

ДИНАМИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Environmental Dynamics and Global Climate Change



Том
Volume

13

Выпуск
Issue

4

2022

ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Volume 13
Issue 4
2022

<https://edgcccjournal.org>

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF

Elena D. Lapshina, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Khanty-Mansiysk, Russia)
Mikhail V. Glagolev, PhD of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

EDITORIAL BOARD

Executive Secretary

Olga M. Shaduyko (Tomsk, Russia)

Elena V. Agbalyan, Dr. habil. of Biol. Sci. (Salekhard, Russia)

Sergey A. Blagodatskiy, Dr. habil. of Biol. Sci. (Stuttgart, Germany)

Vasilii A. Vavilin, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci. (Moscow, Russia)

Egor A. Dyukarev, PhD in Phys. and Math. Sci. (Tomsk, Russia)

Mikhail V. Kabanov, Dr. habil. of Phys. and Math. Sci., Professor, Corresponding Member of the RAS (Tomsk, Russia)

Dmitriy V. Karelin, Dr. habil. of Biol. (Moscow, Russia)

Roman A. Kolesnikov, PhD in Geogr. Sci. (Salekhard, Russia)

Oleg P. Kotsyurbenko, Dr. habil. of Biol. Sci. (Khanty-Mansiysk, Russia)

Alexei V. Kouraev, PhD in Geogr. Sci., Assistant professor (Toulouse, France)

Shamil S. Maksyutov, PhD in Phys. and Math. Sci. (Tsukuba, Japan)

Vasilii B. Martynenko, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Ufa, Russia)

Nsdezhda V. Matveeva, Dr. habil. of Biol. Sci.

(Sankt-Petersburg, Russia)

Alexander V. Puzanov, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor (Barnaul, Russia)

Andrey B. Rozanov, PhD in Geogr. Sci. (Stellenbosch, South Africa)

Andrey A. Sirin, Dr. habil. of Biol., Professor (Uspenskoe, Moscow region, Russia)

Viktor M. Stepanenko, PhD in Phys. and Math. Sci. (Moscow, Russia)

Alexey L. Stepanov, Dr. habil. of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

Evgeniy V. Shein, Dr. habil. of Biol. Sci. (Moscow, Russia)

Sergey A. Shoba, Dr. habil. of Biol. Sci., Professor, Corresponding Member of the RAS (Moscow, Russia)

Kirsi Latola, PhD, Research coordinator (Oulu, Finland)

Mariusz Lamentowicz, Dr. habil., Full-Professor (Poznan, Poland)

Kári Fannar Lárusson, PhD, CAFF program manager (Akureyri, Iceland)

Ivan Mammarella, PhD, Assistant Professor (Helsinki, Finland)

Timo Vesala, Dr., Academy Professor (Helsinki, Finland)

Vincent F. Warwick, Dr., Full-Professor (Quebec Canada)

Editorial Office

Oleg A. Frolov, managing editor (Moscow, Russia)

Inna O. Rozhkova-Timina, WEB editor, computer layout (Tomsk, Russia)

Ruslan A. Runkov, technical editor (Moscow, Russia)

Founder:

Yugra State University. 628012, Russia, Khanty-Mansi autonomous Area, Khanty-Mansiysk, Chekhova str., 16. Phone/fax: +7(3467)377-000, ext. 101, WEB: www.ugrasu.ru

National Research Tomsk State University. 634050, Russia, Tomsk, Lenin Ave, 36. Phone: +7(3822)58-98-52, fax: +7(3822)52-95-85, WEB: www.tsu.ru

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science. 656038, Russia, Barnaul, Molodezhnaya str., 1. Phone: +7(3852)66-64-60, fax: +7(3852)24-03-96, WEB: www.iwep.ru

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets autonomous Area. 629001, Russia, Yamal-Nenets autonomous District, Salekhard, Respublic str., 73. Phone/fax: +7(34922)441-32, WEB: www.arctic.yanao.ru

ДИНАМИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Том 13
Выпуск 4
2022

Журнал издается с 2008 года

<https://edgcccjournal.org>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Елена Дмитриевна Лапина, д-р биол. наук, профессор (Ханты-Мансийск, Россия)
Михаил Владимирович Глаголев, канд. биол. наук (Москва, Россия)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Ответственный секретарь

О.М. Шадуйко (Томск, Россия)

Е.В. Азбалаян, д-р биол. наук (Салехард, Россия)

С.А. Благодатский, д-р биол. наук (Штутгарт, Германия)

В.А. Вавилин, д-р физ.-мат. наук (Москва, Россия)

Е.А. Дюкарев, канд. физ.-мат. наук (Томск, Россия)

М.В. Кабанов, д-р физ.-мат. наук, профессор, член-корреспондент РАН (Томск, Россия)

Д.В. Карелин, д-р биол. наук (Москва, Россия)

Р.А. Колесников, канд. геогр. наук (Салехард, Россия)

О.Р. Коцюрбенко, д-р биол. наук (Ханты-Мансийск, Россия)

А.В. Кураев, канд. геогр. наук, доцент (Тулуза, Франция)

Ш.Ш. Максютлов, канд. физ.-мат. наук (Цукуба, Япония)

В.Б. Мартыненко, д-р биол. наук, профессор (Уфа, Россия)

Н.В. Матвеева, д-р биол. наук (Санкт-Петербург, Россия)

А.В. Пузанов, д-р биол. наук, профессор (Барнаул, Россия)

А.Б. Розанов, канд. геогр. наук (Стелленбос, ЮАР)

А.А. Сирин, д-р биол. наук, профессор (п/о Успенское, Московская обл., Россия)

В.М. Степаненко, канд. физ.-мат. наук (Москва, Россия)

А.Л. Степанов, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)

Е.В. Шеин, д-р биол. наук, профессор (Москва, Россия)

С.А. Шоба, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН (Москва, Россия)

Т. Весала, д-р, профессор (Хельсинки, Финляндия)

К. Латола, д-р (Оулу, Финляндия)

М. Ламентович, д-р, профессор (Познань, Польша)

К.Ф. Ларуссон, д-р (Акурейри, Исландия)

И. Маммарелла, д-р, доцент (Хельсинки, Финляндия)

В.Ф. Варвик, д-р, профессор (Квебек, Канада)

Редакция

О.А. Фролов, заведующий редакцией (Москва, Россия)

И.О. Рожкова-Тимина, WEB-редактор, компьютерная верстка (Томск, Россия)

Р.А. Руньков, технический редактор (Москва, Россия)

Учредители:

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

628012, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Ханты-Мансийск ул. Чехова, 16.

Тел./факс: +7(3467)37-70-00 (доб. 101), WEB: www.ugrasu.ru

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36. Тел.: +7(3822)58-98-52, факс: +7(3822)52-95-85, WEB: www.tsu.ru

ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии наук. 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1. Тел.: +7(3852)66-64-60, факс: +7(3852)24-03-96, WEB: www.iwep.ru

ГКУ Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики».

629008, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, 73. Тел./факс: +7(34922)441-32, WEB: www.arctic.yanao.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций, связи и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73235 от 06.07.2018

Индексируется: Science Index (РИНЦ), Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, EBSCO

Техподдержка: Рожкова-Тимина Инна Олеговна. Тел. +7 9539215004. E-mail: inna.timina@mail.ru

Архив журнала «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» размещен в сети Интернет www.elibrary.ru, <https://edgcccjournal.org/EDGCC/issue/archive>

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Dolgikh N.N., Osipov D.S., Osipova N.D.

Technical and environmental features of the application of renewable energy for decentralized power supply zones 182-193

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Zarov E.A., Jacotot A., Kulik A.A., Gogo S., Lapshina E.D., Dyukarev E.A.

The carbon dioxide fluxes at the open-top chambers experiment on the ombrotrophic bog (Mukhrino field station) 194-201

Blinova I. V.

Population demography of rare sedges (*Eriophorum gracile* and *Carex livida*) north of the Arctic Circle in Murmansk Region and climate change impacts 202-214

ОБЗОРЫ И ЛЕКЦИИ

Kupriianova I.V., Kaverin A.A., Filippov I.V., Ilyasov D.V., Lapshina E.D., Logunova E.V., Kulyabin M.F.

The main physical and geographical characteristics of the Mukhrino field station area and its surroundings 215-252



TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL FEATURES OF THE APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY FOR DECENTRALIZED POWER SUPPLY ZONES

Dolgikh N.N.¹, Osipov D.S.¹, Osipova N.D.²

¹⁾ Ugra State University, 16, Chehov str., Khanty-Mansiysk 628012, Russia

²⁾ Saint Petersburg Mining University, 2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russia

nabal2006@list.ru

Citation: Dolgikh N.N., Osipov D.S., Osipova N.D. 2022. Technical and environmental features of the application of renewable energy for decentralized power supply zones // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 4. P. 182-193.

DOI: 10.18822/edgcc134196

Особенностью географического положения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры является наличие большого количества зон децентрализованного электроснабжения. Для сравнительной экологической оценки установок ВИЭ необходимо учитывать выбросы всего жизненного цикла. На протяжении всего представленного цикла от добычи до производства конструкций электростанций и затем утилизации объекта присутствует значительная часть выбросов CO₂. Актуальной становится проблема демонтажа и утилизации отработавших конструкций ветровых электростанций.

С технической точки зрения, необходимо учитывать режимные параметры: показатели качества электроэнергии в точке присоединения, уровни напряжения в узлах нагрузки, режимы работы накопителей энергии. Для оценки параметров работы изолированной системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии в данной работе предлагается использовать метод вейвлет-преобразования. Представлена математическая модель, позволяющая получить низкочастотную (трендовую) составляющую и высокочастотную составляющую с помощью вейвлет-преобразования. Модель позволяет осуществить оптимальный выбор гибридного накопителя энергии для возобновляемого источника энергии - аккумулятора и суперконденсатора.

Ключевые слова: эмиссия жизненного цикла, возобновляемые источники энергии, децентрализованные системы электроснабжения, качество электроэнергии, вейвлет преобразование.

Key words: life cycle emissions, renewable energy sources, decentralized power supply systems, power quality, wavelet transform

SUMMARY

A feature of the geographical location of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra is the presence of a large number of zones of decentralized power supply. For a comparative environmental assessment of renewable energy installations, it is necessary to take into account the emissions of the entire life cycle. Throughout the presented cycle from mining to the production of power plant structures and then the disposal of the facility, a significant part of CO₂ emissions is present. The problem of dismantling and recycling of spent structures of wind power plants is becoming essential. Wind turbines cause the death of birds, violate the conditions of comfortable living for people and animals

From a technical point of view, it is necessary to take into account the regime parameters: indicators of the quality of electricity at the point of connection, voltage levels at load nodes, operating modes of energy storage devices. To assess the operating parameters of an isolated power supply system with renewable energy sources, this paper proposes to use the wavelet transform method. The Haar wavelet was used as a basic function in the paper. A mathematical model is presented that makes it possible to obtain a low-frequency (trend) component and a high-frequency component using the wavelet transform. The model allows for the optimal choice of a hybrid energy storage device for a renewable energy source - a battery and a supercapacitor.

MATERIALS AND METHODS

The object of this study is the isolated power supply systems of the hard-to-reach northern territories of Russia. Such systems are equipped with combined power plants, which include a diesel generator and one or more types of

renewable energy sources (RES). For the Khanty-Mansi Autonomous Okrug - Yugra, solar panels and wind power plants are the most widely used RES, a significant limitation of which is unstable generation depending on wind speed and the number of sunny days. Accordingly, there is a scientific and technical problem of the optimal distribution of generating elements, taking into account the daily curves of electrical loads. Energy surpluses during hours of minimum consumption can be concentrated in storage devices - rechargeable batteries and supercapacitors. With a sharp increase in demand for electricity, the storage devices will give it to the consumer.

One of the key parameters for the functioning of isolated power supply systems with RES have to be indicators of the quality of electricity. The current standard GOST 32144-2013 (Power quality standards in general-purpose power supply systems) defines, among others, the requirements for the shape of the voltage curve. The two indicators introduced are:

- the value of the voltage harmonic factor up to the 40th order

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100 \quad (1)$$

- the value of the total voltage harmonic factor

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100 \quad (2)$$

To solve scientific and practical problems, methods of continuous (3), discrete (4) and packet wavelet transform have been developed and successfully applied [Smolentsev N.K. 2014]:

$$\hat{F}(a, b) = |a|^{-1/2} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (3)$$

$$\hat{F}_{m,n} = a_0^{-m/2} \int f(t) \psi(a_0^{-m} t - nb_0) dt. \quad (4)$$

where $\psi_{j,k}(t)$ is the mother wavelet function. Formula (4) results from formula (3), given that a and b take only discrete values: $a = a_0^m$, $b = nb_0 a_0^m$, $a, m, n \in \mathbb{Z}$ [Smolentsev N.K. 2014].

The properties of the wavelet transformation can also be used to analyze load curves for consumers of a decentralized power supply system in order to optimally select the operating mode in the presence of a combined generation system: solar panels and wind turbines. Discrete decomposition of the daily power curve of a group of consumers of an isolated power supply system at the first level, taking into account the fact that each wavelet function can be characterized by the filter coefficients of the lower h_0, h_1 and high g_0, g_1 frequencies in matrix form, is implemented by the formula:

$$\begin{pmatrix} h_0 & h_1 & 0 & 0 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & K & K & 0 & 0 \\ K & K & K & K & K & K & K & K \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & K & h_0 & h_1 \\ g_0 & g_1 & 0 & 0 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & K & g_0 & g_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ K \\ K \\ K \\ P_{n-1} \\ P_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{j,0}^A \\ P_{j,1}^A \\ K \\ P_{j,n/2}^A \\ P_{j,0}^D \\ P_{j,1}^D \\ K \\ P_{j,n/2}^D \end{pmatrix} \quad (5)$$

For the Haar wavelet, the coefficients of the lower h_0, h_1 filters are equal:

$$h_0(k) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad h_1(k) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

By repeating the procedure for the approximating coefficients of the first level of decomposition

$P_{1,0}^A = [P_{1,0(1)}^A \ P_{1,0(2)}^A \ P_{1,0(3)}^A \ \dots \ P_{1,0((n-1)/2)}^A \ P_{1,0(n/2)}^A]$ in accordance with the scheme (Fig. 3), one can obtain

approximating and detailing coefficients of the second level of decomposition, etc.

The inverse wavelet transformation (reconstruction) of the signal can be performed by the formula:

$$\begin{pmatrix}
H_0 & 0 & K & 0 & G_0 & 0 & K & 0 \\
H_1 & 0 & K & 0 & G_1 & 0 & K & 0 \\
0 & H_0 & K & 0 & 0 & G_0 & K & 0 \\
0 & H_1 & K & 0 & 0 & G_1 & K & 0 \\
K & K & K & K & K & K & K & K \\
K & K & K & K & K & K & K & K \\
0 & 0 & K & H_0 & 0 & 0 & K & G_0 \\
0 & 0 & K & H_1 & 0 & 0 & K & G_1
\end{pmatrix}
\times
\begin{pmatrix}
P_{Aj,0}^A \\
P_{Aj,1}^A \\
K \\
P_{Aj,n/2}^A \\
P_{Aj,0}^D \\
P_{Aj,1}^D \\
K \\
P_{Aj,n/2}^D
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
P_1 \\
P_2 \\
P_3 \\
K \\
K \\
K \\
P_{1439} \\
P_{1440}
\end{pmatrix}. \quad (7)$$

The inverse wavelet transformation makes it possible to switch to the original format of the signal under study, in this case, to the dimension of active power (kW).

RESULTS & DISCUSSION

As initial data for carrying out a numerical experiment, we will take the daily curve of electrical loads of an isolated power supply system, obtained with a time interval of 1 minute using the automatic commercial electricity metering system installed at the facility (Fig. 4). A similar set of data can be obtained by the substation staff on duty, in the manual mode of fixing the power value according to the readings of wattmeters.

To identify the trend component of the electrical load curves when developing a hybrid energy storage device based on a battery and a supercapacitor, it is necessary to keep the low-frequency component unchanged. In this paper, only the wavelet coefficient A5 (Fig. 5) obtained as a result of discrete wavelet transformation of the daily curve (Fig. 4) is responsible for the low-frequency component (averaging over 32 minutes). To select the low-frequency component during restoration, it will be necessary to nullify all wavelet coefficients, except for A5 (Fig. 6).

As a result of such an operation, we obtain a daily power plot of an isolated power supply system with renewable energy sources, restored from a single branch of the wavelet coefficients of the fifth level of decomposition (Fig. 7). The reconstructed plot has an averaging period of 32 minutes and consists of 45 steps. It should be noted that such a "stepped" form of the reconstructed plot is characteristic only when the Haar wavelet is used as the basis function. The plot will have a smoother look in case of choosing another wavelet function.

For a comprehensive assessment of the effectiveness of the introduction of renewable energy sources in the power supply systems of isolated areas, an integrated accounting of environmental and technical factors is proposed. The emission of the RES life cycle must be taken as a key factor in relation to the environment protection. This issue should include the calculation of the carbon footprint in the production, operation and disposal of spent RES elements (in particular, solar panels and wind turbine blades). To assess the technical feasibility of using RES, the operating modes of both individual RES systems and combined elements should be taken into account. To calculate the power quality indicators and the optimal choice of storage devices (supercapacitors and storage batteries), the authors of this paper suggest to use discrete wavelet transformation methods. Based on the discrete wavelet decomposition using the Haar wavelet, the trend component of the electrical load plot (for choosing a battery) and the high-frequency fluctuation component for calculating and choosing a supercapacitor were identified.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в качестве дополнительных к широко применяемым типам электрических станций (атомные, тепловые, гидроэлектростанции) вводятся новые мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Как следует из определения ВИЭ – «это энергетические ресурсы постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоцентров растительного и животного происхождения» [Лукутин. 2008. С. 5]. Целесообразность использования ВИЭ на отдельных территориях определяется, прежде всего, их экономической эффективностью. При наличии крупных центров питания (АЭС, ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС) возобновляемые источники, зачастую, оказываются менее эффективными и могут рассматриваться лишь как дополнительные. Особенностью географического положения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры является наличие более 30 зон так называемого децентрализованного электроснабжения, т.е. городов и поселков, не имеющих связи с единой энергетической системой. Проблема децентрализованного электроснабжения характерна не только для Югры, так, «децентрализованные территории с инфраструктурной изоляцией автономных систем электроснабжения характерны для 70% территории России» [Киушкина. 2019. С. 6]. Для таких территорий (городов и поселков) особую актуальность приобретают именно ВИЭ, в частности для

Югры речь, прежде всего идет о солнечных электрических станциях и электростанциях, использующих энергию ветра.

