007. Characterization of biphenyl dioxygenase of *Pandoraea pnomenus* B-356 as a potent polychlorinated biphenyl-degrading enzyme // *Journal of bacteriology*, 189(15), pp. 5705–5715.
51. Goris, J., De Vos, P., Caballero-Mellado, J., Park, J., Falsen, E., Quensen, J., Tiedje, J. and Vandamme, P., 2004. Classification of the biphenyl- and polychlorinated biphenyl-degrading strain LB400<sup>T</sup> and relatives as *Burkholderia xenovorans* sp. nov // *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 54(5), pp. 1677–1681.
52. Hatamian-Zarmi, A., Shojaosadati, S., Vashghani-Farahani, E., Hosseinkhani, S. and Emamzadeh, A., 2009. Extensive biodegradation of highly chlorinated biphenyl and Aroclor 1242 by *Pseudomonas aeruginosa* TMU56 isolated from contaminated soils // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(6), pp. 788–794.
53. Holoman, T., Elberson, M., Cutter, L., May, H. and Sowers K., 1998. Characterization of defined 2,3,5,6-tetrachlorobiphenyl-ortho-dechlorinating microbial community by comparative sequence analysis of genes coding for 16S rRNA // *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, pp. 3359–3367.
54. Hong, Q., Dong, X., He, L., Jiang, X., Li, S., 2009. Isolation of a biphenyl-degrading bacterium, *Achromobacter* sp. BP3, and cloning of the *bph* gene cluster // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(4), pp. 365–370.
55. Horvathova, H., Laszlova, K. and Dercova, K., 2018. Bioremediation of PCB-contaminated shallow river sediments: the efficacy of biodegradation using individual bacterial strains and their consortia // *Chemosphere*, 193, pp. 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.012>
56. Hou, L., Dutta, S., 2000. Phylogenetic characterization of several para- and meta-PCB dechlorinating *Clostridium* species: 16s rDNA sequence analyses // *Letters in applied microbiology*, 30(3), pp. 238–243.
57. Hu, J., Qian, M., Zhang, Q., Cui, J., Yu., Su, X., Shen, C., Hashmi, M.Z., Shi, J., 2015. *Sphingobium fuliginis* HC3: a novel and robust isolated biphenyl- and polychlorinated biphenyls-degrading bacterium without dead-end intermediates accumulation // *PloS one*, 10(4), Article e0122740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122740>

