

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 двум тематическим разделам:

- **Сохранение природной среды** ИЛИ **Nature and Landscape Conservation** (по классификации Scopus)
- **Трансформация природной среды** ИЛИ **Pollution** (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

ГЛАВЫЙ 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, кандидат 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), кандидат 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

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 geoeological problems, scientific questions of interaction of Man and Nature. All material in the Journal should correspond to two thematic sections:

- **Nature and Landscape Conservation** (Scopus classification)
- **Pollution** (Scopus classification).

Articles on a geoeological, 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 geoeology, 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 Biogeoecology 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), PhD 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 Biogeoecology 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), PhD in Geography.
- Lyudmila S. Shumilovskikh Scientific Researcher of Department of Palynology and Climate Dynamics in Georg-August-University of Göttingen (Germany), PhD in Biology.

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 Biogeoecology and Nature Protection

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

- Воронов Г. А., Исаков Д. С., Жукова М. В.** Наземные позвоночные животные в долинах рек Данилиха и Егошиха города Перми 6
- Абдулманова И. Ф.** Местонахождение редких видов растений семейства *Orchidaceae* в Гайнском районе (Пермский край, Россия), перспективное для присвоения статуса особо охраняемой природной территории 24

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

- Диарра Б.** Моделирование водной эрозии почв в провинциях Сикассо и Коуликоро (Республика Мали) 36
- Андреев Д. Н., Бузмаков С. А.** Антропогенная трансформация лесных экосистем по геохимическим и фотосинтетическим параметрам 49
- Порозова А. С., Санников П. Ю.** Оценка влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus Sylvestris* (Озёрное месторождение нефти, Пермский край, Россия) 58

CONTENTS

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

- Voronov G. A., Isakov D. S., Zhukova M. V.** Terrestrial vertebrates in the valleys of the Danilikha and Yegoshikha rivers in the city of Perm 6
- Abdulmanova I. F.** Location of rare *Orchids* in the Gainsky district (Perm krai, Russia), prospective for assigning the status of specially protected natural territory 24

SECTION 2. POLLUTION

- Diarra B.** Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali)..... 36
- Andreev D. N., Buzmakov S. A.** Anthropogenic transformation of forest ecosystems by geochemical and photosynthetic parameters..... 49
- Porozova A. S., Sannikov P. Yu.** Assessment of the impact of associated gas flaring on the radial growth of *Pinus Sylvestris* (Ozernoe oil field, Perm region, Russia) 58



Прошла 26-я конференция ООН по климату, политические представители стран смогли лишь подтвердить свою приверженность «зеленому пути»: отказу от «грязного угля» (переходу на «чистый»), рациональному использованию потенциала леса и других возможностей для снижения выбросов парниковых газов. Экологическая общественность констатирует катастрофическую неспособность политиков и чиновников совместно решать глобальные проблемы: успешно продолжают только препирательства, взаимные обвинения и санкции. Экономика по инерции продолжает двигаться по старой траектории, зеленая энергетика рождается в муках финансовых и энергетических кризисов в отдельных регионах мира.

Все это происходит на фоне великой борьбы с пандемией. Пандемия и борьба с пандемией разрушает социальную организацию общества, образование, бизнес, здоровье людей. При этом незаметно уменьшение загрязнений от выбросов и сбросов, а количество отходов неуклонно возрастает. Урбанизация продолжается в формате многоэтажек и агломераций, которые не только морально устарели, но и опасны в эпоху современных и ожидаемых вирусных инфекций.

Научные исследования, геоэкологическое обеспечение разрешения проблем взаимодействия человека и природы становится как никогда актуальным. В настоящем номере предложены исследования от биоразнообразия до устойчивости леса к антропогенным загрязнениям. Выявлены новые местообитания редкого растения, что позволяет предпринять меры по сохранению его уникального генофонда. Сохранение животного мира через создание ООПТ в условиях урбанизации, в центре миллионного города показывает достижимость самых амбициозных экологических планов. Западноафриканские исследования деградации почвенного покрова дают пример использования глобальной информации и практической значимости. Диагностика состояния лесных экосистем по замерам фотосинтеза и радиальному приросту деревьев открывает новое понимание в возможностях изучения круговорота углерода и парниковых газов. Кроме того, в предыдущем номере есть великолепный обзор методов и методик по изучению парниковых газов в различных природных комплексах.

Главный редактор С. А. Бузмаков

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 597/599

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-6-23>

Наземные позвоночные животные в долинах рек Данилиха и Егошиха города Перми

Воронов Георгий Анатольевич¹, Денис Сергеевич Исаков², Мария Владиславовна Жукова³

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

¹ voronov-professor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1243-2164>

³ mv.zhukova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4163-2050>

² Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, Пермь, Россия,

isakovdenis@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1363-8022>

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы биоразнообразия наземной позвоночной фауны в долинах малых рек города Перми – Данилихи и Егошихи. Учет проводился во время учебных экскурсий на практиках по зоологии, биогеографии и биогеоценологии. Также был проанализирован научный материал по ранее фиксированным представителям фауны на территории города Перми. Учет орнитофауны проводился методом линейных маршрутов, учет мелких млекопитающих проводился с помощью установки давилок и капканов, прочие представители фауны были зафиксированы во время визуальных осмотров вышеуказанных территорий. На основании проведенных учетов составлено фаунистическое описание долин рек Данилихи и Егошихи, эколого-фаунистические группы орнитофауны долин рек. В долине реки Данилихи зафиксировано: 4 вида амфибий, 1 вид рептилий, 17 видов млекопитающих и 59 видов птиц. В долине Егошихи зафиксировано 4 вида амфибий, 5 видов рептилий, 25 видов млекопитающих и 65 видов птиц. Выявлено наличие на указанных территориях видов, занесенных в Красную книгу Пермского края. Установлено, что зафиксированные редкие виды, останавливаются в долинах рек в период ежегодных миграций и кочевок. Биоразнообразие исследуемых территорий находится на достаточно высоком уровне, вследствие чего рекомендуется придание долинам рек Данилихи и Егошихи статуса охраняемых территорий с целью сохранения их биоразнообразия.

Ключевые слова: Позвоночные животные, зоология, орнитология, Красная книга Пермского края, долины рек, особо охраняемые природные территории

Для цитирования: Воронов Г. А., Исаков Д. С., Жукова М. В. Наземные позвоночные животные в долинах рек Данилиха и Егошиха города Перми // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 2. С. 6–23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-6-23>

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Original paper

Terrestrial vertebrates in the valleys of the Danilikha and Yegoshikha rivers in the city of Perm

Georgi A. Voronov¹, Denis S. Isakov², Maria V. Zhukova³

¹ voronov-professor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1243-2164>

³ mv.zhukova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4163-2050>

² Department of ecology and nature management of the Perm city administration, Perm, Russia,

isakovdenis@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1363-8022>

Abstract. The article deals with the issues of biodiversity of terrestrial vertebrate fauna in the valleys of the Danilikha and Yegoshikha rivers of the city of Perm. The recording was carried out during educational excursions and practices in zoology, biogeography and biogeocenology, with the usage of the scientific material on the previously recorded representatives of the fauna in the city of Perm. The recording of avifauna was carried out by the method of linear routes, the recording of small mammals was carried out using the installation of crushers and traps, other representatives of the fauna were recorded during visual examinations of the area. Based on the surveys carried out, the faunistic description of the Danilikha and Yegoshikha river valleys and the ecological-faunistic groups of the avifauna of the river valleys were compiled. In the valley of the Danilikha River 4 species of amphibians, 1 species of reptiles, 17 species of mammals and 59 species of birds were recorded. In the Yegoshikha valley 4 species of amphibians, 5 species of reptiles, 25 species of mammals and 65 species of birds were recorded. The presence of species included in the Red List of

the Perm region in the indicated territory was revealed. It has been established that the recorded rare species included in the Red List of the Perm region stay in river valleys during the period of annual migrations. The biodiversity of the studied territories is at a sufficiently high level, as a result of which it is recommended that the valleys of the Danilikha and Yegoshikha rivers be given the status of protected areas in order to preserve their biodiversity.

Key words: Vertebrates, zoology, ornithology, the Red List of the Perm region, river valleys, specially protected natural areas

For citation: Voronov, G., Isakov, D., Zhukova, M., 2021. Terrestrial vertebrates in the valleys of the Danilikha and Yegoshikha rivers in the city of Perm. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2). pp.6–23. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-6-23> (in Russian)

Введение

В настоящее время на территории города Перми расположены 22 особо охраняемые природные территории местного значения (далее – ООПТ) [11]. В центральной части города находятся две из них – ООПТ «Егошихинское кладбище» и ООПТ «Сад им. А. М. Горького». Данные территории оказывают разные антропогенные нагрузки и уровни биоразнообразия. Территории хорошо изучены в рамках проведения исследовательских работ по изучению флоры и фауны студентами ПГНИУ и ПГГПУ, а также в рамках мониторинга ООПТ города Перми, проводимого ПГНИУ [12]. Однако с фаунистической точки зрения в центральной части города Перми продолжают существовать малоизученные территории, обладающие высоким потенциалом в выявленном биоразнообразии видов – долины рек Данилихи и Егошихи.

Протекая через центральную часть города Перми и зажатые практически на всем протяжении зонами жилой застройки, эти территории интересны с точки зрения влияния антропогенных нагрузок на природные объекты и их биоразнообразие.

Цель нашей работы учет наземных позвоночных животных в долинах рек Данилихи и Егошиха города Перми, как группы живых организмов, остро реагирующих на изменения среды, в которой они пребывают, а также выявление на них редких видов и видов, занесенных в Красную книгу, с целью установления природоохранной ценности данных территорий и придания им соответствующего статуса.

По итогам наших учетов в последующем возможно проведение мониторинга состояния долин рек и влияния на них антропогенных, в том числе рекреационных, нагрузок по изменению видового и количественного состава фауны.

Материал и методика

Материалами для данного исследования послужили:

1. Наблюдения во время учебных экскурсий на практиках по зоологии, биогеографии и биогеоценологии.

2. Литература по животному миру г. Перми и Пермского края.

3. Предварительный список видов, предоставленный кафедрой биогеоценологии и охраны природы (далее БОП) ПГНИУ.

Учет орнитофауны проводился методом линейных маршрутов с использованием бинокля и фотоаппаратуры. Учитывались все виды птиц, зафиксированные наблюдателем в 50 метровой полосе (25 мет-

ров слева и справа от наблюдателя). Виды фиксировались как визуально, так и по голосу [1,8].

С целью фиксации мелких млекопитающих в ходе практик иногда выставлялись линии давилок или капканы на 3-5 часов во время проведения соответствующей экскурсии [8]. Амфибии и рептилии фиксировались во время визуальных осмотров исследуемой территории. Поскольку полученные материалы нельзя пересчитать на относительную численность (число животных на 100 ловушек-суток) и они несравнимы с результатами учёта птиц по полосам при проведении часто однократных маршрутов, оценки численности приводятся в баллах. Приняты следующие градации для видов всех классов:

1. Очень редкий – о.р.;
2. Редкие – р;
3. Обычные – о;
4. Многочисленные – м;
5. Очень многочисленные – о.м.

В список птиц кроме того введена градация «характер пребывания», которая включает следующие описания:

1. Оседлый – ос.;
2. Перелетный – пер.;
3. Пролетный – пр.;
4. Гнездящийся – гн.;
5. Зимующий – зим.;
6. Кочующий – коч.

А.П. Кузякин (1962) объединил животных обычных, многочисленных и очень многочисленных в группу фоновых видов [5].

Следует отметить, что в списках видов в графе «Биотопы» включены лишь те экосистемы, которые виды предпочитают, хотя сильная мозаичность биотопов, характерная для долин городских рек, приводит к тому, что многие виды заселяют и не свойственные им природные комплексы, однако максимального обилия виды достигают в излюбленных и характерных природных комплексах.

Сотрудниками кафедры БОП в долине реки выявлены нижесодержащие биотопы:

Данилиха – основные: труднопроходимый молодой мелколиственный лес (жердняк) и заросли кустарника; средневозрастный мелколиственный лес (береза, тополь); старовозрастный лиственный лес (береза, тополь, липа, вяз) – аллея Миндовского; действующие и заброшенные садовые и дачные участки; преобразованные участки (гаражи, свалки, автостоянки, насыпные грунты, промышленные площадки).

Данилиха – другие (небольшие по площади и частоте встречаемости): заболоченные участки, при-

брежно-водная растительность; небольшие пятна луговых сообществ.

Егошиха – основные: труднопроходимый молодой мелколиственный лес (жердняк) и заросли кустарника; средневозрастный мелколиственный лес (береза, тополь); преобразованные участки (гаражи, свалки, автостоянки, насыпные грунты, спортивные объекты, промышленные площадки).

Егошиха – другие (небольшие по площади и частоте встречаемости): темнохвойный лес (в верховьях); смешанный темнохвойно-лиственный лес (в верховьях); старовозрастный мелколиственный лес (береза, тополь); используемые дачные и садовые участки; заброшенные садовые участки с развалинами изб и сараев; небольшие пятна луговых участков.

Результаты и обсуждение

Данилиха. Амфибии в долине реки Данилихи представлены 4 видами. Все виды амфибий благодаря размножению в воде относятся к околотоводной эколого-фаунистической группе. Всего для города Перми описано 7 видов этого класса.

Рептилий в долине реки выявлен 1 вид из 8, описанных в Перми. В долине реки Данилихи встречен

один вид – лесная живородящая ящерица (*Zootoca vivipara*).

Птицы. В долине Данилихи обнаружено 59 видов. При анализе эколого-фаунистического состава фауны птиц была выделена группа «кустарниковые», в которую вошли птицы-обитатели кустарниковых зарослей по берегам рек и под пологом леса. Кроме того, 2 вида птиц отнесены к эвритопным, так как могут заселять самые разные биотопы. К этой группе относятся: рябинник (*Turdus pilaris*), делающие гнезда на деревьях, кустарниках и пнях; большая синица (*Parus major*), обитающая во всех биотопах Перми (от жилых высотных домов до кустарников вдоль рек).

В фауне долинных птиц преобладают лесные виды – 57,6%, затем кустарниковые формы – 15,3%. Из других эколого-фаунистических элементов можно отметить синантропов, составляющих в долине Данилихи – 10,2% (таблица 1 / table 1).

Млекопитающие в долине реки представлены 17 видами из 52 известных для Перми. Доля лесных форм в долине Данилихи – 8 видов (47,1%), на втором месте луговые виды, соответственно, 17,6%. Синантропных млекопитающих выявлено 3 вида (17,6%) (таблица 2 / table 2).

Таблица 1

Эколого-фаунистические группы птиц долины реки Данилихи

Table 1

Ecological and faunal groups of bird in valley Danilikha river

№	Эколого-фаунистические группы // Ecological and faunal groups	Данилиха // Danilikha	
		Число видов // Number of species	Доля, % // Share, %
1	Лесные // Forestly	34	57,6
2	Кустарниковые // Shrubs	9	15,3
3	Луговые // Meadow	2	3,4
4	Лесопольные // Woodland	4	6,8
5	Околоводные // Aquatic	2	3,4
6	Синантропные // Synanthropic	6	10,2
7	Эвритопные // Eurytopic	2	3,4
Всего // Total		59	100

Таблица 2

Эколого-фаунистические группы млекопитающих долин реки Данилихи

Table 2

Ecological and faunal groups of mammals in valley Danilikha river

№	Эколого-фаунистические группы // Ecological and faunal groups	Данилиха // Danilikha	
		Число видов // Number of species	Доля, % // Share, %
1	Лесные // Forestly	8	47,1
2	Лесопольные // Woodland	1	5,9
3	Луговые // Meadow	3	17,6
4	Околоводные // Aquatic	1	5,9
5	Синантропные // Synanthropic	3	17,6
6	Эвритопные // Eurytopic	1	5,9
Всего // Total		17	100

Среди животных, занесенных в Красную книгу Пермского края, встречены:

1. Бородатая неясыть (*Strix nebulosa*), III категория редкости (зафиксирована на территории Серебрянского парка В.П. Казаковым 18.03.2019, сообщение в публичной сети Интернет);

2. Дубровник (*Emberiza aureola*), II категория редкости.

К животным, требующим особого внимания и помещенным в Приложение к Красной книге Пермского края, относится бурый ушан (*Plecotus auritus*).

Синехвостка (*Tarsinger cyanurus*). Вид не включен в Красную книгу РФ и Красную книгу Пермского

края. Тем не менее, его можно считать редким для долины Данилихи. Данный вид распространен в таежных районах Дальнего Востока и Сибири [8]. В настоящее время в гнездовой период птица встречается в северных и северо-восточных районах Пермского края [9]. Синехвостка обнаружена в ходе орнитологической прогулки сообществом «Бердинг в

Перми» 05.10.2019 в Серебрянском парке, расположенном в долине реки Данилихи.

Места встреч с редкими и исчезающими видами птиц в рамках данного исследования представлены на рисунке 1 / figure 1.

В таблицах 3–4 / tables 3–4 представлены списки выявленных в долине реки Данилихи видов амфибий, млекопитающих и птиц.



Рис. 1. Места встреч с редкими видами птиц в долине реки Данилихи (в том числе, занесенными в Красную книгу Пермского края)

Fig. 1. Locations of encounters with rare bird species in valley Danilikha river. Including those listed in the Red list of the Perm region

Таблица 3

Наземные позвоночные долины реки Данилихи

Table 3

Terrestrial vertebrates of valley Danilikha river

№	Вид – Species	Данилиха – Danilikha	
		Обилие, баллы – Abundance, points	Биотоп – Biotope
1	Класс амфибий – Class Amphibians – <i>Amphibia</i> Отряд бесхвостые – Order Frogs and Toads – <i>Anura</i> Семейство жабы – Family True Toads – <i>Bufo</i> Серая жаба – European Toad – <i>Bufo bufo</i> L., 1758	O. p. – very rare	Весной в верхнем течении реки, в воде – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
2	Семейство настоящие лягушки – Family Typical Frogs – <i>Ranidae</i> Травяная лягушка – European Common Frog – <i>Rana temporaria</i> L., 1758	O – common	То же – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
3	Остромордная лягушка – Moor Frog – <i>Rana arvalis</i> , Nilsson, 1842	P – rare	То же – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
4	Класс рептилий – Class Reptiles – <i>Reptilia</i> Отряд чешуйчатые – Order Snakes and Lizards – <i>Squamata</i> Семейство настоящие ящерицы – Family Wall Lizards – <i>Lacertidae</i> Живородящая ящерица – Viviparous Lizard – <i>Zootoca vivipara</i> , Jacquin 1787	O – common	Разнообразные биотопы – Different biotopes

№	Вид – Species	Данилиха – Danilikha	
		Обилие, баллы – Abundance, points	Биотоп – Biotope
5	Класс млекопитающие – Class Mammals – <i>Mammalia</i> Отряд насекомоядные – Order Shrews, Moles, Hedgehogs, and Allies – <i>Insectivora</i> Семейство кротовые – Family Moles and Desmans – <i>Talpidae</i> Крот европейский – European Mole – <i>Talpa europaea</i> L., 1758	O – common	Проголины и поляны в смешанных лесах, дачные и садовые участки, сухие участки лугов – Glades in mixed forests, garden plots, dry areas of meadows
6	Семейство Землеройки – Family Shrews – <i>Soricidae</i> Обыкновенная бурозубка – Common Shrew – <i>Sorex araneus</i> L., 1758	O – common	Лесные участки, заросли кустарников – Forest areas, bushes
7	Средняя бурозубка – Laxmann's Shrew – <i>Sorex caecutiens</i> L., 1766	P – rare	Смешанные леса, заросли кустарников – Mixed forests, bushes
8	Малая бурозубка – Eurasian Pygmy Shrew – <i>Sorex minutus</i> L., 1866	P – rare	Смешанные леса, заросли кустарников – Mixed forests, bushes
9	Отряд рукокрылые – Order Bats – <i>Chiroptera</i> Семейство обыкновенные летучие мыши – Family Evening Bats – <i>Vespertilionidae</i> Ночница Брандта – Brandt's Bat – <i>Myotis brandtii</i> Eversmann, 1845	P – rare	Смешанные леса; над рекой – Mixed forests; above a river
10	Ушан бурый – Brown Big-eared Bat – <i>Plecotus auritus</i> L., 1758	O – common	Долина реки, леса разного типа (преимущественно спелые, старые) – River valley, forests of various types (mostly mature, old)
11	Отряд хищных – Order Carnivorans – <i>Carnivora</i> Семейство псовые – Family Canids – <i>Canidae</i> Собака домашняя – Domestic Dog – <i>Canis familiaris</i> L., 1758	O – common	Промплощадки, гаражи, дачные участки у жилых строений – Industrial sites, garages, garden plots near residential buildings
12	Отряд грызуны – Order Rodents – <i>Rodentia</i> Семейство белчицы – Family Squirrels – <i>Sciuridae</i> Летяга обыкновенная – Siberian Flying Squirrel – <i>Pteromys volans</i> L., 1758	O. p. – very rare	Смешанные леса – Mixed forests
13	Белка обыкновенная – Eurasian Red Squirrel – <i>Sciurus vulgaris</i> L., 1758	O – common	Леса разных типов – Forests of different types
14	Семейство мышинные – Family Old World Mice and Rats – <i>Muridae</i> Мышь домовая – House Mouse – <i>Mus musculus</i> L., 1758	O – common	Жилые, садовые, дачные постройки – Residential, garden plots
15	Мышь лесная – Herb Field Mouse – <i>Apodemus uralensis</i> L., 1758	P – rare	Лесные участки – Forest plots
16	Серая крыса – Brown Rat – <i>Rattus norvegicus</i> Berkenhout, 1769	M – numerous	Жильё и постройки человека, в т.ч. дачные – Residential buildings, houses, cottages
17	Семейство хомяковые – Family Hamsters, Voles, Lemmings and Allies – <i>Cricetidae</i> Водяная полевка – European Water Vole – <i>Arvicola amphibius</i> L., 1758	P – rare	Луговые участки, кустарниковые заросли, с середины лета начинает перемещаться в сады и огороды – Meadow plots, bushes, from the middle of summer begins to move to garden plots
18	Полевка рыжая – Bank Vole – <i>Myodes glareolus</i> Schreber, 1780	O – common	Леса разных типов – Forests of different types
19	Полевка обыкновенная – Common Vole – <i>Microtus arvalis</i> Pallas, 1778	M – numerous	Луговые участки, проголины в лесах, дачные участки – Meadow plots, clearings in forests, garden plots
20	Темная полевка – Field Vole – <i>Microtus agrestis</i> L., 1766	P – rare	Относительно сухие, разреженные леса, дачные участки – Relatively dry, sparse forests, garden plots
21	Полевка-экономка – Tundra Vole – <i>Microtus oeconomus</i> Pallas, 1778	O или p – common or rare	Увлажненные лесные, кустарниковые биотопы, реже дачные участки – Moistened forest, shrub biotopes, less often garden plots

Таблица 4

Птицы долины реки Данилихи

Table 4

Birds of valley Danilikha river

№	Вид – Species	Данилиха – Danilikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the pres- ence	Биотоп – Biotope
1	Отряд гусеобразные – Order Waterfowl – <i>Anseriformes</i> Семейство утиные – Family Ducks, Geese, and Swans – <i>Anatidae</i> Кряква – Mallard – <i>Anas platyrhynchos</i> L., 1758	O – common	Ос., часть пер. – Nonmigratory, partially migratory	Река – River
2	Отряд соколообразные – Order Falcons – <i>Falconiformes</i> Семейство ястребиные – Family Hawks, Eagles and Kites – <i>Accipitridae</i> Черный коршун – Black Kite – <i>Milvus migrans</i> Bodd, 1783	O – common	Гн., пер. – Nesting	Разные типы леса – Forests of different types
3	Перепелятник – Eurasian Sparrow hawk – <i>Accipiter nisus</i> L., 1758	P – rare	Ос., часть пер., гн. – Nonmigratory, partially migratory, nesting	Редкостойные малоствольные леса – Sparse forests
4	Ястреб тетеревятник – Northern Goshawk – <i>Accipiter gentilis</i> L., 1758	P – rare	Ос. – Nonmigratory	Редкостойные леса – Sparse forests
5	Отряд ржанкообразные – Order Shore birds and Allies – <i>Charadriiformes</i> Семейство бекасовые – Family Sand pipers and Allies – <i>Scolopadidae</i> Вальдшнеп – Eurasian Woodcock – <i>Scolopax rusticola</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер – Nesting, migratory	Смешанные леса – Forests of different types
6	Семейство чайковые – Family Gulls, Terns, and Skimmers – <i>Laridae</i> Озерная чайка – Black-headed Gull – <i>Larus ridibundus</i> L., 1766	P – rare	Пер., гн. – Nesting, migratory	Над рекой – Above a river
7	Отряд голубеобразные – Order Pigeons and Doves – <i>Columbiformes</i> Семейство голубиные – Family Pigeons and Doves – <i>Columbidae</i> Сизый голубь – Rock Pigeon – <i>Columba livia</i> Gmelin, 1789	O – common	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Тяготеет к постройкам человека – Human dwellings
8	Отряд совообразные – Order Owls – <i>Strigiformes</i> Семейство совиные – Family Typical Owls – <i>Strigidae</i> Длиннохвостая неясыть – Ural Owl – <i>Strix uralensis</i> Pall, 1771	P – rare	Гн.ос. – Nesting, non-migratory	Леса разных типов – Forests of different types
9	Бородатая неясыть – Great Gray Owl – <i>Strix nebulosa</i> ¹ Forster, 1772	O.p. – very rare	Зим. – Wintering	Разреженные леса – Sparse forests
10	Отряд стрижеобразные – Order Swifts – <i>Apodiformes</i> Семейство стрижиные – Family Swifts – <i>Apodidae</i> Черный стриж – Common Swift – <i>Apus apus</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Тяготеет к каменным постройкам человека – Human dwellings
11	Отряд дятлообразные – Order Woodpeckers, Barbets, and Allies – <i>Piciformes</i> Семейство дятловые – Family Woodpeckers – <i>Picidae</i> Вертишейка – Eurasian Wryneck – <i>Jynx torquilla</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Кустарниковые заросли у реки – Bushes by the river
12	Малый пестрый дятел – Lesser Spotted Woodpecker – <i>Dendrocopos minor</i> L. 1758	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Кустарниковые заросли в долине реки с отдельными деревьями – Bushes by the river
13	Большой пестрый дятел – Great Spotted Woodpecker – <i>Dendrocopos major</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Смешанные старые леса – Mixed old forests
14	Седой дятел – Grey-headed Woodpecker – <i>Picus canus</i> Gmelin, 1788	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Смешанные старые леса – Mixed old forests

№	Вид – Species	Данилиха – Danilikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the presence	Биотоп – Biotope
15	Отряд воробьинообразные – Order Perching Birds – <i>Passeriformes</i> Семейство трясогузковые – Family Wag-tails and Pipits – <i>Motacillidae</i> Лесной конек – Tree Pipit – <i>Anthus trivialis</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Сочетание лесов с открытыми биотопами – Woodlands
16	Белая трясогузка – White Wagtail – <i>Motacilla alba</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Предпочитает берега водоёмов – The shores of reservoirs
17	Семейство свиристелевые – Family Waxwings – <i>Bombycillidae</i> Свиристель – Bohemian Waxwing – <i>Bombycilla garrulus</i> L., 1758	O – common	Зим. – Wintering	Леса, парки – Forests, parks
18	Семейство Крапивниковые – Family Wrens – <i>Troglodytidae</i> Крапивник – Eurasian Wren – <i>Troglodytes troglodytes</i> L., 1758	O.P. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Увлажнённые и спелые смешанные леса – Wet and mature mixed forests
19	Семейство Дроздовые – Family Thrushes – <i>Turdidae</i> Рябинник – Fieldfare – <i>Turdus pilaris</i> L., 1758	M – numerous	Гн., зим. – Nesting, wintering	Эвритопен, гнёзда делает обычно на деревьях – Eurytopen
20	Чёрный дрозд – Common Blackbird – <i>Turdus merula</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса – Mixed forests
21	Белобровик – Redwing – <i>Turdus iliacus</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса – Forests
22	Певчий дрозд – Song Thrush – <i>Turdus philomelos</i> Brehm., 1831	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса – Mixed forests
23	Обыкновенная горихвостка – Common Redstart – <i>Phoenicurus phoenicurus</i> L., 1758	M – numerous	Гн., пер. – Nesting, migratory	Опушки лесов, парки, скверы. Обязательно наличие дупел, дуплянок – Forest edges, parks, gardens
24	Зарянка – European Robin – <i>Erithacus rubecula</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., иногда зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Леса, парки, кустарники в пойме – Forests, parks, shrubs in the floodplain
25	Обыкновенный соловей – Thrush Nightingale – <i>Luscinia luscinia</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Кустарники в пойме – Bushes in the floodplain
26	Семейство мухоловковые – Family Old World Flycatchers and Chats – <i>Muscicapidae</i> Серая мухоловка – Spotted Flycatcher – <i>Muscicapa striata</i> Pall., 1764	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса, парки – Mixed forests, parks
27	Мухоловка пеструшка – European Pied Flycatcher – <i>Ficedula hypoleuca</i> Pall., 1764	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные и лиственные леса – Mixed and deciduous forests
28	Семейство Славковые – Family Warblers – <i>Sylviidae</i> Садовая камышевка – Blyth's Reed-warbler – <i>Acrocephalus dumetorum</i> Beyth., 1849	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Кустарники по берегам реки – Bushes on the banks of river
29	Пеночка-весничка – Willow Warbler – <i>Phylloscopus trochilus</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Мелколесье, колки леса – Small forest
30	Пеночка-теньковка – Common Chiffchaff – <i>Phylloscopus collybita</i> Vieel., 1817	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса, лесопарки – Forests, forest parks
31	Зеленая пеночка – Greenish Warbler – <i>Phylloscopus trochiloides</i> L., 1758	M – numerous	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса, лесопарки – Forests, forest parks
32	Садовая славка – Garden Warbler – <i>Sylvia borin</i> Bodd., 1783	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Луга с кустарниками в пойме реки – Meadows with bushes in the river floodplain
33	Серая славка – Common Whitethroat – <i>Sylvia communis</i> Lath., 1787	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Луга, кустарники, парки, пустыри – Meadows, bushes, parks, vacant lots
34	Семейство длиннохвостые синицы – Family Long-tailed Tits – <i>Aegithalidae</i> Длиннохвостая синица – Long-tailed Tit – <i>Aegithalos caudatus</i> L., 1758	P – rare	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Смешанные леса, кустарники у реки – Mixed forests, bushes by the river

№	Вид – Species	Данилиха – Danilikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the pres- ence	Биотоп – Biotope
35	Семейство синицевые – Family Tits, Chickadees, and Titmice – <i>Paridae</i> Буроголовая гаичка – Willow Tit – <i>Parus montanus</i> Baldenst., 1827	O – common	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Леса всех типов – Forests of all types
36	Московка – Coal Tit – <i>Parus ater</i> L., 1758	O – common	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Леса с преобладанием ели – Spruce forests
37	Обыкновенная лазоревка – Blue Tit – <i>Parus caeruleus</i> L., 1758	O – common	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Увлажненные леса, кустарники в пойме – Wet forests, bushes in the floodplain
38	Большая синица – Great Tit – <i>Parus major</i> L., 1758	M – numerous	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic in winter	Эвритопен – Eurytopen
39	Семейство поползневые – Family Nuthatches – <i>Sittidae</i> Обыкновенный поползень – Eurasian Nuthatch – <i>Sitta europaea</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Леса разных типов – Forests of different types
40	Семейство пищуховые – Family Treecreepers – <i>Certhiidae</i> Обыкновенная пищуха – Eurasian Treecreeper – <i>Certhia familiaris</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Спелые смешанные леса – Mature mixed forests
41	Семейство врановые – Family Crows, Jays, and Magpies – <i>Corvidae</i> Сорока – Common Magpie – <i>Pica pica</i> L., 1758	O – common	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Предпочитает сочетание зарослей кустарников, редкостойных лесов с лугами, полянами – Bushes, sparse forests with meadows, glades
42	Галка – Eurasian Jackdaw – <i>Corvus monedula</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Леса, парки с дуплистыми деревьями, жилые постройки – Forests, parks with hollow trees, residential buildings
43	Серая ворона – Hooded Crow – <i>Corvus cornix</i> L., 1758	O – common	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Деревья вблизи построек человека – Trees near human dwellings
44	Ворон – Common Raven – <i>Corvus corax</i> L., 1758	P – rare	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Леса, лесопарки – Forests, forest parks
45	Семейство воробьиные – Family Old World Sparrows – <i>Passeridae</i> Домовой воробей – House Sparrow – <i>Passer domesticus</i> L., 1758	M – numerous	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Эвритопен, предпочитает жильё человека – Eurytopen, prefers human dwellings
46	Полевой воробей – Eurasian Tree Sparrow – <i>Passer montanus</i> L., 1758	M – numerous	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Все биотопы, где есть дуплистые деревья или постройки человека – All biotopes with hollow trees or human dwellings
47	Семейство вьюрковые – Family Finches, Euphonias, and Allies – <i>Fringillidae</i> Зяблик – Chaffinch – <i>Fringilla coelebs</i> L., 1758	M – numerous	Гн., пер, иногда зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Леса, парки, аллеи – Forests, parks
48	Вьюрок – Brambling – <i>Fringilla montifringilla</i> L., 1758	P – rare	Пер., гн. – Nesting, migratory	Ельники и смешанные леса – Spruce forests and mixed forests
49	Чиж – Eurasian Siskin – <i>Spinus spinus</i> L., 1758	O – common	Пер., гн. – Nesting, migratory	Пойменные заросли – Floodplain thickets
50	Обыкновенная зеленушка – European Greenfinch – <i>Chloris chloris</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., частично зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Опушки лесов, парки, дачные посадки – Forest edges, parks
51	Черноголовый щегол – European Goldfinch – <i>Carduelis carduelis</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., частично зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Леса, заросли в полянах, сады, парки, скверы – Forests, gardens, parks, gardens
52	Коноплянка – Common Linnet – <i>Acanthis cannabina</i> L., 1758	O – common	Пер., частично зим. – Migratory, sometimes wintering	Опушки, кустарниковые заросли, парки, сады – Forest edges, shrubs, parks, gardens

№	Вид – Species	Данилиха – Danilikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the presence	Биотоп – Biotope
53	Урагус – Long-tailed Rosefinch – <i>Uragus sibiricus</i> Pall., 1773	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Заросли кустарников и сорняков в пойме – Bushes and weeds in the river floodplain
54	Обыкновенная чечевица – Common Rosefinch – <i>Carpodacus erythrinus</i> Pall., 1770	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Поймы, мелколесье, кустарники – Floodplains, small forests, bushes
55	Обыкновенный снегирь – Common Bullfinch – <i>Pyrrhula pyrrhula</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Леса, парки, сады – Forests, parks, gardens
56	Обыкновенный дубонос – Hawfinch – <i>Coccothraustes coccothraustes</i> L., 1758	P – rare	Гн., иногда зим. – Nesting, sometimes wintering	Опушки лесов – Forest edges
57	Семейство овсянковые – Family Old World Buntings – <i>Emberizidae</i> Обыкновенная овсянка – Yellowhammer – <i>Emberiza citrinella</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., частично зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Опушки лесов – Forest edges
58	Камышовая овсянка – Reed Bunting – <i>Emberiza schoeniclus</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Увлажнённые участки по берегам, кустарники – Wet areas along the banks, bushes
59	Дубровник – Yellow-breasted Bunting – <i>Ocyris aureoles</i> ² Pall., 1773	O.p. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Пойма реки с отдельными деревьями – River floodplain with individual trees

Примечания – Note

¹ Красная книга Пермского края, III категория – ¹ Included in the Red list of the Perm region, III category.

² Красная книга Пермского края, II категория – ² Included in the Red list of the Perm region, II category.

Егошиха. Амфибии в долине реки Егошихи представлены 4 видами. Все виды амфибий благодаря размножению в воде относятся к околоводной эколого-фаунистической группе. Всего для города Перми описано 7 видов этого класса.

В долине Егошихи обитает 5 видов рептилий, 4 из которых лесные, 1 вид околоводный – обыкновенный уж (*Natrix natrix*).

Птиц в речной долине выявлено 65 видов. При анализе эколого-фаунистического состава фауны птиц была выделена группа «кустарниковые», в которую вошли птицы – обитатели кустарниковых зарослей по берегам рек и под пологом леса. Кроме того, 2 вида птиц отнесены к эвритопным, так как могут заселять самые разные биотопы. К этой группе

относятся: рябинник (*Turdus pilaris*), делающий гнезда на деревьях, кустарниках и пнях; большая синица (*Parus major*), обитающая во всех биотопах Перми (от жилых высотных домов до кустарников вдоль рек).

В фауне долинных птиц преобладают лесные виды: 61,5%, затем кустарниковые формы: 13,8%. Из других эколого-фаунистических элементов можно отметить синантропов, составляющих в долине Егошихи всего лишь 4,6% (таблица 5 / table 5).

В долине реки Егошихи выявлено 25 видов млекопитающих. Доля лесных форм в долине Егошихи – 10 видов (48,0 %), второе место в долине занимают луговые виды, соответственно 20,0%. Лесопольных и синантропных млекопитающих выявлено 3 вида (12,0%) (таблица 6 / table 6).