При оценке экологической эффективности ветровых и солнечных электростанций следует учитывать то обстоятельство, что при своей работе эти типы ВИЭ не производят CO₂, однако при производстве комплектующих данных типов электростанций эмиссия CO₂ происходит. Исследования в этой области получили название «изучение эмиссии жизненного цикла» (life cycle emissions) [Безруких 2015. С. 10]. Для сравнительной экологической оценки установок возобновляемой энергетики в работе [Соснина и др. 2015] приведена схема жизненного цикла ветровой энергоустановки (рис. 1). На всем протяжении представленного цикла от добычи полезных ископаемых (руды, нефти), производства материалов (стали, меди, свинца, серной кислоты и др.), производства конструкций энергоустановки а затем и утилизации объекта присутствует значительная часть эмиссии CO₂, обусловленной указанными технологическими процессами.

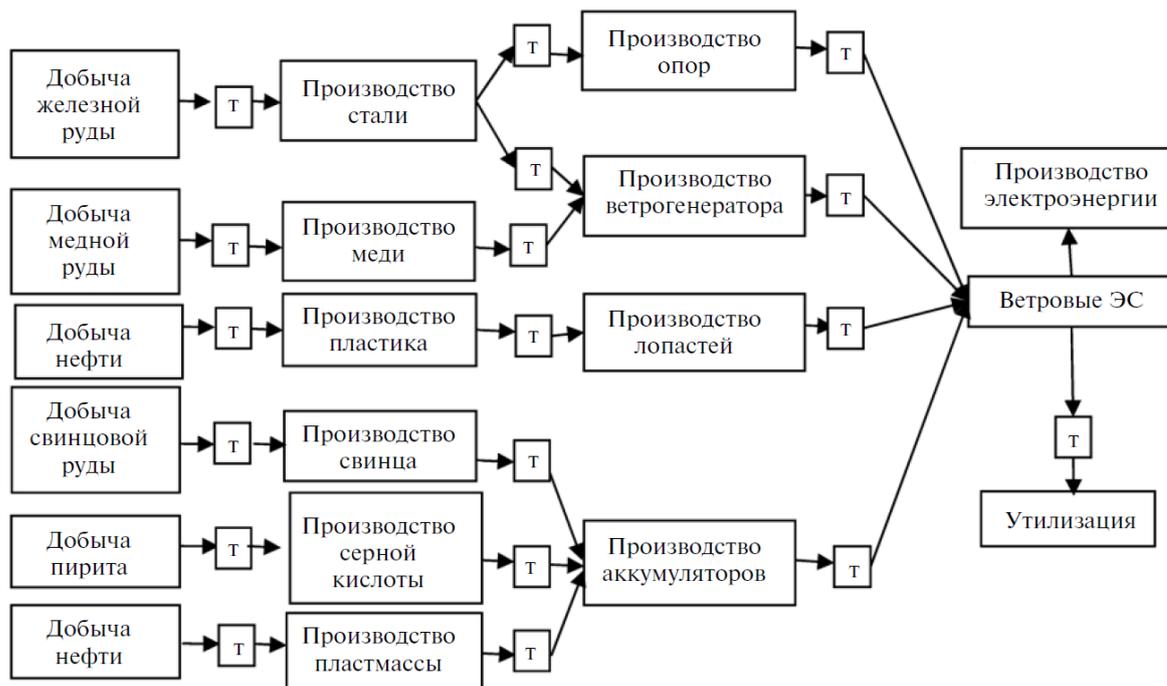


Рисунок 1. Схема жизненного цикла ВЭУ [Соснина и др. 2015. С. 6]

Также следует отметить негативное влияние лопастей ветроэнергетических установок (ВЭУ) на популяцию птиц, влияние вибрации и звуковых колебаний при вращении ВЭУ на организмы животных и человека [Виноградов и Сейфуллин 2020. С. 48]. По оценке, представленной в работе [Рыженков и др. 2011. С. 76] ежегодно в мире погибает более 28 тыс. особей птиц из-за столкновения с лопастями ВЭУ. В том числе этот печальный список пополняют и редкие, охраняемые виды птиц.

Существенное значение приобретает проблема демонтажа и утилизации отработавших конструкций ветроэнергетических установок. По своей конструкции лопасти состоят из композитных материалов, стекловолокна, эпоксидных смол и т.д., что в значительной степени затрудняет их утилизацию и переработку [Павлов. 2018. С. 147]. Сжигание лопастей приводит еще к более тяжелым последствиям для экологии за счет выброса вредных и ядовитых соединений в атмосферу.

В работе [Павлов. 2018] автором предложен способ утилизации лопастей методом дробления до гранул разных размеров и последующего использования при производстве строительных материалов. Автор приводит экономические расчеты эффективности инвестиционного дохода при повторном использовании материалов лопастей ВЭУ.

В статье [Соснина и др. 2013] приводится детальный расчет и анализ выброса вредных веществ при производстве различных типов энергоустановок на ВИЭ. Авторы приводят аргументированное обоснование, что в процессе производства всех ВИЭ происходит загрязнение окружающей среды, при этом, минимальный уровень загрязнения происходит при производстве мини-ГЭС, а максимальный при производстве солнечных энергоустановок [Соснина и др. 2013]. Оценка загрязнения окружающей среды, в том числе и деталями конструкций солнечных энергоустановок приводится в статье [Sovacool В. К. 2021].

Анализ существующих типов производства лопастей для ВЭУ с точки зрения оценки минимально возможного негативного влияния на окружающую среду приведен в работе [Liu P. et al. 2019].

Крупные ВЭУ имеют более высокую энергетическую эффективность, поскольку обладают стабильным энергетическим потенциалом ветра на высоте их башни, достигающей 100 метров [Лукутин и др. 2008. С. 112].

В структуру автономной ВЭУ (рис. 2 [Лукутин и др. 2008. С. 113]) помимо ветродвигателя и генератора входят элементы силовой электроники: выпрямитель для зарядки аккумуляторной батареи или иного накопителя, а также инвертор для преобразования постоянного тока накопителя в переменный, необходимый для подключения к электрической сети абонентов. Наличие выпрямителя и инвертора в значительной степени ухудшает показатели качества электроэнергии у потребителя. А в случае подключения ВЭУ в качестве дополнительного источника генерации к централизованной энергосистеме, появляются дополнительные вопросы о показателях качества электроэнергии в точке общего присоединения. Ряд авторов при обосновании энергетической эффективности применения ВЭУ, затрагивая вопросы обеспечения качества электроэнергии, не оценивают показатель, связанный с синусоидальностью формы кривой напряжения [Алехина Е.В. 2013]. Тем не менее, необходимые для нормального функционирования ВЭУ элементы силовой электроники (выпрямитель и инвертор) являются причиной искажения именно синусоидальности кривой напряжения.

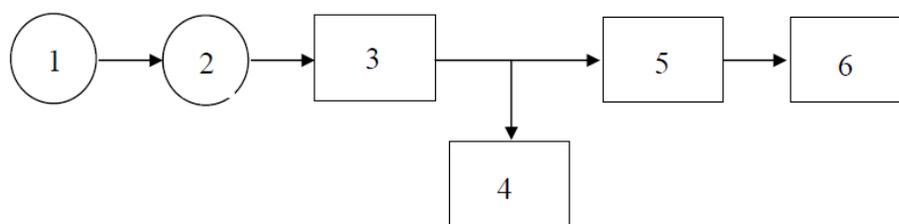


Рисунок 2. Структурная схема автономной ВЭУ [Лукутин и др. 2008. С. 113]:

1 – ветродвигатель; 2 – генератор; 3– выпрямительно-зарядное устройство; 4– аккумуляторная батарея; 5 – автономный инвертор; 6 – электрические нагрузки станции.

Таким образом, для определения эффективности применения ВИЭ для электроснабжения изолированных районов Арктики и Крайнего Севера необходимо в комплексе учитывать экологические аспекты производства, функционирования и утилизации составных частей и агрегатов ВИЭ. С технической точки зрения необходим учет режимных параметров: показателей качества электроэнергии в точке присоединения, уровни напряжения в узлах нагрузки, режимы работы накопителей электроэнергии. В настоящее время в качестве накопителей активно начинают применяться гибридные элементы состоящие из аккумуляторных батарей и суперконденсаторов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом настоящего исследования являются изолированные системы электроснабжения труднодоступных северных территорий России. Такие системы оснащаются комбинированными электростанциями, в состав которых входит дизель генератор и один или несколько видов ВИЭ. Для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в качестве ВИЭ наибольшее распространение получили солнечные панели и ветроэнергетические установки, существенным недостатком которых является не стабильная генерация, зависящая от скорости ветра и количества солнечных дней. Таким образом, возникает научно-техническая задача оптимального распределения генерирующих элементов с учетом суточных графиков электрических нагрузок. Избытки энергии в часы минимального потребления могут быть сосредоточены в накопителях – аккумуляторных батареях и суперконденсаторах. При резком увеличении спроса на электроэнергию накопители будут отдавать ее потребителю.

Для оценки режимных параметров функционирования изолированной системы электроснабжения с ВИЭ в настоящей работе предлагается использовать метод вейвлет преобразования.

В настоящее время продолжается разработка моделей и алгоритмов вейвлет анализа для решения широкого круга научно-технических задач. Так, в работе [Кропотов Ю.А. и др. 2015] для анализа и прогнозирования временных рядов данных о концентрациях загрязняющих веществ использован метод вейвлет преобразования. Как отмечают авторы [Кропотов Ю.А. и др. 2015. С. 185] при построении модели анализа данных о негативном воздействии промышленных производств на основе вейвлет анализа «позволяет получить информацию о данных с более низкой погрешностью за счет снижения их флуктуаций и за счет повышения отношения сигнал/шум».

Как было отмечено выше, одним из определяющих параметров функционирования изолированных систем электроснабжения с ВИЭ следует считать показатели качества электроэнергии. Действующий в настоящий момент стандарт ГОСТ 32144-2013 (Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения) определяет в числе прочих и требования к форме кривой напряжения. Введены два показателя:

– значение коэффициента гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка

$$K_{U^{(n)}} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100 \quad (1)$$

– значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100 \quad (2)$$

Для решения научно-практических задач разработаны и успешно применяются методы непрерывного (3), дискретного (4) и пакетного вейвлет преобразования [Смоленцев Н.К. 2014]:

$$\hat{F}(a, b) = |a|^{-1/2} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (3)$$

$$\hat{F}_{m,n} = a_0^{-m/2} \int f(t) \psi(a_0^{-m}t - nb_0) dt. \quad (4)$$

где $\psi_{j,k}(t)$ – функция материнского вейвлета. Формула (4) получается из (3), если учесть, что a и b принимают только дискретные значения: $a = a_0^m$, $b = nb_0 a_0^m$, а $m, n \in \mathbb{Z}$ [Смоленцев Н.К. 2014].

Свойства вейвлет преобразования также могут быть применены для анализа графиков нагрузок потребителей децентрализованной системы электроснабжения с целью оптимального выбора режима работы при наличии комбинированной системы генерации: солнечные панели и ВЭУ. Дискретное разложение суточного графика мощности группы потребителей изолированной системы электроснабжения на первом уровне, с учетом того, что каждая вейвлет функция может характеризоваться коэффициентами фильтров нижних h_0, h_1 и верхних частот g_0, g_1 в матричном виде реализуется по формуле:

$$\begin{pmatrix} h_0 & h_1 & 0 & 0 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_0 & h_1 & K & K & 0 & 0 \\ K & K & K & K & K & K & K & K \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & K & h_0 & h_1 \\ g_0 & g_1 & 0 & 0 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & g_1 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K & K & g_0 & g_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ K \\ K \\ K \\ P_{n-1} \\ P_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{j,0}^A \\ P_{j,1}^A \\ K \\ P_{j,n/2}^A \\ P_{j,0}^D \\ P_{j,1}^D \\ K \\ P_{j,n/2}^D \end{pmatrix} \quad (5)$$

Для вейвлета Хаара коэффициенты фильтров нижних h_0, h_1 равны:

$$h_0(k) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad h_1(k) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Повторив процедуру для аппроксимирующих коэффициентов первого уровня разложения $P_{1,0}^A = [P_{1,0(1)}^A \ P_{1,0(2)}^A \ P_{1,0(3)}^A \ \dots \ P_{1,0((n-1)/2)}^A \ P_{1,0(n/2)}^A]$ в соответствии с схемой (рис. 3) можно получить аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты второго уровня разложения и т.д.

Обратное вейвлет преобразование (реконструкция) сигнала может быть выполнена по формуле:

$$\begin{pmatrix}
 H_0 & 0 & K & 0 & G_0 & 0 & K & 0 \\
 H_1 & 0 & K & 0 & G_1 & 0 & K & 0 \\
 0 & H_0 & K & 0 & 0 & G_0 & K & 0 \\
 0 & H_1 & K & 0 & 0 & G_1 & K & 0 \\
 K & K & K & K & K & K & K & K \\
 K & K & K & K & K & K & K & K \\
 0 & 0 & K & H_0 & 0 & 0 & K & G_0 \\
 0 & 0 & K & H_1 & 0 & 0 & K & G_1
 \end{pmatrix}
 \times
 \begin{pmatrix}
 P_{Aj,0}^A \\
 P_{Aj,1}^A \\
 K \\
 P_{Aj,n/2}^A \\
 P_{Aj,0}^D \\
 P_{Aj,1}^D \\
 K \\
 P_{Aj,n/2}^D
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 P_1 \\
 P_2 \\
 P_3 \\
 K \\
 K \\
 K \\
 P_{1439} \\
 P_{1440}
 \end{pmatrix}.
 \quad (7)$$

Обратное вейвлет преобразование позволяет перейти к исходному формату исследуемого сигнала, в данном случае размерности активной мощности (кВт).

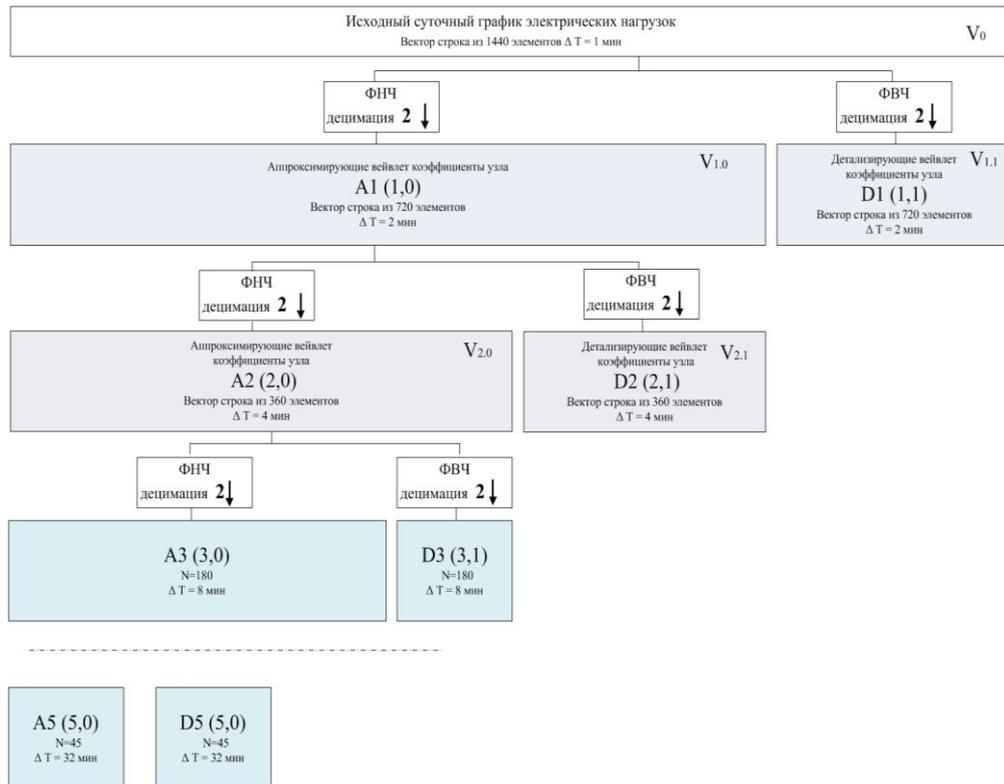


Рисунок 3. Схема дискретного вейвлет разложения до 5 уровня

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве исходных данных для проведения численного эксперимента, примем суточный график электрических нагрузок изолированной системы электроснабжения, полученный с интервалом времени в 1 минуту при помощи установленных на объекте системы автоматической системы коммерческого учета электроэнергии (рис. 4). Аналогичный набор данных может быть получен дежурным персоналом подстанции, при ручном режиме фиксации величины мощности по показаниям ваттметров.