58. Huang, S., Shan, M., Chen, J., Penttinen, P. and Qin, H., 2018. Contrasting dynamics of polychlorinated biphenyl dissipation and fungal community composition in low and high organic carbon soils with biochar amendment // *Environmental Science and Pollution Research*, 25, pp. 33432–33442
59. Ilori, M., Robinson, G. and Adebuseye, S., 2008. Aerobic mineralization of 4,4'-dichlorobiphenyl and 4-chlorobenzoic acid by a novel natural bacterial strain that grows poorly on benzoate and biphenyl // *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 24, pp. 1259–1265.  
<https://doi.org/10.1007/s11274-007-9597-y>
60. Ilori, M., Picardal, F., Aramayo, R., Adebuseye, S., Obayori, O. and Benedik M., 2015. Catabolic plasmid specifying polychlorinated biphenyl degradation in *Cupriavidus* sp. strain SK-4: Mobilization and expression in a pseudomonad // *Journal of basic microbiology*, 55(3), pp. 338–345.
61. Jia, L., Zheng, A., Xu, L., Huang, X. Zhang, Q. and Yang, F., 2008. Isolation and characterization of comprehensive polychlorinated biphenyl degrading bacterium, *Enterobacter* sp. LY402 // *J Microbiol Biotechnol.*, 18(5), pp. 952–957.
62. Jia, Y., Wang, J., Ren, C., Nahurira, R., Khokhar, J., Wang, J., Fan, S. and Yan, Y., 2019. Identification and characterization of a meta-cleavage product hydrolase involved in biphenyl degradation from *Arthrobacter* sp. YC-RL1 // *Appl. Microb. Biotech.* 103, pp. 6825–6836.  
<https://doi.org/10.1007/s00253-019-09956-z>
63. Kim, S., Picarda, F., 2000. A novel bacterium that utilizes monochlorobiphenyls and 4-chlorobenzoate as growth substrates // *FEMS Microbiology Letters*, 185(2), pp. 225–229.
64. Kim, S. and Picardal, F., 2001. Microbial growth on dichlorobiphenyls chlorinated on both rings as a sole carbon and energy source // *Appl. Environ. Microbiol.* 67(4), pp. 1953–1955.
65. Kolar, A., Hršak, D., Fingler, S., Četković, H., Petrić, I. and Kolić, N., 2007. PCB-degrading potential of aerobic bacteria enriched from marine sediments // *Int. Biodeter. Biodegrad.* 60, pp. 16–24.  
<https://doi.org/10.16/j.ibiod.2006.11.004>
66. Kour, D., Rana, K., Kumar, R., Yadav, N., Rastegari, A., Yadav, A. and Singh, K., 2019. Gene manipulation and regulation of catabolic genes for biodegradation of biphenyl compounds // *In New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, pp. 1–23.
67. Kranzioch, I., Stoll, C., Holbach, A., Chen, H., Wang, L., Zheng, B., Norra, S., Bi, Y., Schramm, K. and Tiehm, A., 2013. Dechlorination and organohalide-respiring bacteria dynamics in sediment samples of the Yangtze Three Gorges Reservoir // *Environmental Science and Pollution Research*, 20(10), pp. 7046–7056.
68. Kumar, P., Mohammadi, M., Viger, J., Barriault, D., Gomez-Gil, L., Eltis, L., Bolin, J. and Sylvestre, M., 2011. Structural insight into the expanded PCB-degrading abilities of a biphenyl dioxygenase obtained by directed evolution // *Journal of molecular biology*. 405(2), pp. 531–547.
69. Lambo, A. and Patel, T., 2006. Cometabolic degradation of polychlorinated biphenyls at low temperature by psychrotolerant bacterium *Hydrogenophaga* sp. IA3-A // *Current microbiology*. 53(1), pp. 48–52.
70. Liang, Y., Martinez, A., Hornbuckle, K. and Mattes, T., 2014. Potential for polychlorinated biphenyl biodegradation in sediments from Indiana Harbor and Ship Canal // *International biodeterioration & biodegradation*. 89, pp. 50–57.
71. Maltseva, O., Tsoi, T. and Quensen, J., 1999. 3rd, Fukuda M., Tiedje J.M. Degradation of anaerobic reductive dechlorination products of Aroclor 1242 by four aerobic bacteria // *Biodegradation*. 10(5), pp. 363–371.
72. Masai, E., Yamada, A., Healy, J., Hatta, T., Kimbara, K., Fukuda, M. and Yano, K., 1995. Characterization of biphenyl catabolic genes of gram-positive polychlorinated biphenyl degrader *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // *Appl. Environ. Microbiol.* 61(6), pp. 2079–2085.
73. Matturo, B., Ubaldi, C., Grenni, P., Caracciolo, A. and Rossetti, S., 2016. Polychlorinated biphenyl (PCB) anaerobic degradation in marine sediments: microcosm study and role of autochthonous microbial communities // *Environmental Science and Pollution Research*. 23, pp. 12613–12623. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.004>
74. Mohn, W. and Tiedje, J., 1992. Microbial reductive dehalogenation // *Microbiological Reviews*. 56, pp. 482–507.
75. Mondello, F., 1989. Cloning and expression in *Escherichia coli* of *Pseudomonas* strain LB400 genes encoding polychlorinated biphenyl degradation // *Journal of bacteriology*. 171(3), pp. 1725–1732.
76. Müller, M., Polder, A., Brynildsrud, O., Karimi, M., Lie, E., Manyilizu, W., Mdegela, R., Mokiti, F., Murtagh, M., Nonga, H., Skaare, J. and Lyche, J., 2017. Organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in human breast milk and associated health risks to nursing infants in Northern Tanzania // *Environmental research*. 154, pp. 425–434.
77. Murinová, S., Dercová, K. and Dudášová, H., 2014. Degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs) by four bacterial isolates obtained from the PCB-contaminated soil and PCB-contaminated sediment // *Int. Biodeter. Biodegrad.* 91, pp. 52–59.  
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.011>
78. Murinová, S. and Dercová, K., 2014. Potential Use of newly isolated bacterial strain *Ochrobactrum anthropi* in bioremediation of polychlorinated biphenyls. // *Water, Air, & Soil Pollution*. 225. Article 1980.  
<https://doi.org/10.1007/s11270-014-1980-3>
79. Murugan, K. and Vasudevan, N., 2018. Intracellular toxicity exerted by PCBs and role of VBNC bacterial strains in biodegradation // *Ecotoxicology and environmental safety*. 157, pp. 40–60.
80. Nam, I., Chon, C., Jung, K. and Kim, J., 2014. Biodegradation of biphenyl and 2-chlorobiphenyl by a *Pseudomonas* sp. KM-04 isolated from PCBs-contaminated coal mine soil // *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 93(1), pp. 89–94.  
<https://doi.org/10.1007/s00128-014-1286-6>