Таблица 5

Эколого-фаунистические группы птиц долины реки Егошихи

Table 5

Ecological and faunal groups of bird in valley Yegoshikha river

№	Эколого-фаунистические группы – Ecological and faunal groups	Егошиха – Yegoshikha	
		Число видов – Number of species	Доля, % – Share, %
1	Лесные – Forestly	40	61,5
2	Кустарниковые – Shrubs	9	13,8
3	Луговые – Meadow	3	4,6
4	Лесопольные – Woodland	4	6,2
5	Околоводные – Aquatic	4	6,2
6	Синантропные – Synanthropic	3	4,6
7	Эвритопные – Eurytopic	2	3,1
	Всего – Total	65	100

Таблица 6

Эколого-фаунистические группы млекопитающих долины реки Егошихи

Table 6

Ecological and faunal groups of mammals in valley Yegoshikha river

№	Эколого-фаунистические группы – Ecological and faunal groups	Егошиха – Yegoshikha	
		Число видов – Number of species	Доля, % – Share, %
1	Лесные – Forestly	12	48,0
2	Лесопольные – Woodland	3	12,0
3	Луговые – Meadow	5	20,0
4	Околоводные – Aquatic	1	4,0
5	Синантропные – Synanthropic	3	12,0
6	Эвритопные – Eurytopic	1	4,0
	Всего – Total	25	100

В рамках нашего исследования в долине Егошихи были зафиксированы редкие и находящиеся под угрозой исчезновения объекты животного мира:

1. Дербник (*Falco columbarius*).

Редкий пролетный, периодически зимующий вид. Зафиксирован в долине реки Егошихи неподалеку от Южной Дамбы 31.03.2020. Занесен в Красную книгу Пермского края, 2 категория редкости.

2. Бородатая неясыть (*Strix nebulosa*). 3 категория Красной книги Пермского края. Зафиксирована 27.02.2021 на территории смежной с долиной реки Егошихи, вблизи Бульвара Гагарина 18, г. Пермь.

3. Горная трясогузка (*Motacilla cinerea*).

Немногочисленный пролетный вид [10]. Зафиксирована на пролете, на р. Стикс 01.05.2016. Приложение к Красной книге Пермского края [4].

4. Синехвостка (*Tarsiger cyanurus*).

Немногочисленный пролетный вид. Этот вид распространен в таежных районах Дальнего Востока и Сибири [9]. В настоящее время в гнездовой период птица встречается в северных и северо-восточных

районах Пермского края [10]. Зафиксирована 11.10.2020 на территории Южного кладбища города Перми неподалеку от долины р. Егошихи.

5. Горихвостка-чернушка (*Phoenicurus ochruros*).

Немногочисленный вид для Перми. Возможно, гнездящийся. Первый факт гнездования на территории Пермского края зафиксирован в мае-июне 2005 года [5]. Среди видового списка птиц города Перми не значится [10]. Зафиксирована в долине реки Егошихи 11.08.2020 недалеко от родника на ул. Народовольческая в г. Пермь.

Кроме того, к животным, требующих особого внимания и помещенных в Приложение к Красной книге Пермского края, относится бурый ушан (*Plecotus auritus*) [4].

Места встреч с редкими и исчезающими видами птиц в долине реки Егошихи в рамках данного исследования представлены на рисунке 2 / figure 2.

В таблицах 7–8 / table 7–8 представлены списки всех выявленных в долине реки Егошихи видов амфибий, млекопитающих и птиц.



Рис. 2. Места встреч с редкими видами птиц в долине реки Егошихи (в том числе, занесенными в Красную книгу Пермского края)

Fig. 2. Location of encounters with rare bird species in valley Yegoshikha river. Including those listed in the Red list of the Perm region

Таблица 7

Наземные позвоночные долины реки Егошихи

Table 7

Terrestrial vertebrates of valley Yegoshikha river

№	Вид – Species	Егошиха – Yegoshikha	
		Обилие, баллы – Abundance, points	Биотоп – Biotope
1	Класс амфибий – Class Amphibians – <i>Amphibia</i> Отряд хвостатые амфибии – Order Salamanders – <i>caudate</i> Семейство саламандровые Family Newts – <i>Salamandridae</i> Обыкновенный тритон – Smooth Newt – <i>Lissotriton vulgaris</i> L., 1758	O. p. – very rare	Весной в верхнем течении реки, в воде – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
2	Отряд бесхвостые – Order Frogs and Toads – <i>Anura</i> Семейство жабы – Family True Toads – <i>Bufo</i> Серая жаба – European Toad – <i>Bufo bufo</i> L., 1758	P – rare	Весной в верхнем течении реки, в воде – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
3	Семейство настоящие лягушки – Family Typical Frogs – <i>Ranidae</i> Травяная лягушка – European Common Frog – <i>Rana temporaria</i> L., 1758	O – common	Весной в верхнем течении реки, в воде – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
4	Остромордная лягушка – Moor Frog – <i>Rana arvalis</i> , Nilsson, 1842	P – rare	Весной в верхнем течении реки, в воде – In the spring in the upper reaches of the river, in the water
5	Класс рептилий – Class Reptiles – <i>Reptilia</i> Отряд чешуйчатые – Order Snakes and Lizards – <i>Squamata</i> Семейство веретеницевые – Family Glass and Alligator Lizards – <i>Anguillidae</i> Веретеница ломкая – Common Slowworm – <i>Anguis fragilis</i> , L., 1758	O. p. – very rare	Смешанные не слишком сомкнутые леса – Mixed not too closed canopy forests
6	Семейство настоящие ящерицы – Family Wall Lizards – <i>Lacertidae</i> Живородящая ящерица – Viviparous Lizard – <i>Zootoca vivipara</i> , Jacquin 1787	O – common	Повсеместно, кроме сосновых участков хвойного леса – Everywhere except pine forests
7	Семейство ужалые – Family Colubrid Snakes – <i>Colubridae</i> Обыкновенный уж – Grass Snake – <i>Natrix natrix</i> L., 1758	P – rare	В верхнем течении реки, молодые смешанные леса, луговые участки, заросли кустарника – In the upper reaches of the river, young mixed forest, meadows, bushes
8	Семейство гадюковые – Family Vipers – <i>Viperidae</i> Обыкновенная гадюка – Adder – <i>Vipera berus</i> L., 1758	O. p. – very rare	Смешанный темнохвойно-лиственный лес (в верховьях) – Mixed dark coniferous and deciduous forest
9	Класс млекопитающие – Class Mammals – <i>Mammalia</i> Отряд насекомоядные – Order Shrews, Moles, Hedgehogs, and Allies – <i>Insectivora</i> Семейство кротовые – Family Moles and Desmans – <i>Talpidae</i> Крот европейский – European Mole – <i>Talpa europaea</i> L., 1758	O – common	Садовые участки, луга, прогалины в смешанном лесу – Glades in mixed forests, garden plots, dry areas of meadows
10	Семейство Землеройки – Family Shrews – <i>Soricidae</i> Обыкновенная бурозубка – Common Shrew – <i>Sorex araneus</i> L., 1758	O – common	Лесные участки, заросли кустарников – Forest areas, bushes
11	Средняя бурозубка – Laxmann's Shrew – <i>Sorex caecutiens</i> L., 1766	P – rare	Смешанные леса, заросли кустарников – Mixed forests, bushes
12	Малая бурозубка – Eurasian Pygmy Shrew – <i>Sorex minutus</i> L., 1866	O. p. – very rare	Разряженные смешанные леса, заросли кустарников, высокотравье (особенно в верховье реки) – Sparse mixed forest, bushes, tall grass by the river
13	Отряд рукокрылые – Order Bats – <i>Chiroptera</i> Семейство обыкновенные летучие мыши – Family Evening Bats – <i>Vespertilionidae</i> Ночница Брандта – Brandt's Bat – <i>Myotis brandtii</i> Eversmann, 1845	P – rare	Смешанные леса; над рекой – Mixed forests; above a river
14	Ночница водяная – Daubenton's Bat – <i>Myotis daubentonii</i> , Kuhl, 1817	P – rare	Отмечен в долине, леса – Marked in the valley, forests

№	Вид – Species	Егошиха – Yegoshikha	
		Обилие, баллы – Abundance, points	Биотоп – Biotope
15	Ушан бурый – Brown Big-eared Bat – <i>Plecotus auritus</i> L., 1758	O – common	Долина реки, смешанные и темнохвойные леса – River floodplains, mixed and dark coniferous forest
16	Отряд хищных – Order Carnivorans – <i>Carnivora</i> Семейство псовые – Family Canids – <i>Canidae</i> Собака домашняя – Domestic Dog – <i>Canis familiaris</i> L., 1758	O – common	Промплощадки, гаражи, дачные участки у жилых строений – Industrial sites, garages, garden plots near residential buildings
17	Семейство Куницевые – Family Mustelids – <i>Mustelida</i> Горноста́й – Eurasian Stoat – <i>Mustela erminea</i> L., 1758	O. p. – very rare	Лесные участки, кустарниковые заросли (в верховьях реки) – Forests and bushes by the river
18	Ласка – Least Weasel – <i>Mustela nivalis</i> L., 1758	P – rare	Почти все биотопы, кроме гаражей, промплощадки и т.п. – All biotopes except garages and industrial areas
19	Куница лесная – Eurasian Pine Marten – <i>Martes martes</i> L., 1758	O. p. – very rare	Участки темнохвойных и старых смешанных лесов – Dark coniferous and old mixed forests
20	Отряд зайцеобразные – Order Lagomorphs – <i>Lagomorpha</i> Семейство зайцевые – Family Hares and Rabbits – <i>Leporidae</i> Зяц-беляк – Mountain Hare – <i>Lepus timidus</i> L., 1758	P – rare	Лесные и кустарниковые заросли в верховьях реки – Forests and bushes by the river
21	Отряд грызуны – Order Rodents – <i>Rodentia</i> Семейство беличьи – Family Squirrels – <i>Sciuridae</i> Летяга обыкновенная – Siberian Flying Squirrel – <i>Pteromys volans</i> L., 1758	O. p. – very rare	Смешанные леса – Mixed forests
22	Белка обыкновенная – Eurasian Red Squirrel – <i>Sciurus vulgaris</i> L., 1758	O – common	Леса разных типов – Forests of different types
23	Семейство мышиные – Family Old World Mice and Rats – <i>Muridae</i> Мышь домовая – House Mouse – <i>Mus musculus</i> L., 1758	O – common	Дачные и садовые домики, жилые строения – Residential, garden plots
24	Мышь лесная – Herb Field Mouse – <i>Apodemus uralensis</i> L., 1758	P – rare	Лесные участки – Forest plots
25	Серая крыса – Brown Rat – <i>Rattus norvegicus</i> Berkenhout, 1769	M – numerous	Постройки и жильё людей, в т.ч. дачные – Residential buildings, houses, cottages
26	Семейство хомяковые – Family Hamsters, Voles, Lemmings, and Allies – <i>Cricetidae</i> Хомяк обыкновенный – Eurasian Hamster – <i>Cricetus cricetus</i> L., 1758	O. p. – very rare	Открытые участки, сады, поляны, огороды, садовые участки – Meadow plots, clearings in forests, garden plots
27	Семейство хомяковые – Family Hamsters, Voles, Lemmings and Allies – <i>Cricetidae</i> Водяная полевка – European Water Vole – <i>Arvicola amphibius</i> L., 1758	P – rare	Луговые участки, кустарниковые заросли, с середины лета начинает перемещаться в сады и огороды – Meadow plots, bushes, from the middle of summer begins to move to garden plots
28	Полевка рыжая – Bank Vole – <i>Myodes glareolus</i> Schreber, 1780	O – common	Леса разных типов – Forests of different types
29	Полевка красная – Northern Red-backed Vole – <i>Myodes rutilus</i> Pallas, 1779	O. p. – very rare	Участки темнохвойных лесов – Dark coniferous forest
30	Полевка обыкновенная – Common Vole – <i>Microtus arvalis</i> Pallas, 1778	M – numerous	Луговые участки, прогалины в лесах, дачные участки – Meadow plots, clearings in forests, garden plots
31	Темная полевка – Field Vole – <i>Microtus agrestis</i> L., 1766	P – rare	Не увлажнённые участки разреженных лесов, дачные участки – Relatively dry, sparse forests, garden plots
32	Полевка-экономка – Tundra Vole – <i>Microtus oeconomus</i> Pallas, 1778	O или p – common / rare	Занимает увлажнённые участки лесов, реже дачные участки, заросшие кустарником – Moistened forest, shrub biotopes, less often garden plots
33	Отряд парнокопытные – Order Cloven-footed – <i>Artiodactyla</i> Семейство олени – Family Deer – <i>Cervidae</i> Лось – Moose – <i>Alces alces</i> L., 1758	P – rare	Осенью – в период гона, и позже – в сезон открытия охоты единичные особи могут встречаться в слабо посещаемых людьми участках леса – In autumn – during the rutting period, and later – during the opening of hunting season, single individuals can be found in areas of the forest that are poorly visited by people.

Таблица 8

Птицы долины реки Егошихи

Table 8

Birds of valley Yegoshikha river

№	Вид – Species	Егошиха – Yegoshikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the presence	Биотоп – Biotope
1	Отряд гусеобразные – Order Waterfowl – <i>Anseriformes</i> Семейство утиные – Family Ducks, Geese, and Swans – <i>Anatidae</i> Кряква – Mallard – <i>Anas platyrhynchos</i> L., 1758	O – common	Ос., часть пер. – Nonmigratory, partially migratory	Река – River
2	Отряд соколообразные – Order Falcons – <i>Falconiformes</i> Семейство ястребиные – Family Hawks, Eagles and Kites – <i>Accipitridae</i> Черный коршун – Black Kite – <i>Milvus migrans</i> Bodd, 1783	O – common	Гн., пер. – Nesting	Разные типы леса – Forests of different types
3	Перепелятник – Eurasian Sparrowhawk – <i>Accipiter nisus</i> L., 1758	P – rare	Ос., часть пер., гн. – Nonmigratory, partially migratory, nesting	Редкостойные малоствольные леса – Sparse forests
4	Ястреб тетеревятник – Northern Goshawk – <i>Accipiter gentilis</i> L., 1758	P – rare	Ос. – Nonmigratory	Редкостойные леса – Sparse forests
5	Дербник – Merlin – <i>Falco columbarius</i> ¹ L., 1758	P – rare	Пр., иногда зим. – Passing, sometimes wintering	Небольшие участки леса – Small parts of forest
6	Чеглок – Eurasian Hobby – <i>Falco subbuteo</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Сосняковые разреженные леса – Pine sparse forest
7	Отряд ржанкообразные – Order Shorebirds and Allies – <i>Charadriiformes</i> Семейство бекасовые – Family Sandpipers and Allies – <i>Scolopadidae</i> Вальдшнеп – Eurasian Woodcock – <i>Scolopax rusticola</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса – Forests of different types
8	Перевозчик – Common Sandpiper – <i>Actitis hypoleucos</i> , L, 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Прибрежная полоса реки – River shores
9	Семейство чайковые – Family Gulls, Terns, and Skimmers – <i>Laridae</i> Озерная чайка – Black-headed Gull – <i>Larus ridibundus</i> L., 1766	P – rare	Пер., гн. – Nesting, migratory	Над рекой – Above a river
10	Отряд голубеобразные – Order Pigeons and Doves – <i>Columbiformes</i> Семейство голубиные – Family Pigeons and Doves – <i>Columbidae</i> Сизый голубь – Rock Pigeon – <i>Columba livia</i> Gmelin, 1789	O – common	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Тяготеет к постройкам человека – Human dwellings
11	Отряд кукушкообразные – Order Cuckoos – <i>Cuculiformes</i> Семейство кукушковые – Family Cuckoos – <i>Cuculidae</i> Обыкновенная кукушка – Common Cuckoo – <i>Cuculus canorus</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса разных типов – Forests of different types
12	Отряд совообразные – Order Owls – <i>Strigiformes</i> Семейство совиные – Family Typical Owls – <i>Strigidae</i> Длиннохвостая неясыть – Ural Owl – <i>Strix uralensis</i> Pall, 1771	P – rare	Гн.ос. – Nesting, nonmigratory	Леса разных типов – Forests of different types
13	Бородатая неясыть – Great Gray Owl – <i>Strix nebulosa</i> ² Forster, 1772	O.p. – very rare	Зим. – Wintering	Разреженные леса – Sparse forests
14	Отряд козодоеобразные – Order Nightjars – <i>Caprimulgiformes</i> Семейство козодоевые – Family Nightjars – <i>Caprimulgidae</i> Козодой – Eurasian Nightjar – <i>Caprimulgus europaeus</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Очень редкостойные леса, вырубки, гари – Sparse forests, places where trees have been cut and wild-fires taken place

№	Вид – Species	Егошиха – Yegoshikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the presence	Биотоп – Biotope
15	Отряд дятлообразные – Order Woodpeckers, Barbets, and Allies – <i>Piciformes</i> Семейство дятловые – Family Woodpeckers – <i>Picidae</i> Вертишейка – Eurasian Wryneck – <i>Jynx torquilla</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Кустарниковые заросли у реки – Bushes by the river
16	Малый пестрый дятел – Lesser Spotted Woodpecker – <i>Dendrocopos minor</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Кустарниковые заросли в долине реки с отдельными деревьями – Bushes by the river
17	Большой пестрый дятел – Great Spotted Woodpecker – <i>Dendrocopos major</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Смешанные старые леса – Mixed old forests
18	Отряд воробьинообразные – Order Perching Birds – <i>Passeriformes</i> Семейство трясогузковые – Family Wagtails and Pipits – <i>Motacillidae</i> Лесной конек – Tree Pipit – <i>Anthus trivialis</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Сочетание лесов с открытыми биотопами – Woodlands
19	Горная трясогузка – Grey Wagtail – <i>Motacilla cinirea</i> L., 1758	O.p. – very rare	Пр. – Passing	Долина реки – River floodplain
20	Белая трясогузка – White Wagtail – <i>Motacilla alba</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Предпочитает берега водоёмов – The shores of reservoirs
21	Семейство свиристелевые – Family Waxwings – <i>Bombycillidae</i> Свиристель – Bohemian Waxwing – <i>Bombycilla garrulus</i> L., 1758	O – common	Зим. – Wintering	Леса, парки – Forests, parks
22	Семейство Дроздовые – Family Thrushes – <i>Turdidae</i> Рябинник – Fieldfare – <i>Turdus pilaris</i> L., 1758	M – numerous	Гн., зим. – Nesting, wintering	Эвритопен, гнезда делает обычно на деревьях – Eurytopen
23	Белобровик – Redwing – <i>Turdus iliacus</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса – Forests
24	Певчий дрозд – Song Thrush – <i>Turdus philomelos</i> Brehm., 1831	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса – Mixed forests
25	Обыкновенная горихвостка – Common Redstart – <i>Phoenicurus phoenicurus</i> L., 1758	M – numerous	Гн., пер. – Nesting, migratory	Опушки лесов, парки, скверы. Обязательно наличие дупел, дуплянок – Forest edges, parks, gardens
26	Зарянка – European Robin – <i>Erithacus rubecula</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., иногда зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Леса, парки, кустарники в пойме – Forests, parks, shrubs in the floodplain
27	Обыкновенный соловей – Thrush Nightingale – <i>Luscinia luscinia</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Кустарники в пойме – Bushes in the floodplain
28	Синехвостка – Northern Red-flanked Bluetail – <i>Tarsinger cyanurus</i> , Pall., 1773	O.p. – very rare	Прол. – Passing	Темнохвойные леса – Dark coniferous forests
29	Семейство мухоловковые – Family Old World Flycatchers and Chats – <i>Muscicapidae</i> Серая мухоловка – Spotted Flycatcher – <i>Muscicapa striata</i> Pall., 1764	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса, парки – Mixed forests, parks
30	Мухоловка пеструшка – European Pied Flycatcher – <i>Ficedula hypoleuca</i> Pall., 1764	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные и лиственные леса – Mixed and deciduous forests
31	Малая мухоловка – Red-breasted Flycatcher – <i>Ficedula parva</i> Bechs., 1792	O.p. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Смешанные леса – Mixed forests
32	Семейство Славковые – Family Warblers – <i>Sylviidae</i> Садовая камышевка – Blyth's Reed-warbler – <i>Acrocephalus dumetorum</i> Beyth., 1849	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Кустарники по берегам реки – Bushes on the banks of river
33	Пеночка-весничка – Willow Warbler – <i>Phylloscopus trochilus</i> L., 1758	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Мелколесье, колки леса – Small forest
34	Пеночка-теньковка – Common Chiffchaff – <i>Phylloscopus collybita</i> Viecl., 1817	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса, лесопарки – Forests, forest parks
35	Зеленая пеночка – Greenish Warbler – <i>Phylloscopus trochiloides</i> L., 1758	M – numerous	Гн., пер. – Nesting, migratory	Леса, лесопарки – Forests, forest parks

№	Вид – Species	Егошиха – Yegoshikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the presence	Биотоп – Biotope
36	Славка-черноголовка – Blackcap – <i>Sylvia atricapilla</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Лиственные и смешанные леса с хорошим подлеском в пойме реки – Mixed and deciduous forests with undergrowth near the floodplain
37	Садовая славка – Garden Warbler – <i>Sylvia borin</i> Bodd., 1783	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Луга с кустарниками в пойме реки – Meadows with bushes in the river floodplain
38	Серая славка – Common Whitethroat – <i>Sylvia communis</i> Lath., 1787	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Луга, кустарники, парки, пустыри – Meadows, bushes, parks, vacant lots
39	Семейство корольковые – Family Kinglets – <i>Regulidae</i> Желтоголовый королёк – Goldcrest – <i>Regulus regulus</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Участки темнохвойных лесов – Dark coniferous forests
40	Семейство длиннохвостые синицы – Family Long-tailed Tits – <i>Aegithalidae</i> Длиннохвостая синица – Long-tailed Tit – <i>Aegithalos caudatus</i> L., 1758	P – rare	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Смешанные леса, кустарники у реки – Mixed forests, bushes by the river
41	Семейство синицевые – Family Tits, Chickadees, and Titmice – <i>Paridae</i> Буроголовая гайчка – Willow Tit – <i>Parus montanus</i> Baldenst., 1827	O – common	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Леса всех типов – Forests of all types
42	Московка – Coal Tit – <i>Parus ater</i> L., 1758	O – common	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Леса с преобладанием ели – Spruce forests
43	Обыкновенная лазоревка – Blue Tit – <i>Parus caeruleus</i> L., 1758	O – common	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic	Увлажненные леса, кустарники в пойме – Wet forests, bushes in the floodplain
44	Большая синица – Great Tit – <i>Parus major</i> L., 1758	M – numerous	Гн., оседлокочующий – Nesting, nonmigratory and nomadic in winter	Эвритопен – Eurytopen
45	Семейство поползневые – Family Nuthatches – <i>Sittidae</i> Обыкновенный поползень – Eurasian Nuthatch – <i>Sitta europaea</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Леса разных типов – Forests of different types
46	Семейство пищуховые – Family Treecreepers – <i>Certhiidae</i> Обыкновенная пищуха – Eurasian Treecreeper – <i>Certhia familiaris</i> L., 1758	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Спелые смешанные леса – Mature mixed forests
47	Семейство врановые – Family Crows, Jays, and Magpies – <i>Corvidae</i> Сорока – Common Magpie – <i>Pica pica</i> L., 1758	O – common	Гн., ос. – Nesting nonmigratory	Предпочитает сочетание зарослей кустарников, редкостойных лесов с лугами, полянами – Bushes, sparse forests with meadows, glades
48	Галка – Eurasian Jackdaw – <i>Corvus monedula</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Леса, парки с дуплистыми деревьями, жилые постройки – Forests, parks with hollow trees, residential buildings
49	Серая ворона – Hooded Crow – <i>Corvus cornix</i> L., 1758	O – common	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Деревья вблизи построек человека – Trees near human dwellings
50	Ворон – Common Raven – <i>Corvus corax</i> L., 1758	P – rare	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Леса, лесопарки – Forests, forest parks
51	Семейство воробьиные – Family Old World Sparrows – <i>Passeridae</i> Домовый воробей – House Sparrow – <i>Passer domesticus</i> L., 1758	M – numerous	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Эвритопен, предпочитает жильё человека – Eurytopen, prefers human dwellings
52	Полевой воробей – Eurasian Tree Sparrow – <i>Passer montanus</i>	M – numerous	Гн., ос. – Nesting, nonmigratory	Все биотопы, где есть дуплистые деревья или постройки человека – All biotopes with hollow trees or human dwellings
53	Семейство вьюрковые – Family Finches, Euphonias, and Allies – <i>Fringillidae</i> Зяблик – Chaffinch – <i>Fringilla coelebs</i> L., 1758	M – numerous	Гн., пер, иногда зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Леса, парки, аллеи – Forests, parks
54	Вьюрок – Brambling – <i>Fringilla montifringilla</i> L., 1758	P – rare	Пер., гн. – Nesting, migratory	Ельники и смешанные леса – Spruce forests and mixed forests

№	Вид – Species	Егошиха – Yegoshikha		
		Обилие, баллы – Abundance, points	Характер пребывания – Character of the presence	Биотоп – Biotope
55	Чиж – Eurasian Siskin – <i>Spinus spinus</i> L., 1758	O – common	Пер., гн. – Nesting, migratory	Пойменные заросли – Floodplain thickets
56	Обыкновенная зеленушка – European Greenfinch – <i>Chloris chloris</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., частично зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Опушки лесов, парки, дачные посадки – Forest edges, parks
57	Черноголовый щегол – European Goldfinch – <i>Carduelis carduelis</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., частично зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Леса, заросли в полянах, сады, парки, скверы – Forests, gardens, parks, gardens
58	Коноплянка – Common Linnet – <i>Acanthis cannabina</i> L., 1758	O – common	Пер., частично зим. – Migratory, sometimes wintering	Опушки, кустарниковые заросли, парки, сады – Forest edges, shrubs, parks, gardens
59	Урагус – Long-tailed Rosefinch – <i>Uragus sibiricus</i> Pall., 1773	O.p. – very rare	Гн., зим. – Nesting, wintering	Заросли кустарников и сорняков в пойме – Bushes and weeds in the river floodplain
60	Обыкновенная чечевица – Common Rosefinch – <i>Carpodacus erythrinus</i> Pall., 1770	O – common	Гн., пер. – Nesting, migratory	Поймы, мелколесье, кустарники – Floodplains, small forests, bushes
61	Клест-еловик – Parrot Crossbill – <i>Loxia curvirostra</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Хвойные леса – Coniferous forests
62	Обыкновенный снегирь – Common Bullfinch – <i>Pyrrhula pyrrhula</i> L., 1758	O – common	Гн., зим. – Nesting, wintering	Леса, парки, сады – Forests, parks, gardens
63	Семейство овсянковые – Family Old World Buntings – <i>Emberizidae</i> Обыкновенная овсянка – Yellowhammer – <i>Emberiza citrinella</i> L., 1758	O – common	Гн., пер., частично зим. – Nesting, migratory, sometimes wintering	Опушки лесов – Forest edges
64	Камышовая овсянка – Reed Bunting – <i>Emberiza schoeniclus</i> L., 1758	P – rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Увлажнённые участки по берегам, кустарники – Wet areas along the banks, bushes
65	Дубровник – Yellow-breasted Bunting – <i>Ocyris aureoles</i> ³ Pall., 1773	O.p. – very rare	Гн., пер. – Nesting, migratory	Пойма реки с отдельными деревьями – River floodplain with individual trees

Примечания – Note

¹ Включен в красную книгу Пермского края, II категория – ¹ Included in the Red list of the Perm region, II category

² Включен в красную книгу Пермского края, III категория – ² Included in the Red list of the Perm region, III category

³ Включен в красную книгу Пермского края, II категория – ³ Included in the Red list of the Perm region, II category

*Примечание. После написания данной статьи Д.С. Исаковым в долине реки Егошихи в дополнение к вышеуказанным были зафиксированы следующие виды: ушастая сова (*Asio otus*), черный стриж (*Apus apus*), черный дрозд (*Turdus merula*), варакушка (*Luscinia svecica*).

*Note. After writing this article, D.S. Isakov in the valley of the Egoishi River, in addition to the above, the following species were recorded: long-eared owl (*Asio otus*), black swift (*Apus apus*), blackbird (*Turdus merula*), varakushka (*Luscinia svecica*).

Заключение

В долинах рек Данилихи и Егошихи обнаружены (из общего числа видов, обитающих на территории города Перми по состоянию на 2014 год):

– амфибии (из 7 видов): 4 вида – Данилиха; 4 вида – Егошиха.

– рептилии (из 8 видов): 1 вид – Данилиха; 5 видов – Егошиха.

– млекопитающие (из 52 видов): 17 видов – Данилиха; 25 видов – Егошиха.

– птицы (из 257 видов): 59 видов – Данилиха; 65 видов – Егошиха.

По результатам проведенного учета наземной позвоночной фауны долин рек Данилиха и Егошиха города Перми можно сделать следующие выводы:

– по составу наземных позвоночных чуть более богата видами долина Егошихи. Это объясняется тем, что в долине сохранились небольшие участки темнохвойного леса, в отличие от долины Данилихи. При мозаичности экосистем (в результате ан-

тропогенного воздействия) это увеличивает число местообитаний, используемых для гнездования или для кормежки. Так же отмечается меньшая загрязненность воды в верховьях Егошихи по сравнению с Данилихой;

– практически все редкие и краснокнижные представители орнитофауны зафиксированы во время сезонных кочевков, т. е. используют долины рек в качестве временного пребывания на период отдыха;

– количественный состав представителей орнитофауны долин рек находится в примерно равных количественных показателях с авифауной одной из центральных природных территорий города Перми – ООПТ «Егошихинское кладбище» [12], что говорит о достаточно высоком уровне биоразнообразия исследуемой территории и возможном установлении природоохранного статуса долинам рек Данилиха и Егошиха с целью сохранения биоразнообразия данных территорий.

Сведения об авторском вкладе

Г. А. Воронов – описание наземных позвоночных долин рек, их обилие и биотопы; осуществление поиска; первичная обработка литературных источников; разработка структуры статьи; составление списка орнитофаун долин рек; описание обилия, характера пребывания и биотопов; вычитка и корректировка финального варианта публикации.

Д. С. Исаков – разработка структуры статьи; составление списка орнитофаун долин рек; описание обилия, характера пребывания и биотопов; проведение полевых обследований; камеральная обработка полевых данных орнитофауны; написание выводов и результатов работы; перевод текста статьи на английский язык; вычитка и корректировка финального варианта публикации.

М. В. Жукова – разработка общей концепции статьи, разработка картографических материалов; подготовка первого варианта рукописи; вычитка и корректировка финального варианта публикации.

Contribution of the authors

G. A. Voronov – description of terrestrial vertebrate river valleys, their abundance and biotopes; search; primary processing of literary sources; formulation of the structure of the paper; compilation of a list of ornithofauna of river valleys; description of abundance, nature of stay and biotopes; proofreading and correcting the final version of the paper.

D. S. Isakov – formulation of the structure of the article; making a list of the ornithofauna of river valleys; description of abundance, the nature of the stay and biotopes; carrying field works; processing the ornithofauna of field data; writing of the results of research; the translation of the paper into English; proofreading and correcting the final version of the paper.

M. V. Zhukova – formulation the overall concept of the article, preparation of the maps; preparation of the first version of the manuscript; proofreading and correcting the final version of the paper.

Список источников

1. Боголюбов А.С. Методы учетов численности птиц: маршрутные учеты: метод. пособие. М.: Экосистема, 1996. 17 с.

2. Воронов Г.А. Животные города Перми. Позвоночные. Управление по экологии и природопользованию администрации города Перми, Перм. гос. ун-т. Пермь: Форвард-С, 2010. 296 с.

3. Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации. М.: Т-во науч.изд. КМК, 2006. 256 с.

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

5. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // МОПИ им. Н. Крупской. Ученые записки. Т. СІХ, вып. 1. М., 1962. 182 с.

6. Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралья и Западной Сибири. Сб. статей и крат-

ких сообщений. Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2006. 232 с.

7. Никитина Е.В. Орнитофауна зеленых насаждений города Перми и пути ее формирования // Вестник ПГГПУ. 2015. № 1-2. С. 15–23.

8. Романов В.В., Мальцев И.В. Методы исследования экологии наземных позвоночных животных: количественные учеты. Учебное пособие. Владимир: Издательство Владимирского государственного университета, 2005. 79 с.

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

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

11. Перечень особо охраняемых природных территорий города Перми [Электронный ресурс]. URL: <http://www.prirodaperm.ru/osobo-ohranyaemye-territorii/2015/02/25/94> (дата обращения: 03.09.2021).

12. Отчет по муниципальному контракту № СЭД-059-33-03-15-36 от 18.07.2017 г., по теме: «Выполнение работ по проведению мониторинга особо охраняемых природных территорий местного значения города Перми».

13. Юшков Р.А., Воронов Г.А. Амфибии и рептилии Пермской области: (Предварит. кадастр). Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1994. 157 с.

References

1. Bogolyubov, A. 1996. *Metody uchetov chislennosti ptits: marshrutnye uchety: metod. posobie* [Methods of counting the number of birds: route counts: method. allowance]. Moscow: Ekosistema. 17 p. (in Russian)

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

3. Koblik, E., Redkin, Ya., Arkhipov, V., 2006. *Spisok ptits Rossiiskoi Federatsii* [List of birds of the Russian Federation]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK. 256 p. (in Russian)

4. Baklanov M. (ed.) 2018. *Krasnaya kniga Permskogo kraja* [Red List of the Perm Region 2018]. Perm, Aldari. 232 p. (in Russian)

5. Kuzyakin, A., 1962. *Zoogeography of the USSR*. MOPI im. N. Krupskoi. Uchenye zapiski. (1). Moscow, 182 p. (in Russian)

6. *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia* 2002. Collection of articles and short messages. 2006, Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural, 232 p. (in Russian)

7. Nikitina, E. 2015. *Ornitofauna zelenykh nasazhdenii goroda Permi i puti ih formirovaniya* [The avifauna of green spaces of the city of Perm and the ways of its formation]. *Vestnik PGGPU*. (1-2). pp. 15–23. (in Russian)

8. Romanov V., Maltsev, I., 2005. *Metody issledovaniya ekologii nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh: kolichestvennye uchety* [Methods for researching the ecology of terrestrial vertebrates: quantitative counts].

Vladimir, Izdatel'stvo Vladimirskogo gosudarstvennogo universiteta. 79 p. (in Russian)

9. Ryabitsev, V. 2008. *Ptitsy Urala, Priural'ya i Zapadnoi Sibiri* [Birds of the Urals, Urals and Western Siberia]. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta. 634 p. (in Russian)

10. Shepel, A., Matveeva, G., 2014. *Ptitsy goroda Permi* [Birds of the city of Perm]. Perm, Knizhnyi mir. 344 p. (in Russian)

11. List of specially protected natural areas of the city of Perm. Available from:

<http://www.prirodaperm.ru/osobo-ohranyaemye-territorii/2015/02/25/94> [Accessed 03th September 2021]

12. Report under the municipal contract No. SED-059-33-03-15-36 dated July 18, 2017, on the topic: "Performance of work on monitoring specially protected natural areas of local importance in the city of Perm."

Yushkov, R., Voronov G., 1994. *Amfibii i reptilii Permskoi oblasti: (Predvarit. kadastr)* [Amphibians and reptiles of the Perm region: (Preliminary inventory)]. Perm, Izdatel'stvo Permskogo universiteta. 157 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 08.10.2021; одобрена после рецензирования 01.11.2021; принята к публикации 10.11.2021.

The article was submitted 08.10.2021; approved after reviewing 01.11.2021; accepted for publication 10.11.2021.

РАЗДЕЛ 1. СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 502.75

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-24-35>

Местонахождение редких видов растений семейства *Orchidaceae* в Гайнском районе (Пермский край, Россия), перспективное для присвоения статуса особо охраняемой природной территории

Ирина Фиргатовна Абдулманова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия,

a.ir-flora@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6058-5176>

Аннотация. Одним из наиболее эффективных методов сохранения биоразнообразия, в том числе редких и исчезающих видов организмов, является развитие системы особо охраняемых природных территорий. В 2020 и 2021 гг. проведено рекогносцировочное обследование лесопокрытого участка с небольшим открытым болотом вблизи пос. Гайны Пермского края с целью оценки перспективности придания ему статуса особо охраняемой природной территории. Участок характеризуется высоким разнообразием и обилием произрастающих на нем представителей семейства *Orchidaceae*, являющихся одним из наиболее уязвимых компонентов растительности. В результате обследования описано разнообразие растительных сообществ участка и зафиксированы 11 представителей семейства *Orchidaceae*. Все они внесены в охранные списки различного уровня. Кроме того, на рассматриваемой территории в 2015 г. жителем пос. Гайны Ю. А. Савельевым был зафиксирован сокращающийся в численности на территории РФ *Epipogium aphyllum* Sw., не встреченный в ходе рекогносцировочного обследования. В статье представлены некоторые особенности распространения, биологии и охраны всех отмеченных на данной территории орхидных. Поскольку основной причиной сокращения численности орхидных, как и многих других видов организмов, является нарушение их местообитаний, а эколого-биологические особенности орхидных усиливают эффект неблагоприятных воздействий, на сегодняшний день непосредственное сохранение мест обитания орхидей рассматривается, как наиболее эффективный метод их охраны. Исходя из этого, заключено, что обследованному участку в окрестностях п. Гайны Пермского края целесообразно присвоение статуса особо охраняемой природной территории.

Ключевые слова: особо охраняемая природная территория, растительность, редкие виды растений, орхидные, *Orchidaceae*

Благодарности: автор признателен Ю. А. Савельеву за информацию о месте расположения участка произрастания орхидных, помощь в проведении полевых работ и предоставление фотоматериалов. Автор выражает благодарность Е. Г. Ефимик за работу, проведенную с материалами гербария ПГНИУ (PERM) и консультации в ходе подготовки публикации, а также П. Ю. Санникову и И. А. Кувшинскому за подготовку картографического материала.