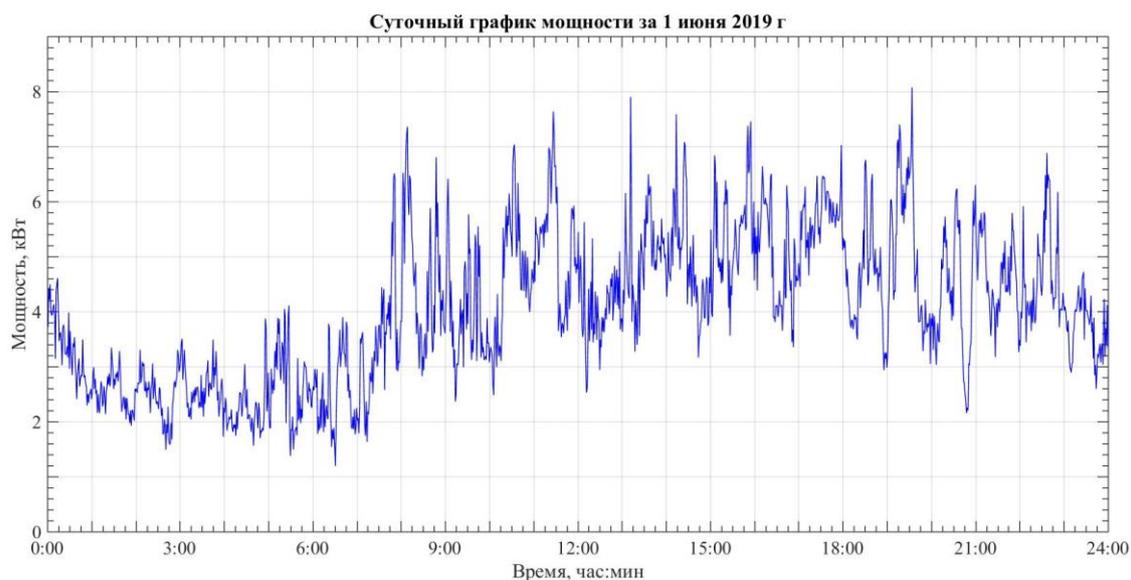


Рисунок 4. Суточный график мощности потребителя

Для выявления трендовой составляющей графика электрических нагрузок, а при разработке гибридного накопителя электроэнергии на базе аккумуляторной батареи и суперконденсатора необходимо сохранить без изменения низкочастотную составляющую. В настоящей работе, за низкочастотную компоненту (с усреднением по 32 минуты) отвечает только вейвлет коэффициент A5 (рис. 5), получаемый в результате дискретного вейвлет преобразования суточного графика (рис. 4).

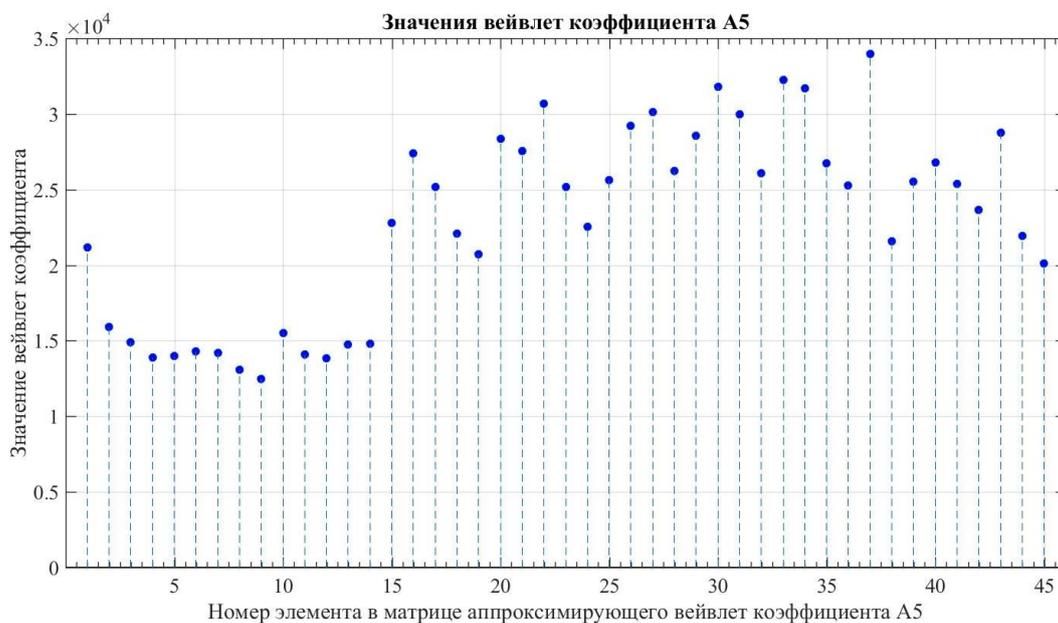


Рисунок 5. Значение аппроксимирующего вейвлет коэффициента 5 уровня разложения

Для выделения низкочастотной компоненты при восстановлении необходимо будет обнулить все вейвлет коэффициенты, кроме A5 (рис. 6).

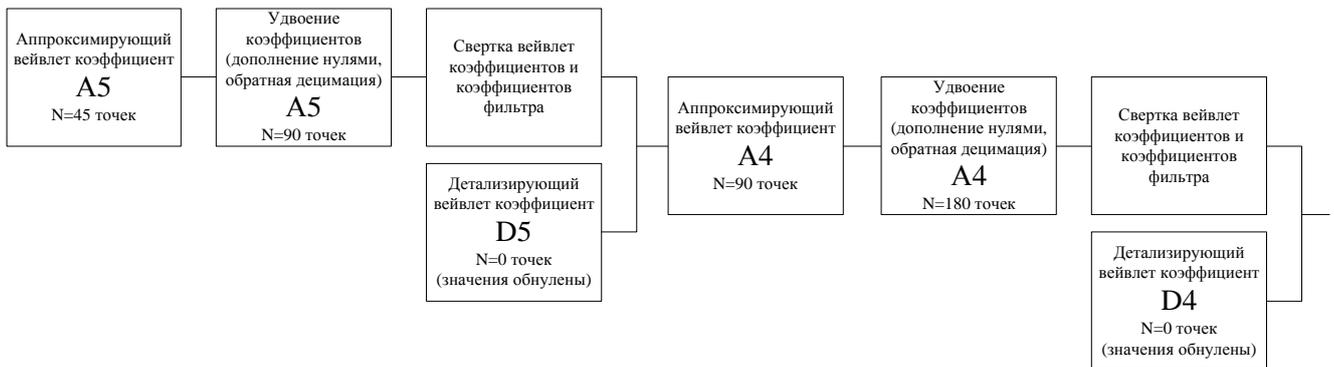


Рисунок 6. Фрагмент схемы восстановления

В результате такой операции получаем суточный график мощности изолированной системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии, восстановленный по одиночной ветви вейвлет коэффициентов пятого уровня разложения (рис. 7). Восстановленный график имеет период усреднения 32 минуты и состоит из 45 ступеней. Следует отметить, что подобная «ступенчатая» форма восстановленного графика характерна только при использовании в качестве базисной функции вейвлета Хаара. При выборе другой вейвлет функции график будет иметь более гладкий вид.

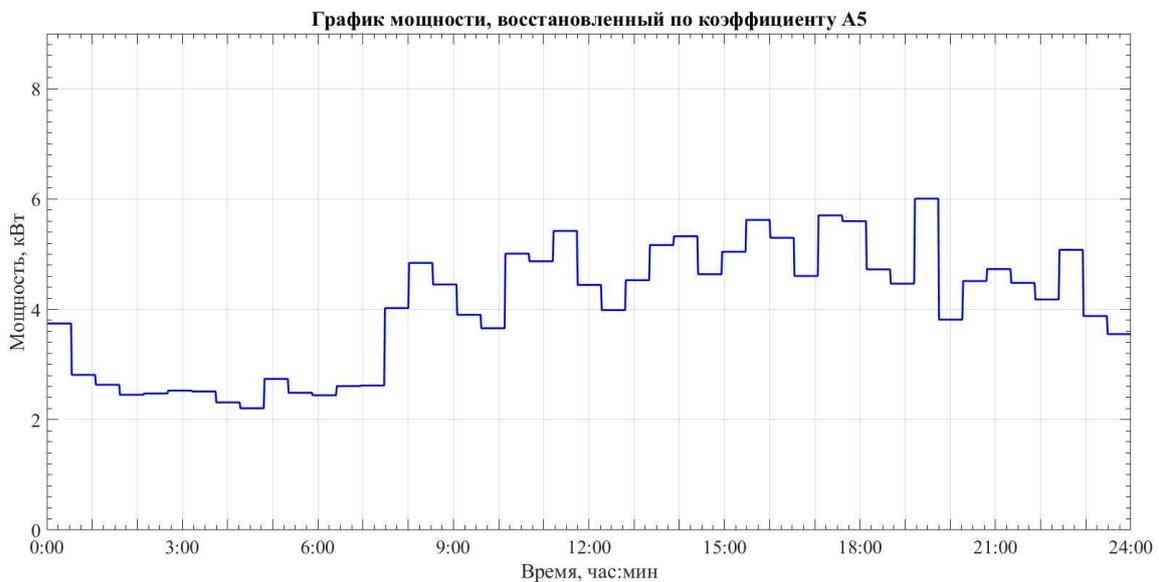


Рисунок 7. График мощности, восстановленный по коэффициенту А5

Вейвлет преобразование, как и преобразование Фурье подчиняется теореме Парсеваля, устанавливающей равенство между энергией сигнала и энергией спектра. Так, для исследуемого суточного графика электрических нагрузок (рис. 4) на интервале времени от t_1 (0:00) до t_2 (23:59) энергия исходного сигнала мощности равна энергии сигнала после вейвлет преобразования:

$$\int_{t_1}^{t_2} |p(t)|^2 dt = \int_{t_1}^{t_2} |F\{p(t)\}|^2 d\omega, \quad (7)$$

Поскольку, в настоящей работе, для выделения трендовой составляющей, обнулены все вейвлет коэффициенты кроме А5 и восстановление сигнала мощности осуществляется по одиночной ветви, то график (рис. 7) будет содержать в себе существенную долю, но не полную энергию сигнала. Полная энергия сигнала будет получена при суммировании трендовой (низкочастотной) составляющей и высокочастотной компонентой.

Чтобы сохранить информацию о высокочастотной компоненте не достаточно ограничиться детализирующим вейвлет коэффициентом D5, поскольку проведя процедуру восстановления по аналогии с аппроксимирующим коэффициентом (рис. 6) будет получен график с аналогичным усреднением по времени – 32 минуты. Настоящая работа предполагает учет высокочастотной компоненты для выбора параметров суперконденсатора, как элемента гибридного накопителя

электроэнергии. На основании вышеизложенного, для сохранения информации о высокочастотных флуктуациях мощности эффективнее будет использовать детализирующий вейвлет коэффициент первого уровня разложения D1 (рис. 8). Как следует из алгоритма вейвлет разложения (рис. 3) вейвлет коэффициент D1 состоит из 720 элементов.

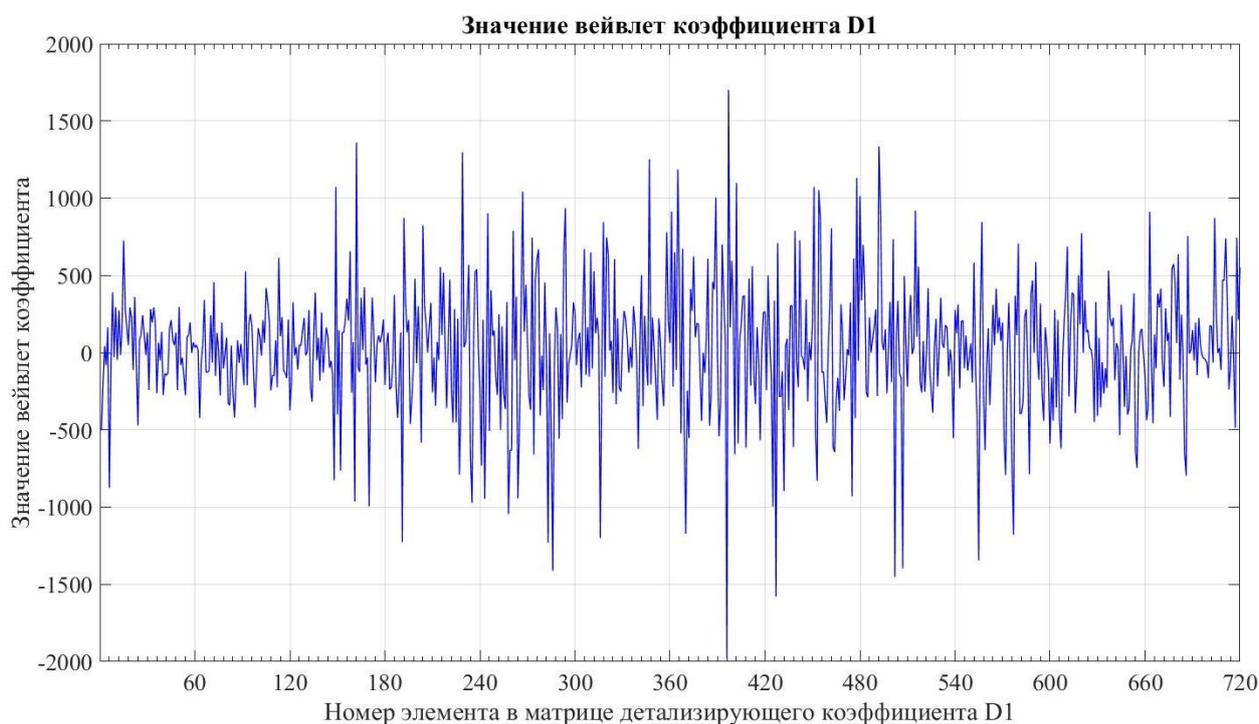


Рисунок 8. Значение вейвлет коэффициента D1

Восстановление графика мощности по одиночной ветви вейвлет коэффициентов D1 позволяет перейти к реальному масштабу времени и мощности. При этом усреднение флуктуационных колебаний мощности осуществляется с интервалом 2 минуты. Полученная зависимость флуктуационных (высокочастотных) колебаний мощности соответствует графику мощности, полученному для ультра-конденсатора.

Определяя энергию сигнала мощности до преобразования и энергию низкочастотной (рис. 7) и высокочастотной компоненты (рис. 8) по формуле (7) определяем что энергия восстановленного сигнала после обратного вейвлет преобразования составляет по A5 – 70,67%, по D1 – 28,24%, что в сумме дает 98,91%, т.е. погрешность составила примерно 1%. Следует также ввести понятие среднеквадратического отклонения значений восстановленного сигнала \hat{p} от исходного p :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (p_k - \hat{p}_k)^2}{\sum_{k=1}^n p_k^2}} \quad (8)$$

Расчетное среднеквадратическое отклонение в представленном численном эксперименте составило 0,16 Вт, что соответствует статистической погрешности.

В настоящее время наиболее распространенным способом организации децентрализованных систем электроснабжения является использование дизельных электростанций, наиболее ярким примером в этом отношении является Республика Саха – Якутия, где «2,2 млн. км² территории с населением 150 тыс. человек обеспечиваются электроэнергией и теплом от 129 дизельных электростанций» [Лукутин и др. 2008. С. 125]. Полностью отказаться от использования дизельных электростанций не нарушая при этом условия надежности электроснабжения удаленных территорий, невозможно. Поэтому для повышения технико-экономических и экологических характеристик децентрализованных систем электроснабжения следует применять комбинированные энергоустановки, например ветродизельные. При этом возникает научно-практическая задача по

оптимизации режима работы ветрогенератора и дизельной электростанции. Применение математического аппарата вейвлет анализа для разложения суточного графика нагрузок позволяет разделить условно постоянную составляющую графика и высокочастотную (переменную) составляющую, характеризующую включение и отключение отдельных электроприемников в короткие промежутки времени. Настройка комбинированной энергоустановки на режим работы, являющийся оптимальным для данного агрегата (ветрогенератор, дизельная электростанция, накопитель) позволит сократить до 15% расход моторного топлива, а как следствие выбросы CO₂ в атмосферу.