81. Natarajan, M., Wu, W.-M., Sanford, R. and Jain, M., 1999. Degradation of biphenyl by methanogenic microbial consortium // *Biotechnol. Lett.* 21, pp. 741–745.
82. Negrete-Bolagay, D., Zamora-Ledezma, C., Chuya-Sumba, C., De Sousa, F., Whitehead, D., Alexis, F. and Guerrero, V., 2021. Persistent organic pollutants: the trade-off between potential risks and sustainable remediation methods. // *Journal of environmental Management.* 300. Article 113737. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113737>
83. Nogales, B., Moore, E.R., Llobet-Brossa, E., Rosello-Mora, R., Amann, R. and Timmis, K., 2001. Combined use of 16S ribosomal DNA and 16S rRNA to study the bacterial community of polychlorinated biphenyl-polluted soil // *Appl. Environ. Microbiol.* 67, pp. 1874–1884.
84. Ouyang, X., Yin, H., Yu, X., Guo, Z., Zhu, M., Lu, G. and Dang, Z., 2021. Enhanced bioremediation of 2,3',4,4',5-prntachlorobiphenyl by consortium GYB1 immobilized on sodium alginate-biochar // *Science of the Total Environment.* 788. Article 147774.
85. Papale, M., Giannarelli, S., Francesconi, S., Di Marco, G., Mikkonen, A., Conte, A., Rizzo, C., De Domenico, E., Michaud, L. and Giudice A., 2017. Enrichment, isolation and biodegradation potential of psychrotolerant polychlorinated-biphenyl degrading bacteria from the Kongsfjorden (Svalbard Islands, High Arctic Norway) // *Marine pollution bulletin.* 114(2), pp. 849–859.
86. Parales, R. and Resnic, S., 2006. Aromatic ring hydroxylating dioxygenases // In: Ramos J.L., Levesque R.C. (eds) *Pseudomonas*. Springer. Boston, MA. P. 287–340.
87. Park, S., Oh, K. and Kim, C., 2001. Adaptive and cross-protective responses of *Pseudomonas* sp. DJ-12 to several aromatics and other stress shocks // *Curr. Microbiol.* 43(3), pp. 176–181.
88. Passatore, L., Rossetti, S., Juwarkar, A. and Mascacci, A., 2014. Phytoremediation and bioremediation of polychlorinated biphenyls (PCBs): state of knowledge and research perspectives // *Journal of Hazardous Materials.* 278, pp. 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.051>
89. Petrić, I., Hršak, D., Fingler, S., Udiković-Kolić, N., Bru, D. and Martin-Laurent, F., 2011. Insight in the PCB-degrading functional community in long-term contaminated soil under bioremediation // *Journal of soils and sediments.* 11(2), pp. 290–300.
90. Pieper, D., 2005. Aerobic degradation of polychlorinated biphenyls // *Applied microbiology and biotechnology.* 67(2), pp. 170–191. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1810-4>
91. Pieper, D. and Seeger, M., 2008. Bacterial metabolism of polychlorinated biphenyls // *Journal of molecular microbiology and biotechnology.* 15(2-3), pp. 121–138.
92. Ponce, B., Latorre, V., González, M., Seeger and M., 2011. Antioxidant compounds improved PCB-degradation by *Burkholderia xenovorans* strain LB400 // *Enzyme and microbial technology.* 49(6-7), pp. 509–516.
93. Potrawfke, T., Armengaud, J. and Wittich, R.-M., 2001. Chlorocatechols substituted at positions 4 and 5 are substrates of the broad-spectrum chlorocatechol 1,2-dioxygenase of *Pseudomonas chlororaphis* RW71 // *Appl. Environ. Microbiol.* 183, pp. 997–1011.