Для цитирования: *Абдулманова И. Ф.* Местонахождение редких видов растений семейства *Orchidaceae* в Гайнском районе (Пермский край, Россия), перспективное для присвоения статуса особо охраняемой природной территории // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7, № 2. С. 24–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-24-35>

SECTION 1. NATURE AND LANDSCAPE CONSERVATION

Original Paper

Location of rare *Orchids* in the Gainsky district (Perm krai, Russia), prospective for assigning the status of specially protected natural territory

Irina F. Abdulmanova

Perm State University, Perm, Russia,

a.ir-flora@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6058-5176>

Abstract. The task of preserving biodiversity is closely related to the protection of rare and endangered species of organisms and the development of a system of specially protected natural areas. In 2020 and 2021, a reconnaissance

survey of a site with a small open swamp near the village of Gayny (Perm Krai) was carried out in order to assess the prospects for giving it the status of a specially protected natural area. The site is characterized by a high diversity and abundance of orchids growing on it, which are one of the most vulnerable components of vegetation. The diversity of plant communities of the site was described and 11 orchids were recorded. All of them are included in the security lists of various levels. In addition, in the territory under consideration in 2015, a resident of the village of Gaina, Yu. A. Savelyev, recorded *Epipogium aphyllum* Sw., which was not encountered during a reconnaissance survey. The article presents some features of the distribution, biology and protection of all orchids noted on this territory. The main reason for the reduction in the number of orchids, as well as many other species of organisms, is the violation of habitats. Ecological and biological features of orchids enhance the effect of adverse factors. Therefore, today the conservation of orchid habitats is considered as the most effective method of their protection. Based on this, it is concluded that it is advisable to assign the status of a specially protected natural area to the surveyed site in the vicinity of the village of Gainy, Perm Krai.

Key words: specially protected natural territory, vegetation, rare plant species, *Orchidaceae*

Acknowledgments: the author is grateful to Yu. A. Savelyev for information about the location of the orchid growing area, assistance in field work and the provision of photographic materials. The author expresses gratitude to E. G. Efimik for the work carried out with the materials of the herbarium of the PSU (PERM) and consultations during the preparation of the publication, as well as to P. Yu. Sannikov and I. A. Kuvshinsky for the preparation of cartographic material.

For citation: Abdulmanova, I., 2021. Location of rare Orchids in the Gainsky district (Perm krai, Russia), prospective for assigning the status of specially protected natural territory. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2), pp. 24–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-24-35> (in Russian)

Введение

Глобальная задача сохранения биологического разнообразия тесно связана с охраной редких и исчезающих видов организмов и развитием системы особо охраняемых природных территорий [3, 15, 26]. В современной фитосоциологической практике наиболее эффективной стратегией охраны редких видов считается охрана их местообитаний [10, 12, 31].

По инициативе жителя пос. Гайны Юрия Анатольевича Савельева в 2020 и 2021 гг. проведено рекогносцировочное обследование участка вблизи пос. Гайны с целью определения перспективности придания ему статуса особо охраняемой природной территории (далее ООПТ). Обследованный участок характеризуется высоким разнообразием и обилием произрастающих на небольшой площади представителей семейства *Orchidaceae*, включенных в списки Красных книг РФ и Пермского края, а также в Перечень видов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в окружающей среде на территории Пермского края [21, 22]. Ю.А. Савельев сообщил о широком распространении на заинтересовавшем его участке *Cypripedium calceolus* L., а также о произрастании *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Epipogium aphyllum* Sw., *Platanthera bifolia* (L.) Rich, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Listera ovata* (L.) R. Br, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo. В ходе проведенного рекогносцировочного обследования были выявлены и другие представители семейства *Orchidaceae*.

Семейство *Orchidaceae* – одно из самых крупных семейств цветковых растений, включающих порядка 28 000 видов, образующих около 8% видового разнообразия покрытосеменных [28]. Орхидные представляют собой одну из вершин эволюции однодольных [11], но в силу своих эколого-биологических особенностей являются одним из наиболее уязвимых компонентов растительного покрова [6, 14, 24].

На сегодняшний день около 1000 видов орхидей включены в Глобальный красный список МСОП,

среди них все виды подсемейства *Cypripedioideae*, к которому относятся представители рода *Cypripedium*, произрастающие на территории России и Пермского края [27, 28]. Все представители семейства, произрастающие на территории России, включены в Приложение II Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС) [6, 7]. Около 60% орхидей, произрастающих в России, внесены в федеральную Красную книгу [11], все виды семейства, встречающиеся в Пермском крае, подлежат охране [13], из них 16 видов включены в основной список региональной Красной книги [21].

Одной из научных проблем, лежащих в основе мероприятий по охране и восстановлению численности редких видов, является определение динамики их численности, осуществляемое путем картирования видов на основе максимального количества данных, почерпнутых из гербарных коллекций, литературы, экспедиционных исследований [11, 23]. Так, благодаря точечному картированию в северо-западной России удалось выявить тенденцию к сокращению численности *Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm., *Coralorhiza trifida* Chatel. и др., для которых прежде эта тенденция не отмечалась [11].

В настоящей публикации приводятся сведения о местонахождении представителей семейства *Orchidaceae* в окрестностях пос. Гайны, а также рассматривается целесообразность придания статуса особо охраняемой природной территории указанному участку.

Материал и методика

Обследованный участок находится на восточной окраине Русской равнины в пределах природного района средней тайги в северо-западной части Пермского края (рис. 1 / fig. 1) [4]. Территория расположена в западной части северной котловины Камской депрессии, для этой части района средней тайги ха-

рактен мощный четвертичный чехол, образованный аллювиальными, торфяно-болотными, ледниковыми и флювио-гляциальными отложениями. Достаточно широко развит покров песчаных и супесчаных почв, определяющий широкое распространение сос-

новых лесов. Из-за слабого дренажа и избыточного увлажнения Камская депрессия и находящаяся к западу от нее Веслянская низменность сильно заболочены. Здесь сосредоточены до 70% болот Пермского края [2].

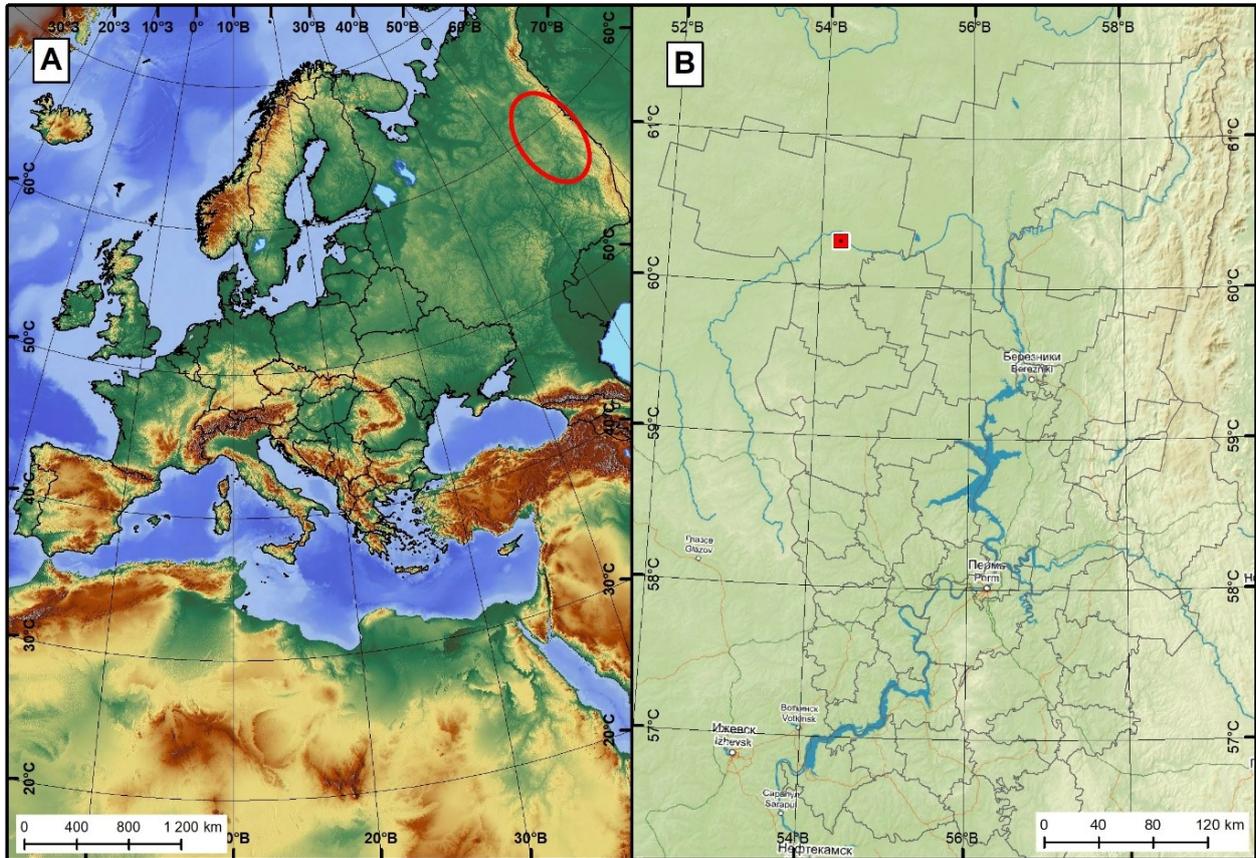


Рис. 1. Местоположение обследованного участка на территории Европы и Пермского края

Fig. 1. Location of the study site in Europe and Perm Krai

В гидрографическом отношении территория расположена в верхнем бассейне р. Камы.

Согласно ботанико-географическому районированию Пермского края обследованная территория относится к району среднетаежных пихтово-еловых лесов, подрайону с преобладанием Североевропейских сосновых и еловых лесов. Леса здесь характеризуются простым строением древостоя, слабо развитым кустарниковым ярусом, слабой представленностью неморальных элементов [19].

Большинство среднетаежных ландшафтов Коми-Пермяцкого округа подвержены низкой антропогенной нагрузке и характеризуются низкой загрязненностью атмосферы, что говорит о естественной или близкой к естественной структуре ландшафтов [8, 16]. Основные экологические проблемы связаны с нарастающим развитием в основном лесопромышленного техногенеза [16].

Описываемый участок, площадь которого составляет примерно 9 км², расположен юго-западнее пос. Гайны (рис. 2 / fig. 2). Участок покрыт вторичными смешанными лесами и сосняками различного возраста. На данной территории находится сфагновое болото овальной формы, примерный размер которого 70 м

х 100 м. Есть небольшой водоток. Участок пересечен линией электропередачи.

В 1980–1990-е гг. флора Гайнского района довольно подробно изучалась студентами биологического факультета Пермского государственного университета, ныне Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ). В гербарии ПГНИУ (PERM) имеются образцы следующих видов орхидных, предположительно собранных с обследованной территории или ближайших ее окрестностей: *Cypripedium calceolus* L., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Calipso bulbosa* (L.) Oakes, *Goodyera repens* (L.) R. Br., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm., *Listera ovata* (L.) R. Br., *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo.

Обследование растительности проводилось маршрутным методом в июне 2020 и 2021 гг. [1, 20]. Видовой состав растений определялся в полевых и камеральных условиях по «Иллюстрированному определителю...» [13]. Фотографии растений, приведенные в статье, предоставлены Ю.А. Савельевым, сопровождавшим автора в ходе обследования.

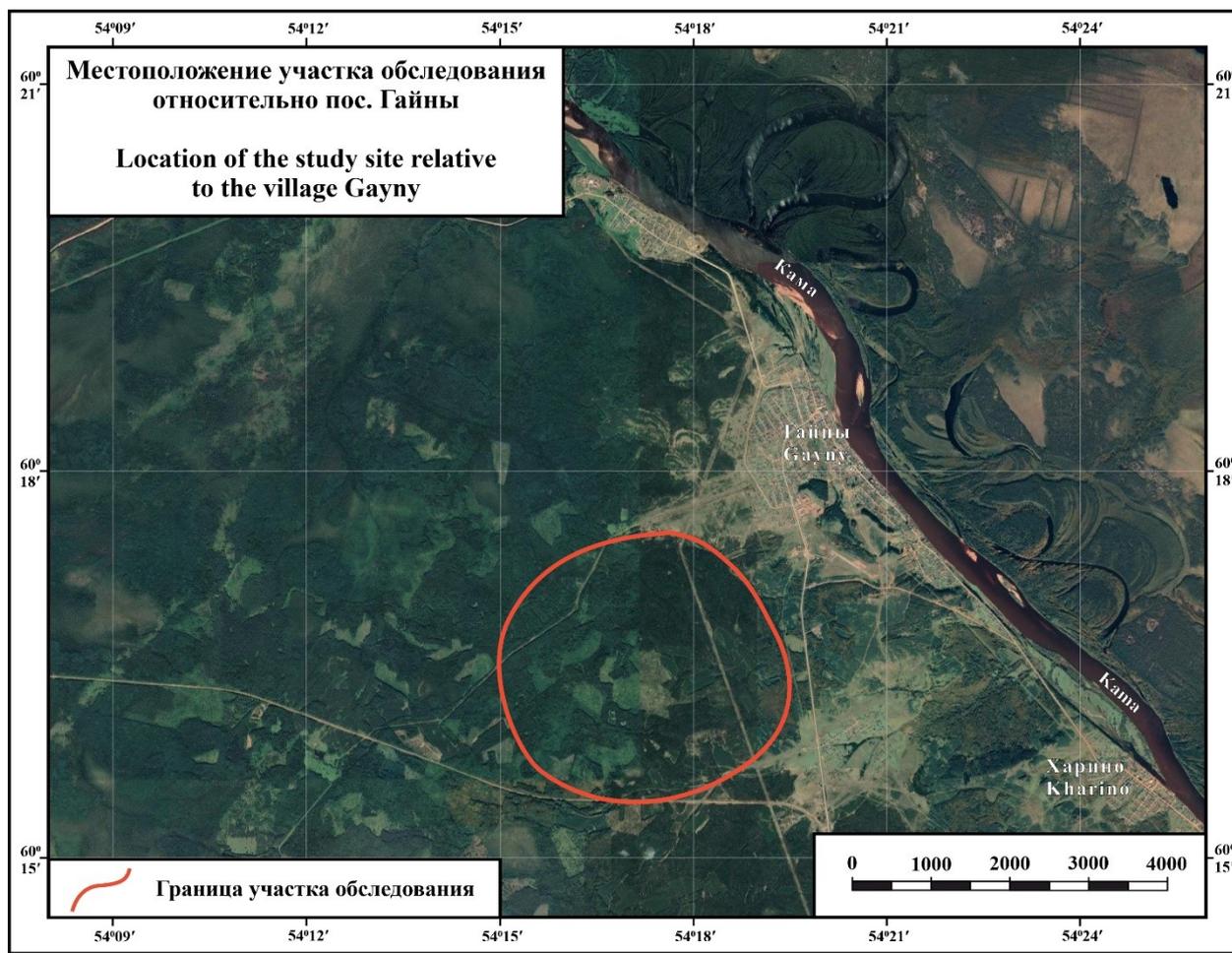


Рис. 2. Местоположение участка обследования относительно пос. Гайны

Fig. 2. Location of the study site relative to the Gains

Результаты и их обсуждение

На обследованной территории было выявлено несколько типов сообществ: среди них светлохвойные (сосновые) и смешанные леса, переходное сфагновое болото.

Светлохвойные сообщества, занимающие наиболее сухие участки, представлены сосняками травяными и зеленомошными.

Древесный ярус сосняков травяных образует *Pinus sylvestris* L. Изредка в нем также встречаются *Picea obovata* Ledeb. и *Betula pendula* Roth. Разновозрастный, достаточно обильный подрост формирует *Picea obovata*. Кустарниковый ярус сильно разрежен. Из кустарников отмечены *Lonicera xylosteum* L., *Frangula alnus* Mill., *Sorbus aucuparia* L., *Padus avium* Mill., *Daphne mezereum* L., *Rosa acicularis* Lindl. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает чаще всего *Rubus saxatilis* L. Моховый покров из зеленых лесных мхов слабо развит.

В древесном ярусе сосняков зеленомошных помимо *Pinus sylvestris* так же встречается, как правило, небольшая примесь *Picea obovata* и *Betula pendula*. Подрост формирует *Picea obovata*. Из кустарников отмечены единичные особи *Spiraea media* Frantz Schmidt, *Rosa acicularis*, *Daphne mezereum*. В слабо развитом травяном покрове преобладает *Rubus saxatilis*.

Из смешанных лесов встречаются березово-еловые зеленомошные, березово-осиново-пихтово-еловые травяные и березово-сосново-еловые травяные сообщества.

В древостое березово-еловых зеленомошных лесов доминируют *Picea obovata*, *Betula pendula*. На более влажных участках произрастает также *Betula alba* L., единично встречается *Pinus sylvestris*. Разновозрастный не очень обильный подрост формирует *Picea obovata*. с единичным участием *Abies sibirica* Ledeb. Кустарниковый ярус с проективным покрытием 20–30% образуют *Sorbus aucuparia*, *Padus avium*, *Frangula alnus*. В нем также отмечены *Juniperus communis* L., *Spiraea media*, *Rosa acicularis*. В травяном покрове, характеризующемся преобладанием бореальных видов, доминируют *Rubus saxatilis*, *Vaccinium vitis-idaea* L., *Oxalis acetosella* L. Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса 70–90%.

Древесный ярус березово-осиново-пихтово-еловых лесов формируют *Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Populus tremula* L., *Betula pendula*. Разновозрастный обильный подрост формирует *Picea obovata* с единичным участием *Abies sibirica*. Кустарниковый ярус не выражен. В травяно-кустарничковом ярусе отмечены *Rubus saxatilis*, *Ranunculus subborealis* Tzvel., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Atragene sibirica* L., *Oxalis acetosella*, *Lathyrus vernus* (L.)

Bernh., *Melica nutans* L., *Asarum europaeum* L., *Prunella vulgaris* L. и др.

Наиболее влажные участки занимает березово-сосново-еловый травяной лес. Древесный ярус сложен *Picea obovata*, *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Betula alba*. Разновозрастный подрост формирует *Picea obovata*. В кустарниковом ярусе выделяются два подъяруса. Первый образует *Sorbus aucuparia*, второй – *Spiraea media*, *Ribes spicatum* Robson s.l., *Ribes nigrum* L. Травяной покров образуют *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. s.l., *Cortusa matthioli* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. s.l. и др.

На небольшом болоте, являющемся местообитанием *Epipactis palustris*, занесенного в Красную книгу Пермского края, доминантами сплошного мохового покрова являются различные виды рода *Sphagnum*.

Разреженный древостой образует угнетенная *Pinus sylvestris*. Произрастают также *Betula alba*, *Salix rosmarinifolia* L., из трав – *Eriophorum latifolium* Hoppe, *Carex rostrata* Stokes, *Drosera rotundifolia* L., *Equisetum palustre* L., а также луговые виды *Polygonum bistorta* L., *Filipendula ulmaria*, *Galium boreale* L., *Prunella vulgaris*, *Lathyrus pratensis* L.

В описанных сообществах в ходе обследования зафиксированы охраняемые виды растений. Все они относятся к семейству *Orchidaceae*: *Cypripedium calceolus*, *Epipactis palustris*, *Calipso bulbosa*, *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Goodyera repens*, *Epipactis helleborine*, *Gymnadenia conopsea*, *Platanthera bifolia*, *Coeloglossum viride*., *Listera ovata*, *Dactylorhiza fuchsii*.

Cypripedium calceolus L. – Венерин башмачок настоящий (рис. 3 / fig. 3).



Рис. 3. *Cypripedium calceolus* L. – Венерин башмачок настоящий

Fig. 3. *Cypripedium calceolus* L.

Вид включен в Красный список МСОП (вид с пониженной уязвимостью (Least Concern)) [32], в Красную книгу РФ (III категория редкости) [22], в Красную книгу Пермского края (III категория редкости) [21].

Европейско-сибирско-восточноазиатский вид [13]. Распространен по всей лесной зоне Урала и сопредельных территорий, в настоящее время на Урале еще считается широко распространенным видом [18]. В Пермском крае встречается спорадически по всей

территории, но большинство обследованных популяций малочисленные и нестабильные [17].

На обследованном участке вид произрастает в сосняках травяных, в березово-еловых зеленомошниках и березово-сосново-еловых травяных сообществах. Популяция многочисленная, состоит из растений различных возрастных состояний, является устойчивой.

Epipactis palustris (L.) Crantz – Дремлик болотный (рис. 4 / fig. 4).



Рис. 4. Eriopactis palustris (L.) Crantz – Дремлик болотный

Fig. 4. Eriopactis palustris (L.) Crantz

Вид включен в Красный список МСОП (вид с пониженной уязвимостью (Least Concern)) [30], включен в Красную книгу Пермского края (III категория редкости) [21].

Европейско-западносибирско-алтае-саянско-древнесредиземноморский вид [13]. В таежной зоне Урала и сопредельных территорий очень редок, на севере достигает верховий Камы [18]. В Пермском крае встречается изредка на большей части террито-

рии. Известные локальные популяции малочисленны. Необходимо обеспечение неприкосновенности и сохранности растения на всей площади его ареала, создание заказников [17].

На обследованном участке произрастает на небольшом сфагновом болоте. Размер овального по форме болота составляет примерно 70 x 100 м.

Calipso bulbosa (L.) Oakes – Калипсо клубневая (рис. 5 / fig. 5).



Рис. 5. Calipso bulbosa (L.) Oakes – Калипсо клубневая

Fig. 5. Calipso bulbosa (L.) Oakes

Вид внесен в Красную книгу РФ (III категория редкости) [22], взят под охрану в Пермском крае (III категория редкости) [21].

Североевропейско-азиатско-североамериканский вид [13]. Основные местонахождения в Пермском крае – в подзоне южной тайги; в подзоне средней тайги редок; единичные местонахождения в Кунгурской островной лесостепи; практически полностью отсутствует в полосе широколиственно-хвойных лесов. Несмотря на то, что известно достаточно большое число местонахождений, численность вида в каждом из них очень низка – обычно 10–20 особей.

Для поддержания стабильной численности необходима организация в местах произрастания ООПТ, обеспечивающих сохранение растительности, поскольку вид полностью вымирает, даже если вырубка находится рядом [17].

На территории обследования вид фиксировался в сосняках травяных и зеленомошных. В 2021 г. отмечено более 50 особей в генеративном состоянии, вегетирующие особи более многочисленны.

Neottia nidus-avis (L.) Rich. – Гнездовка настоящая (рис. 6 / fig. 6).



Рис. 6 *Neottia nidus-avis* (L.) Rich. – Гнездовка настоящая

Fig. 6 *Neottia nidus-avis* (L.) Rich.

Вид включен в Красный список МСОП (вид с пониженной уязвимостью (Least Concern)) [33], в Красную книгу Пермского края (III категория редкости) [21].

Европейско-западносибирско-средиземноморский [13] неморальный вид. Спорадически встречается в центральной и южной частях Пермского края. Численность во всех местообитаниях низкая [17].

В ходе маршрутов в 2020 г. зафиксировано две особи в березово-осиново-пихтово-еловом травяном и в березово-сосново-еловом травяном лесу. В 2021 г. вид обнаружен не был, что возможно объяснить особенностями биологии: растение цветет обычно раз в жизни, реже 2–3. Развивается из семян медленно (8–10 лет), корневыми отпрысками – 2–3 года [17].

Goodyera repens (L.) R. Br. – Гудайера ползучая.

Внесена в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Голарктический вид [13]. Произрастает на большей (кроме юго-западной) части территории края, но численность сокращается в связи с рубками лесов [17].

В ходе проведенных обследований фиксировалась оба года в сосняках травяном и зеленомошном.

Epipactis helleborine (L.) Crantz – Дремлик широколистный.

Внесен в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Европейско-среднесибирско-восточноазиатско-древнесредиземноморский вид [13]. Встречается редко во многих районах Пермского края (кроме горной части), но в результате антропогенного воздействия отмечена тенденция к сокращению числа особей [17].

На обследованной территории было отмечено несколько особей в березово-еловом зеленомошном лесу.

***Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br.** – Кокушник длиннорогий.

Внесен в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Палеарктический вид [13]. Встречается на всей территории края, но численность особей во всех известных местах обитания невысока [17].

Зафиксирована одна особь на сфагновом болоте.

***Platanthera bifolia* (L.) Rich.** – Любка двулистная.

Внесен в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Европейско-среднесибирско-средиземноморский вид [13]. Встречается на всей территории края, но численность особей во всех известных местах обитания невысока [17].

На обследованной территории встречается в сосняках травяных, сосняке зеленомошном, березово-еловом зеленомошнике.

***Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm.** – Пололепестник зеленый.

Внесен в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Голарктический вид [13]. Произрастает в северной половине Пермского края, чувствителен к антропогенному воздействию [17]. В северо-западной части России выявлена тенденция к сокращению численности вида [11].

В 2020 г. зафиксировано несколько особей в березово-еловом зеленомошном лесу.

***Listera ovata* (L.) R. Br.** – Тайник яйцевидный.

Внесен в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Европейско-среднесибирско-древнесредиземноморский вид [13]. Произрастает по всей территории края. Число известных местобитаний довольно велико, но численность особей везде небольшая. Отмечена тенденция к их сокращению [17].

Фиксировался на границе сосняков и лесных дорог.

***Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo** – Пальчатокоренник Фукса.

Внесен в Приложение к Красной книге Пермского края, как вид, нуждающийся в особом внимании в природной среде [21].

Европейско-западносибирско-алтае-саянско-восточноазиатский вид [13]. На территории Пермского края известно большое количество местонахождений, в том числе с высокой численностью. Следует отметить, что умеренная антропогенная нагрузка способствует небольшому увеличению численности растений. Реальной угрозы для существования вида нет.

На обследованном участке встречался на лесных дорогах.

***Epipogium aphyllum* Sw.** – Надбородник безлистный (рис. 7 / fig. 7).



Рис. 7 *Epipogium aphyllum* Sw. – Надбородник безлистный

Fig. 7 *Epipogium aphyllum* Sw.

Внесен в Красные книги РФ (II категория редкости) [22] и Пермского края (II категория редкости) [21].

Евразийско-восточноазиатско-ирано-туранский вид [13]. В Пермском крае распространен рассеянно,

на большей части территории. Вид по своим биолого-экологическим особенностям не образует многочисленные локальные популяции, поэтому в целом весьма малочисленен. Целесообразно придание местонахождениям вида природоохранного статуса [17].

Был зафиксирован 18 июля 2015 г. в березово-еловом лесу вблизи небольшого болота Ю. А. Савельевым (фото (рис. 7 / fig. 7) сделано именно тогда). Больше местными жителями не отмечался. В ходе рекогносцировочного обследования в июне 2020 и 2021 г. также выявлен не был, что связано со временем проведения обследования и особенностями биологии вида: надбородник развивается подземно в

течение 10 и более лет и появляется над землей один раз в 5–7 лет только во время цветения в июле – августе.

Таким образом, на обследованной территории зафиксированы 12 представителей семейства *Orchidaceae*, внесенных в списки различного уровня охраны (таблица / table), от регионального до международного.

Таблица

Охраняемые виды растений семейства *Orchidaceae* местонахождения вблизи п. Гайны (Пермский край)

Table

Protected Orchids of a locality near the village of Gainy (Perm Region)

№	Вид // Plant species	Уровни охраны // Plant species				
		Красный список МСОП // IUCN Red List	СИТЕС // CITES	Красная книга РФ // Red List of the Russian Federation	Красная книга Пермского края // Red List of the Perm Region	Приложение к Красной книге Пермского края // Appendix to the Red List of the Perm Region
1	<i>Calipso bulbosa</i> (L.) Oakes		+	+	+	
2	<i>Coeloglossum viride</i> (L.) C. Hartm.		+			+
3	<i>Cypripedium calceolus</i> L.	+	+	+	+	
4	<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soo		+			+
5	<i>Epipactis helleborine</i> (L.) Crantz		+			+
6	<i>Epipactis palustris</i> (L.) Crantz	+	+		+	
7	<i>Epipogium aphyllum</i> Sw.		+	+	+	
8	<i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.		+			+
9	<i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R. Br.		+			+
10	<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.		+			+
11	<i>Neottia nidus-avis</i> (L.) Rich.	+	+		+	
12	<i>Platanthera bifolia</i> (L.) Rich.		+			+

Дискуссия

Основная причина сокращения численности и вымирания орхидных та же, что и для многих других групп растений – нарушение местообитаний прямым антропогенным воздействием. Несколько реже причинами их исчезновения становятся сбор растений людьми или климатические изменения. При этом эколого-биологические особенности орхидных усиливают эффект неблагоприятных воздействий, определяя особенно высокий процент вымирающих видов именно в этом семействе [11, 28].

Так, длительный онтогенез не позволяет популяциям орхидных быстро адаптироваться к изменениям среды. Кроме того, многие орхидные, в частности нефотосинтезирующие представители родов *Epipogium* R. Br., *Neottia* Guett., являются облигатными микоризообразователями, следовательно, их существование в значительной степени зависит и от наличия условий, благоприятных для микоризообразующих грибов, что сужает экологическую нишу, подходящую для этих растений [11].

Из-за сложного жизненного цикла орхидные считаются особенно уязвимыми к последствиям глобальных изменений окружающей среды [28]. Существуют предположения о смещении ареала некоторых орхидных (в частности *Calipso bulbosa*) к северу в связи с общим потеплением [11, 29]. Но пока изменение климата не делает условия для произрастания орхидей непригодными, непосредственное сохране-

ние мест обитания должно рассматриваться как наивысший приоритет [28].

Природный район средней тайги в пределах Пермского края хорошо обеспечен особо охраняемыми природными территориями, занимающими 10,5% площади района [25]. Несмотря на это отмечается перспективность создания новых ООПТ в данном районе и необходимость расширения сети региональных ООПТ при достоверном выявлении местообитаний видов, занесенных в Красные книги и их приложения [3].

По мнению специалистов ботаников для всех представителей семейства *Orchidaceae* на Урале и сопредельных территориях необходима организация охраны их популяций. Даже относительно часто встречающиеся виды, такие как *Cypripedium calceolus*, *Platanthera bifolia*, в силу своего диффузного распространения и небольшой численности являются уязвимыми [18]. Уязвимость одной из самой широко распространенной орхидеи на территории Пермского края *Platanthera bifolia* подтверждена также в исследованиях популяций в южно-таежной зоне Кировской области, где большинство популяций вида на момент исследования находились в состоянии, близком к угрожаемому [9].

На территории Пермского края рекомендуется организация ООПТ для поддержания стабильной численности следующих видов орхидей: *Epipactis palustris*, *Calipso bulbosa*, *Epipogium aphyllum* [17].

Исходя из всего вышесказанного, следует заключить, что обследованному участку в окрестностях п. Гайны Пермского края, характеризующемуся высоким разнообразием и обилием произрастающих на нем представителей семейства *Orchidaceae*, целесообразно придание статуса особо охраняемой природной территории.

Выводы

Развитие системы особо охраняемых природных территорий является одним из наиболее эффективных методов сохранения биоразнообразия. По инициативе жителя пос. Гайны Ю.А. Савельева в 2020 и 2021 гг. проведено рекогносцировочное обследование участка вблизи пос. Гайны с целью определения целесообразности придания ему статуса особо охраняемой природной территории.

Участок расположен в районе средней тайги на территории Пермского края. В ходе обследования в его пределах выявлено несколько типов сообществ: сосняки травяные и зеленомошные, березово-еловые зеленомошные, березово-осиново-елово-пихтовые травяные и березово-сосново-еловые травяные леса, сфагновое болото.

На обследованном участке зафиксировано 11 охраняемых видов растений, относящихся к семейству *Orchidaceae*: *Cypripedium calceolus*, *Epipactis palustris*, *Calipso bulbosa*, *Neottia nidus-avis*, *Goodyera repens*, *Epipactis helleborine*, *Gymnadenia conopsea*, *Platanthera bifolia*, *Coeloglossum viride*, *Listera ovata*, *Dactylorhiza fuchsii*.

Epipogium aphyllum был зафиксирован в 2015 г. в березово-еловом лесу Ю.А. Савельевым. Позднее вид никем не отмечался.

Основная причина сокращения численности и вымирания орхидных – нарушение местообитаний под воздействием антропогенных факторов. При этом эколого-биологические особенности орхидных усиливают эффект неблагоприятных воздействий. На сегодняшний день непосредственное сохранение мест обитания рассматривается наиболее действенным методом охраны орхидных.

Специалистами природоохраны отмечается перспективность создание новых ООПТ в районе средней тайги и необходимость расширения сети региональных ООПТ при достоверном выявлении местонахождений охраняемых видов, специалистами ботаниками рекомендуется организация ООПТ на территории Пермского края для поддержания стабильной численности следующих представителей семейства *Orchidaceae*: *Epipactis palustris*, *Calipso bulbosa*, *Epipogium aphyllum*.

Таким образом, следует заключить, что обследованному участку в окрестностях п. Гайны Пермского края целесообразно присвоить статус особо охраняемой природной территории.

Список источников

1. *Алехин В.В.* Методика полевого изучения растительности и флоры. М: Наркомпрос, 1938. 208 с.
2. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 374 с.

3. *Бузмаков С.А.* Сеть особо охраняемых природных территорий Пермского края // Географический вестник. 2020. №3(54). С. 135–148.

<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-135-148>.

4. *Бузмаков С.А., Зайцев А.А., Санников П.Ю.* Выявление территорий, перспективных для создания природного парка в Пермском крае // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1-6. С. 1492-1495.

5. *Бурдыгина И.А.* Орхидные на Среднем Урале (эколого-биологические особенности, структура популяций и проблема охраны): Автореф. дис. канд. биол. наук. Екатеринбург, 1994. 24 с.

6. *Вахрамеева М.Г., Варлыгина Т.И., Татаренко И.В.* Орхидные России (биология, экология и охрана). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 437 с.

7. Виды дикой фауны и флоры, подпадающие под действие Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, от 3 марта 1973 года (СИТЕС) [Электронный ресурс]. URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_178556/0984f556763219422c25f99141d668801721591f/

(дата обращения: 11.10.2021).

8. *Воронов Г.А., Циберкин Н.Г., Стенно С.П.* Ландшафтные особенности Пермского края и перспективы выделения особо охраняемых природных территорий // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2008. № 1. С. 3-18.

9. *Егорова Н.Ю., Сулейманова В.Н., Егошина Т.Л.* Состояние ценопопуляций *Platanthera bifolia* (*Orchidaceae*) в Кировской области // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50. № 3. С. 398-414.

10. *Ефимик Е.Г.* Итоги трехлетнего мониторинга некоторых видов «Красной книги Пермского края» // Биологическое разнообразие растительного мира Урала и сопредельных территорий: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Екатеринбург, 28 мая-01 июня 2012 г. / отв. ред. В.А. Мухин, Екатеринбург: Гошцицкий, 2012. С. 62–64.

11. *Ефимов П.Г.* Сохранение орхидных (*Orchidaceae* Juss.) как одна из задач охраны биоразнообразия // Биосфера. 2010. Т. 2. № 1. С. 50-58.

12. *Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клеменко А.А.* Популяция редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы: Университетская книга, 2013. 439 с.

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

14. *Кириллов Д.В., Кириллова И.А.* Некоторые аспекты репродуктивной биологии *Goodyera repens* (L.) R. Br. (*Orchidaceae*) на европейском северо-востоке России // Охрана и культивирование орхидей: матер. XI Международной конференции. Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2018. С. 62–69.

15. Конвенция о биологическом разнообразии [Электронный ресурс]. URL:

https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml (дата обращения: 02.10.2021).