ВЫВОДЫ

Для комплексной оценки эффективности внедрения возобновляемых источников электроэнергии в системы электроснабжения изолированных территорий, предлагается комплексный учет экологических и технических факторов. Ключевыми определяющими факторами с точки зрения сохранности окружающей среды необходимо признать эмиссию жизненного цикла ВИЭ. К данному вопросу следует отнести расчет углеродного следа при производстве, функционировании и утилизации отработанных элементов ВИЭ (в частности, солнечных панелей и лопастей ветрогенераторов). Для оценки технической целесообразности применения ВИЭ следует учитывать режимы работы как отдельных систем ВИЭ, так и комбинированных элементов. Для расчета показателей качества электроэнергии и оптимального выбора накопителей (суперконденсаторов и аккумуляторных батарей) в настоящей работе предложено применять методы дискретного вейвлет преобразования. На основе дискретного вейвлет разложения с помощью вейвлета Хаара были выявлены трендовая составляющая графика электрических нагрузок (для выбора аккумулятора) и высокочастотная флуктуационная составляющая для расчета и выбора суперконденсатора. Немаловажную роль в решении о внедрении ВИЭ играет еще социальная роль. В России по прежнему сохраняется достаточно большое количество малых населенных пунктов, относящихся к системе децентрализованного электроснабжения, для которых ВИЭ является наряду с дизель-генераторными электростанциями, единственным источником электрической энергии. Учет предложенных в работе факторов с помощью моделей вейвлет анализа позволит решить как экологические вопросы рассматриваемых районов, так и задачи надежного и качественного электроснабжения населения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-20052, <https://rscf.ru/project/22-29-20052/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алехина Е.В. 2013. Основные аспекты ветроэнергетики // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12. Ч. 2. С. 8–12 [Alekhina E.V. 2013. Osnovnye aspekty vetroenergetiki // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 12. Ch. 2. P. 8–12. (in Russian)]
- Безруких П.П. 2015. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона. № 1 (29). С. 5–17. [Bezrukikh P.P. 2015. Effektivnost' vozobnovlyaeomoi energetiki. Mify i fakty // Vestnik agrarnoi nauki Dona. № 1 (29). P. 5–17. (in Russian)]
- Виноградов А.В., Сейфуллин А.Ю. 2020. Перспективные источники энергии для микросетей систем сельского электроснабжения // Агроинженерия. № 4 (98). С. 46–54. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-46-54. [Vinogradov A.V., Seifullin A.Yu. 2020. Perspektivnye istochniki energii dlya mikrosetei sistem sel'skogo elektrosnabzheniya // Agrozhenneriya. № 4 (98). P. 46–54. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-4-46-54. (in Russian)]
- Киушкина В.Р. 2019. Повышение энергетической безопасности децентрализованных зон электроснабжения регионов северных территорий и арктических зон (на примере Республики Саха (Якутия)). Дис. ... докт. техн. наук: 05.14.01. Красноярск. 400 с. [Kiushkina V.R. 2019. Povyshenie energeticheskoi bezopasnosti detsentralizovannykh zon elektrosnabzheniya regionov severnykh territorii i arkticheskikh zon (na primere Respubliki Sakha (Yakutiya)). Dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.14.01. Krasnoyarsk. 400 p. (in Russian)]
- Кропотов Ю.А., Проскураков А.Ю., Белов А.А., Колпаков А.А. 2015. Алгоритмы системы автоматизированного мониторинга и управления экологической безопасностью промышленных производств // Системы управления, связи и

- безопасности. № 2. С. 184–197.[Kropotov Yu.A., Proskuryakov A.Yu., Belov A.A., Kolpakov A.A. 2015. Algoritmy sistemy avtomatizirovannogo monitoringa i upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu promyshlennykh proizvodstv // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. № 2. P. 184–197. (in Russian)]
- Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. 2008. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. – М.: Энергоатомиздат. 231 с.[Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. 2008. Vozobnovlyаемая energetika v detsentralizovannom elektrosnabzhenii: monografiya. – М.: Energoatomizdat. 231 p. (in Russian)]
- Павлов Д.В. 2018. Анализ эффективности утилизации устаревших ветрогенераторов // Перспективы науки. № 4 (103). С. 147–150.[Pavlov D.V. 2018. Analiz effektivnosti utilizatsii ustarevshikh vetrogeneratorov // Perspektivy nauki. № 4 (103). P. 147–150. (in Russian)]
- Рыженков М.А., Ермоленко Б.В., Ермоленко Г.В. 2011. Экологические аспекты ветроэнергетики // Теплоэнергетика. № 11. С. 72–78.[Ryzhenkov M.A., Ermolenko B.V., Ermolenko G.V. 2011. Ekologicheskie aspekty vetroenergetiki // Teploenergetika. № 11. P. 72–78. (in Russian)]
- Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Крюков Е.В. 2015. Сравнительная экологическая оценка установок нетрадиционной энергетике // Теплоэнергетика. № 8. С. 3–10. DOI: 10.1134/S004036361508007X [Sosnina E.N., Masleeva O.V., Kryukov E.V. 2015. Sravnitel'naya ekologicheskaya otsenka ustanovok netraditsionnoi energetiki // Teploenergetika. № 8. S. 3–10. DOI: 10.1134/S004036361508007X (in Russian)]
- Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Крюков Е.В. 2013. Экологическая оценка процесса производства возобновляемых источников энергии // Современные проблемы науки и образования. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11590> (дата обращения: 26.10.2022 [Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V., Kryukov E.V. 2013. Ekologicheskaya otsenka protsessa proizvodstva vozobnovlyаемых istochnikov energii // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11590> (data obrashcheniya: 26.10.2022 (in Russian)]
- Смоленцев, Н. К. 2014. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс. – 628 с. [Smolentsev, N. K. 2014. Osnovy teorii veivletov. Veivlety v MATLAB / N.K. Smolentsev. – М.: DMK Press. – 628 p. (in Russian)]
- Liu P, Meng F, Barlow CY. 2019. Wind turbine blade end-of-life options: An eco-audit comparison // Journal of Cleaner Production DOI:doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.043.
- Sovacool B. K. 2021. Who are the victims of low-carbon transitions? Towards a political ecology of climate change mitigation // Energy Research & Social Science № 73. DOI:[10.1016/j.erss.2021.101916](https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101916)

Поступила в редакцию: 31.10.22
Переработанный вариант: 31.12.22

THE CARBON DIOXIDE FLUXES AT THE OPEN-TOP CHAMBERS EXPERIMENT ON THE OMBROTROPHIC BOG (MUKHRINO FIELD STATION)

Zarov E.A.^{1*}, Jacotot A.², Kulik A.A.¹, Gogo S.², Lapshina E.D.¹, Dyukarev E.A.^{1,3}

¹ Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

² Laboratoire ECOBIO, Physicien adjoint, Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes, Rennes, France

³ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russian Federation

* zarov.evgen@yandex.ru

Citation: Zarov E.A., Jacotot A., Kulik A.A., Gogo S., Lapshina E.D., Dyukarev E.A. 2022. The carbon dioxide fluxes at the open-top chambers experiment on the ombrotrophic bog (Mukhrino field station)// Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 4. P. 194-201

DOI: 10.18822/edgcc168830

Abstract. The continuous measurement of CO₂ fluxes at the open-top chamber experiment in the ombrotrophic peatland (located in the middle taiga zone, West Siberia, Russia) has been provided during the warm season of 2022 (beginning of June to beginning of October). The R_{eco}, NEE and GPP were calculated for this period; abiotic factors related to CO₂ emissions, such as PAR, air temperature, water table level and precipitation, were also measured. The monthly average values showed a negative NEE of -9.89 C g m⁻² month⁻¹ in July, a negative GPP of -34.19 C g m⁻² month⁻¹ in July, and a positive values R_{eco} of 41.68 C g m⁻² month⁻¹ in August. In 2022, the studied peatland hollows were only a carbon stock in July, while in the remaining months they were a source of CO₂, which could be caused by small precipitation amount. The monthly average diurnal variations of CO₂ fluxes showed similar behaviour for both the OTC plot and control plot fluxes, which may be explained by the similarity in vegetation cover.

Аннотация. На территории верхового болота, расположенного в среднетаёжной зоне Западной Сибири, на протяжении полевого сезона (с июня по октябрь) 2022 года, были измерены потоки CO₂. Измерения проводились на участке мочажины, подверженной влиянию повышения приземной температуры воздуха за счёт установки камер с открытым верхом (ОТС-эксперимент). Для исследуемого периода были рассчитаны значения R_{eco}, NEE и GPP; дополнительно измерялись абиотические факторы, такие как ФАР, температура воздуха, уровень грунтовых вод и осадки. Средние показатели за месяц продемонстрировали отрицательное значение NEE -9,89 C г м⁻² месяц⁻¹ в июле, отрицательное значение GPP -34,19 C г м⁻² мес⁻¹ в июле и положительное значение R_{eco} 41,68 C г м⁻² мес⁻¹ в августе. В 2022 году значение NEE для мочажин было отрицательным (поглощение CO₂) только в июле, а в остальные месяцы значение NEE было положительным (выделение CO₂), что может быть вызвано малым количеством осадков. Среднемесячная суточная динамика потоков CO₂ продемонстрировала сходное поведение, как для участка с ОТС, так и для контрольных участков, что можно объяснить сходством растительного покрова.

Key words: carbon dioxide, net ecosystem exchange, ecosystem respiration automatic chambers, peatland, open-top chamber, West Siberia, seasonal dynamic

Ключевые слова: углекислый газ, чистый экосистемный обмен, экосистемное дыхание, автоматические камеры, болото, камера с открытым верхом, Западная Сибирь, сезонная динамика

Abbreviations: C – carbon, OM – organic matter, WTL – water table level, NEE – net ecosystem exchange, R_{eco} – ecosystem respiration, GPP – gross primary production, OTC – open top chambers.

INTRODUCTION

Anthropogenic emissions of greenhouse gases to the atmosphere have increased significantly since preindustrial times, reaching the highest levels in the last 66 million years (Zeebe et al., 2016). These carbon (C) emissions are causing a strong warming effect (Cook et al., 2016), with global air temperatures predicted to rise by 0.3 to 4.8°C by the end of century, depending on prediction models. There is now an urgent need to evaluate the consequences of these increased temperatures on the ability of natural ecosystems to absorb and store carbon, in order to implement appropriate climate change mitigation programs such as

conservation and restoration strategies for ecosystems.

Among the various ecosystems, peatlands are considered as one of the largest stocks of atmospheric carbon. They represent a highly powerful carbon pool, with more than 30% of earth's carbon stored in their soils, despite only 3% of land surface (Harenda et al., 2018). This distinctive characteristic is mainly due to long term, slower organic matter (OM) decomposition than primary productivity. The exceptionally low OM decomposition is a result of a combination of factors such as the waterlogged soils that are mostly anoxic, low pH, and low nutrient availability (e.g. Loisel et al., 2014; Treat et al., 2019). As a result, CO₂ emissions from peatlands are usually considered low, with the ecosystem acting as a carbon sink. However, current global changes have the potential to severely impact the carbon dynamic of peatlands. As temperature increase, photosynthetic rates tend to plateau, while ecosystem respiration could still increase exponentially (Golovatskaya and Dyukarev, 2011). This combination, depending on temperature increase, vegetation, and soil responses, could transform the ecosystem from a sink of C into a source. In addition, an increase in surface temperature will increase water evaporation, lowering the soil water table level (WTL), oxygenating the soil, and increasing OM decomposition and gas molecular diffusion to the surface, leading to higher gas fluxes and lower carbon accumulation. Recent research estimates that peatlands could lose 30 to 203 GtC (gigatons of carbon) with only 1°C increase (Crowther et al., 2016).

Boreal peatlands make up 80% of the world's peatlands and contain a significant portion of their carbon pool, with an estimated stock of 500±10 GtC (Yu, 2012). Western Siberia, in particular, is home to large areas of pristine peatlands, making it an ideal location to study the impact of global changes on the biogeochemical functioning of peatlands worldwide.

In this paper, we aim to use the results of 8 years of artificial warming experiment to evaluate the long-term effects of warming on the carbon cycle of the mire. Our objective is *to determine how a simulated temperature increase affects CO₂ fluxes (both photosynthesis and respiration) in a sub-boreal peatland, by making high temporal frequency measurements of the CO₂ exchange at the soil-air interface.*

We aim to understand how peatlands will respond to future elevated temperatures, as this is crucial for predicting their role in climate change mitigation. We will accomplish this by conducting experiments at a unique experimental station in a highly relevant ecosystem. Long-term warming experiments and data on Siberian peatlands are currently lacking, making the results of this study particularly impactful.

Furthermore, data from Siberian peatlands is scarce, despite Siberia containing the largest peat-accumulating system in the world. The datasets obtained during this study will be valuable to the scientific community, particularly to global modelers who currently lack experimental data from this important region. This experiment will help to fill a long-standing spatial gap of our understanding of the linkages between plant, microbial and soil processes and how they respond to and feedback to climate warming.

MATERIALS AND METHODS

Mukhrino location map and measurement points

The Mukhrino field station is located in the middle taiga zone of western Siberia (55-65 N latitude, the Russian Federation). The station occupies the left terrace of the Irtysh River, located approximately 20 km west of Khanty-Mansiysk city and 20 km south of the confluence point of the Irtysh and Ob' rivers.

Most of the measurements are carry out at the Mukhrino peatland, a vast pristine ombrotrophic (rain-fed) bog. The most dominant ecosystems are ridge-hollow complexes and ryams. The vegetation consists of a mix of *Carex limosa*, *Eriophorum vaginatum*, and *Scheuchzeria palustris* covering a *Sphagnum* moss mat in hollows, which may become submerged after a snow melting period. Ridges (30-40 cm in height, 10-100 m in length) are elongated across water flow, dominated by a mix of *Pinus sylvestris*, dwarf-shrubs (*Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*) and *Sphagnum fuscum*. Ryams are dense treed by *Pinus sylvestris* together with the dwarf-shrubs like to the ridge vegetation diversity. The peatland was initiated ~12 kyr ago as a minerotrophic fen with dominance of brown mosses, sedges, and wood. The average thickness of the peat deposits is ~3.3 m, mostly composed of oligotrophic peat (dominant remains are *Sphagnum* mosses and shrubs) (Zarov et al., 2022).

The environmental monitoring system is organized at the station. The main measured properties are the air pressure, radiation balance, precipitation, WTL, air and soil temperatures, greenhouse gas fluxes (methane and carbon dioxide), as well as geobotanical surveys (vegetation and fungus) and hydrochemistry (ions and dissolved organic carbon). The data have been available since 2010 (Dyukarev et al., 2021).

Abiotic factors measurements

During the study period, various environmental features were measured. The air temperature was measured using a Rotronic AC1000 sensor, which was protected by a naturally ventilated radiation shield. The photosynthetic active radiation (PAR) was measured using a LI-COR LI-190R sensor. These sensors were connected to Campbell Scientific data loggers CR10X with AM16/32A multiplexers to collect data.

A water level logger (HOBO U20L-02, with an accuracy of $\pm 0.3\%$ full scale and a measurement frequency of 60 minutes) was installed in perforated groundwater observation tubes (5 cm diameter) at a depth of approximately 2 m. The tube was fixed in mineral soil (at a depth of 350 cm below the peat surface) to prevent vertical movement caused by peat volume expansion or compression. For barometric compensation, the air pressure and temperature were recorded using a pressure sensor (Baro-diver, with an accuracy of ± 5 mm of water and a measurement frequency of 30 minutes) placed in the centre of the mire 2 m above the surface. Barometric compensation was performed using the R-language (version 4.2.2) with the “dplyr” library.

The rain precipitation was monitored using a tipping-bucket rain gauge (Hobo RG3-M, resolution 0.2 mm) located in the hollow at the 30 cm height from the peatland surface.

Experiment design

The research is based on a collaboration with the University of Rennes within the INTERACT network and is closely aligned with the research effort previously initiated at the Mukhrino station by the CliMireSiber project (INTERACT 2012; project leader: F. Laggoun-Défarge, CNRS, France). The main objective of CliMireSiber was to equip and prepare the site for further experiments on the effects of temperature on the carbon cycle of the peatland. To achieve this, 30 open-top chambers (OTCs; Figure 1; Aronson and McNulty, 2009) were installed on the peatland at the Mukhrino Field Station (MFS) to simulate global warming. The open-top chamber (OTC) is a passive warming device widely used to experimentally simulate a warm year at a site (Henry et al., 2022). The effect of WTL was considered as the OTCs were installed in two areas differing in WTL and vegetation. In 2020, after 8 years of installation, measuring CO₂ fluxes provides a unique opportunity to identify a long-term effect of increasing temperature on the carbon cycle of the mire.



Figure 1: Picture of the OTCs implemented in the Mukhrino Field Station in 2013 (S. Gogo, 2013).

Measurement of CO₂ fluxes

CO₂ fluxes between the ecosystem and the atmosphere were evaluated with the closed dynamic chamber method, a widespread and powerful technique of measurements. In research, we used 8 automatic chambers (LI-COR LI-104C) connected to a CO₂/H₂O analyser (LI-COR LI-8100A) through a multiplexer (LI-COR LI-8150A) that allows to allocate the flow from the active chamber to the analyser. This system is part of the PIVOTS-PESAt platform (<https://plateformes-pivots.eu/pesat/?lang=en>) based at the Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO).

Specifically, we used 4 opaque and 4 transparent chambers. Opaque chambers enable to measure the ecosystem respiration R_{eco} while transparent chambers allow to measure the net ecosystem exchange NEE. Gross primary production GPP (i.e. the carbon fixed by the vegetation from the atmosphere) has been calculated as follow: $GPP = NEE - R_{eco}$. Gas accumulation within chamber headspace lasts 2 minutes every 30 minutes for each chamber. Incubation of 2 minutes was enough to have representative fluxes, without causing any significant disturbance (e.g. temperature or humidity increase) that may impact the flux.

Recorded data was regularly collected, stored, and analysed. Fluxes calculations was done through the specific software Li-8100 (LI-COR), and then was related to treatments and to environmental variables.

The instrument was deployed from May to October 2022, which allowed for the monitoring of five months of net CO₂ exchange and the coverage of the complete vegetation season. The chambers were distributed as follows: two opaque chambers in the control plots, two opaque chambers in the warm (OTC) plots, two transparent chambers in the control plots and two transparent chambers in the warm (OTC) plots. The data are available through the zenodo.org portal¹.

During the installation in early spring, five chambers were damaged by snow-melt water and stopped working for approximately 30 days. Thanks to the efforts of the engineers at Yugra University. three chambers were restored. However, two chambers (one opaque and one transparent chamber) were broken and not installed for further measurements. Thus, three transparent chambers (two in the OTC plot and one in the control plot) and three opaque chambers (one in the OTC plot and two in the control plot) were installed (Figure 2). A measurement gap occurred from 14th July to 22^d July due to a power cut.



Figure 2. Location of the measurement plots. The white fill – clear chambers, the black fill – opaque chambers, the blue stroke – OTC sites, the green stroke – control sites.

RESULTS & DISCUSSION

The seasonal air temperature increased from the beginning of May and reached its maximum in the middle of July (Figure 3). Positive temperatures were observed throughout the entire period, with short-term frosts occurring in May and at the end of September. The highest monthly average air temperature was found in July (18.2°C), while the lowest monthly air temperature, which featured a dramatic drop, was found in September (7.1°C). The end of May was extremely warm with a daily average air temperature of 24°C, before decreasing to 7 °C.

The PAR followed a similar trend to the air temperature, increasing until the middle of July before gradually decreasing towards the end of the season (Figure 3). The highest daily PAR values were found in June 17th (544.1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and July 8th (511.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), with a sharp drop to the smallest value found in September 9th (46.2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Several local minimum values were found in May and June, which coincided with drops in air temperature.