94. Reddy, A., Moniruzzaman, M. and Aminabhavi, T., 2019. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment: recent updates on sampling, pretreatment, cleanup technologies and their analysis. // *Chemical Engineering Journal.* 358, pp. 1186–1207. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.205>
95. Ridl, J., Suman, J., Fraraccio, S., Hradilova, M., Strejcek, M., Cajthaml, T., Zubrova, A., Macek, T., Strnad, H. and Uhlík, O., 2018. Complete genome sequence of *Pseudomonas alcaliphila* JAB1 (= DSM 26533), a versatile degrader of organic pollutants // *Standards in genomic sciences.* 13(1) <https://doi.org/10.1186/s40793-017-0306-7>
96. Sakai, M., Miyauchi, K., Kato, N., Masai, E. and Fukuda, M., 2003. 2-Hydroxypenta-2, 4-dienoate metabolic pathway genes in a strong polychlorinated biphenyl degrader, *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // *Appl. Environ. Microbiol.* 69(1), pp. 427–433
97. Serdar, B., LeBlanc, W., Norris, J. and Dickinson, L., 2014. Potential effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) and selected organochlorine pesticides (OCPs) on immune cells and blood biochemistry measures: a cross-sectional assessment of the NHANES 2003-2004 data // *Environmental Health.* 13(1). <https://doi.org/10.1186/1476-069x-13-114>
98. Seto, M., Kimbara, K., Shimura, M., Hatta, T., Fukuda, M. and Yano, K., 1995. A novel transformation of polychlorinated biphenyls by *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // *Appl. Environ. Microbiol.* 61(9), pp. 3353–3358.
99. Shah, V., Zakrzewski, M., Wibberg, D., Eikmeyer, F., Schlüter, A. and Madamwar, D., 2013. Taxonomic profiling and metagenome analysis of a microbial community from a habitat contaminated with industrial discharges // *Microbiol Ecology.* 66. pp. 533–550. <https://doi.org/10.1007/s00248-013-0253-9>
100. Sharma, J., Gautam, R., Nanekar, S., Weber, R., Singh, B., Singh, S. and Juwarkar, A., 2018. Advances and perspective in bioremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils // *Environmental Science and Pollution Research.* 25, pp. 16355–16375.
101. Shimura, M., Mukerjee-Dhar, G., Kimbara, K., Nagato, H., Kiyohara, H. and Hatta, T., 1999. Isolation and characterization of a thermophilic *Bacillus* sp. JF8 capable of degrading polychlorinated biphenyls and naphthalene // *FEMS microbiology letters.* 178(1), pp. 87–93.
102. Shintani, M., Ohtsubo, Y., Fukuda, K., Ho-oyama, A., Ohji, S., Yamazoe, A., Fujita, N., Nagata, Y., Tsuda, M., Hatta, T. and Kimbara, K., 2014. Complete genome sequence of the thermophilic polychlorinated biphenyl degrader *Geobacillus* sp. strain JF8 (NBRC 109937 // *Genome Announce.* 2(1), <https://doi.org/10.1128/genomeA.01213-13>
103. Shuai, J., Yua, X., Zhang, J., Xiong, A. and Xiong, F., 2016. Regional analysis of potential polychlorinated biphenyl degrading bacterial strains from China // *Brazilian journal of microbiology.* 47(3), pp. 536–541.
104. Sierra, I., Valera, J.L., Marina, M.L. and Laborda, F., 2003. Study of the biodegradation process of polychlorinated biphenyls in liquid medium and soil by a new isolated aerobic bacterium (*Janibacter* sp.) // *Chemosphere.* 53(6), pp. 609–618.