16. Копылов И.С., Даль Л.И. Геоэкологические оценки состояния природной среды Коми-пермяцкого округа // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 745.
17. Красная книга Пермского края / под общ. ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.
18. Мамаев С.А., Князев М.С., Куликов П.В., Филиппов Е.Г. Орхидные Урала: Систематика, биология, охрана. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 122 с.
19. Овеснов С.А. Местная флора Пермского края и ее анализ. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2009. 215 с.
20. Корчагина А.А., Лавренко Е.М. Полевая геоботаника. Методическое руководство. Том 3. М.: АН СССР, 1964. 530 с.
21. Об утверждении Перечней объектов животного и растительного мира Красной книги Пермского края СЭД-30-01-02-1571 от 16.10.2017 г.
22. 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_56819/ (дата обращения: 19.09.2021).
23. Присяжная А.А., Снакин В.В., Митенко Г.В., Хрисанов В.Р. Учет и картографирование охраняемых видов растений и животных // Геодезия и картография. 2016. № 2. С. 30-37.
24. Рай Е.А., Бурова Н.В., Амосова И.Б., Паринова Т.А., Пучнина Л.В., Сидорова О.В. Руководство по сохранению орхидей при заготовке древесины в Архангельской области. Архангельск: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. 164 с.
25. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2015. 173 с.
26. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 "О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года" [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/ (дата обращения: 02.10.2021).
27. Fay M., Rankou H. Slipper orchids on the IUCN Red List. In: 2015 Annual Report to the Environment Agency – Abu Dhabi. Framework Support for Implementing the Strategic Plan of the IUCN Species Survival Commission. 2016. P. 106–111.
28. Fay M. Orchid conservation: how can we meet the challenges in the twenty-first century? // Botanical Studies. 2018. Vol. 59. № of the article – 16. <https://doi.org/10.1186/s40529-018-0232-z>
29. Keenan P. Wild orchids across North America. Portland: Timber Press, 1998. 321 p.
30. Matchutadze I. Epipactis palustris. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T175923 A22569935 [Электронный ресурс]. URL: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T17-5923A22569935.en>
31. Nelleman C. Corcoran E. Dead planet, living planet. UNEP: Norway, 2010. 110 p.
32. Rankou H., Bilz M. *Cypripedium calceolus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T16-2021A43316125.en>
33. Rankou H., Contu S., Chadburn H. *Neottia nidus-avis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T17-5996A44484143.en>

References

1. Alekhin, V., 1938. *Metodika polevogo izucheniya rastitel'nosti i flory* [Methodology for field study of vegetation and flora]. Moscow, Narkompros. 208 p. (in Russian)
2. Buzmakov, S., (ed.), 2017. *Atlas osobo ohranjemykh prirodnykh territorij Permskogo kraja* [Atlas of protected areas of the Perm region]. Perm, Russia. Aster. 374 p. (in Russian)
3. Buzmakov, S., 2020. Set' osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy Permskogo kraja. *Geographical bulletin*, 3(54). 135–148. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-3-135-148> (in Russian)
4. Buzmakov, S., Zaytsev, A., Sannikov, P., 2011. Vyyavleniye territoriy, perspektivnykh dlya sozdaniya prirodnogo parka v Permskom kraje [Identification of territories promising for the creation of a natural park in the Perm Territory]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 13(1-6), pp. 1492–1495. (in Russian)
5. Burdygina, I., 1994. *Orkhidnyye na Srednem Urale (ekologo-biologicheskiye osobennosti, struktura populyatsiy i problema okhrany)* [Orchids in the Middle Urals (ecological and biological features, population structure and the problem of protection)]. Abstract of the dissertation of the candidate of biological sciences. Ekaterinburg. 24 p. (in Russian)
6. Vakhrameyeva, M., Varlygina, T., Tatarenko, I., 2014. *Orkhidnyye Rossii (biologiya, ekologiya i okhrana)* [Orchids of Russia (biology, ecology and conservation)]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK. 437 p. (in Russian)
7. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), 03.03.1973. Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_178556/0984f556763219422c25f99141d668801721591f/ [Accessed 11th October 2021].
8. Voronov, G., Tsiberkin, N., Stenno, S., 2008 Landshaftnyye osobennosti Permskogo kraja i perspektivy vydeleniya osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy [Landscape features of the Perm Territory and the prospects for the allocation of specially protected natural areas]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*. (1). pp. 3–18. (in Russian)
9. Yegorova, N., Suleymanova, V., Yegoshina, T., 2014. Sostoyaniye tsenopopulyatsiy *Platanthera bifolia* (Orchidaceae) v Kirovskoy oblasti [The state of *Platanthera bifolia* (Orchidaceae) cenopopulations in the Kirov region] *Rastitel'nyye resursy*. 50(3). pp. 398–414. (in Russian)

10. Efimik, E., 2012. Results of three-year monitoring of some species of the "Red Data List of the Perm Territory". In: *Biological diversity of the flora of the Urals and adjacent territories*. Materials of the All-Russian conference with international participation, 28 May–01 June 2012, Ekaterinburg, Russia. Golitskiy, pp. 62–64 (in Russian)
11. Efimov, P., 2010 Sokhraneniye orkhidnykh (Orchidaceae Juss.) kak odna iz zadach okhrany bioraznობობრაზია [Conservation of orchids (Orchidaceae Juss.) As one of the tasks of biodiversity conservation]. *Biosphere*. 2(1), pp. 50–58. (in Russian)
12. Zlobin, Yu., Sklyar, V., Klienko, A., 2013. *Populyatsiya redkikh vidov rasteniy: teoreticheskiye osnovy i metodika izucheniya* [Population of rare plant species: theoretical foundations and research methods]. Sumy, Universitetskaya kniga publ. 439 p. (in Russian)
13. Ovesnov, S., (ed.) 2007. *Illjustrirovannyj opredelitel' rastenij Permskogo kraja* [Illustrated guide to plants of the Perm region]. Perm, Kn. Mir. 743 p. (in Russian)
14. Kirillov, D., Kirillova, I., 2018. Nekotoryye aspekty reproduktivnoy biologii *Goodyera repens* (L.) R. Br. (Orchidaceae) na yevropeyskom severo-vostoke Rossii [Some aspects of reproductive biology *Goodyera repens* (L.) R. Br. (Orchidaceae) in the European northeast of Russia] In: *Protection and cultivation of orchids. Materials of the XI International Conference*, 2018, pp. 62–69. (in Russian)
15. Convention on Biological Diversity. Available from: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/biodiv.pdf [Accessed 02th October 2021]
16. Kopylov, I., Dal, L., 2015. Geoekologicheskiye otsenka sostoyaniya prirodnoy sredy Komi-permyatskogo okruga [Geoecological assessment of the state of the natural environment of the Komi-Perm region]. *Modern problems of science and education*. (2-2). P. 745. (in Russian)
17. Baklanov, M., (ed.) 2018. *Red List of the Perm Region*. Perm, Aldari. 232 p. (in Russian)
18. Mamaev, S., Knyazev, M., Kulikov, P., Filippov E., 2004. *Orkhidnyye Urala: Sistematika, biologiya, okhrana* [Orchids of the Urals: Systematics, biology, protection]. Yekaterinburg, Publishing House of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 122 p. (in Russian)
19. Ovesnov, S., 2009. *Mestnaya flora Permskogo kraja i ee analiz* [Local flora of the Perm region and its analysis]. Perm, Perm gos. un-t. 215 p. (in Russian)
20. Korchagin, A. and Lavrenko E. *Polevaya geobotanika. Metodicheskoe rukovodstvo. Tom 3* [Field geobotany. Methodical Guide. Volume 3]. Moscow, Academy of sciences USSR. 1964, 530 p. (in Russian)
21. Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov, lesnogo hozjajstva i jekologii Permskogo kraja № SJeD-30-01-02-1571 ot 16.10.2017 g «Ob utverzhdenii Perechnykh obektov zhivotnogo i rastitel'nogo mira Krasnoj knigi Permskogo kraja». (in Russian)
22. Prikaz MPR RF ot 25.10.2005 № 289 «Perechen' (spisok) ob'yektov rastitel'nogo mira, zanesennykh v Krasnuyu knigu Rossiyskoy Federatsii (po sostoyaniyu na 1 iyunya 2005 g.)». (in Russian)
23. Prisyazhnaya, A., Snakin, V., Mitenko G., Khrisanov, V., 2016. *Uchet i kartografirovaniye okhranyayemykh vidov rasteniy i zhivotnykh* [Accounting and mapping of protected plant and animal species]. *Geodeziya i kartografiya*. (2). pp. 30–37. (in Russian)
24. Rai, E., Burova, N., Amosova, I., [and others] 2017. *Rukovodstvo po sokhraneniyu orkhidov pri zagotovke drevesiny v Arkhangel'skoy oblasti* [Guidelines for the conservation of orchids during timber harvesting in the Arkhangelsk region]. Arkhangelsk, World Wildlife Fund. 164 p. (in Russian)
25. Sannikov P., Buzmakov, S., 2015. *Perspektivy razvitiya seti osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy Permskogo kraja* [Prospects for the development of a network of specially protected natural areas of the Perm Territory]. Perm, Perm State National Research University. 173 p. (in Russian)
26. Ukaz Prezidenta RF ot 19.04.2017 N 176 "O Strategii+ ekologicheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda". (in Russian)
27. Fay, M., Rankou, H., (2016) *Slipper orchids on the IUCN Red List*. In: *2015 Annual Report to the Environment Agency – Abu Dhabi. Framework Support for Implementing the Strategic Plan of the IUCN Species Survival Commission*. Pp. 106–111.
28. Fay, M., 2018. Orchid conservation: how can we meet the challenges in the twenty-first century? *Botanical Studies*, 59, Number of the article – 16. <https://doi.org/10.1186/s40529-018-0232-z>
29. Keenan, P., 1998. *Wild orchids across North America*. Portland: Timber Press.
30. Matchutadze, I., 2014. *Epipactis palustris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T175923A22569935. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T17-5923A22569935.en>
31. Nelleman, C., Corcoran, E., 2010. *Dead planet, living planet*. UNEP: Norway. 110 p.
32. Rankou, H., Bilz, M., 2014. *Cypripedium calceolus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T162021A43316125. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T16-2021A43316125.en>.
33. Rankou, H., Contu S., Chadburn, H., 2014. *Nottia nidus-avis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014. e.T175996A44484143. Available from: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T17-5996A44484143.en>

Статья поступила в редакцию 18.10.2021; одобрена после рецензирования 05.11.2021; принята к публикации 10.11.2021.

The article was submitted 18.10.2021; approved after reviewing 05.11.2021; accepted for publication 10.11.2021.

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-36-48>

Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali)

Diarra Bourema

Perm State University, Perm, Russia, boudiarra89@yahoo.fr, <https://orcid.org/0000-0001-9161-0872>

Abstract. Soil along water is arguably the most precious resource on the planet. In addition to its economic benefits, soil provides critical biological services [7]. Despite its pillar functions for society, soil is often overlooked and thus is subjected to degradation and erosion. Soil erosion represents a serious global threat to land, freshwater, and oceans [3]. In Western Africa, erosion is perceived as a critical threat to the livelihoods of millions of people. This study attempts to assess and map the potential annual soil loss in the provinces of Sikasso and Koulikoro (republic of Mali). Spatial modeling of soil loss by rainfall for the year 2018 was provided using rainfall data derived from the European Joint Research Center, the Soil Map of the World (FAO), digital elevation model (SRTM), vegetation activity (MODIS / Terra). Methods of calculation were based on the Remote Sensing and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The Geoinformation processing of the RUSLE subcomponents involved the use of the LS-factor algorithm of the System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) and the Raster calculator of the ArcGIS tool box. The potential soil loss within the area ranged from 0.02 ton/ha/year to 98.87 tons/ha/year with a mean of 1.63 ton/ha/year. The spatial pattern of the erosion showed a rate of 0.02 to 1 ton/ha/year for 39% of the territory, 1 to 3 tons/ha/year for 47.58%, while 0.01% experienced a rate of more than 50 tons/ha/year. This study despite its match with the result of the global soil loss by water established by Borrelli et al (2020) [3], needs to be verified by direct measurements.

Key words: Soil Erosion, Soil Loss by Water, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Geoinformation Processing, Remote Sensing, Raster Calculation

Acknowledgments: the author would like to thank Dr. Pavel Sannikov (associate professor at Perm State University) for supervising this study and overall consultations during preparation process of the research. He is also grateful to the European Commission Joint research Centre for providing him the Global Rainfall Erosivity Dataset which permitted to compute the R factor.

For citation: Diarra, B., 2021. Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali). *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2), pp. 36–48. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-36-48>

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья
УДК 631.459.2

Моделирование водной эрозии почв в провинциях Сикассо и Коуликоро (Республика Мали)

Диарра Бурема

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия,
boudiarra89@yahoo.fr, <https://orcid.org/0000-0001-9161-0872>

Аннотация. Почва вместе с водой, возможно, являются самыми ценными ресурсами на планете. Помимо экономических выгод, почва обеспечивает жизненно важные биологические услуги. Несмотря на то, что почва является основной для общества, ей часто не уделяют должного внимания, и поэтому она подвержена деградации и эрозии. Эрозия почвы представляет собой серьезную глобальную угрозу не только суше, но и для пресноводных экосистем, а также для океана. В провинциях Западной Африки эрозия считается серьезной угрозой для жизни миллионов людей. В этом исследовании делается попытка оценить и составить карту потенциальной ежегодной потери почвы в провинциях Сикассо и Куликоро (республика Мали). Пространственное моделирование интенсивности эрозии почвы, вызванной дождем за 2018 год проведено при помощи данных о ливневых

осадках, полученных из Европейского центра совместных исследований, глобальной почвенной карты (ФАО), открытых данных о рельефе (SRTM) вегетационной активности растительности (MODIS / Terra). Все расчеты проведены на основе пересмотренного универсального уравнения потерь почвы (RUSLE). Геоинформационная обработка подкомпонентов RUSLE включала использование алгоритма LS-фактора, системы автоматизированного геофизического анализа (SAGA) и калькулятора раstra из набора инструментов ArcGIS. Потенциальная потеря почвы на территории колеблется от 0,02 тонн/га/год до 98,87 тонн/га/год, а среднее значение составляет 1,63 тонн/га/год. Для большей части изучаемой территории характерна сравнительно невысокая интенсивность эрозии. Так, уровень потерь почвы от 0,02 до 1 тонн/га/год

характерен для 39% территории; от 1 до 3 тонн/га/год для 47,58%. Максимальные темпы эрозии (более 50 тонн/га/год) отмечены лишь для 0,01% изучаемой территории. Наше исследование, в целом, совпадает с результатами глобального моделирования потерь почвы, обусловленных водной эрозией, установленным Borrelli et al (2020) [3]. Однако, для применения на практике, результаты нашей работы необходимо верифицировать прямыми натурными измерениями.

Ключевые слова: водная эрозия почвы, потери почвы, пересмотренное универсальное уравнение потери почвы (RUSLE), геоинформационная обработка данных, дистанционное зондирование, растровые вычисления

Благодарности: автор хотел бы поблагодарить доцента Пермского государственного университета Павла Санникова за руководство этим исследованием и общие консультации в процессе подготовки исследования. Он также благодарен Объединенному исследовательскому центру Европейской комиссии за предоставление ему данных о глобальной эрозии осадков, которые позволили рассчитать коэффициент R.

Для цитирования: Бурема Д. Моделирование водной эрозии почв в провинциях Сикассо и Коуликоро (Республика Мали) // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7, № 2. С. 36–48. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-36-48>

Introduction

Erosion remains one of the most important factors that has shaped the Earth's surface since it emerged. And for more than 7,000 years, humans have been fighting erosion to protect their land from the aggressiveness of rain and runoff [18]. Erosion corresponds to the accelerated removal of topsoil and can occur in many forms as a result of several causes. Anything that moves, including water, wind, glaciers, animals, and vehicles can be erosive [20]. Amongst different transporting agents, water remains however, one of the most serious threat. Water erosion has been recognized as the most severe hazard threatening the protection of soil as it reduces soil productivity by removing the most fertile topsoil [17].

Given its negative effects on soil productivity, nutrient loss, siltation in water bodies, and degradation of water quality, scientists, since 1960's have been trying to understand the driving forces behind soil erosion. They have developed a variety of models to assist in identifying critical components and interactions within the soil erosion system. Amongst different erosion models, the Universal Soil Loss Equation (USLE) and its family of models: Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), the Revised Universal Soil Loss Equation version 2 (RUSLE2), and the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE), remain the most widely used [1].

First released by US Department of Agriculture – Agricultural Research Service /USDA-ARS/ in 1992 with the aim to overcome the shortcomings of the USLE model, the RUSLE kept on the basis of the USLE and measures soil loss per unit area at an annual timescale [20]. It uses a simple equation as followed:

$$A = R * K * LS * C * P \text{ (Equation 1) [1].}$$

Where: A is the annual soil loss in ton/ha¹yr¹, R is the Erosivity factor in Mj. Mm/ (ha.hr. yr), K is the erodibility factor (t ha h ha⁻¹ Mj⁻¹ mm¹), LS is the slope steepness and slope length factor (unitless), C is the land cover management factor (unitless) and P is the conservation practice management factor (unitless).

Erosion modelling in developing countries such as Mali is difficult because of the lack of data regarding soils, rainfall and management practices. It is difficult to obtain the key parameters of soil prediction models from direct measure. To remedy to this situation, indirect methods are applied to estimate them and make the study feasible.

Since Bennet (1939) father of soils' conservation, studies have been trying to assess soil loss at different level. First begun in the USA in the late 1930's with the U.S Soil Conservation Service (SCS), soil loss prediction models have been continuously refining [20]. At continental level, Van der Knijff et al. have quantified rill and inter-rill erosion in Europe in 2000 using the USLE [21]. At global scale, Borrelli et al. in 2020 predicted the potential soil erosion by water from 2015 to 2070 [3]. In Tropical Africa however, studies on soil erosion remain sparse. If in 1950, the Institute of Rural Development (IRD) directed the first researches on soil erosion in Tropical Africa, these were particularly aiming at establishing classical hydrological parameters (flood hydrograph, runoff coefficient) and did not include any particular erosion measures [5]. In the Republic of Mali, researches directed on soil erosion by water measurement remain limited on the literature. Only Bishop, J. and Allan, J., in their study of on-site costs of soil erosion in Mali, provided a comprehensive investigation at the regional level [2]. Nowadays, in the Republic of Mali, there is some evidence of land resources degradation and

thus the need for understanding the rate of this degradation and raising public awareness on the importance of the issue.

The present study attempts to estimate and map the potential soil loss for 2018 in the provinces of Sikasso and Koulikoro using remote sensing and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). This attempt is not only driven by scientific motive but also by economics one. In the Republic of Mali, natural resources at large and soil in particular represent a core mean of subsistence for most families. Across the country, rural populations depend on soil functions for the provision of their food, fodder for their animals, fuel for cooking, crops for market. In 2014, agriculture occupied more than 80% of the country's population and contributed 40% of the Gross Domestic Product [12]. To most rural people, land degradation is widely perceived as a critical threat to the economic development in a country where about 44% of the population lived less than \$ 1 a day in 2010[13].

Materials and methods

Geographical settings. The study area covers 161 thousand km² and lies within the Sudanese and Sahelian zones between 10° 8' and 15° 30' north altitude and 4° 24' and 9° 7' west longitude.

The relief of the region is dominated by plains with an average altitude of about 300 – 400 m (fig.1. A / рис. 1. A). The plateaus Manding (with 808 m in Kati) and of Sikasso (with 591 m in Sikasso) remain the highest elevation in the area [9].

The climate of the provinces is largely dominated by the Sahelian domain which is marked in its northern limit by 200 mm isohyet while the rest belongs to the Sudanese zone limited by about 1300 mm isohyet [8]. The precipitation regime of the region is unimodal and controlled by the west African monsoon. The continentality of the region reinforces the seasonal contrast between a tropical rainy season lasting 3 to 5 months and a long absolute dry season of 9 to 7 months. The rains that result from isolated convective thunderstorms, occur during the boreal summer, starting between May and July and ending between September and October with a maximum in August. The annual rainfall fluctuates between 200 and 500 mm in the north (Sahelian zone) and 600 to 1300 mm in the south (Sudanese domain) [8]. The annual mean temperature regime in the region is influenced by the general atmospheric circulation and thus remains

high (28 – 30° C) with a maximum in May (42° C) and the minimum in January (22° C) [28].

The landscapes of the provinces are characterized by interfluves whose soils and their organization in landform and pedogenetic processes vary according to the climatic zones [4]. In the Sahelian zone, the influence of the shallow granito – gneissic substrate and the very low drainage index results in the formation of sodic and alkaline soils. Rich in swelling clays and very poorly permeable, they are very susceptible to erosion. Concerning the Sudanese domain, it presents soils rich in kaolinite and alterites, but modest in mineral. Soils in this zone, are subjected to serious risks of acidification and aluminium toxicity. Based on the FAO's Digital Soil Map of the World, fourteen soil Units: Ferric Acrisols (Af), Plinthic Acrisols (Ap), Eutric Cambisols (Be), Vertic Cambisols (Bv), Gleysols (G), Lithosols (I), Fluvisols (J), Ferric Luvisols (Lf), Gleyic Luvisols (Lg), Dystric Nitosols (Nd), Eutric Nitosols (Ne), Luvic Arenosols (Q1), Eutric Regosols (Re) and Chromic Vertisols (Vc) were found within the study area (fig.1. B / рис. 1. B) [24].

Hydrographically, our two provinces are crossed by the Niger river and its tributaries. With 4200 km (1780 km in Mali), the Niger begins its Malian journey in Kangaba then receives near Mopti, on its right side, its largest tributary in Mali: the Bani which is formed by the water of Baoulé, Banifing and Bagoé in the region of Sikasso. Sangarani remains another river in the region. The provinces are also home to several lakes and ponds (Wegnan, Ngoroma, Selingue, etc.).

The floristic composition of the region is dominated by savannas. Term designating a heterogeneous group of formations, the savanna according to the phytogeographic congress of Yangambi (1956) is a: "Grassy formation comprising a carpet of large grasses measuring, at the end of the growing season, at least 80 cm in height, with flat leaves at the base or on stubble, smaller grasses and herbaceous plants. These herbs are usually burnt every year; on this grassy carpet, trees and shrubs are generally found, which form a wooded savanna (trees and shrubs forming a clear cover allowing the light to pass through), a shrub savanna (shrubs only, on the grass carpet), a grassy savanna (trees and shrubs absent, only grass carpet)" [22]. Species such as: *Andropogoneae*, *Combretum* spp, *Butyrospermum p*, *Detarium senegalense*, *Daniellia oliveri*, etc. remain endemic in the region [10].

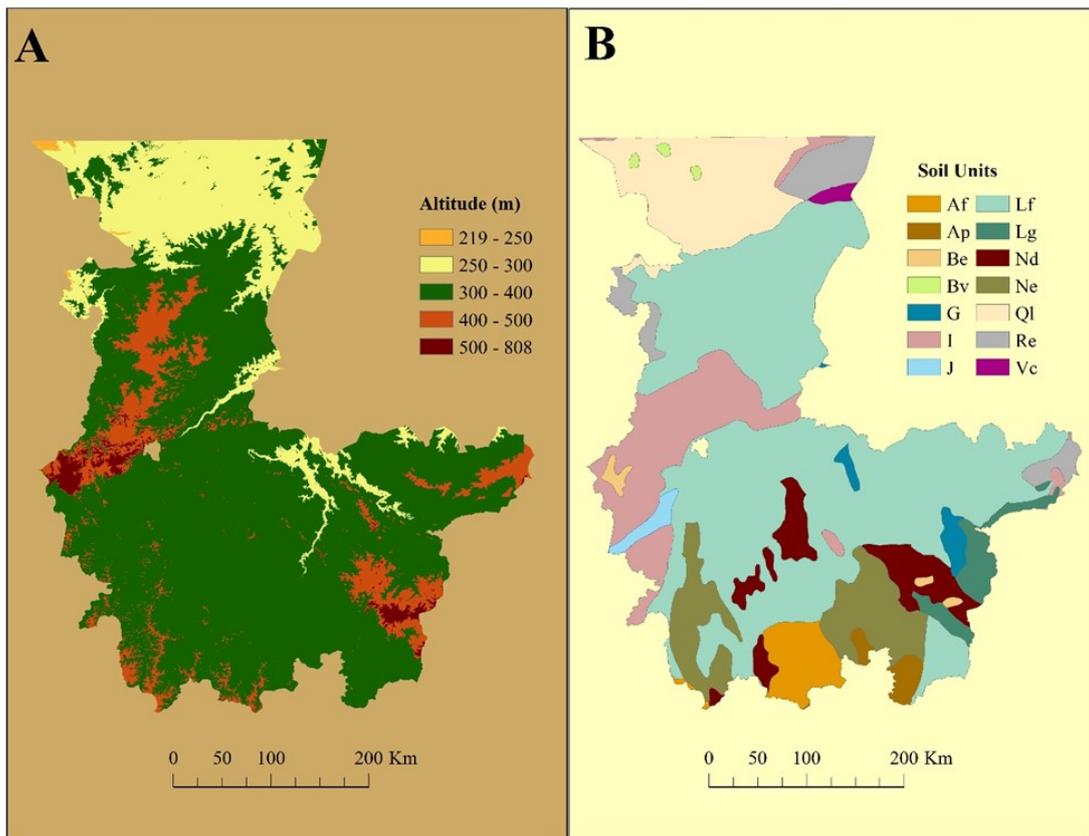


Fig. 1. Terrain and Soil Cover of the study area
 A) Altitude B) Soil Units (FAO)

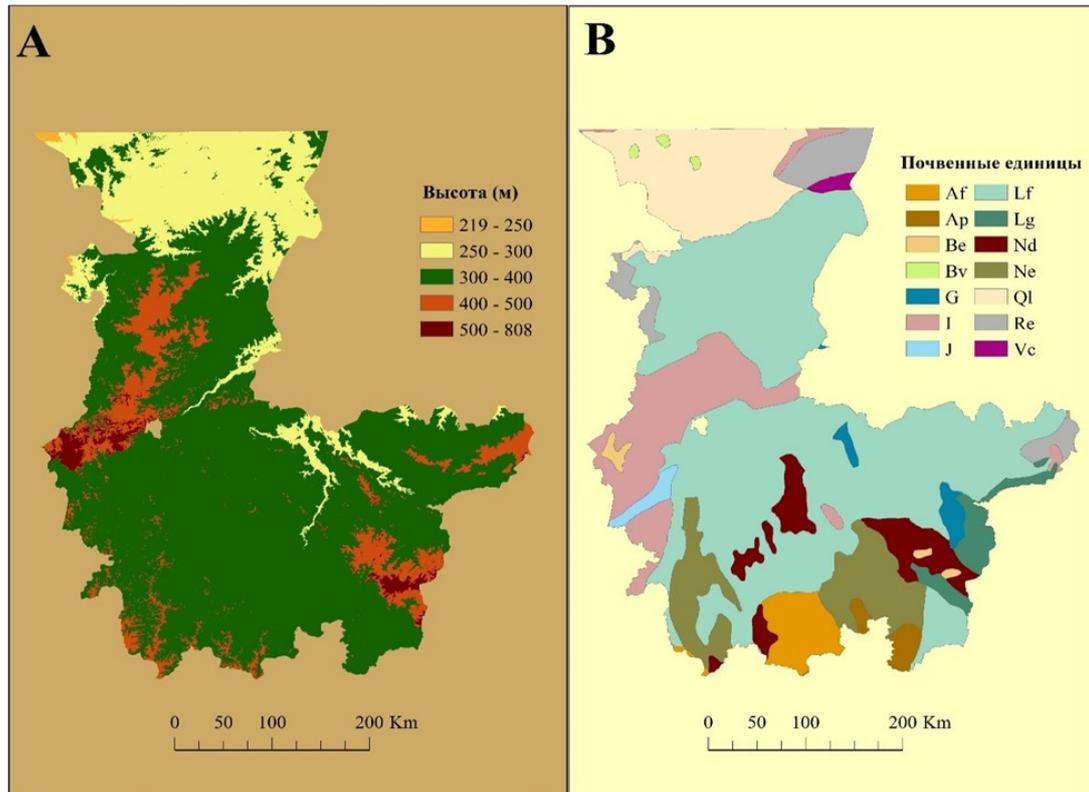


Рис. 1. Рельеф и почвенный покров изучаемой территории
 А) Высоты над уровнем моря В) Почвенные единицы (ФАО)

Agriculture and breeding constitute the main activities of the region. Concentrating about 85% of the population, agriculture in the two provinces is the rain-fed type and produces primarily dry cereals, peanuts, sesame, cotton, etc. [11]. The farming system of the area is frequently simplified by resorting to plough for carrying out large-scale works. This practice, while stimulating the mineralization of humus by completely stumping cultivated plots, has many negative consequences. The mineral elements thus released are frequently washed away and can no longer be recycled on the surface. Concerning the breeding, it represents an important source of wealth around which rural people organize their lives. The increase national herd size since the 1992, has resulted in overgrazing, especially in the Sikasso region, which constitutes a transit area for Sahelian herders to the wetlands of Côte d'Ivoire and Guinea [11]. In addition to these threats, bushfires frequently used by both farmers and breeders as tool for managing their space, present serious consequences. By partially or totally destroying the woody and herbaceous vegetation, they expose the soils to the first storms of the rainy season.

Materials. To determine the soil loss within the study area, 26 bands of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 30m) [25], 5 NDVI 250 m MODIS/Terra Vegetation (MOD13Q1) covering the period from May 9th 2018 to September 14th 2018 [24], the annual Global Rainfall Erosivity dataset (30 arc seconds) [14] and the Digital Soil Map of the World [23] were used.

Methods. The different components of the RUSLE were computed using the ArcGIS toolbox and the System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) [26].

Rainfall Erosivity (R)

The R factor represents the effect that rainfall has on soil erosion and was included after observing sediment deposits after an intense storm [20]. The annual R factor is a function of the mean annual EI30 that is calculated from detailed and long-term records of storm kinetic energy (E) and maximum 30 min intensity (I30) [1]. The original Equation used to calculate R factor is:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})^i}{N} \text{ (equation 2) [1].}$$

$$EI_{30} = E * I_{30}$$

$$E = 916 + 331 * \log_{10} I$$

Where: R is the rainfall and runoff factor – the rainfall erosion index plus a factor for any significant runoff from snowmelt (100 ft. ton. acre⁻¹yr⁻¹); I is the intensity (in h⁻¹); EI30i: EI30 for storm i; j is the number of storms in an N – year period.

This original method of computing R value requires extended pluviographic records over a period of 20 years at least, with temporal resolution less than or equal to 30 minutes [20]. Given the impossibility to obtain this, we used the annual Global Rainfall Erosivity dataset (30 arcsec) established by Panagos et al. (2017) to extract the R factor of the area. The annual global Rainfall Erosivity which derived from 3,625 stations covering 63 countries, was computed using the Rainfall Intensity Summarization Tool (RIST) software developed by the United States Department of Agriculture (USDA) [15].

Soil erodibility (K)

The K factor essentially represents the soil loss that would occur on the (R)USLE unit plot, which is a plot that is 22.1 m long, 1.83 m wide, and has a slope of 9% [1]. Higher K value indicates the soil's higher susceptibility to erosion. The original equation developed to compute K factor is expressed as follows:

$$K = \frac{[2.1 * M^{1.14} * (10^{-4}) * (12-a)] + [3.25 * (b-2)] + [2.5 * (C-3)]}{100}$$

(equation 3) [1].

Where: K is the Soil Erodibility factor (t ha h a⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹); M is the particle-size parameter; a is the organic matter (%); b is the soil structure code used in soil classification and c is the profile permeability class.

Similar to R factor, studies have developed alternative methods to compute K factor. The K value of the study area was computed by applying the equation of Williams and Renard (1983) as cited in Benavidez. R et al. (2018) (equation 4) based on soil physical properties (texture and carbon content). This has been done by using the World Digital Soil Map of the FAO which is composed with the GIS shapefile and an attribute database that provides information about the composition of each soil mapping unit and standardized soil parameters for top and subsoil.

$$K = 0.2 + 0.3 \exp(0.0256 * Sa * (1 - \frac{Si}{100})) * (\frac{Si}{Cl+Si})^{0.3} * (1.0 - \frac{0.25 * C}{c + \exp(2.72 - 2.95C)}) * (1.0 - \frac{0.7 * SN}{SN + \exp(-5.51 + 22.9SN)})$$

(Equation 4) [1].

Where: Sa = sand (%), Si = silt (%), Cl = clay (%), C = organic carbon, SN = 1 – (Sa/100). C = organic carbon.

NB: K value from (equation 4) is converted into SI units of metric ton hours per megajoules per millimeter by multiplying it by 0.1317.

Topographic factor (LS)

The LS factor represents the effect of the slope's length and steepness on sheet, rill, and inter-rill erosion by water, and it is the ratio of expected soil loss from a field slope relative to the original Universal Soil Loss Equation (USLE) unit plot [1]. The original method (equation 5) for estimating LS factor was applied at the unit plot and field scale, and the RUSLE extended this to the one-dimensional hill slope scale [1].

$$LS = (\frac{\lambda}{72.6})^m * [(65.41 * \sin^2 \Phi) + (4.56 * \sin \Phi) + 0.065] \text{ (equation 5) [1].}$$

Where: LS is the ratio of soil loss under a given slope steepness and slope length; λ is the slope length (ft), Φ is the angle of slope, and m dependent on the slope (m = 0.2 to 0.5).

Further research extends the LS factor to topographically complex units using a method that incorporates contributing area and flow accumulation [16]. The LS factor of the area was estimated using one of the hydrology modules available in SAGA (the LS – factor) which contains the algorithm of the equation 6, proposed by Desmet and Govers (1983) as cited in Panagos et al. (2015) [27]. The input data to SAGA included the slope

in gradient and the catchment of the area derived from the SRTM 30 m.

$$LS = (m + 1) \left(\frac{U}{L0}\right) m \left(\frac{\sin\beta}{S0}\right) n \text{ (equation 6) [1].}$$

Where: *LS* is the slope length and slope steepness; *U* is the flow accumulation * cell size; *L0* is the length of the unit plot (22.1); *S0* is the slope of unit plot (0.09); β is the slope; *m* (sheet) and *n* (rill) depend on the prevailing type of erosion (*m* = 0.4 to 0.6) and *n* (1.0 to 1.3).

Cover management factor (C)

The C factor represents the ratio of soil loss under a given crop to that from bare soil [1]. The original method of computing C value which combines impacts of previous management, canopy cover, surface cover and roughness, requires extensive knowledge of the study area [6]. Further researches in Europe and Brazil computed C factor through the normalized difference vegetation index (NDVI) (equation 7). C value for the study area was estimated using (equation 8).

$$C = \exp\left(-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right) \text{ (equation 7) [21]}$$

Where: *C* is the Cover management factor; *NDVI* is the Normalized Difference Vegetation Index; $\alpha = 1$ and $\beta = 2$.

$$Cr = \left(\frac{-NDVI+1}{2}\right) \text{ (equation 8) [6].}$$

Where: *Cr* is the rescaled C factor for tropical climate.

Practice management factor (P)

The P factor is defined as the ratio of soil loss under a specific soil conservation practice (e.g. contouring, terracing) to that of a field with upslope and downslope tillage [1]. P value ranges from 1 (no erosion control solution) to 0 (effective conservation practice). The P factor of the study area was estimated following the approach proposed by Shin et al. (1999) as cited in Sheikh and Alam (2011) which is based on the slope inclination [19].

Table 1

Cultivation method and slope classification, Shin (1999) as cited in [19]

Таблица 1

Эрозионная оценка методов сельскохозяйственной обработки земель при разных уклонах местности, Shin (1999) [19]

Practice management (P factor) estimation // Оценка сельскохозяйственных практик (P фактор)			
Slope % // Уклон %	Contouring // Контурная обработка почвы	Strip cropping // Прямые конечные полосы	Terracing // Террасирование
0.0 – 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 – 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 – 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 – 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1	0.50	0.20

The annual soil loss (A)

In the ArcGIS toolbox, the annual soil loss was estimated using the raster layer of different sub components of the equation.

Results

Rainfall erosivity (R)

The R factor derived from the Global Rainfall Erosivity dataset varies between 1408 and 5084 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ and shows a net decrease from south to north (fig. 2. A / рис. 2. A).

Soil Erodibility Factor (K)

The results also indicate that the soil erodibility factor (K) in the study area ranges from 0.04 to 0.1 t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. The results presented in table 2 / таблица 2 show that the highest k value 0.10 is found in the clay-loam and loamy-sand whereas the smallest one (0.04) is found in the sandy soil. Also, 50.53% of the area belonging to sandy-loam have a k value of 0.08.

Topographic factor (LS)

The application of the method proposed by Desmet and Govers in the SAGA environment has resulted in the computation of the LS factor of the study area which varies between 0.03 and 21.26. About 94.11% of the area

have a LS value comprised between 0.03 and 1. The highest LS value which ranges from 10 to 21.16 represents about 0.01% of the study area and are primarily found in the western part of the area (Kati) (fig. 2. B / рис. 2. B).

Cover management factor (C)

The C value of the study area was estimated using (the equation 8) and the NDVI 250 m MODIS acquired between May 9th and September 14th 2018. The estimated C value for the area ranges from 0.006 to 0.059 (fig 2. C / рис. 2. C). C value closer to 0 represents a denser vegetation coverage. About 86.6% of the area have a C value between 0.006 and 0.03. The highest C value 0.04 to 0.059 represents about 0.23% of the area of interest and are mainly located in the extreme northern part of the region (Nara).

Practique management factor (P)

Due to sparse information on specific land-use types and farming systems in the area, P value has been computed based on the slope inclination. This ranges from 0.55 to 1. It's important to note that about 89% of the territory have a P value of 0.55 (slope 0 to 7 %) whereas only 0.67% have a P value of 1 (slope greater than 26.8%).