¹ [10.5281/zenodo.7544523](https://zenodo.org/record/7544523)

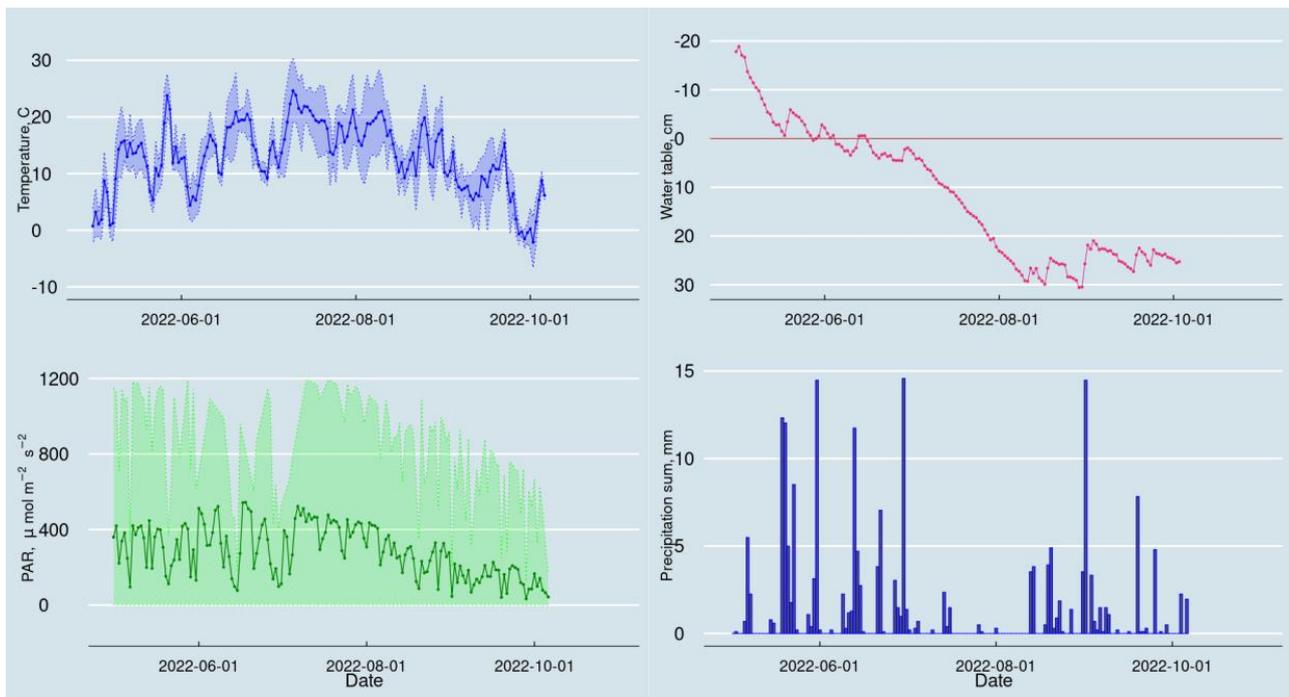


Figure 3. Seasonal variation of air temperature, photosynthetically active radiation (PAR), WTL (brown line is the surface level, positive values mean water level below the surface) and the sum of precipitation. The lines show the daily average values, shades show the minimum and maximum diurnal variation of the feature.

The WTL in the peatland increased in May due to snowmelt and gradually decreased until the end of the season. Small local increase in WTL occurred after rainfall events. The WTL remained above the peatland surface for May and the first half of June, before dropping below the surface. The WTL increased again at the end of August due to intense rain events and a low evapotranspiration rate (Figure 3).

Precipitation events were not evenly distributed throughout the season (Figure 3). Snowmelt caused the highest rise in WTL and sustained the peatland until the mid-May. Most of the rainfall occurred during the May-June and August-September period. With a total seasonal (May-first decade of October) precipitation amount of 193.7 mm which is significantly less than the long-term average value of 365 mm.

The seasonal diurnal variation of CO₂ fluxes for different chambers is shown in Figure 4. The daily average NEE rate (transparent chambers) changed from slightly positive (0 - 0.9 μmol m⁻² s⁻¹) values (carbon release) in the beginning of May-June to slightly negative (-0.12 - -0.2 μmol m⁻² s⁻¹) values (carbon uptake) on June 15th and reached its negative extreme (-2.0 - -2.7 μmol m⁻² s⁻¹) values (carbon uptake) on July 12th (Figure 5a). The NEE turned back to positive values on August 4th and remained positive until the end of September when measurements were halted.

The monthly average values of GPP and NEE are shown in Figure 5b. The negative extreme values (carbon uptake) for NEE (-9.88 g m⁻² month⁻¹) and GPP (-34.19 g m⁻² month⁻¹) were found in July (the warmest month with the highest PAR). Other months had positive values of NEE (carbon release) and negative values of GPP.

Plot 1 and plot 2 exposed in the OTC showed higher variations in fluxes (both negative and positive) when compared to control plot 5 which had a narrower flux variation (Figure 4). The highest flux variation was found in August for all transparent chambers.

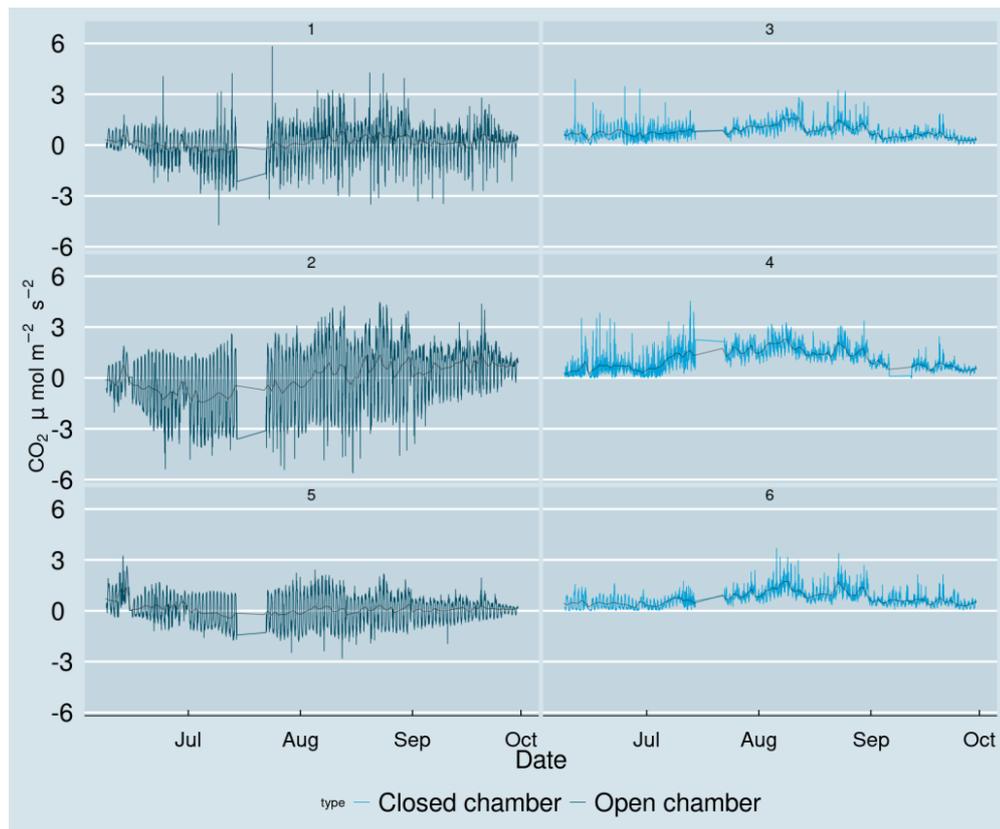


Figure 4. Seasonal variation of the CO₂ fluxes over the season 2022

The R_{eco} rate increased from the beginning of June (approximately 300-600 C mg m⁻² day⁻¹) to the first decade of August (approximately 1300-1800 C mg m⁻² day⁻¹) and then decreased until the end of September when measurements were stopped (Figure 5a). The highest R_{eco} value was found twice on 9th August (1827.8 C mg m⁻² day⁻¹) and 23rd August (1827.2 C mg m⁻² day⁻¹). The chamber located in the OTC (plot 3) showed the highest flux values variation and number of outliers in June and July, while the control chamber (plot 4 and plot 6) showed smaller flux values variation in June and July, and higher variation in August.

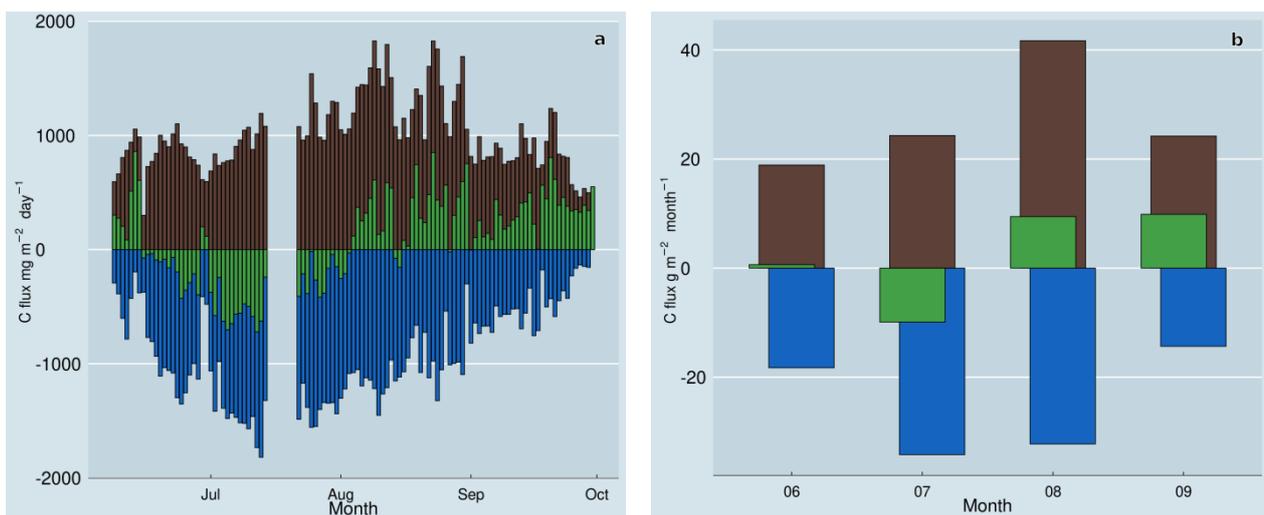


Figure 5. Daily (a) and monthly (b) sums of the NEE (green bars), GPP (blue bars) and ER (brown bars) calculated for all chambers²

The diurnal flux patterns of the transparent chambers during the summer did not vary significantly (Figure 6a). In September, the range of these values was smaller due to a sharp decrease in air temperature. The NEE turned to negative values at 5:00-6:00 and turned to positive values at 16:00-17:00. The highest

² The values for July, where the gap appears, were calculated as mean values multiplied by 30 days

values ($\sim 2.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for all transparent chambers were found in August during the time period 20:00-04:00, while the negative extreme values ($\sim -3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for all transparent chambers were found in July at noon. Unexpectedly, the shapes of the two chambers with OTC were not similar, but the curve of the control chamber (plot 5) was close to the OTC chamber (plot 1), which could be explained by the similarity in vegetation cover.

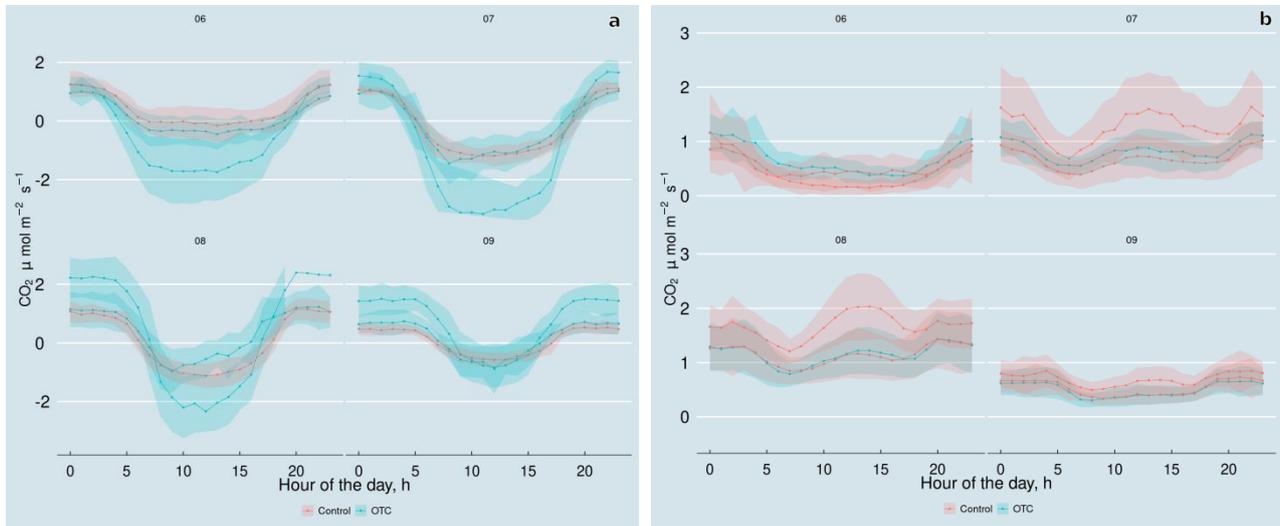


Figure 6. Monthly averaged diurnal variations of CO_2 fluxes for the different chambers (a – the transparent chambers, b – opaque chambers) in June-September (the shades are the minimal and maximal values). May data are not shown in figure.

The diurnal flux patterns of the opaque chambers for the July-September period were similar (Figure 6b), with the exception of May, which showed a different trend but remained within the same range of values. The nightly highest values in the opaque chambers were found during the 21:00-3:00 (~ 1.3 - $1.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in June-August and $\sim 0.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in September). A local daily increase in values was observed during the 11:00-15:00 time period in July-September, with a significant (higher than night-time flux) increase of 1.5 - $1.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in July-August. The opaque chambers showed a similar pattern to the transparent chambers, with control plot fluxes not being similar to each other, but one control chamber flux (plot 6) being close to the OTC chamber flux (plot 3). This may be explained by the similarity in vegetation cover.

CONCLUSION

The initial results of the CO_2 flux measurements taken at the OTC experiment in the ombrotrophic peatland (Mukhrino field station) have been analysed. The high temporal frequency measurements of CO_2 exchange at the soil-air interface have been implicated from May to October 2022. These data allowed to estimate the seasonal variation of the CO_2 fluxes for both control plots (without any manipulation) and OTC plots (with temperature increase). From June to the beginning of October, NEE, R_{eco} , and GPP have been calculated. The monthly average values showed a negative NEE (carbon uptake) of $-9.89 \text{ C g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ in July, a negative GPP of $-34.19 \text{ C g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ in July, and positive R_{eco} (carbon release) of $41.68 \text{ C g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ in August. In 2022, the studied peatland hollows were only a carbon stock in July, while the remaining months they were a source of CO_2 . Possibly, this caused by the low precipitation rate in the May-September of 2022.

The monthly average diurnal variations of CO_2 fluxes indicated that the main differences between the fluxes for the various plots were caused by the vegetation cover rather than the air temperature manipulation (OTC effect). However, further investigation is needed to confirm this hypothesis.

The next step in the research is to determine the statistically significant differences between the OTC and control plots to reveal the role of air temperature warming on the peatland ecosystems. Additionally, the role of abiotic factors such as PAR, WTL, precipitation and vegetation cover must be considered and evaluated as the main factors controlling CO_2 emissions.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out within the grant of the Tyumen region Government in accordance with the program of the West Siberian Interregional Scientific and Educational Centre (National Project "Nauka") and within the grant of the Russian Foundation for basic research №21-54-15012 "Siberian peatland submitted to an increase of temperature – effect on soil organic matter chemical composition".

We appreciate to Alexey Dmitrichenko and Evgeny Godovnikov for their invaluable help and Vladimir Bodash for light driving through the peatlands.