105. Somaraja, P., Gayathri, D. and Ramaiah, N., 2013. Molecular characterization of 2-chlorobiphenyl degrading *Stenotrophomonas maltophilia* GS-103 // *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 91(2), pp. 148–153.
106. Sondossi, M., Barriault, D. and Sylvestre, M., 2004. Metabolism of 2,2'-and 3,3'-dihydroxybiphenyl by the biphenyl catabolic pathway of *Comamonas testosteroni* B-356 // *Appl. Environ. Microbiol.* 70(1), pp. 174–181.
107. Song, M., Luo, C., Li, F., Jiang, L., Wang, Y., Zhang, D. and Zhang, G., 2015. Anaerobic degradation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Biphenyls Ethers (PBDEs), and microbial community dynamics of electronic waste-contaminated soil. // *Sci. Total Environ.* 502, pp. 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.Sci-totenv.2014.09.045>
108. Song, M., Jiang, L., Zhang, D., Luo, C., Yin, H., Li, Y. and Zhang, G., 2018. Identification of biphenyl-metabolizing microbes in activated biosludge using cultivation-independent and -dependent approaches // *Journal of Hazardous Materials*. 353, pp. 534–541.
109. Sowers, K. and May, H., 2013. In situ treatment of PCBs by anaerobic microbial dechlorination in aquatic sediment: are we there yet? // *Current opinion in biotechnology*. 24(3), pp. 482–488
110. Šrédlová, K. and Cajthaml, T., 2022. Recent advances in PCB removal from historically contaminated environmental matrices // *Chemosphere*. 287. Article 132096.
111. Steliga, T., Wojtowicz, K., Kapusta, P. and Brzeszcz, J., 2020. Assessment of biodegradation efficiency of polychlorinated biphenyls (PCBs) and petroleum hydrocarbons (TPH) in soil using three individual bacterial strains and their mixed culture. // *Molecules*. 25. Article 709.
112. Suenaga, H., Yamazoe, A., Hosoyama, A., Kimura, N., Hirose, J., Watanabe, T., Fujihara, H., Futagami, T., Goto, M. and Furukawa, K., 2015. Draft genome sequence of the polychlorinated biphenyl-degrading bacterium *Cupriavidus basilensis* KF708 (NBRC 110671) isolated from biphenyl-contaminated soil // *Genome Announce*. 3(2). <https://doi.org/10.1128/genomeA.00143-15>
113. Suenaga, H., Fujihara, H., Kimura, N., Hirose, J., Watanabe, T., Futagami, T., Goto, M., Shimodaira, J. and Furukawa, K., 2017. Insights into the genomic plasticity of *Pseudomonas putida* KF715, a strain with unique biphenyl-utilizing activity and genome instability properties // *Environmental microbiology reports*. 9(5), pp. 589–598.
114. Tu, C., Ma, L., Guo, P., Song, F., Teng, Y., Zhang, H. and Luo, Y., 2017. Rhizoremediation of a dioxin-like PCB polluted soil by alfalfa: dynamic characterization at temporal and spatial scale // *Chemosphere*. 189, pp. 517–524.
115. Valizadeh, S., Lee, S., Baek, K., Choi, Y., Jeon, B., Rhee, G., Andrew, Lin, K. and Park, Y., 2021. Bioremediation strategies with biochar for polychlorinated biphenyls (PCBs)-contaminated soils: A review // *Environmental Research*. 200. Article 111757.
116. Vilo, C., Benedik, M., Ilori, M. and Dong, Q., 2014. Draft genome sequence of *Cupriavidus* sp. strain SK-4, a di-ortho-substituted biphenyl-utilizing bacterium isolated from polychlorinated biphenyl-contaminated sludge // *Genome Announce*. 2(3). <https://doi.org/10.1128/genomeA.00474-14>
117. Warenik-Bany, M., Maszewski, S., Mikołajczyk, S. and Piskorska-Pliszczynska, J., 2019. Impact of environmental pollution on PCDD/F and PCB bioaccumulation in game animals // *Environmental Pollution*. 255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113159>
118. Warren, R., Hsiao, W., Kudo, H., Myhre, M., Dosanjh, M., Petrescu, A., Kobayashi, H., Shimizu, S., Miyauchi, K., Masai, E., Yang, G., Stott, J., Schein, J., Shin, H., Khattra, J., Smailus, D., Butterfield, Y., Siddiqui, A., Holt, R., Marra, M., Jones, S., Mohn, W., Brinkman, F., Fukuda, M., Davies, J. and Eltis, L., 2004. Functional characterization of a catabolic plasmid from polychlorinated-biphenyl-degrading *Rhodococcus* sp. strain RHA1 // *Journal of bacteriology*. 186(22), pp. 7783–7795.
119. Watanabe, T., Yamazoe, A., Hosoyama, A., Fujihara, H., Suenaga, H., Hirose, J., Futagami, T., Goto, M., Kimura, N. and Furukawa, K., 2015. Draft genome sequence of *Cupriavidus pauculus* strain KF709, a biphenyl-utilizing bacterium isolated from biphenyl-contaminated soil // *Genome Announce*. 3(2). <https://doi.org/10.1128/genomeA.00222-15>
120. Watanabe, T., Yamazoe, A., Hosoyama, A., Fujihara, H., Suenaga, H., Hirose, J., Futagami, T., Goto, M., Kimura, N. and Furukawa, K., 2015. Draft genome sequence of *Pseudomonas toyotomiensis* KF710, a polychlorinated biphenyl-degrading bacterium isolated from biphenyl-contaminated soil // *Genome Announce*. 3(2). <https://doi.org/10.1128/genomeA.00223-15>
121. Wiegel, J. and Wu, Q., 2000. Microbial reductive dehalogenation of polychlorinated biphenyls // *FEMS Microbiol. Lett.* 32(1), pp. 1–15.
122. Xu, L., Xu, J., Jia, L., Liu, W. and Jian, X., 2011. Congener selectivity during polychlorinated biphenyls degradation by *Enterobacter* sp. LY402 // *Current microbiology*. 62(3), pp. 784–789.
123. Xu, Y., Yu, M. and Shen, A., 2016. Complete genome sequence of the polychlorinated biphenyl degrader *Rhodococcus* sp. WB1 // *Genome Announce*. 4(5). <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.12.004 e00996-16>
124. Yang, X., Liu, X., Song, L., Xie, F., Zhang, G. and Qian, S., 2007. Characterization and functional analysis of a novel gene cluster involved in biphenyl degradation in *Rhodococcus* sp. strain R04 // *J. Appl. Microbiol.* 103(6), pp. 2214–2224.
125. Yu, H., Wan, H., Feng, Ch., Yi, X., Liu, X., Ren, Y. and Wei, C., 2017. Microbial polychlorinated biphenyl dechlorination in sediments by electrical stimulation: The effect of adding acetate and nonionic surfactant // *Science of the Total Environment*. 580, pp. 1371–1380.
126. Zhang, P., Ge, L., Gao, H., Yao, T., Fang, X., Zhou, C. and Na, G., 2014. Distribution and transfer pattern of polychlorinated biphenyls (PCBs) among the selected environmental media of Ny-Alesund, the Arctic: as a case study // *Marine pollution bulletin*. 89(1-2), pp. 267–275.