Table 2

Soil types and soil erodibility in the study area

Таблица 2

Типы почв и характерные скорости эрозии в районе исследования

Soil erodibility (K factor) // Эрозионность почвы (К фактор)				
Soil Units (FAO) // Почвенные единицы (ФАО)	USDA Soil Textural class // Класс механического состава USDA	Organic Matter content (%) // Содержание органических веществ (%)	K-factor ($t\ ha\ h^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) // К фактор ($тонн\ га\ час\ га^{-1}\ Мдж^{-1}\ мм^{-1}$)	Area th.ha (%) // Площадь, тыс. га (%)
Ferric Acrisols (Af)	Sandy-clay-loam // Супеси-суглинки	0.91	0.09	521.6 (3.21)
Plinthic Acrisols (Ap)	Loam // Суглинок	1.09	0.08	177.5 (1.09)
Eutric Cambisols (Be)	Clay-loam // Глинистый суглинок	1.07	0.10	85.9 (0.52)
Vertic Cambisols (Bv)	Clay // Глина	1.1	0.08	40.2 (0.24)
Gleysols (G)	Loam // Суглинок	2.02	0.07	175.7 (1.08)
Lithosols (I)	Loam // Суглинок	0.97	0.09	1850.8 (11.40)
Fluvisols (J)	Loam // Суглинок	1.32	0.09	123.8 (0.76)
Ferric Luvisols (Lf)	Sandy-loam // Супесчаный	0.39	0.08	8202.1 (50.53)
Gleyic Luvisols (Lg)	Clay // Глина	0.73	0.09	409.7 (2.52)
Dystric Nitisols (Nd)	Loam // Суглинок	1.57	0.07	802.2 (4.94)
Eutric Nitisols (Ne)	Clay // Глина	0.6	0.08	1315.3 (8.10)
Luvic Arenosols (Q1)	Sand // Супесь	0.2	0.04	1776.1 (10.94)
Eutric Regosols (Re)	Loamy-sand // Супесчаный	0.5	0.10	684.9 (4.21)
Chromic Vertisols (Vc)	Clay // Глина	0.69	0.09	63.9 (0.39)

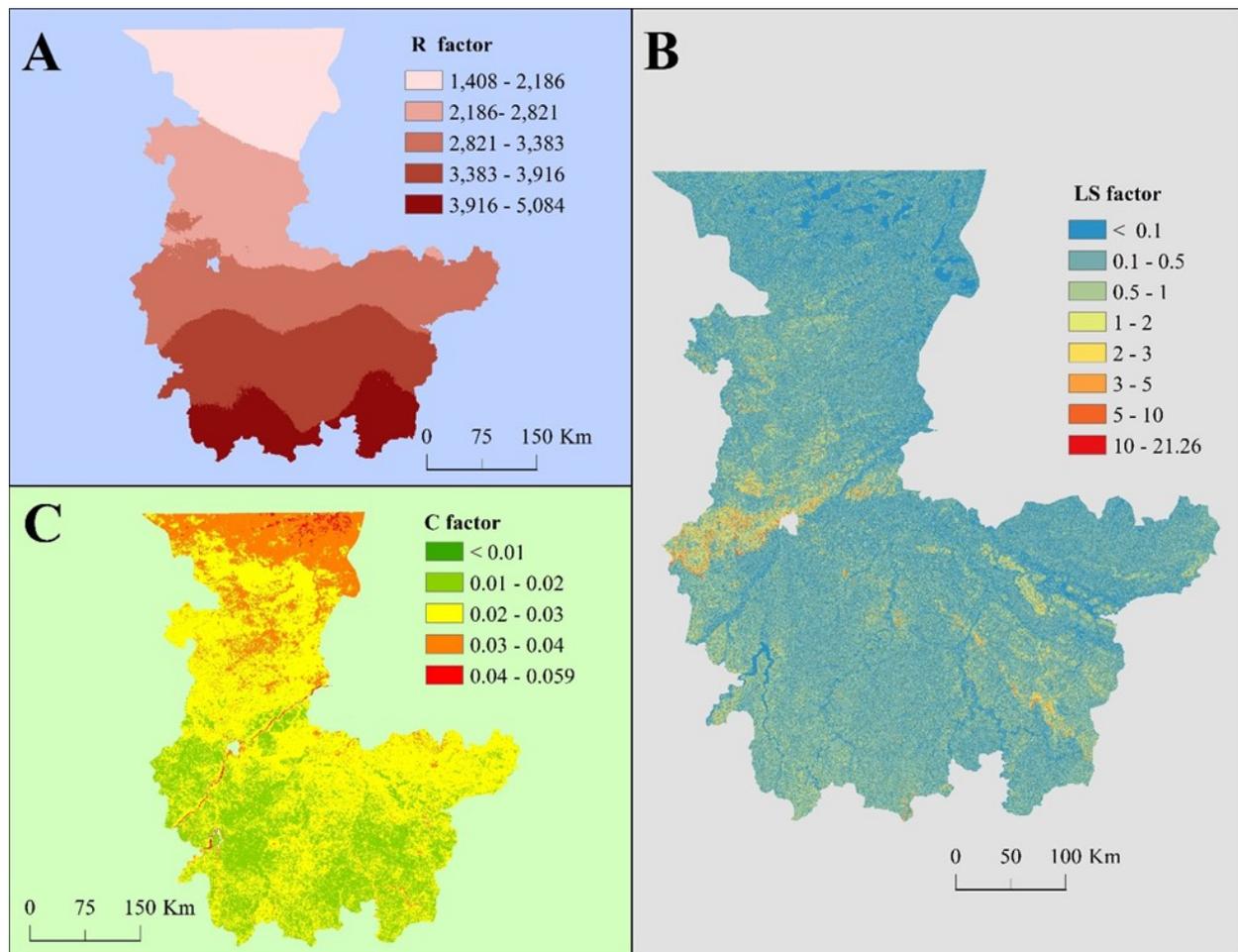


Fig. 2. Results of geoinformation processing of the RUSLE subcomponents

A) R factor B) LS factor C) C factor

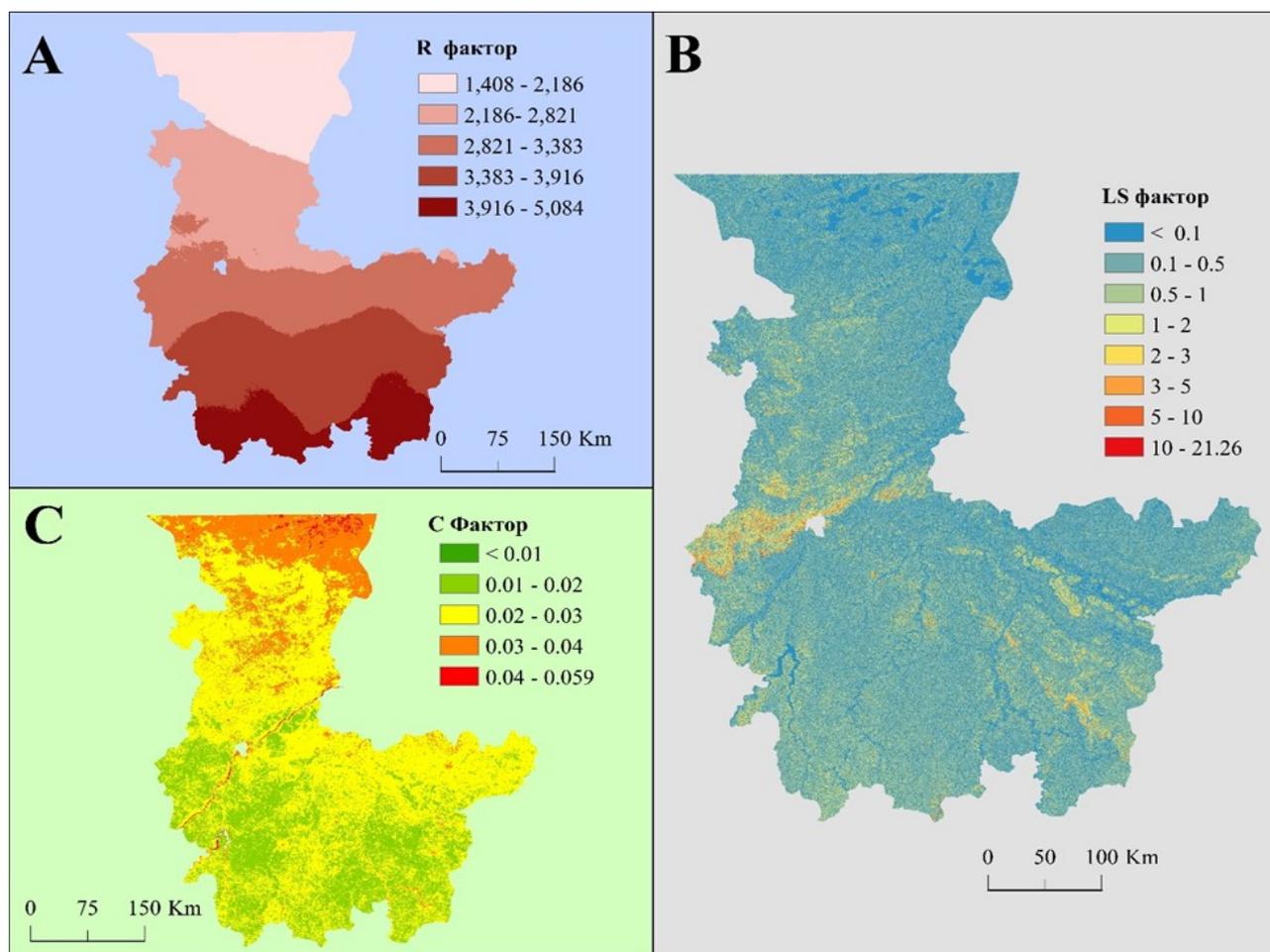


Рис. 2. Результаты геоинформационных расчетов субкомпонентов RUSLE
 А) R фактор В) LS фактор С) C фактор

Potential annual soil loss (A)

To estimate the potential annual soil loss for the study area, we used the product of RUSLE's components (R, K, LS, C and P). In the ArcGIS toolbox (Spatial analyst), we run the RUSLE model by using the raster layers of different sub-factors. The potential soil loss in the region ranges from 0.02 to 98.86 tons/ha/year with an average of 1.63 tons/ha/year.

The classification of this result into seven groups showed that 39% of the area has an erosion rate ranging from 0.02 to 1 ton/ha/year, 47.58% from 1 to 3 tons/ha/year and about 0.01% more than 50 tons/ha/year (table 3 / таблица 3). The spatial pattern of the potential soil erosion map indicated that the area with large erosion risk were located in the steeper slopes (fig. 3. A, B / рис. 3. А, В).

Table 3

Estimated soil loss for 2018 in the study area

Таблица 3

Рассчитанная скорость эрозии почв на изучаемой территории (2018 г.)

	A factor (The potential soil loss), tons/ha/year // А фактор (скорость потенциальных потерь почвы), тонн/га/год						
	0.02 – 1	1 – 3	3 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Area (th. ha) // Площадь, тыс. га	6285.33	7665.12	1550.95	431.48	137.93	35.95	2.03
Area, % // Доля площади, %	39	47.58	9.62	2.67	0.85	0.22	0.01

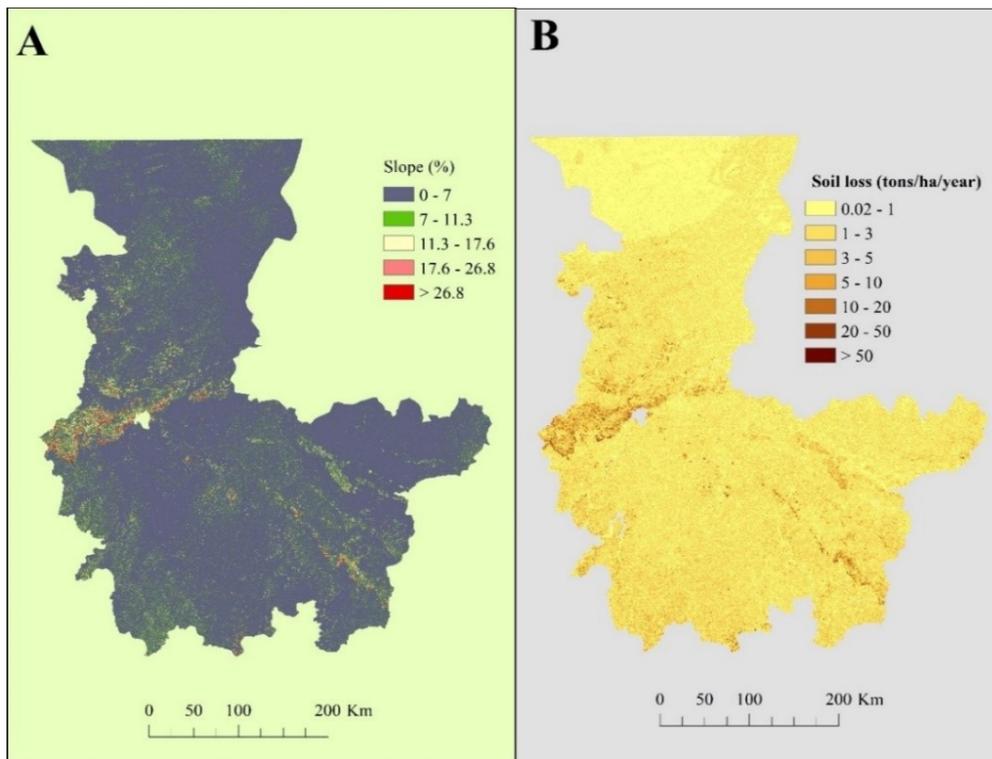


Fig. 3. Results of RUSLE subcomponents and RUSLE calculation
 A) Slope B) Annual soil loss

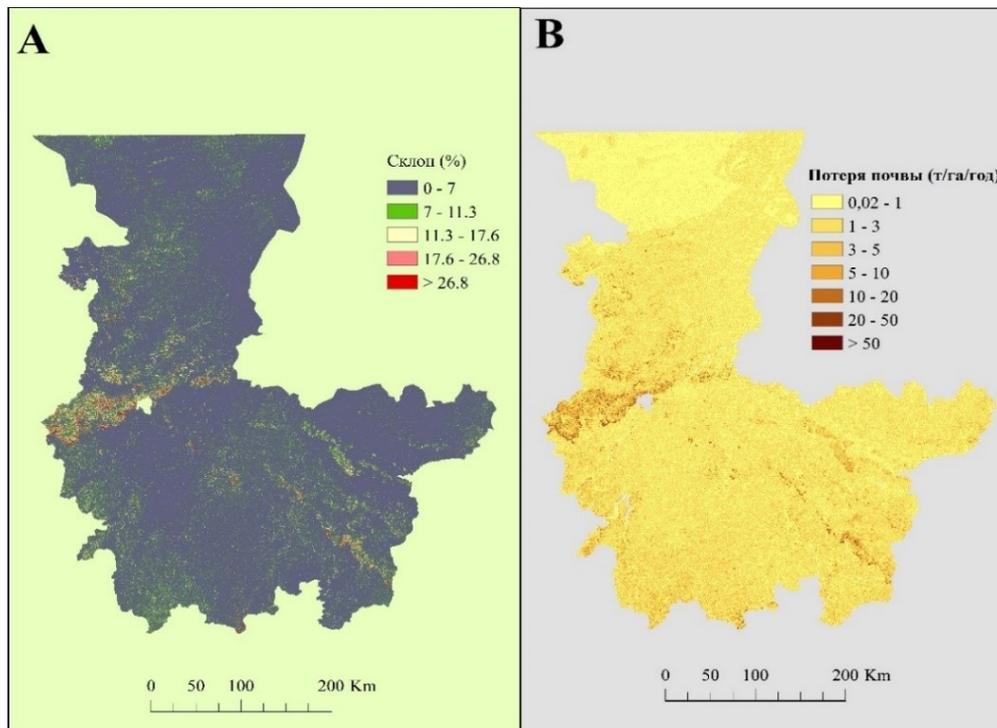


Рис. 3. Результаты геоинформационных расчетов
 А) Уклоны местности В) Ежегодной потери почвы

Discussion

Regarding the validity of our estimates, they matched with the global soil loss map established by Borrelli et al., which attributed in 2015, an erosion rate of 0 to 50 tons/ha/year to our study area [3]. It is however, useful to note that the use of the RUSLE under tropical climate has always been questioned. This is due to the fact that under this climate, the rainfall regime is more intense and the region subjects to gully erosion which is not taken into account by RUSLE.

The indirect estimation of the K value using the soil units derived from the small-scale global soil map of the world is due to the lack of detailed data on the texture and organic carbon content of soils in West Africa. A regional detailed data on soils will make this calculation much more detailed in the future. In addition to this, low resolution initial data precipitation (30 arc seconds) and NDVI (250 m) remain other limitations. Regarding the precipitation, any new data is likely to be expected in the near future due to the low rate of development of the representativeness and frequency of meteorological observations in Mali. For the calculation of the NDVI, much more detailed sources are available in the public domain. For example, Landsat 8 data is 30 m. However, their use is difficult due to the small width of the survey swath (185 km), which is not enough to fully cover all survey areas in one-day series of scenes.

These primary results are estimated at the annual timescale. Future researches will be focused on the different seasons of the year in order to understand the contribution of vegetation cover to seasonal soil loss and identify critical periods within the year when soil erosion is a risk.

Conclusion

The advance of Remote Sensing (RS) technology and GIS are making soil loss prediction much handy, cost effective, comprehensive and robust. This will be of particular importance for countries such as Mali where data regarding to soil, rainfall, management practices are sparse. Materials used for the present indirect measurement of potential soil loss in the provinces of Sikasso and Koulikoro included the Global Rainfall Erosivity Dataset (30 arc seconds), the Digital Soil Map of the World (1:5 000 000 scale), the SRTM (30m) and the NDVI MODIS (250 m).

The estimated components of the RUSLE equation range from 1408 to 5084 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ for R factor, 0.10 to 0.04 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ for the erodibility factor (K), 0.03 to 21.26 for the topographic factor (LS), 0.006 to 0.05 for the cover management factor (C) and 0.55 to 1 for the practice management factor (P). The estimates potential soil loss for 2018 vary between 0.02 and 98.86 tons/ha/year with an average of 1.63 tons/ha/year. About 0.01% of the area experienced severe erosion rate (more than 50 tons/ha/year).

The estimation of the rainfall erosivity and the erodibility factors constituted the main limitation of this study. Like most of the meteorological patterns, rainfall regime is not static and varies widely from one season to another and thus its direct computation will be more

accurate. Also, soil properties such as organic matter are subject to continually evolution and its data needs to be updated.

The rapid demographic growth of the Malian population will increase pressure on natural resources at large and on soil in particular. Since soils remain the core asset for most of the population, there is an urgent need of improving the accuracy and scale of their degradation. In this regard, establishing datasets relating to the rainfall, the soil property at the national level will make the forecasts of soil erosion by water more precise.

References

1. Benavidez, R. Jackson, B., Maxwell, D., Norton, K., 2018. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11(22), pp. 6059–6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
2. Bishop, J., Allen, J., 1989. The On-Site Costs of Soil Erosion in Mali. Bamako, World Bank. Available from: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/356941468049761035/the-on-site-costs-of-soil-erosion-in-mali> [Accessed 8th October 2019].
3. Borrelli, P., Robinson, D., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., Ballabio, C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *PNAS*, 117(36), 21994-2200. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
4. CIRAD. 1998. Tropical Soils: some experiences of organic matter management. [Sols tropicaux: quelques expériences de gestion de la matière organique]. Special Tropical Soils [Spécial Sols Tropicaux]. 18 (1249-9951). Available from: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-05/010015874.pdf [Accessed 4th January 2021].
5. Diallo, D., 1992. Soil erosion in the Sudanese zone of Mali transfer of eroded materials in the Djitiko watershed (Upper Niger) [Erosion des sols en zone Soudanienne du Mali transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger)]. PhD thesis. University of Grenoble. Available from: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-12/010023466.pdf [Accessed 5th October 2019].
6. Durigon, V., Carvalho, D., Antunes, M., Oliveira P., Fernandes M., 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), pp. 441–453. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>
7. European Soil data Centre. 2013. Soil Atlas of Africa. Available from: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/Africa_Atlas/Documents/JRC_africa_soil_atlas_part1.pdf [Accessed 20th September 2020].
8. Hountondji, Y., 2008. Environmental dynamics in the Sahelian and Sudanese zones of West Africa: Analysis of modifications and assessment of degradation

of plant cover [Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal]. PhD thesis. University of Liege. Available from:

https://www.researchgate.net/publication/258028778_Dynamique_environnementale_en_zones_sahelienne_et_soudanienne_de_l'Afrique_de_l'Ouest_Analyse_des_modifications_et_evaluation_de_la_degradation_du_couvert_vegetal/link/00b7d526a6c444fe0f000000/download [Accessed 4th January 2021].

9. Hubert H., 1911. The relief of the Niger Loop. *Annal of Geography*. 20(110), pp. 155–178. Available from:

https://www.persee.fr/docAsPDF/geo_0003-4010_911_num_20_110_7382.pdf [Accessed 4th January 2021].

10. Ichaou, A., Peltier, R., 2015. Mali Forrest inventory. [*Inventaire forestier du Mali*]. Bamako. Report number: 1813.01. Available from:

https://agritrop.cirad.fr/575876/1/document_575876.pdf [Accessed 5th January 2021].

11. Institut National de la Statistique 2011. 4th General Population and Housing Census of Mali. [*4eme Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Mali*]. Bamako. Available from:

https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/Tableaux_Démographiques_VF.pdf [Accessed 4th January 2021].

12. MEADD, 2017. Third National Communication of Mali to the UNFCCC. [*Troisième Communication Nationale du Mali à la CCNUCC*]. Bamako. Available from:

https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7DD41D1F-F5C7-60E6-3987-14624F6A9F90/attachments/RAPPORT_FINAL_TCN_09_01_18.pdf [Accessed 4th January 2021].

13. MEF, 2011. Strategic Framework for Growth and Poverty Reduction. [*Cadre Stratégique pour la Croissance et la Réduction de la Pauvreté (CSCR 2012 – 2017)*]. Bamako.

Available from: http://www.passip.org/passip_intranet/pdf_intranet/Politique/9-130%202012_MALI_CSCR_2012_2017_VF.pdf [Accessed 5th January 2021].

14. Panagos, P., Ballabio, C., 2017. Global Rainfall Erosivity. European Commission Joint Research Centre. Accessible on request from:

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity> [Accessed 6th April 2020].

15. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K., Yang, J., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G., Krasnov, S., Gorobets, A., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Oliveira, P., Bonilla, C., Meddi, M., Nel, W., Al Dashti, H., Boni, M., Diodato, N., Van Oost, K., Nearing, M., Ballabio, C., 2017. Global rainfall Erosivity Assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Sci. Rep.*, 1(7). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

16. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., 2015. A New European Slope Length and Steepness Factor

(LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*, 5(117–126).

<http://dx.doi.org/10.3390/geosciences5020117>

17. Pimentel, D., Burgess, M., 2013. Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture journal*, 3(3), pp. 2077–0472.

<http://dx.doi.org/10.3390/agriculture3030443>

18. Roose, E., 1999. Introduction to the conservation management of water, biomass and soil's fertility. [*Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*]. Rome, FAO. Available from: <https://www.pdfdrive.com/introduction-à-la-gestion-conservatoire-de-leau-de-la-biomasse-et-de-la-fertilité-des-sols-e40761577.html> [Accessed 15th March 2020].

19. Sheikh, A., Alam, A., 2011. Integration of GIS and Universal Soil Loss Equation (USLE) for soil loss estimation in a Himalayan watershed. *Recent Research in Science and Technology*, 3(3), pp. 51-57.

20. Troeh, F., Hobbs, A. and Donahue, R., 2003. Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection 4th ed. New York, Pearson Education. Available from: <https://www.pdfdrive.com/soil-and-water-conservation-for-productivity-and-environmental-protection-e186278961.html> [Accessed 12th April 2020].

21. Van der Knijff, J., Jones, R., Montanarella, L., 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Europe. *European Soil Bureau*. Available from:

https://www.unisdr.org/files/1581_ereunew2.pdf

[Accessed 16th March 2021].

22. Zueli, K., 2016. The Physical Environments of Hot and Humid Tropical Regions. [*Les Milieux Physiques des Régions Tropicales Chaudes et Humides*]. Abidjan, Institute of Tropical Geography [Abidjan, Institut de Géographie Tropicale]. Available from:

<http://www.ufhb-igt.net/uplfile/ArticleFileUploaded/Geomorphologie-Tropicale-2016-OK.pdf> [Accessed 15th January 2021].

Internet sources

23. Food and Agriculture Organization (FAO). 2007. 1:5.000.000. Digital Soil Map of the World. Available from:

<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show%3Fid=14116> [Accessed 23rd February 2020].

24. National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2018) 250m SIN Grid. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global. Available from:

<https://earthdata.nasa.gov/search?q=MOD13Q1>

[Accessed 15th February 2021].

25. National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2018. 30m. Shuttle Radar Topography Mission. Available from: <https://earthexplorer.usgs.gov> [Accessed 10th March 2021].

26. System for Automated Geoscientific Analyses (v.7.9.0). 2020. Available from:

<http://www.saga-gis.org/en/index.html>

[Accessed 21st February 2021].

27. SAGA-GIS tool Library Documentation (v.7.9.0). 2020. LS factor. Available from:

http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/7.9.0/ta_hydrology_22.html
[Accessed 21st February 2021].

28. Weather in Mali [*Météo au Mali*] 2018.

Available from:

<https://www.historique-meteo.net/afrique/mali/2018/>
[Accessed 28th March 2021].

Список источников

1. *Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K.* A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 22, Iss. 11. P. 6059–6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>

2. *Bishop J., Allen J.* The On-Site Costs of Soil Erosion in Mali // *World Bank*. 1989 [Электронный ресурс]. URL:

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documentdetails-reports/documentdetail/356941468049761035/the-on-site-costs-of-soil-erosion-in-mali>

(дата обращения: 08.10.2019).

3. *Borrelli, P., Robinson, D., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., Ballabio, C.* Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070) // *PNAS*. 2020. Vol. 117, Iss. 36. P. 21994–2200. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>

4. *CIRAD.* Sols tropicaux : quelques expériences de gestion de la matière organique // *Spécial Sols Tropicaux*. 1998. № 18. P. 1249–9951. [Электронный ресурс]. URL: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-05/010015874.pdf

(дата обращения: 04.01.2021).

5. *Diallo D.* Erosion des sols en zone Soudanienne du Mali transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger) // *Université de Grenoble*. 1992. [Электронный ресурс]. URL:

https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-12/010023466.pdf

(дата обращения: 05.10.2019).

6. *Durigon V. L., Carvalhob D.F., Antunesb M.A.H., Oliveirac P.T.S., Fernandes M.M.* NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed // *International Journal of Remote Sensing*. 2014. Vol. 35, Iss. 2. P. 441–453. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>

7. *European Soil data Centre.* Soil Atlas of Africa // *Joint Research Center*. 2013. [Электронный ресурс]. URL:

https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/Africa_Atlas/Documents/JRC_africa_soil_atlas_part1.pdf

(дата обращения: 20.09 2020).

8. *Hountondji Y.* Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest: Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal // *Université de Liège*. 2008. [Электронный ресурс]. URL:

https://www.researchgate.net/publication/258028778_Dynamique_environnementale_en_zones_sahelienne_et_soudanienne_de_l'Afrique_de_l'Ouest_Analyse_des_modificati

ons_et_evaluation_de_la_degradation_du_couvert_vegetal/link/00b7d526a6c444fe0f000000/download

(дата обращения: 4.01.2021).

9. *Hubert, H.* Le relief de la Boucle du Niger // *Annale de Géographie*. 1911. Vol.20. №110. P.155-178. [Электронный ресурс]. URL:

https://www.persee.fr/docAsPDF/geo_0003-4010_1911_num_20_110_7382.pdf

(дата обращения: 05.01.2021).

10. *Ichaou, A., Peltier, R.* Inventaire forestier du Mali. 2015. [Электронный ресурс]. URL:

https://agritrop.cirad.fr/575876/1/document_575876.pdf

(дата обращения: 05.01.2021).

11. *Institut National de la Statistique.* 4eme Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Mali // *Instat*. 2011. [Электронный ресурс]. URL:

[https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.huma](https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianre-)

nitarianre-sponse.info/files/documents/files/Tableaux_Démographiques_VF.pdf (дата обращения: 04.01.2021).

12. *MEADD.* Troisième Communication Nationale du Mali à la CCNUCC // *PNUD*. 2017. [Электронный ресурс]. URL:

[https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7DD41D1F-](https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/7DD41D1F-F5C7-60E6-3987-)

14624F6A9F90/attachments/RAPPORT_FINAL_TCN_09_01_18.pdf (дата обращения: 04.01.2021).

13. *MEF.* Cadre Stratégique pour la Croissance et la Réduction de la Pauvreté (CSCR 2012 – 2017) // *Instat*. 2011. [Электронный ресурс]. URL:

[http://www.passip.org/passip_intranet/pdf-](http://www.passip.org/passip_intranet/pdf-intranet/Politique/9-)

[intranet/Politique/9-130%202012_MALI_CSCR_2012_2017_VF.pdf](130%202012_MALI_CSCR_2012_2017_VF.pdf)

(дата обращения: 05.01.2021).

14. *Panagos P., Ballabio C.* Global Rainfall Erosivity // *European Commission Joint Research Centre*. 2017. [Электронный ресурс]. URL:

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity> (дата обращения: 6.04.2020).

15. *Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K.J., Yang, J.E., Ni, J., Miao, C., Chatterpadhyay, N., Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., Zabih, M., Larionov, G.A., Krasnov, S.F., Gorobets, A.V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Oliveira, P.T.S., Bonilla, C.A., Meddi, M., Nel, W., Al Dashti, H., Boni, M., Diodato, N., Van Oost, K., Nearing, M. & Ballabio, C.* Global rainfall Erosivity Assessment based on high-temporal resolution rainfall records // *Sci. Rep*. 2017. Vol. 7, Iss. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

16. *Panagos P., Borrelli P., Meusburger K.* A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water // *Geosciences*. 2015. Iss. 5. P. 117–126.

<http://dx.doi.org/10.3390/geosciences5020117>

17. *Pimentel D., Burgess M.* Soil Erosion Threatens Food Production // *Agriculture journal*. 2013. Vol. 3. Iss. 3. P. 443–463.

<http://dx.doi.org/10.3390/agriculture3030443>

18. *Roose E.* Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES // *FAO*. 1999. [Электронный ресурс]. URL:

<https://www.pdfdrive.com/introduction-à-la-gestion-conservatoire-de-leau-de-la-biomasse-et-de-la-fertilité-des-sols-e40761577.html>

(дата обращения: 15.03.2020).

19. *Sheikh A., Alam A.* Integratsiya GIS Universalnogo poter pochvy na Gimalaiskom vodorazdele [Integration of GIS and Universal Soil Loss Equation (USLE) for soil loss estimation in a Himalayan watershed] // *Poslednie issledovaniya v nauke i tekhnike*. 2011. Vol. 3. № 3. P. 51–57.

20. *Troeh F. R., Hobbs A., Donahue R.L.* Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection 4th ed. New York, Pearson Education. 2003. [Электронный ресурс]. URL:

<https://www.pdfdrive.com/soil-and-water-conservation-for-productivity-and-environmental-protection-e186278961.html> (дата обращения: 12.04.2020).

21. *Van der Knijff J. M., Jones R.J.A., Montanarella L.* Soil Erosion Risk Assessment in Europe // European Soil Bureau 2000. [Электронный ресурс]. URL:

https://www.unisdr.org/files/1581_ereurnew2.pdf

(дата обращения: 16.03.2021).

22. *Zueli K.* Les Milieux Physiques des Régions Tropicales Chaudes et Humides // Institut de Géographie Tropicale. 2016. [Электронный ресурс]. URL:

<http://www.ufhb-igt.net/uplfile/ArticleFileUploaded/Geomorphologie-Tropicale-2016-OK.pdf> (дата обращения: 15.01.2021).

Интернет-источники

23. Food and Agriculture Organization (FAO). 1:5.000.000. Digital Soil Map of the World // 2007. [Электронный ресурс]. URL:

<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show%3Fid=14116> (дата обращения: 23.02.2020).

24. National Aeronautics and Space Administration (NASA). 250m SIN Grid. MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global // 2018. [Электронный ресурс]. URL:

<https://earthdata.nasa.gov/search?q=MOD13Q1>

(дата обращения: 15.02.2021).

25. National Aeronautics and Space Administration (NASA). 30m. Shuttle Radar Topography Mission // 2018. [Электронный ресурс]. URL:

<https://earthexplorer.usgs.gov>

(дата обращения: 10.03.2021).

26. System for Automated Geoscientific Analyses (v.7.9.0) // 2020. [Электронный ресурс]. URL:

<http://www.saga-gis.org/en/index.html> (дата обращения: 21.02.2021).

27. SAGA-GIS tool Library Documentation (v.7.9.0). LS factor // 2020. [Электронный ресурс]. URL:

http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/7.9.0/ta_hydrology_22.html

(дата обращения: 21.02.2021).

28. Météo au Mali // 2018. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.historique-meteo.net/afrique/mali/2018/> (дата обращения: 28.03.2021).

Статья поступила в редакцию 17.06.2021; одобрена после рецензирования 25.07.2021; принята к публикации 02.08.2021.

The article was submitted 17.06.2021; approved after reviewing 25.07.2021; accepted for publication 02.08.2021.

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-49-57>**Anthropogenic transformation of forest ecosystems
by geochemical and photosynthetic parameters****Dmitrii N. Andreev¹, Sergei A. Buzmakov²**^{1,2}Perm State University, Perm, Russia¹adn87@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1115-9557>²buzmakov2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5144-0714>

Abstract. Geochemical and physiological indices gained at the background area and at the area under anthropogenic impact were compared. The study sites comprise 30 sample areas each. Overall, 600 samples of pine needles were designated for the delayed chlorophyll fluorescence measurement as well as 60 samples of soil and pine needle correspondingly were selected to perform the geochemical analysis. The biological uptake of the pine urban ecosystems is represented in the range: Mn (10,16) > P (7,19) > Ag (2,78) > Ba (2,76) > Cu (2,31) > Sr (1,85) > Ni (1,80) > Zn (1,75) > Pb (0,86) > Co (0,48) > Cr (0,40) > Zr (0,37) > V (0,36) > Ga (0,33) > Ti (0,21). In comparison with the background site data the biological uptake is increased in regard to V, Ti, Ni, Cu, Cr. The methodology implies the method of recording the relative index of delayed fluorescence with the help of fluorimeter “Photon 10”. The data accumulated in the course of the geochemical analysis allowed to distinguish common geochemical features of the study sites and revealed differences in soil and needle qualities. The value of relative index of delayed fluorescence (RIDF) under the impact of considerable anthropogenic impact is lower by 25% and more related to the background site. This deviation testifies that the human impact is present even on the early stage of ecosystem degradation.

Key words: forest ecosystems, anthropogenic influence, delayed fluorescence, geochemical indices, stage of degradation

For citation: Andreev, D., Buzmakov, S., 2021. Anthropogenic transformation of forest ecosystems by geochemical and photosynthetic parameters. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2). pp. 49–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-49-57>

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 577.355

**Антропогенная трансформация лесных экосистем
по геохимическим и фотосинтетическим параметрам****Дмитрий Николаевич Андреев¹, Сергей Алексеевич Бузмаков²**^{1,2}Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия¹adn87@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1115-9557>²buzmakov2012@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5144-0714>

Аннотация. Сравнивались геохимические и физиологические показатели, полученные на фоновой территории и на территории, подвергающейся антропогенной нагрузке. Исследуемые участки состоят из 30 пробных площадок каждый. В целом, для измерения флуоресценции замедленного хлорофилла было отобрано 600 образцов сосновой хвои, а также 60 образцов почвы и сосновой хвои соответственно для проведения геохимического анализа. Биологическое поглощение ресурсов городских экосистем представлено в ряде: Mn (10,16) > P (7,19) > Ag (2,78) > Ba (2,76) > Cu (2,31) > Sr (1,85) > Ni (1,80) > Zn (1,75) > Pb (0,86) > Co (0,48) > Cr (0,40) > Zr (0,37) > V (0,36) > Ga (0,33) > Ti (0,21). По сравнению с данными фонового участка биологическое поглощение увеличивается в отношении V, Ti, Ni, Cu, Cr. Методика подразумевает метод регистрации относительного показателя замедленной флуоресценции с помощью флуориметра “Photon 10”. Данные, накопленные в ходе геохимического анализа, позволили выделить общие геохимические особенности исследуемых участков и выявить различия в качестве почвы и хвои. Значение относительного индекса замедленной флуоресценции (RIDF) под воздействием значительного антропогенного воздействия ниже на 25% и более по отношению к фоновому участку. Это отклонение свидетельствует о том, что антропогенное воздействие присутствует даже на ранней стадии деградации экосистем.

Ключевые слова: лесные экосистемы, антропогенное воздействие, замедленная флуоресценция, геохимические показатели, стадия деградации

Для цитирования: Андреев Д. Н., Бузмаков С. А. Антропогенная трансформация лесных экосистем по геохимическим и фотосинтетическим параметрам // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. №2. С. 49–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-49-57>

Introduction

Nowadays the anthropogenic impact on the environment has reached its critical level due to the highly developed industrial production. Large quantities of pollutants are emitted into the urban air basins on a daily basis and their cumulative effect is hard to forecast and inhibit. The qualitative characteristics of the atmospheric air exert a direct influence on health and reproductive potential of the population, expenses for healthcare, etc.

Ecosystems degraded as a result of anthropogenic activity represent an urgent issue which is especially aggravated in urban areas exposed to integrated environmental effects [9]. Atmosphere contamination is caused by transport and plants/factories emissions, which are regarded as the major factors of modern anthropogenic transformation affecting urban forest ecosystems [16,]. Anthropogenic impact results in the alteration of the initial geochemical system [12]. It is known that technogenesis leads to gradual changes of average concentrations of elements in soil. The ecological situation of ecosystems is adequately estimated on the basis of geochemical features of soil and vegetation condition [1].

The major indicator of sustainable development is eventually the quality of the habitat. Environmental quality indices are specified by a wide range of ecological indicators, the majority of which are represented by biological ones [10; 13].

Bioindication is a detection and determination of ecologically significant natural and anthropogenic impacts in terms of the reactions to them of living forms in their immediate habitat. Biological indicators possess the features, proper for a system or a process, on the basis of which such issues as qualitative or quantitative assessment of trends, determination or evaluative classification of ecological systems conditions, processes and events are accomplished [8].

Accumulation and circulation of pollutants in various land ecosystems differ enormously due to the fact that contaminating elements act differently in various environmental conditions. Ecological monitoring should be held separately for every ecosystem (forest), for every element and type of an indicator plant [6]. Ecosystems of pine forests can serve as an example since. The *Pinus sylvestris* intercepts the major portion of atmospheric trace elements in forest ecosystems of the north hemisphere [24]. Special methods of sampling were elaborated for the *Pinus sylvestris* and other species and considerable data were received concerning the concentration of chemical elements in their needle [7; 17; 18].

At present there is a variety of methods for the indication of anthropogenic transformation of environment; however, the majority of them are unable to detect early stress responses of an ecosystem [14]. The most significant information is about the impact of chemical elements concentration in the ecosystem on biological objects [20].

Methods aimed at measuring parameters of photosynthetic apparatus of plants have been extensively exploited

in ecological studies [22]. One of these methods implies detecting different parameters of chlorophyll fluorescence in a variety of plants (chloroplasts, water plants, needle and leaves of plants, lichens) [4; 21].

Materials and methods

Geochemical and physiological indices gained at the background area (protected area (PA) “Osinskaya lesnaya dacha”) as well as the area under anthropogenic impact (PA “Chernyaevsky les”) were compared.