REFERENCE

- Aronson, E.L., McNulty, S.G., 2009. Appropriate experimental ecosystem warming methods by ecosystem, objective, and practicality. *Agric. For. Meteorol., Special Section on Water and Carbon Dynamics in Selected Ecosystems in China* 149, 1791–1799. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.06.007>
- Bahram, M., Hildebrand, F., Forslund, S.K., Anderson, J.L., Soudzilovskaia, N.A., Bodegom, P.M., Bengtsson-Palme, J., Anslan, S., Coelho, L.P., Harend, H., Huerta-Cepas, J., Medema, M.H., Maltz, M.R., Mundra, S., Olsson, P.A., Pent, M., Pöhlme, S., Sunagawa, S., Ryberg, M., Tedersoo, L., Bork, P., 2018. Structure and function of the global topsoil microbiome. *Nature* 560, 233–237. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0386-6>
- Bligh, E.G., Dyer, W.J., 1959. A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37, 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Cook, J., Oreskes, N., Doran, P.T., Anderegg, W.R.L., Verheggen, B., Maibach, E.W., Carlton, J.S., Lewandowsky, S., Skuce, A.G., Green, S.A., Nuccitelli, D., Jacobs, P., Mark Richardson, Winkler, B., Painting, R., Rice, K., 2016. Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environ. Res. Lett.* 11, 048002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>
- Crowther, T.W., Todd-Brown, K.E.O., Rowe, C.W., Wieder, W.R., Carey, J.C., Machmuller, M.B., Snoek, B.L., Fang, S., Zhou, G., Allison, S.D., Blair, J.M., Bridgman, S.D., Burton, A.J., Carrillo, Y., Reich, P.B., Clark, J.S., Classen, A.T., Dijkstra, F.A., Elberling, B., Emmett, B.A., Estiarte, M., Frey, S.D., Guo, J., Harte, J., Jiang, L., Johnson, B.R., Kröel-Dulay, G., Larsen, K.S., Laudon, H., Lavalley, J.M., Luo, Y., Lupascu, M., Ma, L.N., Marhan, S., Michelsen, A., Mohan, J., Niu, S., Pendall, E., Peñuelas, J., Pfeifer-Meister, L., Poll, C., Reinsch, S., Reynolds, L.L., Schmidt, I.K., Sistla, S., Sokol, N.W., Templer, P.H., Treseder, K.K., Welker, J.M., Bradford, M.A., 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature* 540, 104–108. <https://doi.org/10.1038/nature20150>
- Dyukarev E., Filippova N., Karpov D., Shnyrev N., Zarov E., Filippov I., Voropay N., Avilov V., Artamonov A., Lapshina E. Hydrometeorological dataset of West Siberian boreal peatland: a 10-year record from the Mukhrino field station // *Earth Syst. Sci. Data*, 2021, 13, 2595–2605. <https://doi.org/10.5194/essd-13-2595-2021>.
- Golovatskaya, E.A., Dyukarev, E.A. Seasonal and diurnal dynamics of CO₂ emission from oligotrophic peat soil surface *Russian Meteorology and Hydrology*, 2011, 36(6), pp. 413–419
- Harenda, K.M., Lamentowicz, M., Samson, M., Chojnicki, B.H., 2018. The role of peatlands and their carbon storage function in the context of climate change, in: *Interdisciplinary Approaches for Sustainable Development Goals*. Springer, pp. 169–187.
- Henry G.H.R., Hollister R.D., Klanderud K., Björk R.G., Björkman F.D., Elphinstone C., Jónsdóttir I.S., Molau U., Petraglia A., Oberbauer S.F., Rixen C., and Wookey P.A. The International Tundra Experiment (ITEX): 30 years of research on tundra ecosystems. *Arctic Science*. 8(3): 550-571. <https://doi.org/10.1139/as-2022-0041>
- Loisel, J., Yu, Z., Beilman, D.W., Camill, P., Alm, J., Amesbury, M.J., Anderson, D., Andersson, S., Bochicchio, C., Barber, K., 2014. A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. *the Holocene* 24, 1028–1042.
- Treat, C.C., Kleinen, T., Broothaerts, N., Dalton, A.S., Dommain, R., Douglas, T.A., Drexler, J.Z., Finkelstein, S.A., Grosse, G., Hope, G., Hutchings, J., Jones, M.C., Kuhry, P., Lacourse, T., Lähenteoja, O., Loisel, J., Notebaert, B., Payne, R.J., Peteet, D.M., Sannel, A.B.K., Stelling, J.M., Strauss, J., Swindles, G.T., Talbot, J., Tarnocai, C., Verstraeten, G., Williams, C.J., Xia, Z., Yu, Z., Välianta, M., Hättestrand, M., Alexanderson, H., Brovkin, V., 2019. Widespread global peatland establishment and persistence over the last 130,000 y. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 116, 4822–4827. <https://doi.org/10.1073/pnas.1813305116>
- Yu, Z.C., 2012. Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences* 9, 4071–4085. <https://doi.org/10.5194/bg-9-4071-2012>
- Zarov, E.A., Lapshina, E.D., Kuhlmann, I., Schulze, E.-D. 2021. Dissolved organic carbon vertical movement and carbon accumulation in West Siberian peatlands. *Biogeosciences Discuss.* [preprint]. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-2021-211>
- Zeebe, R.E., Ridgwell, A., Zachos, J.C., 2016. Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nat. Geosci.* 9, 325–329. <https://doi.org/10.1038/ngeo2681>
- Zocatelli, R., Li, Q., Le Milbeau, C., Leroy, F., Jacotot, A., Laggoun-Défarge, F., Guimbaud, C., Gogo, S., In Prep. Sensibility of microbial communities in peat to environmental conditions revealed by PLFA analysis.

Received by the editor: 30. 11.2022

Reworked version: 31.12.2022

RIA*

УДК 581.5

POPULATION DEMOGRAPHY OF RARE SEDGES (*ERIOPHORUM GRACILE* AND *CAREX LIVIDA*) NORTH OF THE ARCTIC CIRCLE IN MURMANSK REGION AND CLIMATE CHANGE IMPACTS

I. Blinova

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute – Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of Russian Academy of Science”

ilbli@yahoo.com

Citation: Blinova I. 2022. Population demography of rare sedges (*Eriophorum gracile* and *Carex livida*) north of the Arctic Circle in Murmansk Region and climate change impacts // Environmental dynamics and global climate change. V.13. N. 4. P. 202–214.

DOI: [10.18822/edgcc134238](https://doi.org/10.18822/edgcc134238)

Климатические изменения за Полярным Кругом привели к повышению годовой температуры воздуха, увеличению сумм минимальных температур в безморозный период и удлинению вегетационного периода. В заболоченных экосистемах наиболее сильным фактором, способным существенно изменить растительный покров, является гидрологический режим. Виды растений, зависящие от уровня грунтовых вод, попадают в первую группу риска исчезновения. В 2014-2016 гг. изучена пространственная организация популяций двух редких видов осоковых (*Eriophorum gracile* и *Carex livida*) на локально встречающихся в Мурманской области богатых минеротрофных травяных болотах. Для этих видов характерно очень низкое (0.2% для *E. gracile*) и низкое (3.1% для *C. livida*) проективное покрытие в пределах относительно крупного болота. Пространственное размещение популяций *E. gracile* в пределах болота происходит на очень маленькой площади (40 м²), тогда как *C. livida* занимает относительно репрезентативные покрытия (633 м²). *E. gracile* формирует маленькие фрагменты популяции (в среднем 8 м²) в разных частях болота со средней удаленностью 70 м. Среднее число генеративных побегов на фрагмент составляет 9-10. Фрагменты популяций *C. livida* – намного крупнее и составляют в среднем 211 м² при средней удаленности соседних фрагментов 30 м. Среднее число генеративных побегов на фрагмент достигает примерно 2.5 тысяч счетных единиц. Пространственная структура популяции *E. gracile* соответствует изолированно-фрагментарной раздельно-кластерной, у *C. livida* - изолированно-фрагментарной сплошной. У *E. gracile* отмечены высокие флуктуации численности всей популяции и отдельных фрагментов в разные годы, которые отчасти обратно связаны с температурой воздуха в вегетационный период. Современные климатические сдвиги могут привести к исчезновению *E. gracile* из состава богатых минеротрофных болот, тогда как для *C. livida* такая угроза отсутствует. Обоим видам необходима охрана региональных популяций. Для изучения онтогенеза особей и механизмов внутриклоновой регуляции у этих видов возможно использовать интродукционный потенциал.

Ключевые слова: *Eriophorum gracile*, *Carex livida*, Cyperaceae, редкие виды растений, пространственная структура популяции, популяционный мониторинг, Фенноскандия.

Key words: *Eriophorum gracile*, *Carex livida*, Cyperaceae, rare plant species, spatial population structure, population monitoring, Fennoscandia.

SUMMARY

Climatic changes in Fennoscandia resulted in an increased annual temperature, minimum sum temperatures in non-frost period and a longer growing season [Karlsen et al., 2009; Blinova and Chmielewski, 2015; Marshall et al., 2016; Rantanen et al., 2022]. Hydrological changes in wetlands are predicted [Kreplin et al., 2021], wherein the most crucial changes for vegetation cover are expected from water-level drawdown [Gage and Cooper, 2006; Mäkiranta et al., 2018; Salimi et al., 2021].

Species of Cyperaceae are little studied on the population level globally. Also in Murmansk Region, species from this family were not included in long-term population studies of rare plant species whereas other representatives from 21 families were put in [Blinova, 2009]. Experimental works with sedges is often neglected because of taxonomic difficulties and a lack of methods for study populations of this group [Kitamura et al., 2016; Sosnovska and Danylyk, 2017]. Such difficulties became obvious while the IUCN-red data book testing. Of rare sedges studied in this paper

Eriophorum gracile is included in the regional Red data book and *Carex livida* is in the Appendix of this book in the group “Need of monitoring” [Krasnaya..., 2014].

The Murmansk Region (66–70° N), located in the north-eastern corner of Russian Fennoscandia, is a part of the Atlantic-Arctic zone of temperate belt with a rather mild climate. The region is very heterogeneous. Two latitudinal vegetation zones can be distinguished: tundra and taiga. So, many boreal plant species reach here their northern limit of distribution. Our field work has been conducted in the center part of the region in a recently found rich fen [Blinova and Petrovskij, 2014]. Both study species (*Eriophorum gracile* и *Carex livida*) have circumpolar distribution in wetlands of northern hemisphere [Hulten and Fries, 1986], and they are at the northern range in Murmansk Region [Kuzeneva, 1954; Chernov, 1954]. They are polycarpic perennials. An annual shoot has been selected as a counting unit (Fig. 1). In *E. gracile* only the number of generative shoots has been counted in the field. For non-destructive purposes, from herbarium data, the ratio between generative and vegetative shoots was defined as 1:1. The total population size for this species has been estimated from this ratio. In population of *C. livida*, the direct counting in the field has been done on 3-5 small plots (0.25*0.25 m²). Lately this value has been recalculated according to the area of population subset. Clusters and subsets (Fig. 2-3) have been distinguished in population structure according to suggested aggregation patterns of spatial structure in local plant populations [Blinova, 2018]. Marked population subsets have been monitored several times in the growing period in 2014-2016 years. In the field the boundaries and areas of rich fen and populations (including subsets) have been estimated with the help of GPS navigation device Garmin Dakota 20, in the lab all data are further processed using Garmin Software BaseCamp 4.2.5. Nomenclature for vascular plants is given according to S.K. Czerepanov [1995], for mosses after M.S. Ignatov and O.M. Afonina [1992].

Our results show that extremely low (0.2% for *Eriophorum gracile*) and relatively low (3.1% для *Carex livida*) population cover is characteristic for a large long-term monitored fen ((Table 1). Spatial aggregation of *E. gracile* population is structured on very small area (40 m²) whereas *C. livida* is established on relatively representative area (633 m²). *E. gracile* develops small population subsets (8 m² on average) at a distance to next about 70 m in different parts of rich fen (Table 2). Each such subset contains 9-10 mature individuals on average. *C. livida* has larger subsets (211 m² on average) at 30 m away from the neighbor. The size of each subset makes c. 2500 generative shoots. The spatial population pattern of *E. gracile* shows isolated subsets with single clusters, whereas of *C. livida* represents isolated subsets with merged clusters. High fluctuations of population size and its subsets are revealed in *E. gracile* from year to year (Fig. 5-6). The number of generative shoots and air temperature in the growing season (June-September) of the current year establish negative relationship (Table 3). However, not only climatic impacts influence population size. These fluctuations varied in population subsets in the same year and were even asynchronous. It implies that it could be a high cost of reproduction in population of *E. gracile*. A similar population dynamics have been revealed in population of *Dactylorhiza traunsteineri* (Orchidaceae) [Blinova and Uotila, 2012].

This study in one of the northernmost populations of *Eriophorum gracile* confirms other data from different parts of its distribution area that populations of this species are very fragmented and show high fluctuations in the number of generative shoots [Barr 1996; Käsermann and Moser, 1999; Dickenmann and Keel, 2004; Decker et al., 2006; Chatters and Sanderson, 2014]. An analysis of spatial structure of populations has been pointed out that anemochory of *E. gracile* could be a bottleneck for the population fitness in rich fens conditions, whereas baro- and hydrochory of *C. livida* promotes further seed germination and survival. Moreover, reported low seed viability in *E. gracile* [Barr, 1996; Anleitung..., 2019], could block recruitment in new sites. Additionally, current climate-changed impacts could cause an extirpation of *E. gracile* from floristic composition of rich fens, whereas such a threat is minimal for *C. livida*. Both species need regional protection of their populations. An introduction into culture is essential for further ontogenetic studies and trigger examination of clonal division of labor. The presented work gives methods for collecting the data set in populations of difficult groups like sedges and grasses to estimate their status of rarity by the IUCN-testing.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное изменение климата затронуло Фенноскандию: повысилась годовая температура воздуха, минимальные температуры в безморозный период, а также увеличился вегетационный период [Karlsen et al., 2009; Blinova and Chmielewski, 2015; Marshall et al., 2016; Rantanen et al., 2022]. В отношении осадков тренды плохо выражены [Aalto et al., 2016; Kivinen et al., 2017], однако изменение гидрологического режима заболоченных территорий прогнозируемо [Kreplin et al., 2021], и именно спад грунтовых вод может модифицировать продуктивность и состав сообществ бореальных болот [Mäkiranta et al., 2018]. На международной конференции “Remote sensing of vegetation at high latitudes in response to climate change and other disturbances” (2021) нами была подчеркнута необходимость многолетних наблюдений за площадью покрытия небольших обводненных понижений (мочажин) и жизненностью популяций редких видов растений на богатых минеротрофных болотах за Полярным Кругом.

Состояние растительного покрова заболоченных территорий тесно связано с этими процессами [Gage and Cooper, 2006; Mäkiranta et al., 2018; Salimi et al., 2021]. Причем сложность оценки

происходящих экосистемных событий вызвана не только недостатком экспериментальных работ [Beier et al., 2012], но часто и полным отсутствием фактических данных по численности компонентов экосистем. Ранее в Мурманской области подробно изучали популяционную биологию представителей редких видов растений из 21 семейства [Блинова, 2009], но осоковые не рассматривались. Семейство осоковых в целом плохо изучено на популяционном уровне, а с редкими видами фактически начали работать после того, как для государственных программ, Красных книг и другого рода учетов потребовались подробные данные по их состоянию в регионах. Для многих видов этой систематической группы отсутствует информация по пространственной организации популяций, и изредка представлены данные по численности [Kitamura et al., 2016; Sosnovska and Danylyk, 2017].

Виды осоковых, выбранные для изучения в данной работе, могут быть связаны с реликтовыми сообществами позднего послеледникового времени [Conaghan and Sheehy Skeffington, 2009; Hájek et al., 2011]. Поэтому оценка их статуса в период климатических изменений особенно актуальна. *Eriophorum gracile* имеет очень локальное распространение в Европе, и на границе ареала особенно редок; был включен в Красную книгу Восточной Фенноскандии [Red ..., 1998], в настоящее время – в Красном списке сосудистых растений Европы [Bilz et al., 2011]. В России вид занесен во многие региональные Красные книги, в том числе в Мурманской [Красная ..., 2014]. *Carex livida* находится в «Перечне объектов животного и растительного мира Мурманской области, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской области» [Красная ..., 2014] и ранее в Красных книгах РСФСР [Красная ..., 1988] и Фенноскандии [Red ..., 1998].

Цель данной работы – изучить пространственную структуру и оценить численность популяций *Eriophorum gracile* и *Carex livida* на богатом минеротрофном травяном болоте в центральной части Мурманской области, а также представить прогноз их дальнейшего существования при современных изменениях климата.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мурманская обл. (66–70° с.ш.) находится в атлантико-арктической климатической зоне умеренного пояса [Яковлев, 1961]. Большая часть ее территории расположена севернее Полярного круга. Наши работы проведены в бассейне р. Нивостровская на участке ее среднего течения, между восточно–юго-восточными окрестностями г. Апатиты и северо-западными склонами г. Доломитовая [Блинова и Петровский, 2014]. Популяции осоковых изучали на пушицево-пухоносово-осоковом болоте (moch_fen1), которое относится к минеротрофным низинным болотам.

Болотный массив окружен лесной растительностью с участием сосны, ели и березы с можжевельником в кустарниковом ярусе. Мозаичный покров болота представлен участками с доминированием трав (*Menyanthes trifoliata*, *Triglochin maritima*, *Baeothryon alpinum*, *Eriophorum latifolium*, *Pedicularis palustris*, *Carex lasiocarpa*, *Sanguisorba officinalis*). Популяции редких видов растений (*Dactylorhiza incarnata*, *Schoenus ferrugineus*, *Carex hostiana*, *Hammarbya paludosa*, *Gymnadenia conopsea*, *Listera ovata*, *Eriophorum gracile*) встречаются спорадически. Моховой покров в пределах всего болота хорошо развит. В приствольных кругах доминируют *Aulacomnium palustre*, *Hylocomium splendens*, *Straminergon stramineum*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, на кочках *Sphagnum warnstorffii*, *Tomenthypnum nitens*, в понижениях *Limprichtia revolvens*, *L. cossonii*, *Campylium protensum*, *C. stellatum*, *Scorpidium scorpioides*. Всего отмечено 149 видов растений.

В центральной части пушицево-пухоносово-осокового болота расположено два небольших озера и ряд мелких линейных топких понижений, примыкающих к ним. В одном из озер присутствуют *Menyanthes trifoliata*, *Utricularia intermedia*, бордюры составляют *Carex livida*, *C. limosa*, *C. paupercula*, *Andromeda polifolia*, мхи *Limprichtia revolvens*, *Scorpidium scorpioides*, а также на небольшом участке *Hammarbya paludosa*. В нескольких небольших заливаемых мочажинах отмечен *Eriophorum gracile*. В другом озере, более глубоком и с приподнятой береговой линией, доминирует *Carex lasiocarpa*. На восточной периферии болота на небольшом топком участке встречаются *Hammarbya paludosa*, *Eriophorum gracile*, в менее обводненной части *Dactylorhiza incarnata*, и ближе к лесной части *Listera ovata*.

Оба вида осоковых (*Eriophorum gracile* и *Carex livida*), выбранные в качестве объектов исследования, - циркумбореальные виды, занимающие обширный ареал в заболоченных местообитаниях холодных и умеренных областях северного полушария [Hulten and Fries, 1986]. В Мурманской области эти виды достигают северного предела в своем распространении [Кузенева, 1954; Чернов, 1954]. Их жизненные формы – схожи. Это - многолетние поликарпические травы,

имеющие длинные ползучие корневища и нарастающие симподиально; склонны к образованию клонов.

Фитоценотической счетной единицей был выбран побег (рис. 1). Как было предложено ранее для изучения популяций редких видов растений [Влінова, 2016], выделяли два иерархических уровня в пространственной структуре популяций: 1-й уровень – агрегация особей в *кластеры*, 2-й уровень – агрегация кластеров в *изолированные популяционные фрагменты*. Под кластером (скоплением) понимали совокупность рамет возле одного или нескольких, расположенных рядом, материнских растений (рис. 2).