127. Zhang, Y., Deng, C., Shen, B., Yang, J., Wang, E. and Yuan, H., 2016. Syntrophic interactions within a butane-oxidizing bacterial consortium isolated from Puguang Gas Field in China. // *Microb. Ecol.* 72, pp. 538–548. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0799-4>

128. Zhao, Q., Bai, J., Lu, Q., Gao, Z., Jia, J., Cui, B. and Liu, X., 2016. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments/soils of different wetlands along 100-year

coastal reclamation chronosequence in the Pearl River Estuary, China // *Environmental pollution*. 213, pp. 860–869.

129. Zhu, L., Zhou, J., Zhang, R., Tang, X., Wang, J., Li, Y., Zhang, Q. and Wang, W., 2020. Degradation mechanism of biphenyl and 4,4'-dichlorobiphenyl cis-dihydroxylation by non-heme 2,3 dioxygenases BphA: A QM/MM approach / L. Zhu [et al.] // *Chemosphere*. 247. Article 125844.

Статья поступила в редакцию 14.10.2023; одобрена после рецензирования 24.10.2023; принята к публикации 02.11.2023.

The article was submitted 14.10.2023; approved after reviewing 24.10.2023; accepted for publication 02.11.2023.

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ**

Санников П.Ю.	
Бахарев П.Н. ....	7
Бузмаков С.А.	
Кувшинский И.А.	
Шестаков И.Е.	
Абдулманова И.Ф.	
Кучин Л.С.	
Исаков Д.С. ....	23
Клочихина О.С. ....	38
Рыбкина И.Д. ....	55
Егорова Д.О. ....	68

**АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Том 9, № 2  
2023

Компьютерная верстка: Е.А. Мехоношина  
Макет обложки: П.Ю. Санников

Подписано в печать 01.12.2023. Дата выхода: 06.12.2023  
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 10,46. Тираж 100 экз. Заказ 143

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

Управление издательской деятельности  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
Тел. (342) 239-66-36

Отпечатано в типографии ПГНИУ.  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

*Распространяется бесплатно*