Protected area “Chernyaevsky les” (685,97 ha area) represents a forest area of local significance which is situated near the centre of the city Perm and surrounded by residential areas. Protected area of regional relevance “Osinskaya lesnaya dacha” (12 168 ha area) situated as far as almost 100 km to the south-west of Perm city was chosen as a background study site.

Pine types of forest located in the study sites and belonging to the green moss group were preliminarily selected for the experiment, further they were field-specified. The study sites comprise 30 sample areas (then – SA) each. Overall, 600 samples of pine needle were designated for the delayed chlorophyll fluorescence measurement as well as 60 samples of soil and pine needle correspondingly were selected to perform the geochemical analysis.

The geochemical sampling of soil and pine needle was accomplished according to the standard practice and environmental regulations [2,19].

Soil was sampled according to the method of “envelope” by mixing increment samples into a composite sample. The samples were extracted at the depth of 0–20 cm (excluding forest litter) whereas the weight of a composite sample amounted to not less than 1 kilogram. Sampling was performed with auger Edelman. Needle samples were gathered from the south facing *Pinus sylvestris* undergrowth at the height of 1.3 m subsequently, and then they were mixed. The selected branches were freed from year-long needle.

The soil samples were dried and representative extracts were selected for the analysis. The portions underwent sifting through a soil sieve (1,0 mm) followed by grinding in an agate mortar. Biogeochemical sample points such as needle and wood cores were dried and then combusted in a laboratory.

The prepared samples were put into a special laboratory for the measurement of their microelements concentration. The atomic absorption analysis was conducted with the diffraction spectrograph STE-1 using the method of evaporation from the crater. Every sample was scrutinized for the concentration of 34 chemical elements: Ni, Co, Cr, Mn, V, Ti, Sc, P, Ge, Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb, Bi, Mo, Ba, Sr, W, Sn, Be, Zr, Ga, Y, Yb, Nb, Li, Tl, Ce, Ta, In, Au, Hg.

All manipulations with the compiled data were done in Microsoft Excel office software. For the elements with the concentration exceeding 70 % the partition law was determined, background and anomalous content values as

well as sampling variance and average quadratic deviation which serve to measure dispersion related to the average concentration value were performed in every representative extract.

The results of the analysis allowed to determine the following indicators: indicator of a chemical element concentration [15], cumulative indicator of contamination (Zc) [19], indicators of absolute (IAA) and relative accumulation (IRA) and indicator of biological uptake [2].

During the investigations of soils in the study area of 1 km² the difference was determined between the background content before the start of these processes and after their completion: $IAA = C1 - C2$. If after the end of the processes the content decreased (i.e. the loss of elements occurred), the IAA value was negative [2].

The determination of the average density of soils allowed to assume after accounts that the increase (decrease) in the concentration of chemical elements in soils by an amount equal to $1 \cdot 10^{-3} \%$, within the upper 30 cm layer corresponds to an increase (decrease) of their weight by 6 tons on an area of 1 km².

IRA value was estimated the following way [2]:

$$IRA = IAA / C1$$

The research in question applies the method of recording the relative index of delayed fluorescence

(RIDF). The phenomenon of delayed fluorescence is characterized by a light excitation in photosynthesizing cells followed by a subtle and continuously fading emittance produced by chlorophyll [22]. This emittance results from the elimination of the quick fluorescence due to the energy released during light-independent reactions of initial photosynthetic products in reactive centers [14].

Among the forest forming species, *Pinus sylvestris* is one of the most widely spread indicator species [15]. *Pinus sylvestris* is distinctive of high sensitivity to increased concentrations of toxic substances in environment.

The methodology of identifying the level of environmental pollution according to photosynthetic indices of vegetation on the basis of pine ecosystem surveys was developed by the Department of biogeocenology and environmental protection in Perm State University [14]. This methodology allows to perform researches aimed at determination of physiological conditions of vegetation in differently polluted areas of atmospheric air.

The methodology implies the method of recording the relative index of delayed fluorescence with the help of fluorimeter "Photon 10" (fig. 1 / рис. 1). The measurement of a sample's emittance is designed for two previously set light and time regimes, conventionally named as «high light mode» and «low light mode» [14].

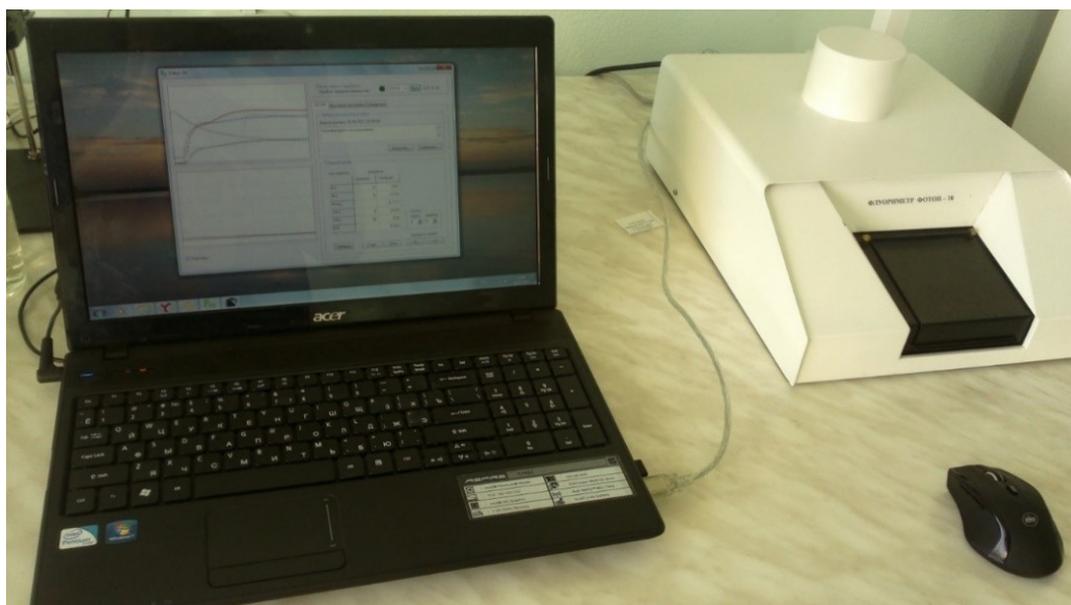


Fig. 1. Fluorimeter «Photon 10»

Рис. 1. Флуориметр «Фотон 10»

The methodology in question consists of the following units:

- The specifics of sample selection for analysis.
- The specifics of sample analysis with the help of "Photon 10".
- "Photon 10" adjustment when dealing with pine needle.
- Interpretation of measurement results.

The rate of photosynthesis is correlated with a plenty of different natural factors such as temperature and air humidity, time of day and others [23]. Consequently, for further objective interpretation of data, received with the help of fluorimeter "Photon 10" in 2011, studies are de-

signed for the elaboration of the bioindication concept of air pollution. Indices of chlorophyll fluorescence of pine needle foliage were recorded at the identical study sites; however, a different methodology of sample selection was conducted. Beyond that it is recommended to perform 24-hour measurement with the interval of 1 hour.

Results and discussion

The data accumulated in the course of the geochemical analysis allowed to distinguish common geochemical features of the study sites (table 1 / таблица 1; fig. 2, 3 / рис. 2, 3). Concentration of Zn, Cu, P, Co in the soil nearly doubles the Clarke number characteristic for the

world soils [25]. Concentration of Ni within the Clarke number is indistinctive for the soils with light mechanical composition. Relatively low concentration was detected for a number of elements such as Ti, Cr, Sc, Zr, Ba, Ga,

Sr, Y and Sn. Ga and Mn concentrations exceed the Clarke number [11] in the pine needle. Low concentrations of such elements as V, Cr, Ba, Ti, Pb, Co, Zn, Cu [3] were identified.

Table 1

Concentrations of microelements in pine forest ecosystems

Таблица 1

Содержание микроэлементов в сосновых экосистемах

Территория // Study area	Содержание микроэлементов, мг/кг // Concentrations of microelements, mg/kg												
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	P	Cu	Zn	Pb	Ag	Ba	Zr
Почва // Soil													
Черняевский лес // Chernyaevsky les	41,6	14,0	122	1010	120	3725	1417	45,5	133	30,7	0,16	218	132
Погрешность // Error	4,1	0,7	8	79	4	123	107	2,8	10	3,4	0,02	15	7
Осинская лесная дача // Osinskaya lesnaya dacha	46,6	13,3	91	818	112	2629	1568	38,4	105	16,5	0,08	119	69
Погрешность // Error	1,1	0,3	3	44	4	116	72	1,5	4	0,6	0,001	5	4
Кларк // Clarke [25]	40	8	200	850	100	4600	800	20	50	10	–	500	300
Фон подзолистой зоны // Background of podzolic zone [1]	32,2	8,4	180	715	63,5	4045	400	15,3	41,3	11,5	0,1	–	–
Хвоя // Needle													
Черняевский лес // Chernyaevsky les	1,9	0,2	1,2	266	1,1	20,2	264	2,7	6,0	0,7	0,01	15,6	1,3
Погрешность // Error	0,1	0,02	0,8	13	0,1	3,3	8	0,3	0,5	0,07	0,001	1,1	0,1
Осинская лесная дача // Osinskaya lesnaya dacha	1,4	0,1	0,6	257	0,6	7,9	254	1,5	6,8	0,6	0,01	13,0	1,0
Погрешность // Error	0,1	0,01	0,4	7	0,1	0,9	8	0,1	0,7	0,07	0,001	1,2	0,05
Кларк // Clarke [11]	2	0,5	1,8	205	1,5	32,5	-	8	30	1,25	0,6	22,5	7,5

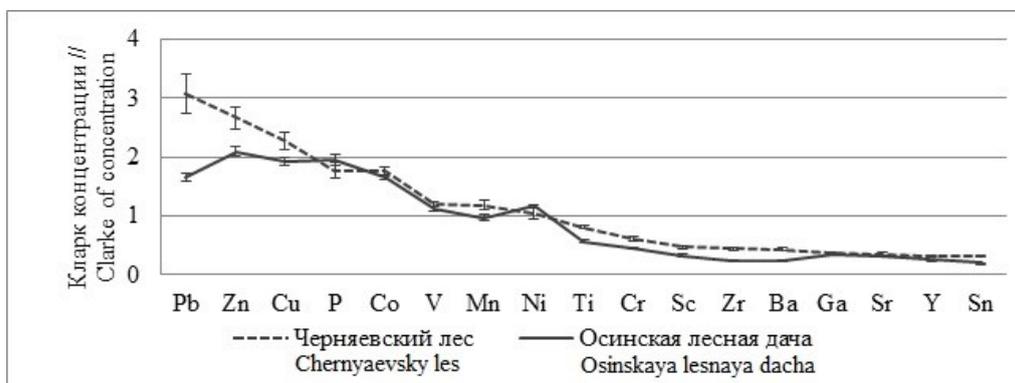
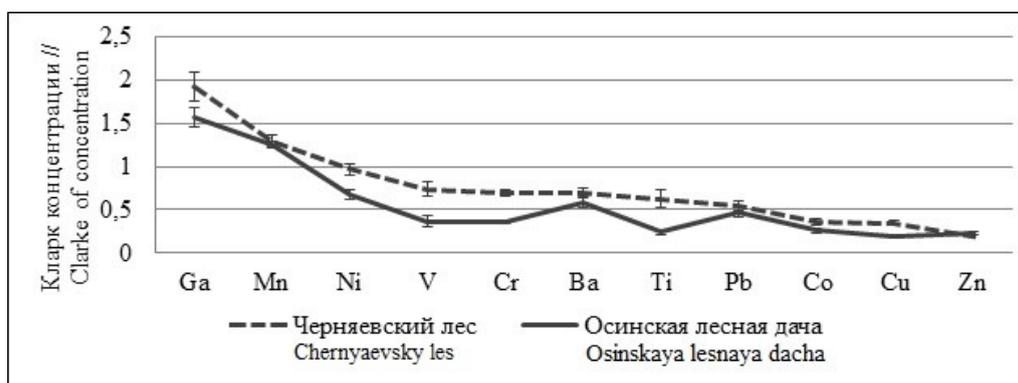


Fig. 2. Clarke numbers of microelements in soil

Рис. 2. Кларки концентраций элементов в почве

Fig. 3. Clarke numbers of microelements in needle of *Pinus sylvestris*Рис. 3. Кларки концентраций элементов в хвое *Pinus sylvestris*

The results obtained through the geochemical studies revealed differences in soil and needle qualities in “Chernyaevsky les” and “Osinskaya lesnaya dacha”. Soils of light mechanical composition in “Chernyaevsky les” contain an increased concentration of some microelements. The most considerable discrepancies are found in concentrations of Pb, Ag, Zr, Ba, Sn, Sc, Ti, Cr, Zn.

Great accumulations of Ti, V, Cr, Cu, Ni, Co, Zr, Ga were established in the pine needle in “Chernyaevsky les” related to the contents determined in the background study site.

The cumulative estimation of the soil contamination [19] in “Chernyaevsky les” revealed a dangerous level of pollution at two sample areas and a relatively dangerous

level at eight areas (fig. 4 / рис. 4). By contrast, the level of soil contamination determined at all the sample areas in background study site “Osinskaya lesnaya dacha” is considered permissible.

The measurements of IAA, IRA and the indicator of biological uptake [2] were conducted to determine the geochemical properties of the study sites.

By contrast with the background study site, the soils in “Chernyaevsky les” are characterized by significantly higher contents of such elements as Ti (650 t/km²), Mn (115 t/km²), Cr (18 t/km²), Zn (17 t/km²). However, with the consideration of the background content Pb and Ag accumulations are more crucial (table 2 / таблица 2).

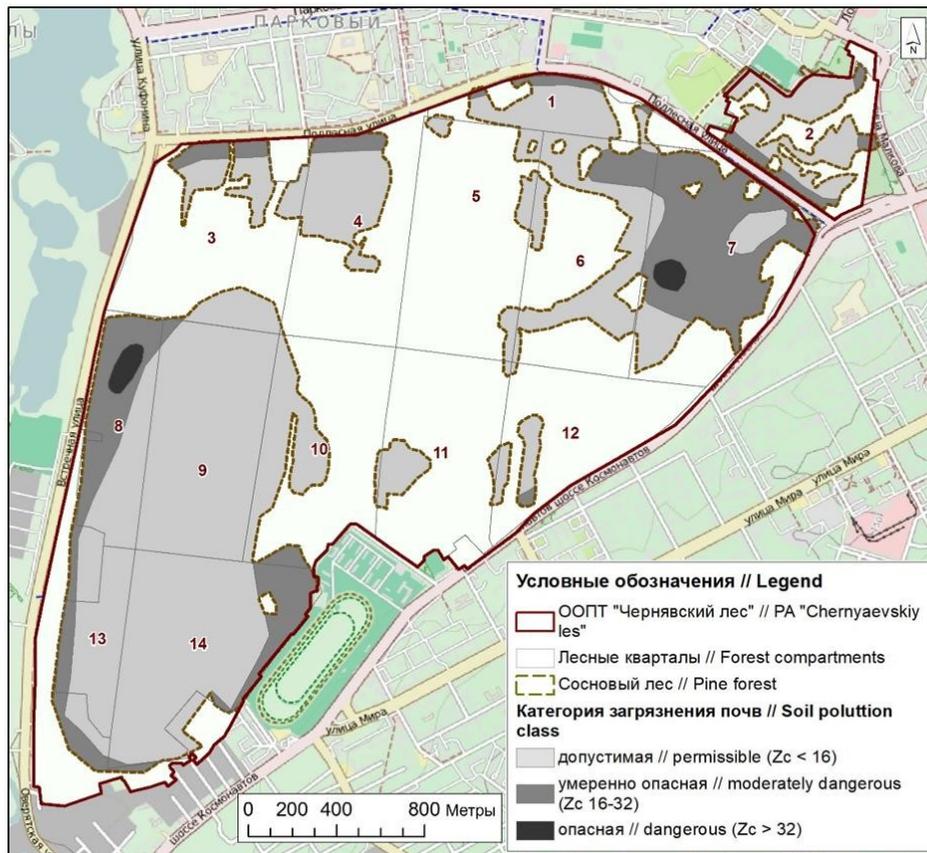


Fig. 4. Cumulative estimation of soil contamination in “Chernyaevsky les”

Рис. 4. Суммарный показатель загрязнения почв Черняевского леса

Table 2

Accumulation of microelements in soils of Chernyaevsky les

Таблица 2

Накопление микроэлементов в почвах Черняевского леса

Элемент // Element	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb	Ag	Sr	Sn
Показатель абсолютного накопления ПАН (т/км ²) // Indicator of absolute accumulation IAA (t/km ²)	18,2	114,7	4,9	657,8	4,2	17,2	8,5	0,05	8,8	0,6
Показатель относительного накопления ПОН // Indicator of relative accumulation IRA (t/km ²)	0,20	0,14	0,04	0,25	0,11	0,16	0,52	0,60	0,09	0,32

The biological uptake distinctive of the pine ecosystems in “Chernyaevsky les” is in the range: Mn (10,16) > P (7,19) > Ag (2,78) > Ba (2,76) > Cu (2,31) > Sr (1,85) > Ni (1,80) > Zn (1,75) > Pb (0,86) > Co (0,48) > Cr (0,40) > Zr (0,37) > V (0,36) > Ga (0,33) > Ti (0,21).

Rows of these elements for the pine ecosystems of “Osinskaya lesnaya dacha” are as follows: Mn (12,11) > P (6,24) > Ag (4,82) > Ba (4,21) > Sr (3,78) > Zn (2,52) > Cu (1,49) > Pb (1,37) > Ni (1,12) > Zr (0,56) > Co (0,37) > Ga (0,29) > Cr (0,27) > V (0,19) > Ti (0,12).

The analysis of biological uptake rows allowed to reveal the substantial absorption of Mn, P, Ag, Ba, Cu, Sr, Zn, Ni by pine needle in both study sites.

The other elements are only seized as incoming elements are fixated and are able to be kept in soils thus blocking the way to plants. Also, concentrations of heavy metals in soil can be caused by protective mechanisms which monitor their appearance into an organism.

The index of biological uptake is increased with regard to V, Ti, Ni, Cu, Cr in "Chernyaevsky les". It testifies that needle possesses high concentrations of these elements related to soil. The index of biological uptake is increased regarding Sr, Ag, Pb, Ba, Zn in "Osinskaya lesnaya dacha". It can be primarily explained by lower concentrations of these elements in the soil of the background study site related to "Chernyaevsky les".

Anthropogenic impact is observed in high concentrations of microelements in soil and in assimilation organs of vegetation in terms of geochemical influence. In pine ecosystems human activity leads to Pb and Zn accumulations in soil more than two times exceeding the Clarke number. Considerable impact exerted by anthropogenic

factor can be extrapolated from the high concentrations of Cu, Mn, Ba, Sn, Zr and Ag.

Anthropogenic impact results in the remarkable increase of Ni, Cr, V, Ti, Cu and Ga concentrations in the needle of *Pinus sylvestris*.

The performed experiments allowed to reveal that such factors as temperature and water humidity (fig. 5 / рис. 5), dark and water regimes of sampling, sampling point on a shoot, needle age as well as the phase of physiological activity are of importance.

During the daytime photosynthetic activity decay occurring at hot and dry weather RIDF is lowered to 2 and to 4 at the modelling sites in "Chernyaevsky les" and "Osinskaya lesnaya dacha" correspondingly. Morning and evening times are distinctive of some differences. At low temperatures and high humidity considerable variations are observed from 10 a.m. to 3 p.m.

Diurnal fluctuations of the chlorophyll fluorescence at study site "Osinskaya lesnaya dacha" are regarded as background data when assessing photosynthetic activity of assimilation organs at study areas of both PA (table 3 / таблица 3).



Fig. 5 Diurnal fluctuations of the delayed fluorescence relative index at different weather conditions

Рис. 5. Дневное изменение относительного показателя флуоресценции хлорофилла при разных погодных условиях

Table 3

Values of relative index of chlorophyll fluorescence, background site shares

Таблица 3

Значения относительного показателя флуоресценции хлорофилла, доли фона

Черняевский лес // Chernyaevsky les						Осинская лесная дача // Osinskaya lesnaya dacha					
№ ПП // № SA	ОПЗФ // RIDF	№ ПП // № SA	ОПЗФ // RIDF	№ ПП // № SA	ОПЗФ // RIDF	№ ПП // № SA	ОПЗФ // RIDF	№ ПП // № SA	ОПЗФ // RIDF	№ ПП // № SA	ОПЗФ // RIDF
1	0,90	11	1,03	21	0,77	1	1,19	11	1,15	21	0,85
2	0,94	12	1,02	22	0,98	2	1,35	12	1,12	22	0,83
3	0,60	13	0,63	23	0,76	3	1,25	13	0,93	23	0,54
4	0,65	14	0,74	24	0,92	4	1,30	14	0,89	24	1,00
5	0,59	15	0,52	25	0,89	5	0,98	15	0,98	25	0,89
6	0,44	16	0,76	26	0,82	6	1,20	16	0,97	26	0,72
7	0,57	17	0,79	27	0,84	7	0,97	17	0,48	27	0,87
8	0,57	18	0,66	28	0,89	8	1,02	18	0,49	28	0,80
9	0,64	19	0,75	29	0,64	9	0,91	19	0,63	29	0,86
10	0,92	20	0,70	30	0,61	10	0,82	20	0,69	30	0,78
Среднее ОПЗФ // Average RIDF				0,75 ± 0,3		Среднее ОПЗФ // Average RIDF				0,92 ± 0,4	

On average the value of RIDF at study areas in “Osinskaya lesnaya dacha” is lower by 8% ($\pm 4\%$) from the background site. On average the value of RIDF at study areas in “Chernyaevsky les” is lower by 25% ($\pm 3\%$) from the background site.

The value of RIDF under the impact of considerable anthropogenic impact is lower by 25 % and more related to the background site. This deviation testifies that the human impact is present even on the early stage of ecosystem degradation.

The delayed chlorophyll fluorescence is substantially decreased when assimilation organs of *Pinus sylvestris* undergo anthropogenic influence.

Conclusions

1. The developed methodology according to geochemical and physiological indices was applied in order to estimate the forest ecosystems conditions under the influence of anthropogenic impact. Comparative analysis of the background site and the urbanly exposed forest ecosystem elucidated the effects of geochemical and physiological changes in the *Pinus sylvestris*.

2. Increased concentrations of Pb, Ag, Zr, Ba, Sn, Sc, Ti, Cr, Zn lead to the appearance of technogenic geochemical fields in sand soils of urban forest ecosystems. *Pinus sylvestris* needle comprises remarkable amounts of Ti, V, Cr, Cu, Ni.

3. The background site is distinctive of the permissible level of pollution. The cumulative index of soil contamination demonstrates dangerous and relatively dangerous levels of pollution in the urban areas.

4. The measurement of IAA revealed the highest accumulations of such elements as Ti, Mn, Cr, Zn. However, with the consideration of the background content Pb and Ag accumulations are more crucial. Thus, IRA correlates with values of concentration index and gives additional data about soil pollution.

5. The biological uptake of the pine urban ecosystems is represented in the range: Mn (10,16) > P (7,19) > Ag (2,78) > Ba (2,76) > Cu (2,31) > Sr (1,85) > Ni (1,80) > Zn (1,75) > Pb (0,86) > Co (0,48) > Cr (0,40) > Zr (0,37) > V (0,36) > Ga (0,33) > Ti (0,21). In comparison with the background site data the biological uptake is increased in regard to V, Ti, Ni, Cu, Cr.

6. The value of RIDF under the impact of considerable anthropogenic impact is lower by 25% and more related to the background site. This deviation testifies that the human impact is present even on the early stage of ecosystem degradation (at the absence of morphological discrepancies).

7. The increased anthropogenic impact as a result of urbanization changes the quality of environment. Pine ecosystems are adversely affected. At an early stage of degradation such processes as accumulation of some elements in soil and needle in *Pinus sylvestris*, decreases in photosynthesis rate and productivity of woody plants occur.

Contribution of the authors:

D. N. Andreev – field work, desk data processing, preparation of the primary version of the manuscript, proofreading and correction of the final version of the publication.

S. A. Buzmakov – formulation of the general idea of the study; partial preparation of sections (Results, Discussion, Conclusions), proofreading and correction of the final version of the publication.

Сведения об авторском вкладе:

Д. Н. Андреев – полевые работы, камеральная обработка данных, подготовка первичного варианта рукописи, вычитка и корректировка финального варианта публикации.

С. А. Бузмаков – разработка общей идеи исследования; частичная подготовка разделов (Результаты, Обсуждение, Выводы), вычитка и корректировка финального варианта публикации.

References

- Alekseenko, V., Buzmakov, S., Panin, M., 2013. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of environment]. Perm, Perm State National Research University. 359 p. (in Russian)
- Alekseenko, V., Suvorinov, A. and Vlasova, E., 2008. *Metally okruzhayushchei sredy. Lesnye landshafty Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Metals in the environment. Forest landscapes of the North-West Caucasus]. Moscow, University book. 264 p. (in Russian)
- Andreev, D., 2012. Ecogeokhimicheskaya indikatsiya antropogennoi transformatsii osnovnykh ekosistem [Ecogeochemical indication of anthropogenic transformation of pine ecosystems]. *Russian journal of Earth Sciences*. 10 (10), pp. 44–49 (in Russian)
- Andreev, D., 2013. Bioindikatsiya zagryazneniya vozdukhnoi sredy po zamedlennoi fluorestsentsii khlorofilla sosny obyknovЕННОй [Bioindication of air pollution by delayed fluorescence of chlorophyll of Scots pine]. *Esstestvennyye nauki*. 4(45), pp. 48–52 (in Russian)
- Angehrn-Bettinazzi, C., Thoni, L. and Hertz, J., 1989. Popytka otsenit' nekotorye factory, vliyaushchie na nakoplenie tyazhelykh metallov v drevostoe [An attempt to evaluate some factors affecting the heavy metal accumulation in a forest stand. International]. *Zhurnal analiticheskoi khimii okruzhayushchei sredy*. (35), pp. 69–79.
- Bergvist, B., Folkesson, L. and Berggren, D., 1989. Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 47, pp. 217–286.
- Berthelsen, B., Steinnes, E. and Solberg, W., 1995. Heavy metal concentrations in plants in relation to atmospheric heavy metal deposition. *Journal of Environmental Quality*, (24), pp. 1018–1026.
- Melehova, O., Sarapul'tseva, E., 2010. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchei sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie* [Biological control of the environment: Bioindication and bioassay]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 288 p. (in Russian)
- Buzmakov, S., 2012. Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy [Anthropogenic transformation of environment]. *Geograficheskii vestnik*. 4(32), pp. 46–50. (in Russian)
- Buzmakov, S., Ovesnov, S., Shepel, A., Zaytsev, A., 2011. Metodicheskie ukazaniya: «ekologicheskaya otsenka sostoyaniya prirodnoi sredy osobo ohranyaemykh prirodnih territorii regional'nogo znacheniya» [Methodical instructions «Environmental assessment of protected

arias of regional importance»]. *Geograficheskiy vestnik.* (2), pp. 49–59. (in Russian)

11. Dobrovolsky, V., 2003. *Osnovy v biogeohimii [Introduction to biogeochemistry]*. Moscow, Publ. centre «Academia». 400 p. (in Russian)

12. Dziuba, E., Buzmakov, S. and Sivkov, D., 2021. Certificate of state registration of the database No. 2021620099 Russian Federation. Geoinformation database of geochemical properties of soils in the Perm Territory from 19.01.2021. Applicant: Perm State National Research University.

13. Gatina, E., 2009. Antropogennaya transformatsiya botanicheskogo raznoobraziya na territorii Permskogo kraja [Anthropogenic transformation of botanical diversity in the Perm region]. *Problemy regional'noy ekologii.* (5), pp. 160–165. (in Russian)

14. Grigor'ev, Yu., Andreev, D., 2012. K voprosu o metodike registratsii zamedlennoy fluorestsentsii hlorofilla pri bioindikatsii zagryazneniya vozduшной sredy na hvoynykh [About the technique of registration of the chlorophyll delayed fluorescence at bioindication of the air pollution on coniferous]. *Estestvennye nauki.* 2(39), pp. 36–39. (in Russian)

15. Grigor'ev, Yu., 2005. Fluorestsentsiya hlorofilla v bioindikatsii zagryazneniya vozduшной sredy [Chlorophyll fluorescence in biological indication of air pollution]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti (MANEB).* 10(4), pp. 77–91. (in Russian)

16. Khaustova, A., Redina, M., 2021. Assessment of the pyrogenic pollution of the soil-plant system on the base of geochemical markers for a local model of transport pressure. *Anthropogenic Transformation of Nature.* 7(1), pp. 65–86. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-65-86> (in Russian)

17. Lichtenthaler, H., Rinderle, U., 1980. Rol' fluorestsentsii hlorofilla v vyavlenii stressovykh sostoyanii u rastenii [The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants]. *C R C Critical Reviews in Analytical Chemistry,* (19), pp. 529–585.

18. Markert, B., 1990. Multi-element analysis in a forest ecosystem. Variations in chemical composition of trees and ground flora. *Angewandte Botanik.* (64), pp. 19–36.

19. Methodical recommendations: MU 2.1.7.730-99. Hygienic assessment of soil quality in residential areas, 1999. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852> (in Russian)

20. Pakharkova, N., Kalyakina, O., Shubin, A. and Grigoriev, Y. 2009. Fluorescent methods of assessment of winter dormancy conifers from city ecosystems with different levels of air pollution. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry,* 2(4), pp. 359–367. (in Russian)

21. Rubin, A., 2000. Biofizicheskie metody v ekologicheskom monitoringe [Biophysical methods in environmental monitoring]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal.* (4), pp. 7–13. (in Russian)

22. Shubert, R., 1982. Vozmozhnosti primeneniya rastitel'nykh indikatorov v biologo-tehnicheskoy sisteme

kontrolya okruzhayuschei prirodnoy sredy [Possible applications of plant bio-indicators in the technical system monitoring the environment]. *Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoy sredy.* (1), pp. 104–111. (in Russian)

23. Suvorova, G., 2008. *Fotosintez khvoynykh derev'ev v usloviyakh Sibiri* [Photosynthesis of needle foliage trees in Siberia]. Nauka, Novosibirsk. 222 p. (in Russian)

24. Vilkkka, L., Aula, I. and Nuorteva, P., 1990. Comparison of the levels of some metals in roots and needles of *Pinus sylvestris* in urban and rural environments at two times in the growing season. *Annales Botanici Fennici,* (27), pp. 53–57.

25. Vinogradov, A., 1957. Geokhimiya redkih i rasseyannykh rhimicheskikh elementov v pochvah [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils]. Moscow, AS USSR. 279 p. (in Russian)

Список источников

1. Алексеев В.А., Бuzмаков С.А., Панин М.С. Геохимия окружающей среды. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2013. 359 с.

2. Алексеев В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа. М.: Университетская книга, 2008. 264 с.

3. Андреев Д.Н. Экогеохимическая индикация антропогенной трансформации сосновых экосистем // *Russian journal of Earth Sciences,* 2012. № 10 (10), С. 44–49.

4. Андреев Д.Н. Биоиндикация загрязнения воздушной среды по замедленной флуоресценции хлорофилла сосны обыкновенной // *Естественные науки.* 2013. № 4(45). С. 48–52.

5. Angehrn-Bettinazzi C., Thoni L., Hertz J. An attempt to evaluate some factors affecting the heavy metal accumulation in a forest stand // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry.* 1989. № 35. P. 69–79.

6. Bergvist B., Folkesson L., Berggren D. Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems. A literature review // *Water, Air, & Soil Pollution.* 1989. № 47. P. 217–286.

7. Berthelsen B., Steinnes E., Solberg W. Heavy metal concentrations in plants in relation to atmospheric heavy metal deposition // *Journal of Environmental Quality.* 1995. № 24. P. 1018–1026.

8. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений / под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Сарапульцевой. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.

9. Бuzмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // *Географический вестник.* 2012. № 4(23). С. 46–50.

10. Бuzмаков С.А., Овёснов С.А., Шепель А.И., Зайцев А.А. Методические указания: «Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных тер-

риторий регионального значения» // Географический вестник. 2011. Вып.2. С. 49–59.

11. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издат. центр «Академия», 2003. 400 с.

12. Дзюба Е.А., Бузмаков С.А., Сивков Д.Е. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620099 Российская Федерация. Геоинформационная база данных геохимических свойств почв на территории Пермского края от 19.01.2021. Заявитель: Пермский государственный национальный исследовательский университет.

13. Гатина Е.Л. Антропогенная трансформация ботанического разнообразия на территории Пермского края // Проблемы региональной экологии. 2009. № 5. С. 160–165.

14. Григорьев Ю.С., Андреев Д.Н. К вопросу о методике регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла при биоиндикации загрязнения воздушной среды на хвойных // Естественные науки. 2012. № 2. С. 36–39.

15. Григорьев Ю.С. Флуоресценция хлорофилла в биоиндикации загрязнения воздушной среды // Вестник Междунар. академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), 2005. Т. 10, №4. С. 77–91.

16. Хаустов А.П., Редина М.М. Оценка пирогенного загрязнения почвенно-растительной системы на основе геохимических маркеров для локальной модели транспортной нагрузки // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 65–86. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-1-65-86>

17. Lichtenthaler H.K., Rinderle U. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions

in plants // C R C Critical Reviews in Analytical Chemistry, 1980. Iss. 19. P. 529–585.

18. Markert B. Multi-element analysis in a forest ecosystem. Variations in chemical composition of trees and ground flora // Angewandte Botanik. 1990. Iss. 64. P. 19–36.

19. Методические указания: МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест, 1999 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852>

20. Пахарькова Н.В., Калякина О.П., Шубин А.А., Григорьев Ю.С. Флуоресцентная диагностика зимнего покоя хвойных в урбоэкосистемах с различным уровнем загрязнения воздушной среды // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2009. Т. 2. № 4. С. 359–367.

21. Рубин А.Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. 2000. №4. С. 7–13.

22. Шуберт Р. Возможности применения растительных индикаторов в биолого-технической системе контроля окружающей природной среды // Проблемы фоновый мониторинга состояния природной среды. 1982. № 1. С. 104–111.

23. Суворова Г.Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: Наука, 2008. С. 222.

24. Vilkkä L., Aula I., Nuorteva P. Comparison of the levels of some metals in roots and needles of *Pinus sylvestris* in urban and rural environments at two times in the growing season // Annales Botanici Fennici, 1990. Iss. 27. P. 53–57.

25. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 279 с.

Статья поступила в редакцию 18.10.2021; одобрена после рецензирования 04.11.2021; принята к публикации 10.11.2021.

The article was submitted 18.10.2021; approved after reviewing 04.11.2021; accepted for publication 10.11.2021.

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.055

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-58-74>

**Оценка влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris*
(Озёрное месторождение нефти, Пермский край, Россия)**

Алёна Степановна Порозова¹, Павел Юрьевич Санников²

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

¹ porozova_alena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7889-4679>

² sol1430@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7973-301X>

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris*. Исследование проведено на Озёрном нефтяном месторождении Красновишерского района Пермского края (Россия). Основным методом исследования – дендрохронологический анализ. Древесные керны сосны обыкновенной отобраны летом 2020 г. при помощи бурава Пресслера по стандартной методике. Керны отобраны с двух площадок: основной (в 100 м от факела) и фоновой (в 11 км от факела) площадок. Подсчет и измерение ширины радиального прироста проведены на установке для измерения годовичных колец LINTAB 6. Для обеих площадок получены размерные показатели прироста древесины. Среднее значение прироста древесины на основной площадке 1,426 мм/год; на фоновой площадке – 1,808 мм/год. Для основной площадки относительное снижение значений среднего прироста за 20 лет до и после начала работы факела в 1,45 раз выше, чем на фоновой площадке. В течение 20 лет с начала сжигания попутного газа радиальный прирост планомерно снижается на обеих площадках, но темпы снижения в 1,52–1,67 раза выше вблизи сжигания газа. Тренды [4,8] на восстановление, увеличение значений прироста, спустя 10–20 лет после начала работы факела, не выявлено. Таким образом, отмечено выраженное негативное влияние сжигания попутного газа на радиальный прирост деревьев на прилегающих участках. Максимальные значения прироста на основной площадке наблюдались для возраста древостоя 0–55 лет, что не подтверждает наблюдений [7,37] о наиболее интенсивном периоде роста *Pinus sylvestris* до 30–35 лет. Выявленные [37] высокие уровни химического и пылевого загрязнения атмосферы, снижающие прирост древесины, вероятно, не могут быть достигнуты за счет деятельности одиночного факела. Положительное (удобряющее) влияние выбросов соединений Са, К, Na, Mg, Mn [29,30] также не отмечено. Основным негативным фактором, для площадки вблизи факела, следует считать термический. Изучение пространственных, климатических аспектов, а также влияния объема, интенсивности сжигания газа на состояние древостоя составляет перспективные направления развития настоящего исследования.

Ключевые слова: дендрохронология, скорость прироста древесины, добыча нефти, факел сжигания попутного газа, техногенное воздействие, термическое воздействие

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-45-596018). За возможность использования лесотаксационных данных по Нижне-Язьвинскому и Верхне-Язьвинскому участковым лесничествам Красновишерского лесничества авторы благодарны заместителю директора по лесным вопросам ООО «МИП ЦКТИУ» А.В. Кедрову.