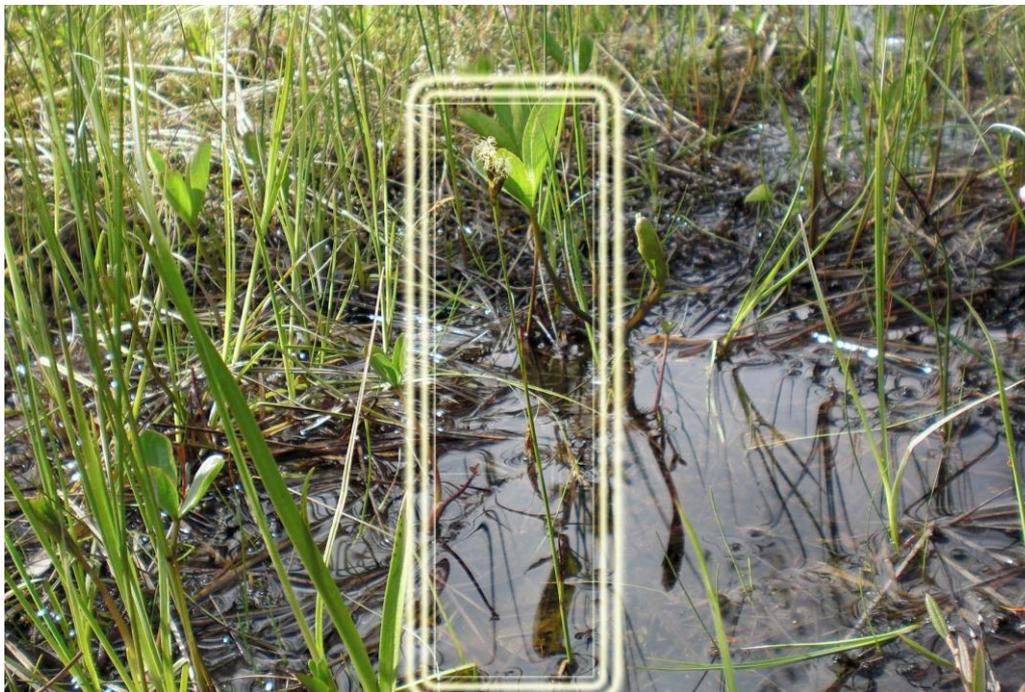


Рисунок 1. Внешний вид генеративной особи *Eriophorum gracile* на пушицево-пухляково-осоковом болоте в окрестностях г. Апатиты (Мурманская обл.) в период цветения (25.06.2014).



Рисунок 2. Внешний вид генеративных и вегетативных побегов *Carex livida* в кластерах популяции на пушицево-пухляково-осоковом болоте в окрестностях г. Апатиты (Мурманская обл.) в период цветения (18.06.2015).

Популяционный изолированный фрагмент рассматривали как совокупность из нескольких кластеров, отграниченную от других фрагментов популяции незаселенными участками пространства (рис. 3). Под популяцией понимали *локальную популяцию* в пределах изучаемого болота, состоящую из популяционных фрагментов. Типы пространственной структуры популяций характеризовали по классификации И. В. Блиновой [2018].



Рисунок 3. Фрагмент популяции *Eriophorum gracile* на пушицево-пухляково-осоковом болоте в окрестностях г. Апатиты (Мурманская обл.) в период плодоношения (11.08.2015).

В полевых условиях картирование границ болот и популяций (и их фрагментов), а также определение их площадей проводили GPS-навигатором Garmin Dakota 20. В лаборатории отмеченные маршрутные точки и треки переносили из карты памяти GPS-навигатора в программу BaseCamp 4.2.5, установленную на персональном компьютере. Эту же программу использовали для построения карт. Визуализация треков для популяции *Eriophorum gracile* на карте имеет погрешности из-за маленьких площадей. Поэтому определение площадей фрагментов проводили отдельно, непосредственно в поле, и в 3х-кратной повторности. Каждый фрагмент популяции обходили по периферии и использовали функцию навигатора для определения площади.

Закартированные популяционные фрагменты *Eriophorum gracile* обследовали ежегодно в течение 2014-2016 гг., отмечая число генеративных растений и другие характеристики (флористический состав, фазу сезонного развития, экологические характеристики водной среды). У этого вида приоритет отдавался числу генеративных побегов, которые целиком подсчитывали в каждом фрагменте популяции. Это было сделано в целях сохранения малочисленной популяции, поскольку без выкопки или извлечения частей растений из плавающих моховых подушек точный подсчет вегетативных побегов был невозможен. Оценку числа вегетативных побегов делали, исходя из морфологического анализа подземной части собранных в гербарий образцов. Рабочим было принято соотношение 1:1. Однако эта характеристика нуждается в уточнении. Оценка размера популяции только по числу генеративных побегов предпринята в Ирландии и Франции для разноразмерных популяций *E. gracile* [Guyonneau 2006; Conaghan and Sheehy Skeffington, 2009]. Подсчет соотношения числа вегетативных и генеративных побегов у *Carex livida* проводили в 2015 г. на 3–5 площадках маленького размера (0.25*0.25 м²) в тех местах, из которых образцы собирали в гербарий, и в дальнейшем пересчитывали на площади фрагментов. В перспективе для изучаемых видов в полевых условиях возможен более подробный учет их демографической структуры с выделением побегов, различающихся числом листьев, как это показано для более распространенных видов осоковых [Tolvanen and Henry, 2000].

Полевые данные статистически обработаны, в выборках получены средние (\bar{X}), стандартное отклонения (SD), минимум и максимум значений (min–max). Для установления связи между

температурным фактором и численностью популяций применяли регрессионный анализ и использовали программу PAST (Hammer et al., 2001). Графическая интерпретация данных проведена с помощью программы EXCEL. Данные по температуре воздуха приведены по метеостанции г. Апатиты.

Номенклатура для сосудистых растений приведена С. К. Черепанову [1995], мохообразных по М. С. Игнатову и О. М. Афоной [1992].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Eriophorum gracile

Площадь, занятая популяцией ergrac1 на обширном пушицево-пухоносово-осоковом болоте площадью 20 243 м², была незначительной и составляла 40 м². Популяция известна с 2014 г. и состояла из пяти фрагментов (в 2014 г. было выявлено только четыре), расположенных в центральной и восточной части болота, на расстоянии 14–123 м друг от друга (рис. 4). Три из них многоугольной формы, размером 9–15 м², повторяли округлую форму мочажин. Два фрагмента – небольшие (1.5–2.4 м²) и вытянутые по границе озера.

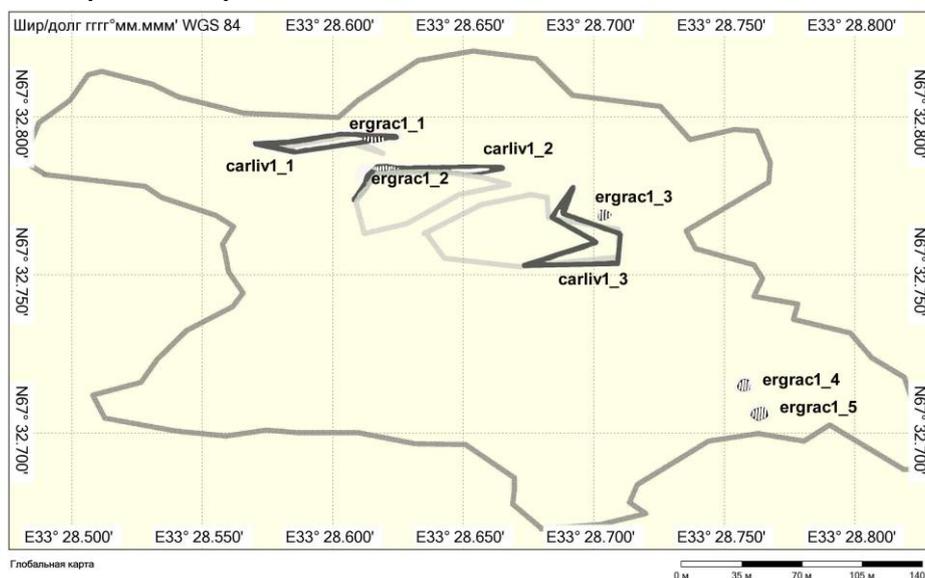


Рисунок 4. Пространственная структура популяций осоковых (*Eriophorum gracile* и *Carex livida*) на пушицево-пухоносово-осоковом болоте в окрестностях г. Апатиты (Мурманская обл.): ergrac1_1–5 – заштрихованные фрагменты популяций *E. gracile*, выделенные темно-серой линией carliv1_1–3 – *C. livida*. Дополнительно в центре болота отмечены небольшие озера и другие топкие понижения.

Общая численность популяции составила 96 единиц, средняя численность генеративных побегов в каждом фрагменте – 9–10 (табл. 1, 2).

Таблица 1. Основные демографические характеристики популяций редких видов осоковых *Eriophorum gracile* (ergrac1) и *Carex livida* (carliv1) на пушицево-пухоносово-осоковом болоте в Мурманской области.

Показатели Вид (год)	Площадь болота, м ²	Площадь популяции, м ²	Проективное покрытие популяции на болоте, %*	Численность популяции (средняя, min-max), счетные единицы	Средняя плотность популяции на 1 м ² , счетные единицы
ergrac1 (2014–2016)	20243	40	0.2	96: 48v+48 g (18–170)	2.4
carliv1 (2015)	20243	633	3.1	27852: 20256v+7596g (27852–27852)	44.0

Примечание. Взрослые особи разделены на взрослые вегетативные (v) и генеративные (g). В скобках указаны минимальное (min) и максимальное (max) значения. *– соответствует относительной площади, занятой популяцией.

Таблица 2. Основные структурные характеристики пространственной организации популяций редких видов осоковых на пушицево-пухоносово-осоковом болоте в Мурманской области в 2015 г.

Показатели	Среднее число фрагментов популяции	Средняя площадь фрагмента, м ²	Среднее число генеративных побегов на фрагмент	Средняя удаленность соседних фрагментов, м
<i>Eriophorum gracile</i>	4.7±0.6 (4–5)	8.0±5.9 (1.5–15)	9.6±8.3 (0–34)	66.3±51.3 (14–123)
<i>Carex livida</i>	3.0±0.0 (3–3)	211.0±125.5 (115–349)	2532.0±1930.0 (998–4699)	30.0±9.9 (23–37)

Примечание. Данные приведены в формате $X \pm SD$, где X – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение. В скобках указаны минимальное и максимальное значения.

Мониторинг численности генеративных побегов в 2014–2016 гг. показал высокую динамику их числа: 48 ± 38 особей. В 2015 г. эта численность была наибольшая – 170 единиц (85 генеративных и, исходя из нашей методики подсчета, 85 вегетативных). Популяция – очень малочисленная, число генеративных побегов на фрагмент очень вариабельно по годам (рис. 5) и изменяется от 0 до 34 (рис. 6).

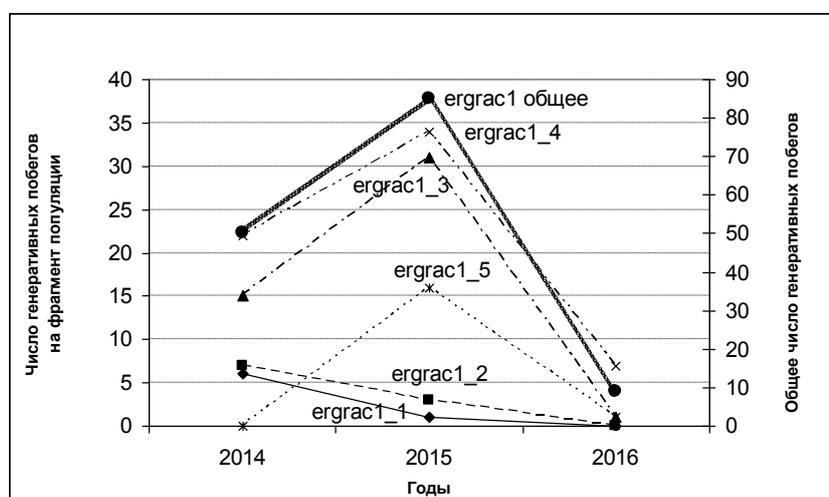


Рисунок 5. Изменение численности генеративных побегов в популяции *Eriophorum gracile* на пушицево-пухоносово-осоковом болоте в Мурманской области в 2014–2016 г. Общее число генеративных побегов показано на дополнительной оси ординат.

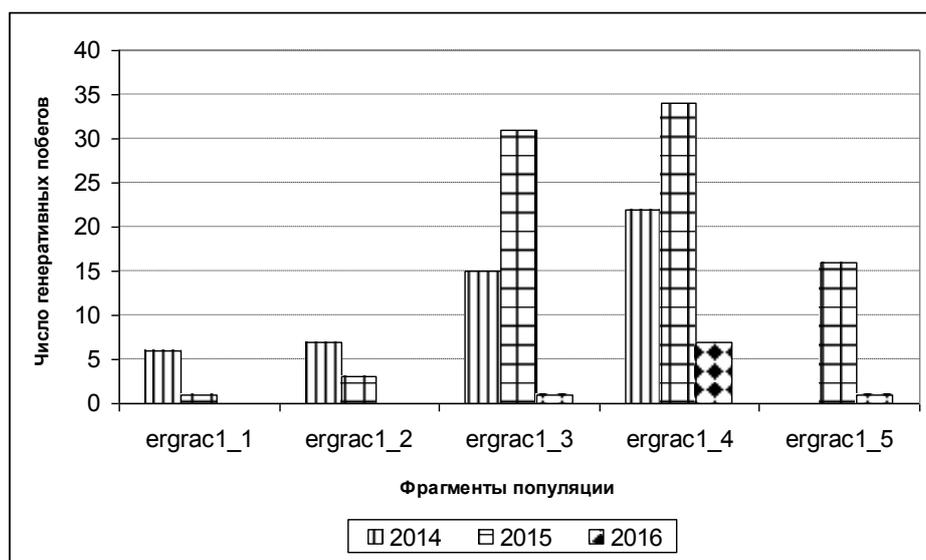


Рисунок 6. Изменение численности генеративных побегов в отдельных фрагментах популяции *Eriophorum gracile* на пушицево-пухоносово-осоковом болоте в Мурманской области в 2014–2016 г.

Несмотря на то, что трехлетний период исследования недостаточен для полноценного статистического анализа, предварительные данные показывают в популяции *E. gracile* отсутствие связи между числом генеративных побегов и температурой воздуха в вегетационный период предыдущего года и существование умеренной отрицательной линейной связи с температурой воздуха в вегетационный период настоящего года (табл. 3).

Экологические особенности популяции *Eriophorum gracile* в среднем течении р. Нивастровская следующие: очень низкое проективное покрытие (0.2%) в пределах относительно крупного болота; популяция состоит из небольших (1.5–15 м²) изолированных фрагментов с разной удаленностью друг от друга (от 14 до 123 м). В структуре фрагментов с низкой плотностью побегов (2.4 на 1 м²) можно выделить несомкнутые простые кластеры с генеративными или отдельно с вегетативными побегами. Пространственная структура популяции соответствует изолированно-фрагментарной раздельнокластерной. Требуется дополнительные исследования по онтогенетической структуре кластеров.

Таблица 3. Коэффициенты регрессии и статистика для анализа связи числа генеративных побегов *Eriophorum gracile* с температурой воздуха в вегетационный период предыдущего (Т 2013–2015) и настоящего года (Т 2014–2016).

Переменные \ Величины	<i>Coeff.</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>R</i> ²
Число генеративных побегов	94.36	65.12	1.45	0.18	
Т 2013–2015	0.98	2.85	0.34	0.74	0.07
Т 2014–2016	-8.37	4.01	-2.08	0.06	0.31

Примечание. Выборка числа генеративных побегов была составлена из данных по каждому фрагменту популяции. *Coeff.* – коэффициент регрессии, *SE* – стандартная ошибка, *t* – критерий, *p* – уровень значимости, *R*² – коэффициент детерминации.

Carex livida

Популяция *carliv1*. на этом же пушицево-пухоносого-осоковом болоте занимала относительно площадь 633 м². Эта популяция состояла из трех фрагментов, расположенных в центральной части болота, на расстоянии 23–37 м друг от друга (рис. 4). Все они были вытянутой формы, размером 115–349 м², с одной стороны окаймляя центральное озерцо и одно из линейных топких понижений по линии стока. Каждый популяционный фрагмент состоял из сомкнутых кластеров. Общая численность популяции составила около 28 тысяч единиц, средняя численность генеративных побегов в каждом фрагменте – 2.5 тысячи единиц (табл. 1, 2). Число вегетативных рамет превышало генеративные в 3 раза.

Экологические особенности популяции *Carex livida* в среднем течении р. Нивастровская следующие: низкое проективное покрытие (3.1%) в пределах относительно крупного болота; популяция дискретна в пространстве и характеризуется высокой численностью особей. В структуре каждого фрагмента трудно выделить иерархический уровень кластеров в виду относительно высокой плотности побегов (44 на 1 м²). Онтогенетическая структура как кластеров, так и фрагментов, а также их численность и межгодовая динамика требуют дополнительного изучения. Пространственная структура популяции соответствует изолированно-фрагментарной сплошной, что отражает оптимальную жизнеспособность популяции при узкой экологической амплитуде.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время все еще недостаточно данных для подробного анализа пространственной структуры редких видов осоковых в Мурманской области. Международный подход, предложенный IUCN, предусматривает стандартизацию для определения статуса редких видов и одним из критериев является размер площади, занимаемой популяцией. Площадь популяций двух видов осоковых в 2015 г. составила 40 м² у *Eriophorum gracile* и 633 м² у *Carex livida*. Таким образом, у одного вида осоковых (*E. gracile*) она была намного меньше традиционно описываемой в геоботанических исследованиях площади 10 м x 10 м, и была второй по размеру после самых маленьких популяций *Hammarbya paludosa* (Orchidaceae), известной из этого же местообитания [Блинова, 2003]. У второго вида осоковых *C. livida* площадь популяции была больше пробных геоботанических площадей и сопоставима с площадью популяций *Gymnadenia conopsea* (Orchidaceae)

на изучаемых болотах [Blinova, 2016]. Для обоих видов осоковых характерна дискретность популяций, особенно заметная у *E. gracile*. У другой редкой на Украине осоки *Carex dioica* площадь, занятая популяциями варьировала от 900 до 30 тысяч м² [Sosnovska and Danylyk, 2017], что, в сравнении с нашими данными по редким осоковым Мурманской области, значительно превышает их площади. Даже эти небольшие сравнения подтверждают редкость обоих видов осоковых в Мурманской области.