Для цитирования: Порозова А. С., Санников П. Ю. Оценка влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris* (Озёрное месторождение нефти, Пермский край, Россия) // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 2. С. 58–74. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-58-74>

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

**Assessment of the impact of associated gas flaring on the radial growth of *Pinus Sylvestris*
(Ozernoe oil field, Perm region, Russia)**

Alena S. Porozova¹, Pavel Yu. Sannikov²

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

¹ porozova_alena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7889-4679>

² sol1430@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7973-301X>

Abstract. The paper discusses the question of influence of associated gas flaring on radial growth of *Pinus sylvestris*. The studied area is Ozernoye oil field of Krasnovishersky district of Perm region (Russia). The main research method is dendrochronological analysis. The wood cores of *Pinus sylvestris* were selected in the summer of 2020 using a Pressler increment borer according to the standard methodology. Cores were taken from two plots. The main plot is

100 m from the associated gas flaring torch and background plot is 11 km from the torch. The calculation and measurement of the width of the radial growth of wood were made on the machine for measuring tree rings – LINTAB 6. Numerical parameters of wood growth obtained for both plots. The average value growth of wood at the main plot is 1.426 mm/year; at the background plot – 1.808 mm/year. The relative decrease of average growth of wood over 20 years before and after the start of associated gas flaring at the main plot 1.45 times higher than at the background plot. The radial growth decreases systematically at both plots for 20 years since the beginning of associated gas flaring. But the rates of decrease are 1.52–1.67 times higher near the torch. The trend for recovery, as well as increase in the growth values, 10–20 years after the start of associated gas flaring, was not revealed. Therefore, the explicit negative impact of associated gas combustion on the radial growth of wood in nearest forest were noted. Maximum growth rates at the main plot were noted for trees ages 0–55 years. It is not supporting the conclusions of some researches [7,37] that *Pinus sylvestris* has the most intense growth during 30–35 years old. Revealed [37] high levels of chemical and dust atmospheric contamination, reducing growth of wood, most likely cannot be achieved by the associated gas flaring by the single torch. Positive (fertilizing) influence of Ca, K, Na, Mg, Mn [29,30] compounds emissions is not marked as well. We guess that thermal – is the main negative factor for the plot near associated gas flaring. Our research could be continued to the studying of the influence of spatial, climatic aspects, volume and intensity of gas flaring process on the state of forest stand.

Key words: dendrochronology, growth rate of wood, oil mining, associated gas flaring torch, technogenic impact, thermal impact

Acknowledgments: the work was financially supported by the RFBR (Project № 20-45-596018). The authors are thankful to A.V. Kedrov, Deputy Director for Forest Issues of MIP TSKTandU LLC, for the opportunity to use forest taxational data on the Nizhne-Yazvinsky and Verkhne-Yazvinsky district forestry of Krasnovishersky forestry.

For citation: Porozova, A., Sannikov, P., 2021. Assessment of the impact of associated gas flaring on the radial growth of *Pinus sylvestris* (Ozernoe oil field, Perm region, Russia). *Anthropogenic Transformation of Nature*, 7(2), pp. 58–74. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2021-2-58-74> (in Russian)

Введение

Добыча нефти – одна из основных отраслей хозяйства в Пермском крае. Интенсивность влияния нефтепромышленной деятельности на состояние окружающей среды значительна, а спектр видов воздействия весьма разнообразен. Большая часть Пермского края покрыта лесами. Соответственно, часто объектом воздействия нефтепромышленных станций являются леса и, в частности, древостой. Древесная растительность – это важный компонент экосистем, который способен заметно реагировать на некоторые изменения в среде. Экосистемы вблизи наиболее преобразованных частей нефтяного месторождения испытывают значительное влияние техногенного фактора, выраженное, в том числе, в физическом (тепловом) и химическом (выбросы загрязняющих веществ) воздействии от сжигания попутного газа. Инструментальные численные измерения таких воздействий имеют большой научно-практический интерес. Они могут стать основанием для расчета ущерба, причиняемого нефтепромышленной деятельностью лесным насаждениям или стать основой для установления норм, правил размещения подобных объектов в будущем.

Цель исследования – изучение влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост сосны обыкновенной. Для достижения цели были поставлены задачи:

- сравнить показатели ежегодного прироста древесины до и после включения факела;
- проанализировать различия в динамике прироста древесины на площадке вблизи факела по сжиганию попутного нефтяного газа и на аналогичной удаленной (фоновой) площадке;
- сравнить полученные результаты с опытом аналогичных или близких исследований.

Материал и методы

Выбор района и площадок полевого обследования. Для выбора модельной территории учитывалась группа факторов: относительно большой объем добы-

чи и продолжительная история освоения нефтяного месторождения, в том числе сжигания попутного нефтяного газа; транспортная доступность; наличие относительно ненарушенных экосистем сосновых лесов. Выбранным параметрам поиска отвечает Озёрное месторождение, расположенное в Красновишерском районе Пермского края. Это одно из крупнейших эксплуатируемых месторождений нефти в регионе [1]. Здесь имеется установка по сжиганию попутного газа, используемая на протяжении двух десятилетий. Месторождение отличается хорошей транспортной доступностью. В границах горного отвода месторождения и на сопредельных территориях широко распространены различные типы сосновых лесов.

Обследование проводилось на двух площадках (рис. 1, 2 / fig. 1, 2): основной (вблизи установки по сжиганию попутного нефтяного газа) и фоновой (идентичной по типу леса и возрасту древостоя, но находящейся вне зоны влияния нефтепромышленных объектов).

Основной площадкой отбора проб был выбран участок вблизи дожимно-насосной станции Озёрного нефтяного месторождения. Поскольку факел сжигания попутного газа является низким источником выбросов (высота до 50 м). К участку наиболее интенсивного воздействия относится зона в 100–200 м с наветренной стороны. В данном случае – в северо-восточном направлении от факела [20]. Координаты площадки – 60,15893 с.ш.; 56,87874 в.д.

Критериями выбора фоновой площадки было значительное удаление от нефтепромышленных объектов и схожесть лесного сообщества. При выборе фоновой площадки также учитывалась транспортная доступность. Подходящая площадка (рис. 2 / fig. 2) была найдена в 11 км к юго-западу от факела (60,09418 с.ш.; 57,00719 в.д.).

Согласно материалам лесоустройства [6] Нижне-Язьвинского и Верхне-Язьвинского участковых лесничеств Красновишерского лесничества, на обеих выбранных площадках сформировался сосняк брус-

ничник. Средний возраст древостоя – около 60– 70 лет.

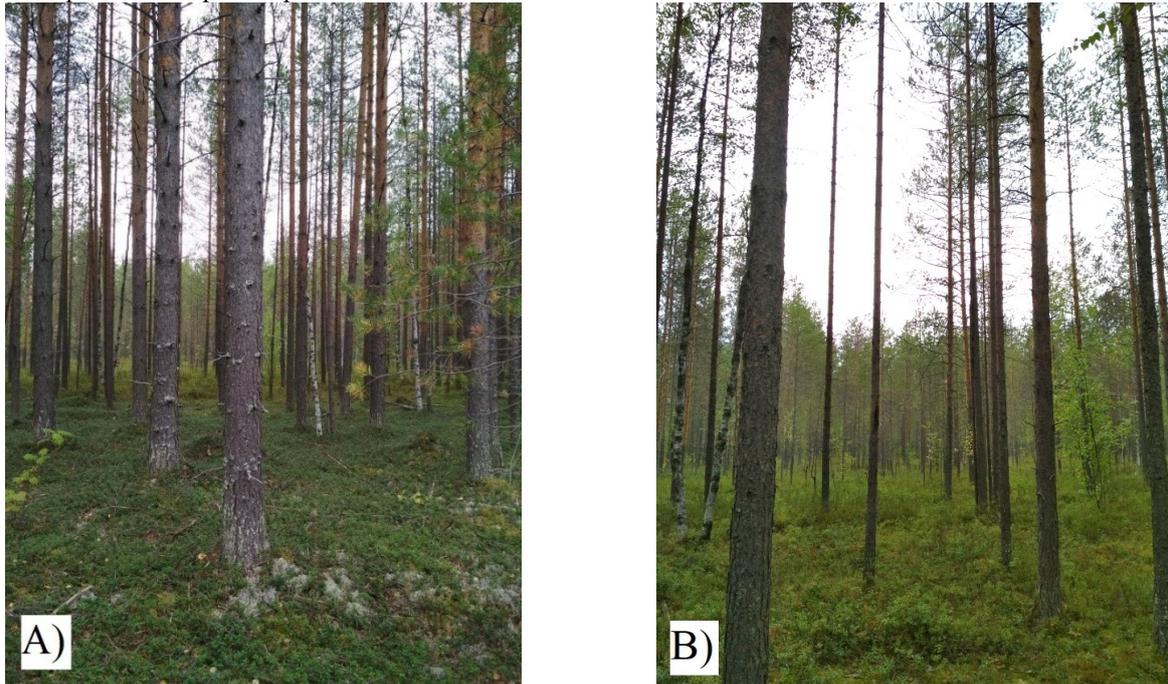


Рис. 1. Общий вид основной (А) и фоновой (В) площадок
 Fig. 1. General view of the main (A) and background (B) plots

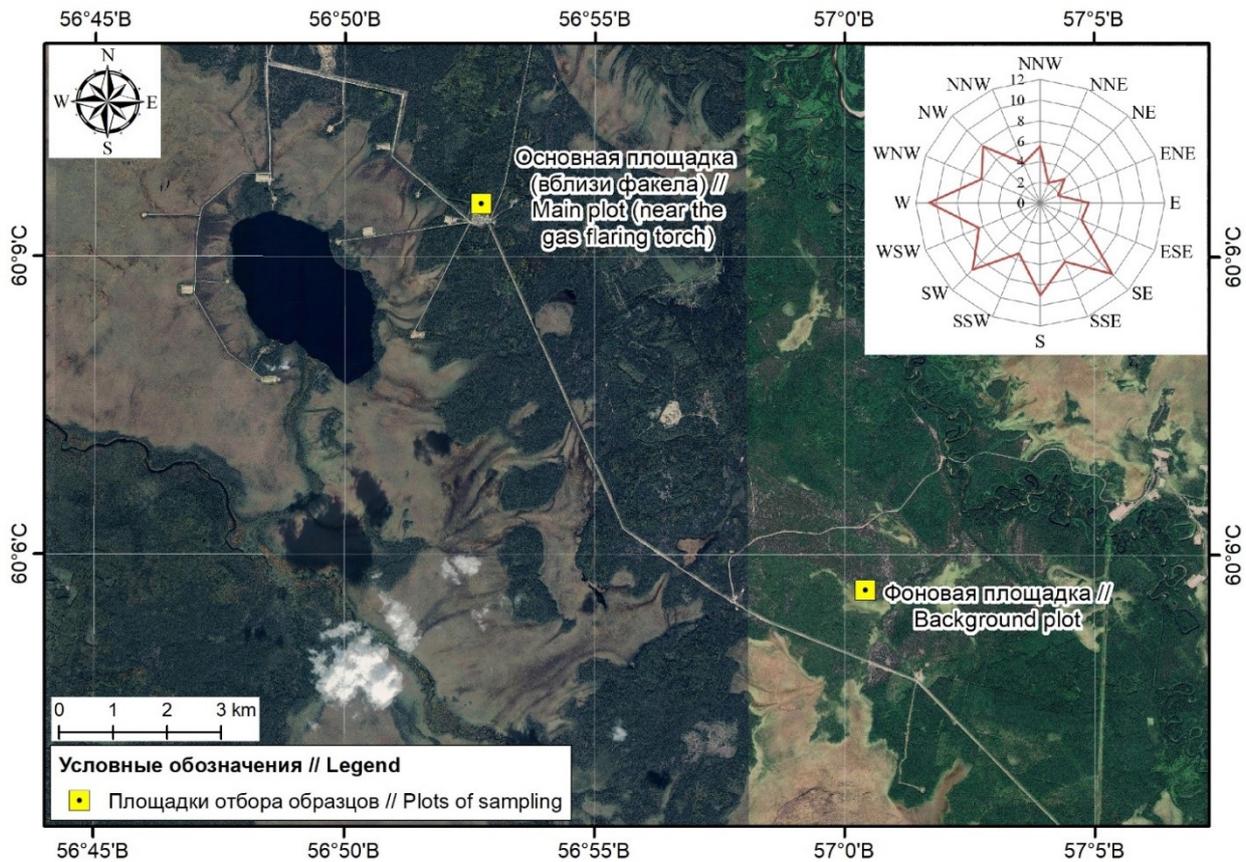


Рис. 2. Места отбора древесных кернов для дендрохронологического анализа
 (Роза ветров построена на основе информации многолетнего архива погоды по метеостанции Чердынь, доступной на https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Чердыни)

Fig. 2. Wood core sampling plots for dendrochronological analysis
 (According to the data of long-term weather archive of the Cherdyn meteorological station, accessed on https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Чердыни the wind rose was built)

Методы исследования. Для проведения исследования использован дендрохронологический метод [30]. Он основан на измерении ширины ежегодного прироста древесины (годовых колец дерева). В отличие от других, сравнительно узконаправленных методов (дистанционный анализ вегетационных индексов) [18], оценка морфологических параметров шишек [5] и хвои [26], расчет индекса санитарного состояния древостоя [11]), древесно-кольцевой анализ имеет достаточно широкий спектр применения. Например, в климатологии и метеорологии – для определения климатических условий и прогнозирования, в археологии – для восстановления экологической обстановки и климата прошлого времени. Также методы дендрохронологии используются для изучения возрастной структуры леса, возможности возникновения лесных пожаров, определения влияния климатической обстановки на водные системы и т. д. В подобных исследованиях, в качестве модельных объектов, предпочтение отдается возрастным хвойным деревьям [9,10]. Это вызвано тем, что у хвойных пород кольца прироста выражены лучше, чем у лиственных видов [21]. Кроме того, сосна обыкновенная широко распространена в Пермском крае [23].

Модельным объектом для настоящей работы была сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Многие исследования [28-30,33-35,37,38] подтверждают наличие выраженной корреляции между показателем ширины годичного радиального прироста сосны и внешними (в том числе, антропогенно обусловленными) условиями среды. Это показано и в ряде работ, выполненных в границах Мегионского и Нефтеюганского лесхоза [4,11], а также Тальниково-го и Северо-Даниловского месторождений нефти в

Ханты-Мансийском автономном округе (далее – ХМАО) [8]. При этом, для отбора образцов используются только деревья, формирующие полог леса (первый ярус древостоя), по возможности, цилиндрической формы, здоровые, без значительных повреждений.

Отбор кернов (образцов древесины) для анализа проводится на высоте груди 1,1–1,3 м. Это сравнительно простая и быстрая процедура, не требующая уникальной и дорогой аппаратуры. Для отбора древесных кернов использовался бурав Пресслера. Не пригодным для анализа считается kern, который (от коры до центра ствола) сломался более 2 раз [10,26]. В этом случае отбор керна проводился повторно. На каждой площадке было отобрано по 15 образцов.

При помощи портативного высотомера SUUNTO PM-5/1520 РС механического типа у каждого обследуемого дерева определялась высота.

Каждый kern упаковывался в плотный бумажный конверт, с указанием порядкового номера образца, диаметра и высоты дерева. Для сохранения целостности отобранные образцы укладывались в небольшой продолговатый отсек пластикового ящика. Для создания необходимой плотности конверты дополнительно обкладывались тканью.

Обработка древесных кернов проходила на установке для измерения годовых колец LINTAB 6 [15] на кафедре биогеоэкологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета.

Полученные данные фиксировались в формате MS Excel. Далее составлялись таблицы и графики радиального прироста, проводился их статистический анализ.

Таблица 1

Характеристики обследованных деревьев на основной и фоновой площадке

Table 1

Characteristics of the surveyed trees on the main and background plots

Основная площадка (100 м от факела сжигания попутного газа Озёрного месторождения) // The main plot (100 m from the associated gas flaring torch of the Ozernoye oil field)				Фоновая площадка (в 11 км к юго-востоку от факела сжигания попутного газа) // Background plot (11 km southeast of the associated gas flaring torch)			
№	Диаметр, см // Diameter, cm	Высота, м // Height, m	Возраст, лет // Age, years	№	Диаметр, см // Diameter, cm	Высота, м // Height, m	Возраст, лет // Age, years
1	29	27	72	1	23	21	58
2	31	25	65	2	27	25	62
3	27	25	62	3	32	26	64
4	29	26	69	4	28	25	60
5	24	25	64	5	31	27	71
6	23	20	76	6	24	22	53
7	25	21	73	7	22	20	70
8	24	23	64	8	27	24	69
9	26	22	72	9	25	23	61
10	26	20	72	10	27	24	56
11	28	23	69	11	36	27	69
12	23	19	66	12	24	19	54
13	22	21	75	13	24	21	64
14	27	25	79	14	28	26	67
15	41	27	89	15	31	28	72

Характеристика материала исследования. Все пробы отобраны 29-30 августа 2020 г. На каждой площадке отобрано по 15 кернов. Характеристики деревьев, из которых были отобраны керны, отражены в таблице 1 / table 1.

Географическая характеристика участка исследований. Озёрное месторождение расположено на севере Пермского края, в юго-западной части Красновишерского городского округа. Расстояние до города Перми – около 300 км. Дистанция от Красновишерска до Озёрного месторождения – около 50 км в южном направлении. Вблизи месторождения населенные пункты отсутствуют [3].

В геологическом отношении участок исследования располагается в северной части Соликамской депрессии. На всей её территории широко развиты рифовые постройки, местоположение которых контролируется различными тектоническими блоками [2].

В тектоническом отношении Озерная структура представляет собой купол тектоно-седиментационного происхождения и характеризуется несоответствием структурных планов по маркирующим горизонтам терригенного девона, каменноугольных отложений и артинского яруса, вследствие развития последевонского и раннепермского органогенных сооружений [2].

Рельеф района исследований представляет собой местами всхолмленную равнину, с заметным понижением рельефа в западном направлении от 205 до 133 м (высота уреза воды в оз. Нюхти) [3].

Господствует континентальный климат с холодной продолжительной зимой и теплым, сравнительно коротким летом. Январь – самый холодный месяц, средняя температура воздуха $-16,6^{\circ}\text{C}$ [16]. Самым теплым месяцем является июль, средняя температура $+17,1^{\circ}\text{C}$. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 84 дня. Годовая сумма осадков около 670 мм [13].

Максимальная высота снежного покрова на открытом участке составляет 103 см, минимальная – 64

см. Преобладающее направление ветра в течение года – южное [3].

Гидрологическая сеть Озёрного месторождения богата и разнообразна. В центре Озёрного месторождения находится озеро Нюхти, которое ранее имело статус гидрогеологического памятника природы [3]. С северо-востока участок граничит с рекой Глухой Вильвой, а с южной стороны рекой Колыновой. Большая часть Озёрного месторождения сильно заболочена. Непосредственно озеро Нюхти окружает болото Дорыш. Максимальная глубина озера около 2,5 м. Дно плоское, питание атмосферное, вскрывается озеро в начале-середине мая и вновь замерзает в конце октября-начале ноября. Берега озера по большей степени заболочены. Из озера Нюхти берёт своё начало небольшая река Исток – правый приток реки Колыновы [14]. Прибрежные растительные сообщества озера в основном состоят из кувшинок – чисто белой и жёлтой [14]. Фитоценозы Нюхти уникальны и представляют собой ценные сообщества северо-востока Прикамья [12].

В районе исследования, помимо торфяных болотных верховых почв, распространены подзолы иллювиально-железистые. Этому способствовало преобладание хвойных пород и избыточный характер увлажнения [2].

Участки отбора проб находятся на территории «Нижневишерского» охраняемого ландшафта, который входит в Прикамский округ Камско-Печерской-Западноуральской подпровинции Урало-Западно-сибирской таёжной провинции Евразийской таёжной (хвойнолесной) области [12]. Участок исследования относится к полосе среднетаёжных лесов, с преобладанием сосновых лесов [25].

Результаты. Обработка собранных материалов позволила выявить точный возраст, диаметр и высоты деревьев. Их среднее значение составляет 71 год, 27,0 см, 23,3 м на основной площадке; 63 года, 27,3 см, 23,9 м на фоновой площадке, соответственно.

В таблицах 2, 3 / table 2, 3 показаны результаты измерений осреднённые по пятилетним периодам.

Таблица 2

Средние (по пятилетним периодам) значения прироста древесины на основной площадке (вблизи факела сжигания попутного газа)

Table 2

Average (for five-year periods) values of wood growth at the main plot (near the associated gas flaring torch)

Пятилетние периоды, гг. // Five-year periods, yy	Номера обследованных деревьев // Numbers of surveyed trees														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Прирост древесины, мм/год // Wood growth, mm/year														
1930–1935	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,23
1935–1940	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,02
1940–1945	–	–	–	–	–	1,94	–	–	–	–	–	–	–	1,86	1,79
1945–1950	2,04	–	–	–	–	2,04	1,88	–	2,41	1,94	–	–	1,86	1,87	1,84
1950–1955	1,47	0,82	–	2,29	–	1,96	2,07	–	1,89	1,99	2,11	–	1,74	1,79	1,64

Пятилетние периоды, гг. // Five-year periods, уу	Номера обследованных деревьев // Numbers of surveyed trees														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Прирост древесины, мм/год // Wood growth, mm/year														
1955–1965	1,95	1,09	3,89	2,25	2,44	1,84	1,80	2,07	1,61	1,84	1,56	2,02	1,95	1,33	1,86
1960–1965	1,65	0,94	2,09	1,70	1,57	1,88	1,64	2,08	1,72	2,03	1,72	2,01	2,01	1,63	1,88
1965–1970	1,10	0,83	1,75	1,86	1,80	1,62	2,04	1,87	1,84	1,82	1,82	1,55	2,10	1,87	2,37
1970–1975	1,08	0,79	1,55	1,45	1,71	2,13	1,77	1,72	1,93	1,83	1,79	1,83	1,77	1,77	1,79
1975–1980	0,98	0,65	1,64	1,75	1,97	1,85	1,79	1,73	1,74	1,92	1,45	1,60	1,83	1,76	1,66
1980–1985	1,00	0,64	1,82	1,42	1,58	1,47	1,80	1,68	1,71	1,86	1,66	1,59	1,73	1,47	1,70
1985–1990	0,84	0,88	1,69	1,44	1,25	1,46	1,72	1,76	1,66	1,83	1,56	1,76	1,63	1,68	1,74
1990–1995	0,77	0,82	1,41	1,17	1,10	1,41	1,56	1,66	1,55	1,44	1,20	0,86	0,98	1,47	1,77
1995–2000	0,60	0,78	1,39	0,96	1,03	1,30	1,11	1,50	0,73	0,78	1,12	0,76	0,99	1,35	1,47
2000–2005	0,58	0,58	1,30	1,07	1,00	0,91	0,70	1,44	0,97	0,70	1,00	1,05	0,93	1,03	1,27
2005–2010	0,78	1,42	1,33	1,13	1,03	1,00	0,82	1,15	1,12	0,69	0,98	0,80	0,84	1,10	1,04
2010–2015	0,87	1,40	1,32	0,95	1,10	0,95	0,79	0,92	0,94	0,87	0,79	0,82	0,78	0,85	0,98
2015–2020	0,77	1,25	1,12	1,08	1,05	0,84	0,71	0,84	1,05	0,77	0,73	0,99	0,80	0,76	0,80

Таблица 3

Среднее значение прироста древесины на фоновой площадке

Table 3

Average value of wood growth on the background plot

Пятилетние периоды, гг. // Five-year periods, уу	Номера обследованных деревьев // Numbers of surveyed trees														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Прирост древесины, мм/год // Wood growth, mm/year														
1945–1950	–	–	–	–	3,75	–	2,93	–	–	–	–	–	–	–	3,54
1951–1955	–	–	–	–	2,79	–	2,86	2,02	–	–	1,98	–	–	2,6	2,21
1956–1960	–	3,39	1,67	5,97	4,14	–	3,40	1,92	1,84	–	1,81	–	2,12	2,98	1,95
1961–1965	2,15	1,93	1,99	4,52	4,43	–	2,52	1,91	1,65	2,04	1,72	–	2,17	2,30	2,22
1966–1970	1,21	1,81	2,29	2,86	3,77	2,97	1,85	1,94	1,53	1,78	1,78	1,86	1,74	1,75	1,78
1971–1975	1,90	1,94	2,56	2,48	2,15	3,29	1,94	1,79	1,65	1,74	1,36	1,58	1,49	1,41	1,72
1976–1980	2,34	2,06	2,25	1,94	1,44	2,36	2,06	1,70	1,94	1,86	1,53	1,87	1,85	1,51	1,57
1981–1985	1,97	1,85	2,50	2,11	1,64	2,21	1,98	1,69	1,95	1,75	1,44	1,77	1,99	1,61	1,33
1986–1990	1,69	1,59	1,97	1,74	1,27	1,96	2,13	1,91	1,74	1,82	1,54	1,64	1,71	1,88	1,62
1991–1995	1,87	1,41	1,77	1,50	1,02	2,11	2,04	1,20	1,72	1,61	1,65	1,94	1,55	1,77	1,64
1996–2000	2,07	1,32	1,56	1,22	0,91	2,23	1,64	1,72	1,54	1,66	1,81	1,83	1,48	1,77	1,72
2001–2005	1,41	1,09	1,81	1,01	1,26	1,76	2,25	1,56	1,78	1,55	1,52	1,31	1,16	1,67	1,65
2006–2010	1,52	0,89	1,36	0,95	1,07	1,47	1,60	1,61	1,86	1,49	1,45	1,63	1,14	1,60	1,96
2011–2015	1,44	0,68	1,22	1,01	0,87	1,41	1,54	1,57	1,68	1,38	1,46	1,34	1,72	1,83	1,69
2016–2020	1,21	0,66	1,17	1,48	1,29	1,48	1,72	1,57	1,75	1,39	1,65	1,51	1,66	1,74	1,60

Среднее значение прироста древесины сосны обыкновенной на основной площадке составляет 1,426 мм/год. На фоновой площадке – 1,808 мм/год. На обеих площадках индивидуальные и средние кривые скорости прироста древесины (рис. 3 / fig. 3) имеют выраженную тенденцию к снижению с течением времени. Для площадки вблизи факела коэффициент наклона осреднённой кривой составляет -0,07, тогда как для фоновой площадки -0,11.

Наибольшая плотность индивидуальных кривых прироста деревьев основной площадки сосредоточена в диапазоне 1,4–2,0 мм/год. Для фоновой площадки этот диапазон – 1,7–2,2 мм/год.

Активная разработка Озёрного месторождения началась в период 1990–2000 гг. Факел сжигания попутного нефтяного газа был запущен в 2000 г. В течение двадцати лет до этого средняя скорость прироста на основной площадке составляла 1,623 мм/год, а на фоновой – 2,021 мм/год. В период 2001–2020 гг. средняя скорость прироста на основной площадке установилась на уровне 0,961 мм/год (снижение относительно предыдущего периода на 40,80%). На фоновой площадке средняя скорость радиального прироста на отрезке 2001–2020 гг. составила 1,452 мм/год, что ниже аналогичного показателя предыдущего периода на 28,16%.

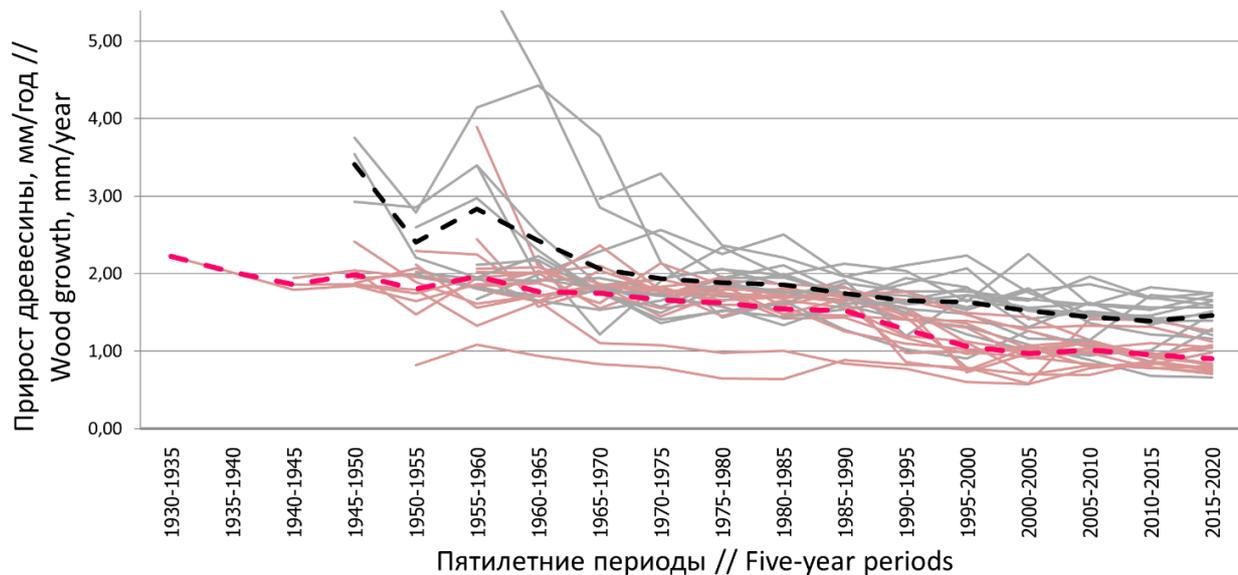


Рис. 3. Прирост древесины *Pinus sylvestris* на основной и фоновой площадках

Примечание: кривые серого цвета – скорость прироста древесины на фоновой площадке; чёрная пунктирная кривая – осреднённые значения для прироста древесины на фоновой площадке; кривые розового цвета – прирост древесины на основной площадке; красная пунктирная кривая – осреднённые значения прироста древесины на основной площадке.

Fig. 3. Growth of *Pinus sylvestris* wood on the main and background plots

Note: gray curves – growth of wood on the background plot; the black dashed curve – average value for the growth of wood on the background plot; pink curves – growth of wood in the main plot; the red dashed curve – average value of the growth of wood for the main plot.

Дискуссия

Восстановление скоростей радиального прироста, спустя 10–15 лет работы факела. В публикациях, описывающих аналогичные исследования в других регионах, отмечено снижение прироста древесины после начала антропогенного воздействия. Так, в Мегионском и Нефтеюганском лесхозах ХМАО [4] прирост древесины у сосны обыкновенной, до начала работы факела, возрастал или оставался стабильным – в среднем 2,04 мм/год. После включения факела прирост уменьшился, значение опустилось до уровня около 1,9–2,0 мм/год (произошло снижение прироста на 6,9%). Однако 10 лет спустя, ежегодный прирост увеличился до 2,5–3,0 мм/год (увеличение прироста на 22,5%) [4]. В некоторых случаях [8], после 20 лет работы факельной установки, значения прироста древесины перестают снижаться, стабилизируются или становятся даже больше, чем было до включения факела. По мнению авторов таких исследований [24], заметное увеличение скорости прироста после 10–20 лет работы факела может объясняться двумя причинами. Во-первых, увеличением притока тепла в условиях его недостатка. Во-вторых, физиологической адаптацией сосны обыкновенной, приводящей к снижению поглощения загрязняющих веществ из воздуха [8].

В нашем случае (таблица 2–4 / table 2–4) подобной тенденции не выявлено. Так, в течение первых десяти лет с начала работы факела на Озёрном ме-

сторождении (2000–2010 гг.), средний прирост древесины на близлежащей территории составил 0,992 мм/год (снижение скорости прироста на 15,07% относительно 1990–2000 гг.). В течение 2010–2020-гг. средний прирост составил 0,930 мм/год – дальнейшее снижение прироста на 6,28%, относительно первого десятилетия. На фоновой площадке прирост в 2000–2010 гг. был 1,480 мм/год (снижение скорости прироста на 9,92% относительно 1990–2000 гг.). В 2010–2020 гг. зафиксирован прирост 1,424 мм/год – снижение на 3,76% по отношению к предыдущей декаде.

Наши данные показывают, что ежегодный прирост древесины на основной площадке после начала эксплуатации факела не увеличивается и не стабилизируется, а продолжает снижаться. При этом темпы падения прироста, спустя 10 лет после начала работы факела, заметно снизились (с 15,07% до 6,28%).

На фоновой площадке, где нефтепромысловое влияние отсутствует, ширина радиального прироста за тот же период, в целом, снижается, хоть и с существенно меньшими (в 1,52–1,67 раза) темпами. Возможно, отсутствие этапа восстановления или даже увеличения прироста, отмеченного в ХМАО [4,8,24], объясняется сравнительно более теплым климатом севера Пермского Прикамья.

Численная характеристика изменений скорости прироста по декадам на обследованных площадках дана в таблице 4 / table 4.

Таблица 4

Динамика прироста древесины по декадам на основной и фоновой площадках

Table 4

Dynamics of wood growth by decades on the main and background plots

	Календарные декады // Calendar decades							
	1941– 1950	1951– 1960	1961– 1970	1971– 1980	1981– 1990	1991– 2000	2001– 2010	2011– 2020
<i>Основная площадка вблизи (100 м) факела сжигания попутного газа //</i> <i>The main plot near (100 m) the associated gas flaring torch</i>								
Возрастные декады, лет // Age decades, years	6–15	16–25	26–35	36–45	46–55	56–65	66–75	76–85
Средние скорости прироста древесины (мм/год) // Average wood growth rates (mm/year)	1,952	1,895	1,760	1,641	1,534	1,168	0,992	0,930
Снижение среднего прироста относительно предыдущей декады, % // Decrease of average wood growth relatively previous decade, %	–	2,91	7,14	6,74	6,50	23,88	15,07	6,28
<i>Фоновая площадка (в 11 км к юго-востоку от факела сжигания попутного газа) //</i> <i>Background plot (11 km southeast of the associated gas flaring torch)</i>								
Возрастные декады, лет // Age decades, years	–	6–15	16–25	26–35	36–45	46–55	56–65	66–75
Средние скорости прироста древесины (мм/год) // Average wood growth rates (mm/year)	–	2,685	2,231	1,909	1,800	1,643	1,480	1,424
Снижение среднего прироста относительно предыдущей декады, % // Decrease of average wood growth relatively previous decade, %	–	–	16,92	14,42	5,73	8,74	9,92	3,76

В целом же, существенно более высокие темпы падения прироста древесины на основной площадке (в сравнении с фоновой) свидетельствуют о наличии выраженного негативного влияния сжигания попутного газа на рост древостоя на близлежащих участках. Более сильное падение прироста по сравнению с данными Западной Сибири, вероятно, следует объяснить более заметным параллельным влиянием естественных причин (старения древостоя).

Возрастной период максимальных скоростей прироста древесины у *Pinus sylvestris*. Согласно литературным данным [7,37], радиальный прирост у сосны обыкновенной, в нормальных условиях, достигает максимальных значений в период до 30–35 лет. После, стабилизируется или постепенно снижается.

Средняя скорость прироста древесины за первые 35 лет на основной исследуемой площадке составила 1,852 мм/год (таблица 2,4 / table 2,4); на фоновой площадке – 2,252 мм/год (таблица 3,4 / table 3,4). За последующие 20 лет (возраст древостоя 35–55 лет), средний прирост на основной площадке составил 1,588 мм/год (уменьшение прироста на 14,27%); на фоновой 1,721 мм/год (снижение прироста на 23,55%).

Сравнение скоростей прироста древесины в возрастах 0–35 и 36–55 лет на обследованных площадках показало следующее. По абсолютным значениям (средние скорости прироста) показатели фоновой площадки заметно превосходят аналогичные значения площадки вблизи факела по обоим периодам. В то же время, относительное снижение скорости прироста древесины до и после 35 лет, имеет более

высокие значения на фоновой площадке – 23,55% и 14,27%, соответственно.

Динамика относительного снижения прироста древесины по всем возрастам говорит о том, что максимальные (1,55–1,95 мм/год) скорости для основной площадки были характерны до 55 лет. Тогда средняя скорость падения от декады к декаде составляла от 2,9% до 7,1%. В последующие два десятилетия наблюдалось резкое падение скоростей прироста до уровня 1,15–0,99 мм/год. По-видимому, это частично обусловлено естественными причинами, а частично началом сжигания попутного газа. В последнее десятилетие (2011–2020 гг.) темпы снижения скорости прироста существенно снизились (до 6,28%) и вновь стали соответствовать показателям периода 1961–1990 гг.

Для фоновой площадки максимальные скорости прироста древесины (от 2,68 до 1,91 мм / год) были характерны до 35-летнего возраста. Отметим, что, для этой площадки зафиксировано сравнительно плавное, постепенное падение скорости прироста без значимых скачков: от пиковых 14,4–16,9% в 16–35 лет до достаточно низких 5,7–9,9% в 36–65 лет. Наименьшее (3,76%) снижение прироста отмечено в последнее десятилетие.

Таким образом, тезис о закономерном естественном снижении скоростей прироста *Pinus sylvestris* после 30–35 лет подтвердился для фоновой площадки, но не подтвердился для основной площадки.

Природные и антропогенные факторы, влияющие на рост древесины. Нами проанализирован ряд материалов, в которых описаны факторы, влия-

ющие на прирост древесины и морфологические характеристики дерева. В таблице 5 / table 5 обобщены основные результаты, изложенные в этих публикациях.

В таблице 6 / table 6 показано проявление сжигания попутного нефтяного газа на состоянии хвои,

шишек, кроны, некоторых других вегетационных признаков деревьев и состояние почвенного покрова.

Влияние некоторых других природных и антропогенных факторов на радиальный прирост древесины отражено в таблице 7 / table 7.

Таблица 5

Обзор исследований влияния сжигания попутного нефтяного газа на радиальный прирост древесины методом дендрохроноиндикации

Table 5

Review of researches of the influence of flaring associated gas on the radial growth of wood by the dendrochronoidication method

Район и регион // District and Region	Изменения ежегодного прироста древесины на разных этапах эксплуатации факела // Changes in annual growth of wood at different stages of torch exploitation		Как влияет расстояние от факела на показатели прироста? // How does the distance from the torch impact to growth rate values?
	Начало сжигания // Beginning of flaring	В течение эксплуатации // During exploitation	
Мегионский и Нефтеюганский лесхозы (ХМАО, Россия) [4] // Megion and Nefteyugansk forest districts (Khanty–Mansiysk Autonomous Region, Russia) [4]	Увеличение прироста южнее факела // Growth of wood increases south of the torch	Нет данных // No data	Положительное влияние ослабевает по мере удаления с 200 до 500 м // The positive impact decreases with distance from 200 to 500 m
Приобское нефтяное месторождение (ХМАО, Россия) [7] // Priobskoye oil field (Khanty–Mansiysk Autonomous Region, Russia) [7]	Снижение // Decrease	Снижение // Decrease	Снижения прироста более всего выражено в зоне 400–700 м от факела // The decrease in growth is most noted in 400–700 m zone from the torch
Тальниковое и Северо–Даниловское нефтяное месторождение (ХМАО, Россия) [8] // Talnikovoye and Severo–Danilovskoye oil field (Khanty–Mansiysk Autonomous Region, Russia) [8]	Снижение // Decrease	0–10 лет работы факела – снижение. 10–20 лет – восстановление до исходного уровня или повышение до уровня выше исходного // 0–10 years of torch operation – decrease. 10–20 years – recovery to the initial level or increase to a level higher than the initial	Снижение или стабилизация прироста в зоне до 200 м. Увеличение прироста при удалении более 200 м. // Decrease or stabilization of growth in the zone up to 200 m. Increase of growth at distances more than 200 m
Озёрное месторождение (Пермский край, Россия) // Ozernoye oil field (Perm region, Russia)	Снижение // Decrease	0–10 лет работы факела – снижение. 10–20 лет работы факела – снижение // 0–10 years of torch operation – decrease. 10–20 years of torch operation – decrease	Нет данных // No data

Таблица 6

Влияние сжигания попутного нефтяного газа на некоторые морфологические параметры деревьев и состояние почв: обзор литературы

Table 6

Influence of associated gas flaring on some morphological features of trees and soil state: a literature review

Район и регион (Показатели) // District and Region (Parameters)	Как повлияло начало сжигания газа на древостой? // What influence of flaring associated gas start had on the forest stand?	Как влияет дистанция и направление относительно факела на состояние древостоя и почв? // How do distance and direction from the torch influence to the state of forest stand and soils?
Пуровский район, ЯНАО, Россия [5] (Морфологические параметры) // Purovsky District, Yamalo–Nenets Autonomous Region, Russia [5] (Morphological parameters)	Снижение размера и массы шишек // Decrease size and weight of cones	Снижение размера и массы шишек по мере приближения к факельной установке // Decrease size and weight of cones around the torch

Район и регион (Показатели) // District and Region (Parameters)	Как повлияло начало сжигания газа на древостой? // What influence of flaring associated gas start had on the forest stand?	Как влияет дистанция и направление относительно факела на состояние древостоя и почв? // How do distance and direction from the torch influence to the state of forest stand and soils?
Мегионский и Нефтеюганский лесхозы, ХМАО, Россия [4] (Лесотаксационные показатели, состояние хвои и почв) // Megion and Nefteyugansk forest districts Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [4] (Forest management parameters, State of needles and soils)	Снижение плотности полога древостоя и продолжительности жизни хвои. Увеличение поражённой некрозом хвои, доли осины в подросте // Decrease in tree canopy density and life expectancy of needles. Increase of needles affected by necrosis, share of aspen in understory.	30–50 м от факела. Деградация верхнего слоя почв до бесструктурного субстрата. 100 м от факела. Продолжительность жизни хвои – 5,4 года. Поражение хвои некрозом – 68,8%. Накопление в почве ряда токсичных элементов. 250 м от факела. Продолжительность жизни хвои – 6,5 лет. Поражение хвои некрозом – 36,3% // 30–50 m from torch. Degradation of topsoil to a structureless substrate. 100 m from torch. Life expectancy of needles – 5.4 years. The damage of needles by necrosis – 68.8%. Accumulation of some toxic elements in soil. 250 m from torch. Life expectancy of needles – 6.5 years. The damage of needles by necrosis – 36.3%
Мегионский и Нефтеюганский лесхозы, ХМАО, Россия [11] (Санитарное состояние) // Megion and Nefteyugansk forest districts, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [11] (Sanitary state of forest stand)	Ухудшение санитарного состояния. Наиболее устойчивы – берёза и кедр. Наименее устойчивы – ель и осина // Decline sanitary state of forest stand. The most resistant are birch and siberian pine. The least resistant are spruce and aspen.	Улучшение санитарного состояния древостоя по мере удаления от факельной установки // Decrease of sanitary state of forest stand around the torch
Тальниковое и Северо-Даниловское месторождение нефти, ХМАО, Россия [8] (Повреждение и усыхание хвои) // Talnikovoye and Severo-Danilovskoye oil field, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [8] (Damage and drying of needles)	Увеличение доли хвои с поврежденным кончиком, начального (1/3) усыхания хвоинок, сильно (90%) усыхания хвоинок // Increase the share of needles with a damaged tip, initial drying (1/3) of needles, severe drying (90%) of needles	100 м от факела. Преобладание (59%) хвои с начальным усыханием, доля сильно усохшей хвои – 2,5% 200 м от факела. Хвоя с начальным усыханием – 32,6%, доля сильно усохшей хвои – 2,0% 500 м от факела. Хвоя с начальным усыханием – 17%, доля сильно усохшей хвои – 0,65% // 100 m from torch. The predominance (59%) of needles with initial drying, the share of severe drying needles is 2.5%. 200 m from torch. The share of initial drying needles is 32.6%; severe drying needles is 2.0%. 500 m from torch. The share of initial drying needles – 17%, severe drying needles is 0.65%
Приобское месторождение, ХМАО, Россия [17] (Степень дефолиации кроны, массы и длины хвои) // Priobskoe oil field, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [17] (Degree of crown defoliation, weight and length of needles)	Увеличение степени дефолиации крон; уменьшение массы и длины хвои при удалении от факела // Increase of degree of crown defoliation; decrease in weight and length of needles around the torch	В радиусе 3 км от факела отмечено увеличение степени дефолиации крон, а также снижение массы и длины хвои по мере приближения к источнику воздействия // Within 3 km around the torch the degree of crown defoliation increases; the weight and length of needles decrease nearby the torch
Приобское месторождение, ХМАО, Россия [18] (Вегетационный индекс NDVI, санитарное состояние древостоя) // Priobskoe oil field, Khanty-Mansiysk Autonomous, Region, Russia [18] (NDVI, sanitary state of forest stand)	Значительное снижение NDVI в зоне 1 км от факела в период интенсивного сжигания газа // Significant decrease in NDVI within 1 km from torch during the period of intense gas flaring	Ухудшение санитарного состояния древостоя по мере приближения к факелу (в радиусе 1 км) // Degradation of sanitary state of forest stand within 1 km zone

Таблица 7

Влияние климатических и некоторых антропогенных факторов на радиальный прирост древесины

Table 7

Influence of climatic and some anthropogenic factors on the radial growth of wood

Страна, регион (Фактор) // Country, region (Factor)	Влияние на радиальный прирост древесины // Influence on radial growth of wood
США, Штат Аризона, г. Тусон [27] (Климатический) // USA, Arizona, Tucson [27] (Climatic)	Комплексное влияние климата на ширину годовых колец. Как правило, во влажные и теплые годы ширина прироста повышается. Влияние также оказывает комплекс биотопических (прежде всего, увлажненность) условий и высота над уровнем моря. // The complex influence of climate on the width of tree rings. As a rule, the width of growth increases in wet and warm years. Also, a complex of biotopic (primarily wetness) conditions and altitude above sea level influence
Эстония, северо-восточная часть, в г. Нарвский (разрез Вийвиконна) сланцевый карьер – крупнейший промышленно эксплуатируемый район добычи горючего сланца в Эстонии [32] (Климатический) // Estonia, northeast, Narva oil shale quarry (Vijvikonna open-cut mining) is the largest industrially exploited oil shale mining area in Estonia [32] (Climatic)	Увеличение прироста в годы с большой суммой осадков. Снижение прироста при повышении среднемесячных температур. Увеличение прироста в годы с теплыми зимами // Increase in growth rate in years with large annual precipitation. Decrease in growth rate with increasing average monthly temperatures. Increase in growth rate in years with warm winters
Испания, бассейн Среднего Эбро и южный (Теруэль) Арагон [36] (Климатический (частые засухи)) // Spain, Middle Ebro basin and south (Teruel) Aragon [36] (Climatic (frequent droughts))	Снижение радиального прироста в периоды засух // Decline in radial growth rate during droughts
Румыния, Кривые Карпаты (крупный участок земель, деградирующих в условиях экстенсивного с/х) [38] (Прореживание (рубки ухода), климатический) // Romania, Curve Carpathians (large area of land degraded under extensive agriculture) [38] (cleaning cutting, climatic)	Увеличение прироста годовых колец после прореживания древостоя в дождливые годы. Положительное влияние влажных годов прослеживается в течении 1-4 лет. Отсутствие значимого влияния прореживания на прирост в засушливые годы. // The increase in the growth of tree rings after cleaning cutting in rainy years. Positive influence of wet years is tracked during 1-4 years. There is no important influence of cleaning cutting on the growth in dry years
Финляндия [28] (Загрязнение воздуха (выбросы от производства химических удобрений)) // Finland [28] (Air contamination (emissions from chemical fertilizer production))	Выбросы пыли и соединений фтора приводят к снижению прироста, а также к различным повреждениям годовых колец. Воздействие более заметно выражено у деревьев до 50 лет. // Emissions of dust and fluorine compounds lead to decreased growth and various damage to tree rings. The impact is more marked in trees younger than 50 years old
Литва, центральная часть, г. Ионав [29-30] (Загрязнение воздуха (выбросы от производства азотных удобрений)) // Lithuania, centre, Ionav [29-30] (Air contamination (emissions from nitrogen fertilizer production))	Увеличение прироста при небольшом загрязнении (эффект удобрения) Снижение прироста при экстремальных уровнях загрязнения Восстановление исходных величин прироста при почти полном отсутствии выбросов // Increased growth at low contamination levels (fertilizing effect). Decrease in growth at extreme levels of contamination. Recovery of initial values of growth with almost no emissions
Эстония, северо-восточная часть [33] (Загрязнение воздуха (выбросы летучей сланцевой золы)) // Estonia, northeast [33] (Air contamination (fly oil shale ash emissions))	Положительное влияние на годовой прирост древесины выбросов сланцевой летучей золы: увеличение прироста древесины у молодых (20-30 лет) деревьев сосны в течение 3-4 лет, у старших (70 и более лет) особей в течение 5-6 лет // Positive influence of fly oil shale ash emissions on tree growth of wood: increased growth of wood in young (20-30 years old) pine trees during 3-4 years, in older (70 or more years old) individuals during 5-6 years
Эстония [34-35] (Пылевое загрязнение) // Estonia [34-35] (Dust contamination)	Заметное снижение прироста при интенсивном загрязнении // Marked decrease in growth with intense contamination
Эстония, северо-восточная часть, 130 км от п. Козе [37] (Загрязнение воздуха (выбросы летучей сланцевой золы)) // Estonia, northeast, 130 km from Kose [37] (Air contamination (fly oil shale ash emissions))	Увеличение прироста за счет привнесения дополнительных порций некоторых питательных элементов: Ca, K, Na, Mg, Mn. // Increased growth by additional portions of some nutrients: Ca, K, Na, Mg, Mn

Страна, регион (Фактор) // Country, region (Factor)	Влияние на радиальный прирост древесины // Influence on radial growth of wood
Польша, северо-восточная часть [31] (Рекреационный (интенсивное вытаптывание)) // Poland, north-east [31] (Recreational (intensive poaching damage))	В оголенных корневых отростках отмечено существенное увеличение ширины годичных колец и количества рубцов, повреждений. В частично оголенных и полностью погребённых корневых отростках часть годичных колец не развита (в среднем на 20-25 ниже, чем в стволе). Угнетение водопрводящей и питающей функции корней // A considerable increase in the width of tree rings and the number of scars and damages was observed in denuded roots. Part of the tree rings is not developed (on average, 20-25 lower than in the trunk) in partially denuded and completely buried roots. Suppression of water-conducting and feeding functions of roots

В некоторых источниках [29-30] отмечена удобряющая роль выбросов, которая заключается в привнесении дополнительных порций ряда питательных элементов (Ca, K, Na, Mg, Mn) для сосны [37]. Для исследованной основной площадки, нельзя однозначно утверждать о наличии или отсутствии такого эффекта, поскольку он мог быть полностью нивелирован более значимым ингибирующим воздействием термического фактора.

В другой работе [37] определены уровни загрязнения воздуха пылью, цементной пылью, сажой, SO₂, при которых фиксируется отчетливое влияние на состояние лесов. По-видимому, выбросы одиночного факела сжигания попутного нефтяного газа не могут привести к столь существенным концентрациям загрязняющих веществ, устойчиво сохраняющимся в воздухе окружающей территории продолжительное время. Вероятно, основным действующим фактором, в случае факела сжигания попутного газа, следует считать термический.

Перспективы развития исследования. Одним из перспективных направлений дальнейшей работы следует считать выявление пространственных закономерностей влияния теплового и химического загрязнения вблизи факелов сжигания попутного нефтяного газа. Для этого необходимо закладывать серию площадок на разных расстояниях и в разных направлениях от факела.

Также перспективным представляется сопоставление скорости прироста древесины с основными климатическими характеристиками (температурой, количеством осадков в разные периоды года). Такое сравнение позволит более точно определить степень влияния техногенного фактора, без учета погрешностей, вызванных ежегодными климатическими колебаниями.

С 2012 г. [19] в РФ установлена норма о предельно допустимой доле сжигания попутного газа на факельных установках – не более 5 процентов от общего объема газа. В связи с постепенным переходом нефтедобывающих компаний к предъявляемым требованиям, следует ожидать снижения интенсивности эксплуатации факелов сжигания попутного газа, и, как следствие, снижение интенсивности техногенного воздействия на древостой прилегающих участков. В этих условиях, актуальным направлением продолжения текущей работы следует считать изучение скорости радиального прироста в зависимости от

объемов и интенсивности сжигания попутного нефтяного газа. Для проведения таких работ, помимо дендрохронологического анализа, необходимо наличие подробной и достоверной информации о реальных объемах и режимах эксплуатации факела за все время эксплуатации.

Заключение

Исследование влияния сжигания попутного газа на радиальный прирост *Pinus sylvestris*, проведено на Озёрном нефтяном месторождении Красновшерского района Пермского края. Это одно из крупнейших нефтяных месторождений региона, начало разработки которого относится к последнему десятилетию XX в. Начало работы факела по сжиганию попутного газа приходится на 2000 г. Преобладающая лесообразующая порода на территории Озёрного месторождения – сосна обыкновенная.

Древесные керны отобраны на основной (вблизи факела сжигания попутного газа) и фоновой (аналогичной основной по типу леса и близкой по возрасту и составу древостоя, но находящейся вне зоны влияния нефтепромыслов) площадках. Для исследования использован метод дендрохронологии. Он позволяет определить точный возраст дерева и ежегодный радиальный прирост древесины. Средний возраст, диаметр и высота древостоя составляет 71 год, 27,0 см, 23,3 м, и 63 года, 27,3 см, 23,9 м на основной и на фоновой площадке, соответственно.

В период 1981-2000 гг. средняя скорость прироста древесины на основной площадке составляла 1,623 мм/год, а на фоновой площадке и 2,021 мм/год. В 2001-2020 гг. средняя скорость прироста древесины на основной площадке снизилась до 0,961 мм/год (падение на 40,80%), а на фоновой площадке до 1,452 мм/год (снижение на 28,16%).

После начала эксплуатации факела ежегодный прирост древесины на прилегающем участке существенно сократился. В противоположность данным ряда исследований [4,8,24], эта тенденция не меняется и 10-20 лет спустя. Хотя темпы падения прироста, спустя 10 лет после начала сжигания попутного газа, заметно сократились. На фоновой площадке, где нефтепромысловое влияние отсутствует, интенсивность радиального прироста за тот же период, в целом, тоже снижается, но заметно меньшими (в 1,52–1,67 раза) темпами.

Динамика падения темпов прироста древесины на площадке вблизи факела, а также сравнение этих данных с фоновой площадкой, подтверждают ингибирующую роль сжигания попутного газа на радиальный прирост сосны обыкновенной на прилегающих участках.

В ряде работ [7,37] обосновывается тезис о том, что максимальная скорость прироста древесины *Pinus sylvestris* характерна до достижения возраста 30-35 лет. После чего отмечается заметное снижение скоростей прироста. Это положение подтвердилось в отношении фоновой площадки. Однако, на основной площадке максимальные скорости прироста древесины отмечены до возраста 55 лет, после чего выявлено резкое падение ширины ежегодного прироста.

Богатый опыт дендрохронологических исследований убедительно показывает, что величина прироста древесины определяется как внутренними жизненными процессами самого дерева (возрастом и состоянием), так и внешними условиями (прежде всего климатическими) окружающей среды. Значительное влияние могут оказывать и антропогенные факторы: термическое, химическое, аэрозольное загрязнение атмосферы, рекультивация нарушенных участков, экстенсивное сельское хозяйство, рекреация. В зависимости от интенсивности и природы антропогенных факторов их влияние может быть как отрицательным, так и положительным.

Концентрации загрязняющих веществ, имеющие выраженное ингибирующее влияние на радиальный прирост деревьев [37], весьма высоки, и едва ли достижимы за счет выбросов одиночного факела сжигания попутного газа. Вероятно, термический фактор, при изучении влияния подобного рода единичных установок на состояние древостоя, следует считать основным.

Удобрительная роль выбросов (за счет привнесения дополнительных элементов питания: Ca, K, Na, Mg, Mn) на исследованных площадках не выявлена. Однако, этот положительный эффект мог быть перекрыт более значительным отрицательным влиянием термического фактора.

Наиболее очевидный и перспективный способ предотвращения негативного влияния от сжигания попутного газа на территории Пермского края – это прекращение холостого сжигания, в пользу переработки газа на соответствующих энергогенерирующих установках. На сегодняшний день такая технология уже внедрена на двух газотурбинных электростанциях (далее – ГТЭС). Так в 2016 г. и в 2020 г., ОАО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» построены ГТЭС «Ильичёвская» и ГТЭС «Чашкино». Для генерации электроэнергии они используют попутный нефтяной газ с месторождений ЦДНГ-10 и ЦДНГ-12, соответственно [22].

Перспективными направлениями продолжения настоящего исследования следует считать пространственный (расстояния и направления от факела) ана-

лиз негативного влияния сжигания попутного газа, сопоставление скорости прироста с климатическими данными, а также изменение интенсивности воздействия в связи со значительным снижением объемов сжигаемого газа в последние годы.

Сведения об авторском вкладе

А. С. Порозова – полевые работы, камеральная обработка древесных кернов, подготовка таблиц и графиков скоростей прироста древесины, поиск и первичная обработка литературных источников для раздела «Дискуссия». Подготовка первого варианта рукописи. Вычитка и корректировка финального варианта публикации.

П. Ю. Санников – разработка общей концепции и структуры статьи, корректировка, дополнение анализа полученных данных и их сравнение с результатами работ других авторов. Вычитка и корректировка финального варианта публикации.

Contribution of the authors

A. S. Porozova – field work, office processing of wood cores, preparation of tables and graphs of wood growth rates, search and primary processing of literary sources for the "Discussion" section. Preparation of the first the manuscript. Proofreading and correction of the final version of the publication.

P. Yu. Sannikov – development of the general concept and structure of the article, correction, addition of the analysis of the data obtained and their comparison with the results of the work of other authors. Proofreading and correction of the final version of the publication.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596018

Funding: The reported study was funded by RFBR and Perm Territory, project number 20-45-596018

Список источников

1. Андреев Д.Н., Шатрова А.И. Нефтепромысловые объекты в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 3–7.

2. Атлас Пермского края / под общ. ред. А.М. Тартаковского Пермь: изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2012. 124 с.

3. Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Кулакова С.А. Ландшафтный заказник «Нижневишерский». Пермь: Изд-во «Мобиле», 2004. 59 с.

4. Крючков К.В. Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения. автореф. дис. канд. сельск. наук. Уральск. гос. лесотехническая академии. Екатеринбург, 2000. 20 с.

5. Казанцева М.Н., Аюпова А.Ф. Влияние газового факела на репродуктивные показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Северной тайге ЯНАО // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2018. № 51. С. 130–133.

6. Картографические материалы Нижне-Язьвинского участкового лесничества и Верхне-Язьвинского участкового лесничества Красновишерского лесничества в формате ESRI shape. По состоянию на момент лесоустройства 2005 г. (предоставлены инженером ЦКТИУ А.В. Кедровым) [Электронный ресурс].
7. Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б., Касаткин А.М. Применение дендрохроноиндикационных методов в оценке воздействия сжигания попутного нефтяного газа на хвойные породы в условиях средней тайги западной Сибири // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2015. Т. 25, вып. 1. С. 19–23.
8. Коротких Н.Н., Граб М.И., Вешкурцева Т.М. Влияние факелов по сжиганию попутного нефтяного газа на экологическое состояние сосновых лесов (на примере Северо-Даниловского и Тальникового месторождений) // География и природопользование Сибири. 2009. № 11. С. 96–110.
9. Косиченко Н.Е. Влияние генотипа-среды на формирование микроструктуры стебля и диагностика технических свойств, роста и устойчивости древесных растений. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. 42 с.
10. Матвеев С.М., Румянцев Д.Е. Дендрохронология: учебное пособие. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2013. 140 с.
11. Морозов А.Е. Оценка степени жизнеспособности древостоев кедра, подверженных воздействию факелов для сжигания попутного газа // Леса Урала и хозяйство в них. 1998. № 20. С. 176–180.
12. Овеснов С.А. К флоре Красновишерского района Пермской области. 2. Анализ флоры // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». 2004. №2. С. 7–13.
13. Кулакова С.А., Назаров А.В., Шепель А.И. Нижневишерский // Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. С. 246–249.
14. Охраняемый ландшафт «Нижневишерский». Индивидуальная страница ООПТ. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Нижневишерский> (дата обращения: 24.03.2021).
15. Пальчиков С.Б., Румянцев Д.Е. Современное оборудование для дендрохронологических исследований // Лесной вестник. 2010. № 3. С. 46–50.
16. Среднепогодные данные по метеорологической станции в г. Чердынь. Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.perm.ru/meteostantsii-permskogo-kraya/36-meteorologicheskaya-stantsiya-v-g-cherdyn> (дата обращения: 28.03.2021).
17. Полищук Ю.М., Кокорина Н.В., Касаткин А.М. Анализ биоиндикационных свойств сосны сибирской для оценки воздействия факельного сжигания попутного газа на природную среду // Вестник Югорского государственного университета, 2006. № 4. С. 87–92.
18. Полищук Ю.М., Хамедов В.А., Русакова В.В. Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 61–69. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-61-69>
19. Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 года N 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа» (в редакции от 13.12.2019). Электронный фонд нормативно-правовых документов «Кодекс» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902379207> (дата обращения: 12.07.2021).
20. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (Часть I. Разделы 1-5). Электронный фонд нормативно-правовых документов «Кодекс» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 14.05.2021).
21. Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso, 2011. 206 с.
22. Создание новой электростанция для полезной утилизации попутного нефтяного газа в Пермском крае. Сайт губернатора и Правительства Пермского края [Электронный ресурс]. URL: <https://permkrai.ru/news/v-permskom-krae-zapushchena-elektrostantsiya-dlya-poleznoy-utilizatsii-poputnogo-neftyanogo-gaza/> (дата обращения: 12.04.2021).
23. Овеснов С.А. Местная флора. Флора Пермского края и ее анализ: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь: Перм. гос. ун-т., 2009. 171 с.
24. Сергейчик С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1994. 279 с.
25. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
26. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
27. Harold C., Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate // Science, 1966. Vol. 154. Iss. 3752. P. 973–979. <https://doi.org/10.1126/science.154.3752.973>
28. Havas P., Huttunen S., The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Biological Conservation. 1972. Vol. 4, Iss. 5. P. 361–368. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(72\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(72)90052-3)
29. Juknys R., Vencloviene J., Stravinskiene V., Augustaitis A., Bartkevicius E., Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and condition in a polluted environment: from

decline to recovery // *Environmental Pollution*. 2003. Vol. 125. Iss. 2. P. 205–212.

[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00070-8)

30. Juknys R., Stravinskiene V., Vencloviene J. Tree-Ring Analysis for the Assessment of Anthropogenic Changes and Trends // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2002. Vol. 77. P. 81–97.

<https://doi.org/10.1023/a:1015718519559>

31. Matulewska P., Buchwal A., Zielonka A., Wronska-Walach D., Cufar K., Gartner H. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail // *Ecological Indicators*, 2021. Vol. 121. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>

32. Metslaid S., Stanturf John A., Hordo M., Korjus H., Laarmann D., Kiviste A. Growth responses of Scots pine to climatic factors on reclaimed oil shale mined land // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23, P. 13637–13652.

<https://doi.org/10.1007/s11356-015-5647-4>

33. Parn H. Impact of oil shale fly ash emitted from a power plant on radial growth of scots pine in north-east Estonia // *Oil Shale*. 2002. Vol. 19. Iss. 3. P. 307–319.

34. Parn H. Radial growth of conifers in regions of different cement dust loads // *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, ecology*. 2006. Vol. 55. Iss. 2. P. 108–122.

35. Parn H. Radial Growth Response of Scots Pine to Climate under Dust Pollution in Northeast Estonia // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2003. Vol. 144. P. 343–361. <https://doi.org/10.1023/A:1022969301545>

36. Pasho E., Camarero J.J., Vicente-Serrano S.M. Climatic impacts and drought control of radial growth and seasonal wood formation in *Pinus halepensis* // *Trees – Structure and Function*. 2012. Vol. 26. P. 1875–1886. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0756-x>

37. Pensa, M., Liblik, V. Sellin. A. Growth and needle retention of scots pine trees in the region of oil shale industry // *Oil Shale*. 2000. Vol. 17. Iss. 2. P. 154–167.

38. Silvestru-Grigore C.V., Dinulica F., Sparchez G., Halalişan A.F., Dinca L.C., Enescu R.E., Crisan V.E. Radial Growth Behavior of Pines on Romanian Degraded Lands // *Forests*. 2018. Vol. 9. Iss. 4. Number of article 213 P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/f9040213>

References

1. Andreev, D. and Shatrova, A., 2019. Oil industrial facilities in perm region. *Anthropogenic transformation of Nature*. (5), pp. 3–7. (in Russian)

2. Tartakovskiy, A. (ed.), 2012. *Atlas Permskogo kraja* [Atlas of the Perm Region]. Perm, izd-vo Perm. gos. nac. issled. un-ta. 124 p. (in Russian)

3. Buzmakov, S., Voronov, G., Kulakova, S., 2004. *Landshaftnyj zakaznik «Nizhnevisherskiy»* [Landscape Reserve «Nizhnevisherskiy»]. Perm: Publishing House «Mobile», 59 p. (in Russian)

4. Kryuchkov, K., 2000. *Vliyanie fakelov po szhiganiyu poputnogo gaza na lesnye nasazhdeniya* [The influence of associated gas flares on forest stands].

Avtoref. dis. kand. sel'sk. nauk. Ural'sk. gos. Lesotekhnicheskaya akademii. Ekaterinburg, 20 p. (in Russian)

5. Kazantseva, M., Ayupova A., 2018. Influence of the flambeau lights on the reproductive indicators of the scots pine (*Pinus sylvestris* L.) In the northern taiga of YANAO. *Topical problems of the forest complex*. (51), pp. 130–133. (in Russian)

6. Kartograficheskie materialy Nizhne-Yaz'vinskogo uchastkovogo lesnichestva i Verhne-Yaz'vinskogo uchastkovogo lesnichestva Krasnovisherskogo lesnichestva v formate ESRI shape. Po sostoyaniyu na moment lesoustrojstva 2005 g. (predostavleny inzhenerom CKTiU A.V. Kedrovym). (in Russian)

7. Kokorina, N., Tatarintsev, P., Kasatkin, A., 2015. Application of dendrochronoidication methods to estimate the influence of associated gas burning on coniferous species in west-siberian middle taiga. *Bulletin of Udmurt University. Series «Biology. Earth Sciences»*. 25(1), pp. 19–23. (in Russian)

8. Korotkih, N., Grab, M. and Veshkurceva, T., 2009. Vliyanie fakelov po szhiganiyu poputnogo neftyanogo gaza na ekologicheskoe sostoyanie osnovnykh lesov (na primere Severo-Danilovskogo i Tal'nikovogo mestorozhdenij) [Impact of associated petroleum gas flares on the ecological state of pine forests (using the example of the North Danilovsky and Talnikov fields)]. *Geografiya i prirodopol'zovanie Sibiri*. (11), pp. 96–110. (in Russian)

9. Kosichenko, N., 1999. *Vliyanie genotipa-sredy na formirovanie mikrostruktury steblya i diagnostika tekhnicheskikh svoystv, rosta i ustojchivosti drevesnykh rastenij* [Influence of genotype-medium on formation of stem microstructure and diagnostics of technical properties, growth and stability of woody plants]. Voronezh: Izd-vo VGU, 42 p. (in Russian)

10. Matveev, S., Rumyanecv, D., 2013. *Dendrohronologiya: uchebnoe posobie* [Dendrochronology: tutorial]. Voronezh: Izd-vo VGLTA. 140 p. (in Russian)

11. Morozov, A., 1998. Ocenka stepeni zhiznesposobnosti drevostoev kedra, podverzhennykh vozdeystviyu fakelov dlya szhiganiya poputnogo gaza [Assessment of the degree of viability of cedar stands exposed to flares for incineration of associated gas]. *Lesnaya Urala i hozyajstvo v nih*. (20), pp. 176–180. (in Russian)

12. Ovesnov, S., 2004. To the flora of Krasnovishersk area of Perm region. 2. The analysis of the flora [To the flora of the Krasnovisherskiy district of the Perm region]. *Bulletin of Perm University. Series «Biology»*. (2), pp. 7–13. (in Russian)

13. Kulakova, S., Nazarov, A. and Shepel, A., 2017. Nizhnevisherskii. In: Buzmakov, S. (ed.) *Atlas osobo ohranyaemykh prirodnykh territorij Permskogo kraja* [Atlas of specially protected natural areas of Perm Krai]. Perm, Russia, Aster. pp. 246–249. (in Russian)

14. Protected landscape «Nizhnevisherskiy» Individual page of the protected area. Information and analytical system «Protected areas of Russia». Available from: <http://oopt.aari.ru/oopt/Нижневисшерский> [Accessed 24th March 2021]. (in Russian)

15. Pal'chikov, S., Romyancev, D., 2010. Sovremennoe oborudovanie dlya dendrohronologicheskikh issledovaniy [Modern equipment for dendrochronological research]. *Lesnoj vestnik*, (3), pp. 46–50. (in Russian)
16. Average long-term data on the meteorological station in Cherdyn. Perm Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available from: <http://meteo.perm.ru/meteostantsii-permskogo-kraja/36-meteorologicheskaya-stantsiya-v-g-cherdyn> [Accessed 28th March 2021]. (in Russian)
17. Polishchuk, Yu., Kokorina, N., Kasatkin, A., 2006. Analiz bioindikacionnyh svojstv sosny sibirskoj dlya ocenki vozdeystviya fabel'nogo szhiganiya poputnogo gaza na prirodnyuyu sredu [Analysis of bioindication properties of Siberian pine to assess the impact of flaring of associated gas on the natural environment]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, (4), pp. 87–92. (in Russian)
18. Polishchuk, Yu., Khamedov, V. and Rusakova, V., 2016. Remote studies of gas flaring impact on forest cover in oil-producing areas using vegetation index. *Ugra Research Institute of Information Technologies*, 13(1), pp. 61–69. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-61-69> (in Russian)
19. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 8 noyabrya 2012 goda N 1148 «Ob osobennostyah ischisleniya platy za negativnoe vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu pri vybrosah v atmosferyj vozdukh zagryaznyayushchih veshchestv, obrazuyushchihysya pri szhiganii na fabel'nyh ustanovkah i (ili) rasseivanii poputnogo nefryanogo gaza» (v redakcii ot 13.12.2019). Elektronnyj fond normativno-pravovyh dokumentov «Kodeks». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/902379207> [Accessed 27th July 2021]. (in Russian)
20. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery (CHast' I. Razdely 1-5). Elektronnyj fond normativno-pravovyh dokumentov «Kodeks». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> [Accessed 14th May 2021]. (in Russian)
21. Sazonova, T., Bolondinskij, V., Pridacha, V., 2011. *Ekologo-fziologicheskaya harakteristika sosny obyknovnoy* [Ecological and physiological characteristics of scots pine]. Petrozavodsk, Verso. 206 p. (in Russian)
22. Creation of a new power plant for the useful utilization of associated petroleum gas in the Perm Region. Website of the Governor and the Government of the Perm Region. Available from: <https://permkrai.ru/news/v-permskom-krae-zapushchena-elektrostantsiya-dlya-poleznoy-utilizatsii-poputnogo-nefryanogo-gaza/> [Accessed 12th April 2021]. (in Russian)
23. Ovesnov, S., 2009. *Mestnaya flora. Flora Permskogo kraja i ee analiz: ucheb. posobie po spekursu* [Local flora. Flora of the Perm Region and its analysis: textbook. special course manual]. Perm, Perm. gos. un-t., 171 p. (in Russian)
24. Sergejchik, S., 1994. *Ustojchivost' drevesnyh rastenij v tekhnogennoj srede* [Stability of woody plants in the technogenic environment]. Minsk, Nauka i tekhnika, 279 p. (in Russian)
25. Shishov, L., Tonkonogov, V., Lebedeva, I. and Gerasimova, M., 2004. *Klassifikaciya n diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, Ojkumena, 342 p. (in Russian)
26. Shiyatov, S., Vaganov, E., Kiryanov, A., Kruglov, V., Mazepa, V., Naurzbaev, M. and Hantemirov, R., 2000. *Metody dendrohronologii. CHast' I. Osnovy dendrohronologii. Sbor i poluchenie drevesnokol'cevoj informacii: uchebno-metodich. Posobie* [Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collection and receipt of tree-ring information: educational and methodical. stipend]. Krasnoyars, KrasGU, 80 p. (in Russian)
27. Fritts, H., 1966. Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate. *Science*, 154(3752), pp. 973–979. <https://doi.org/10.1126/science.154.3752.973>
28. Havas, P. and Huttunen, S. (1972) The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Biological Conservation*, 4(5), pp. 361–368. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(72\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(72)90052-3)
29. Juknys, R., Vencloviene, J., Stravinskiene, V., Augustaitis, A. and Bartkevicius, E., 2003. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and condition in a polluted environment: from decline to recovery. *Environmental Pollution*, 125(2), pp. 205–212. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00070-8)
30. Juknys, R., Stravinskiene, V. and Vencloviene, J., 2002. Tree-Ring Analysis for the Assessment of Anthropogenic Changes and Trends. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77, pp. 81–97. <https://doi.org/10.1023/a:1015718519559>
31. Matulewski, P., Buchwal, A., Zielonka, A., Wrońska-Wałach, D., Ćufar, K. and Gärtner, H., 2021. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail. *Ecological Indicators*, 121, 107095. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>
32. Metslaid, S., Stanturf, J., Hordo, M., Korjus, H., Laarmann, D. and Kiviste, A., 2015. Growth responses of Scots pine to climatic factors on reclaimed oil shale mined land. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(14), pp. 13637–13652. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5647-4>
33. Parn, H., 2002. Vliyanie slantsevoi letucei zoly, vybrasyvaemoi elektrostantsiei, na radial'nyi rost sosny obyknovnoy na severo-vostoke Estonii [Impact of oil shale fly ash emitted from a power plant on radial growth of scots pine in north-east Estonia]. *Oil Shale*. 19(3), pp. 307–319
34. Parn, H., 2006. Radialnyi rost hvoinyh porod v regionah s razlichnoi nagruzkoj tsementnoi pyli [Radial growth of conifers in regions of different cement dust loads]. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology, ecology*. 55(2). pp. 108–122.

35. Parn, H., 2003. Radial Growth Response of Scots Pine to Climate under Dust Pollution in Northeast Estonia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 144, pp. 343–361. <https://doi.org/10.1023/A:1022969301545>

36. Pasho, E., Julio Camarero, J. and Vicente-Serrano, S., 2012. Climatic impacts and drought control of radial growth and seasonal wood formation in *Pinus halepensis*. *Trees*, 26(6), pp. 1875–1886. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0756-x>

37. Pensa, M., Liblik, V. Sellin. A., 2000. Rost i sohranenie igl sosny obyknovennoi v regione slantsevoi promyshlennosti [Growth and needle retention of scots pine trees in the region of oil shale industry]. *Oil Shale*, 17(2), pp. 154–167.

38. Silvestru-Grigore, C., Dinulică, F., Spârchez, G., Hălălișan, A., Dincă, L., Enescu, R. and Crișan, V., 2018. Radial Growth Behavior of Pines on Romanian Degraded Lands. *Forests*, 9(4), Number of article 213. <https://doi.org/10.3390/f9040213>

Статья поступила в редакцию 15.09.2021; одобрена после рецензирования 14.10.2021; принята к публикации 18.10.2021.

The article was submitted 15.09.2021; approved after reviewing 14.10.2021; accepted for publication 18.10.2021.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Воронов Г. А.,
Исаков Д. С.,
Жукова М. В. 6

Абдулманова И. Ф. 24

Diarra B. 36

Andreev D., Buzmakov S. 49

Порозова А. С.
Санников П. Ю. 58

Научное издание

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Том 7, № 2
2021

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

Подписано в печать 29.11.2021. Дата выхода: 09.12.2021
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 8,84. Тираж 100 экз. Заказ 167

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

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

Распространяется бесплатно