Численность генеративных побегов в популяции крайне малочисленна в случае с *Eriophorum gracile* (48±38 побегов в 2014–2016 гг.). Особенностью этого вида являются также высокие флуктуации численности как в разные годы (рис. 5), так и между отдельными фрагментами популяции (рис. 6). Выявлено, что они не являются синхронными, что показывает сильное влияние не только внешних (климатических, особенно изменение температуры и уровня обводненности) факторов, но и внутренних (например, ресурсные потери на цветение и плодоношение). Похожая стратегия развития известна у другого редкого вида из семейства орхидных *Dactylorhiza traunsteineri* [Blinova and Uotila, 2012]. В отличие от маленьких популяций *E. gracile*, численность *Carex livida* составляет тысячи единиц с преобладанием вегетативных рамет. Плотность популяций двух видов на 1 м² также отличается: 2–3 побега у *E. gracile* и 44 у *C. livida* (табл. 1). Для сравнения число генеративных побегов *Carex dioica* на Украине на 1 м² варьирует от 45 до 241 [Sosnovska and Danylyk, 2017].

Проведенные в разных частях ареала *Eriophorum gracile* исследования также показали, что для многих популяций характерна фрагментированность, тенденции к снижению численности и масштабные флуктуации числа генеративных побегов [Barr 1996; Käsermann and Moser, 1999; Dickenmann and Keel, 2004; Decker et al., 2006; Chatters and Sanderson, 2014]. Пропуски его местонахождений во время вегетации и цветения вполне вероятны, поскольку во время сезонного развития особи наиболее узнаваемы в период плодоношения [Conaghan and Sheehy Skeffington, 2009]. При сильной фрагментированности маленьких популяций и выраженных флуктуациях генеративных побегов вплоть до их полного отсутствия (как в разные годы, так и в отдельных фрагментах популяции) можно легко «потерять» популяцию. Ряд литературных данных об исчезновении исторических популяций и случайных находках на старом месте спустя десятилетия подтверждает это [Barr 1996; Käsermann and Moser, 1999]. Поэтому для этого вида обязательным является картирование местонахождений.

Интересной особенностью популяций *Eriophorum gracile* на южной границе распространения в Штате Пенсильвания (США) был низкий процент жизнеспособных семян (около 5% на побег), возможно из-за несовместимости пыльцы для исключения самоопыления [Barr, 1996]. В условиях эксперимента в Швейцарии семена *E. gracile* не прорастали [Anleitung..., 2019], что может быть также связано с их низким качеством. Поэтому низкое семенное возобновление данного вида представляет уязвимый этап жизненного цикла и требует изучения. В Пенсильвании низкая плодовитость взрослых особей компенсировалась образованием большого числа вегетативных рамет [Barr, 1996]. Также в условиях ботанического сада в Швейцарии вегетативное разрастание у этого вида было успешным: один вегетативный побег давал от 2 до 5 дочерних [Anleitung..., 2019]. Эта особенность в распределении функций между раметами, возможно, является характерной чертой всех осоковых [Charpentier and Stuefer, 1999]. Число вегетативных побегов *E. gracile* превосходило в 5–50 раз число генеративных [Barr, 1996]. Таким образом, при определенных условиях *E. gracile* способен формировать относительно крупные клоны. Однако на северном пределе распространения у этого вида вегетативное разрастание в условиях богатых минеротрофных болот ограничено. Известно, что у некоторых пушиц механизм регулирования численности также напрямую связан с их фенологией [Mark and Chapin, 1989]. Влияние температурного фактора на частоту цветения у осоки *Carex bigelowii* в разных регионах Европы было неоднозначно [Brooker et al., 2001]. В Мурманской области мы не обнаружили связи числа генеративных побегов в популяции *E. gracile* с температурой воздуха во время предыдущего вегетационного периода, тогда как умеренная связь с температурой воздуха настоящего вегетационного периода была (табл. 3).

Онтогенез особей у обоих видов не изучен, и данные о продолжительности жизни отсутствуют, хотя они могли оказаться ключевыми в выявлении уязвимости популяций обоих видов. Известно, что большой жизненный цикл дерновинных осок может составлять 15 и более лет [Алексеев, 2000; Филатова, 2004], а некоторых пушиц – сотни лет [Mark et al., 1985]. Длинные годовые приросты корневищ *Eriophorum gracile* и *Carex livida* свидетельствуют в пользу относительно короткой продолжительности жизни обоих видов, что в меняющихся условиях увлажнения, особенно при пересыхании болот, ведет к быстрому исчезновению. Способы расселения семян отличаются у

исследуемых видов и определяют пространственную структуру их популяций, что сказывается на степени удаленности соседних фрагментов (табл. 2). В контрастных по степени увлажнения и кислотности почвы условиях среды разнос семян ветром у *E. gracile* может негативно отражаться на семенном самоподдержании популяции, тогда как баро- и гидрохория у *C. livida* обеспечивают попадание семян сразу в подходящие экологические условия.

Есть сведения о том, что изучаемые виды осоковых проходили испытания по введению их в культуру в ботанических садах. Так, в Главном ботаническом саду (г. Москва) *Eriophorum gracile* оказался даже перспективным для интродукции [Ландышева, 2009], а в ботаническом саду г. Женевы (Швейцария) составили небольшую инструкцию по его выращиванию [Anleitung..., 2019]. В северных условиях на питомниках Полярно-альпийского ботанического сада-института (г. Кировск) осока *Carex livida* доходила до фазы цветения [Кириллова, 2019]. Поэтому особенности клональной структуры обоих видов могут быть проанализированы в ходе экспериментальных работ. Выявление особенностей перераспределения ресурсов при развитии вегетативных и генеративных рамет позволит уточнить цену репродуктивного усилия.

В окрестностях г. Апатиты, где находится изучаемое болото, температура воздуха в летний период с 1850 г. возросла на 1.2°C, а годовая на 2°C [Демин, 2022]. Такое потепление может привести к сокращению площадей небольших мочажин и уменьшению численности генеративных побегов этой пушицы. Нельзя не учитывать и тот факт, что оба вида – невысокие травы и, особенно в случае с *Eriophorum gracile*, – мелколистные. Эти морфо-функциональные особенности предполагают низкую конкурентоспособность в эпоху климатических изменений [Sporbert et al., 2022]. Поскольку *E. gracile* имеет узкую экологическую амплитуду на богатых минеротрофных болотах, связанную с высоким уровнем грунтовых вод и слабокислой реакцией почвы [Блинова, 2016], то данный вид осоковых может полностью исчезнуть. Короткий жизненный цикл особей *E. gracile* также увеличивает эти шансы. Другой вид осоковых (*Carex livida*), встречающийся по берегам небольших озер и менее зависимый от уровня грунтовых вод, представляется менее уязвимым к климатическим изменениям.

ВЫВОДЫ

Для изученных популяций осоковых на богатом минеротрофном травяном болоте в центральной части Мурманской области характерны очень низкое (0.2–3.1%) проективное покрытие и изолированно-фрагментарная пространственная структура: раздельнокластерная у *Eriophorum gracile* и сплошная у *Carex livida*.

Численность популяции *Carex livida* составила порядка 30 тысяч счетных единиц и значительно, в 300 раз, превышала популяцию *Eriophorum gracile* (около 100 счетных единиц). Межгодовые флуктуации всей популяции *E. gracile*, а также несинхронные ее отдельных фрагментов, увеличивают уязвимость этого вида и требуют его дифференцированной защиты.

При современных тенденциях климатических изменений с учетом особенностей формирования побеговых систем, высокофлуктуационной популяционной динамики и обратной связи между ростом температур и частотой цветения *Eriophorum gracile* ожидается исчезновение из флористического состава богатых минеротрофных болот. Для *Carex livida* представлен положительный прогноз для развития популяций.

Данные по демографии популяций *Eriophorum gracile* и *Carex livida* в Мурманской области являются основой для проведения их дальнейшего тестирования по системе IUCN с целью установления статуса редкости вида и предлагаемых мер для охраны. Актуальным является продолжение этих работ в других местообитаниях для определения современных границ популяций и выявления площади, потенциально удовлетворяющей экологическим предпочтениям вида. На богатых минеротрофных болотах положительный эффект для популяций *E. gracile* даст расширение сети небольших депрессий, с высоким уровнем грунтовых вод, позволяющих увеличить попадание семян в подходящие для прорастания условия.

Оба вида могут быть введены в культуру для сохранения генофонда редких видов растений. Интродукционный потенциал представляет собой еще и базу для изучения онтогенеза этих видов. Механизм регулирования числа вегетативных и генеративных рамет осоковых может быть установлен в ходе эксперимента.

Представленный подход к изучению демографии популяций редких видов осоковых на территории Мурманской области и многолетнего мониторинга модельных популяций может быть рекомендован для использования в других регионах России. Отработанная методика может быть

использована для изучения популяций корневищных видов растений в луговых и болотных экосистемах. Особенно перспективной она может стать в отношении редких видов осоковых и злаков.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность Н. Р. Кирилловой (ПАБСИ) и С. В. Асминг (Кольский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН) за помощь в полевых работах и трем анонимным рецензентам за внимательный разбор данной работы и полезные рекомендации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Ю.Е. 1996. Осоки (морфология, биология, онтогенез, эволюция). М. Ч. 1. 134 с. [Alexeev Yu.E. 1996. Osoki (morfologiya, biologiya, ontogenez, evolutsiya. (in Russian)]
- Блинова И.В. 2003. Материалы к биологии *Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze (Orchidaceae) в Мурманской области (Россия) // Бюл. МОИП. Отдел биол. Т. 108(6). С. 47–51. [Blinova I.V. 2003. Materialy k biologii *Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze (Orchidaceae) v Murmanskoj oblasti (Rossiya) // Bull. Moskovskogo Obschestva ispytetelei prirody. Otdel biologicheskii. V. 108(6). P. 47–51. (in Russian)]
- Блинова И.В. 2009. Популяционные исследования редких видов сосудистых растений в Мурманской области // Разнообразие растений, лишайников и цианопрокариот Мурманской области: итоги изучения и перспективы охраны / Под ред. Н.А. Константиновой. СПб. С. 90–100. [Blinova I. V. 2009. Populyazionnyye issledovaniya redkikh vidov sosudistykh rastenii v Murmanskoj oblasti // Raznoobrazie rastenij, lishainikov i zianoprokariot Murmanskoj oblasti: itogi izucheniya i perspektivy okhrany / ed. by N.A. Konstantinova. SPb. P. 90–100. (in Russian)]
- Блинова И.В. 2016. О сопряженности пространственного размещения популяций редких видов орхидных и осоковых с кислотностью и электропроводностью почв на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте в Мурманской области (Россия) // Вестник КНЦ РАН. Т. 4 (27). С. 109–121. [Blinova I.V. 2016. O sopryazhennosti prostranstvennogo rasmesceniya populyazii redkikh vidov orkhidnykh i osokovykh s kislotnostiyu i elektroprovodnostiju pochv na minerotrofnom i nasycsennom osnovaniyami bolote v Murmanskoj oblasti // Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. V. 4(27). P. 109–121. (in Russian)]
- Блинова И.В. 2018. Редкие виды орхидных и осоковых богатых минеротрофных болот: пространственная и онтогенетическая структура популяций, фитоценоотическое окружение и охрана. Болота северо-восточной Фенноскандии. Рига: Lambert Academic Publishing. 127 с. [Blinova I.V. 2018. Redkie vidy orkhidnykh i osokovykh bogatykh minerotrofnyx bolot: prostranstvennaya i ontogeneticheskaya struktura populatsii, fitotsenoticheskoe okruzenie i okhrana. Riga: Lambert Academic Publishing. 127 p. (in Russian)].
- Блинова И.В., Петровский М.Н. 2014. К характеристике минеротрофных травяных болот в центральной части Мурманской области и о необходимости их охраны // Вестник КНЦ РАН. Т. 18(3). С. 38–55. [Blinova I.V., Petrovskii M.N. 2014. K kharakteristike minerotrofnyx travyanykh bolot v zentral'noi chasti Murmanskoj oblasti i o neobkhodimosti ikh okhrany // Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. V. 18(3). P. 38–55. (in Russian)]
- Демин В.И. 2022. Создание однородного ряда среднемесячных температур воздуха в Апатитах (Мурманская область) для изучения климатических изменений // Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of XLV Annual Seminar / Ed. by A.A. Lubchich. Apatity. P. 144–148. [Demin V.I. 2022. Sozdanie odnorodnogo ryada srednemesyachnykh temperatur vozdukh v Apatitakh (Murmanskaya oblast') dlya izucheniya klimaticheskikh izmenenii // Physics of Auroral Phenomena, Proceedings of XLV Annual Seminar / Ed. by A.A. Lubchich. Apatity. P. 144–148. (in Russian)]
- Игнатов М.С., Афонина О.М. 1992. Список мхов территории бывшего СССР // Arctoa. Т. 1. С. 1–87. [Ignatov M. S., Afonina O. M. 1992. Spisok mkhov territorii byvshego SSSR // Arctoa. V. 1. P. 1–87. (in Russian)]
- Кириллова Н.Р. 2019. Современное состояние коллекции аборигенной флоры Мурманской области в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте им. Н.А. Аврорина // Вестник Кольского научного центра РАН. Т. 1 (11). С. 30–41. [Kirillova N.R. 2019. Sovremennoe sostoyanie kollektcii aborigennoi flory Murmanskoj oblasti v Polyarno-alpiiskom botanicheskoi sadu-institute imeni N.A. Avrorina // Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. V. 1 (11). P. 30–41. (in Russian)]
- Красная книга Мурманской обл. 2014 / Под ред. Н.А. Константиновой, А.С. Корякина, О.А. Макаровой и В.В. Бианки. Изд. 2-е Сосудистые растения. Кемерово: «Азия-принт». 684 с. [Krasnaya kniga Murmanskoj oblasti. 2014 / Ed. by N.A. Konstantinova, A.S. Koryakin, O.A. Makarova, V.V. Bianki. Izd. 2. Sosudistye rastenia. Kemerovo: "Asia-Print". 684 p. (in Russian)]
- Красная книга РСФСР. 1988. Растения / Под ред. В.Д. Голованова и др. Москва. 605 с. [Krasnaya kniga RSFSR. 1988. Rastenia / Ed. by V.D. Golovanov etc. Moscow. 605 p. (in Russian)]
- Кузенева О.И. 1954. *Carex livida* / Флора Мурманской области. Т. 2. Москва-Ленинград. С. 120–121. [Kuzeneva O.I. 1954. *Carex livida* / Flora Murmanskoj oblasti, V. 2. Moskva-Leningrad. P. 120–121. (in Russian)]
- Ландышева А.С. 2009. Краткие итоги интродукции высших водных растений в Главном ботаническом саду им. Н. В. Цицина РАН // Вестник КрасГАУ. Т. 9. С. 44–51. [Landysheva A.S. 2009. Kratkie itogi introduktsii vysshikh vodnykh rastenii v Glavnom botanicheskoi sadu imeni N.V. Tsitsina RAS // Vestnik Krasnoyarskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. V. 9. P. 44–51. (in Russian)]

- Филатова И.О. 2004. Биоморфология и онтогенез дерновинных видов рода *Carex* L.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ. 26 с. [Filatova I.O. 2004. Biomorfologiya i ontogenez dernovinnikh vidov roda *Carex* L.: avtoreferat dis ... Ph.D. Moskva: MGU. 26 p. (in Russian)]
- Черепанов С.К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. 992 с. [Czerepanov S.K. 1995. Sosudistye rastenia Rossii i sopredelnykh gosudarstv. SPb. 992 p. (in Russian)]
- Чернов Е.Г. 1954. *Eriophorum gracile* / Флора Мурманской области. Т. 2. Москва-Ленинград. С. 16–18. [Chernov E.G. 1954. *Eriophorum gracile* / Flora Murmanskoi oblasti, V. 2. Moskva-Leningrad. P. 16–18. (in Russian)]
- Яковлев Б.А. 1961. Климат Мурманской области. Мурманск. 180 с. [Yakovlev B.A. 1961. Klimat Murmanskoi oblasti. Murmansk. 180 p. (in Russian)]
- Aalto J.A., Pirinen P., Jylhä K. 2016. New gridded daily climatology of Finland: permutation-based uncertainty estimates and temporal trends in climate // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. V. 121(8). P. 3807–3823. <https://doi.org/10.1002/2015JD024651>
- Anleitung zur Kultivierung seltener Pflanzenarten: Art *Eriophorum gracile*, Zierliches Wollgras. 2019 // Fachstelle Naturschutz Kt. Zürich & Topos. [https://www.infoflora.ch/assets/content/documents/conservation/Fachstelle Naturschutz Kt Zuerich and topos 2019 Anleitung zu r Kultivierung Eriophorum gracile.pdf](https://www.infoflora.ch/assets/content/documents/conservation/Fachstelle_Naturschutz_Kt_Zuerich_and_topos_2019_Anleitung_zu_r_Kultivierung_Eriophorum_gracile.pdf) (the data of access: 10.02.2023)
- Barr C. 1996. Population Study of *Eriophorum gracile* Koch (Cyperaceae) at its Southern Range Limit in Pennsylvania // Bartonica. V. 59. P. 87–93.
- Beier C., Beierkuhnlein C., Wohlgemuth Th., Penuelas J., Emmett B., Körner Ch., De Boeck H., Christensen J., Leuzinger S., Janssens I., Hansen K. 2012. Precipitation manipulation experiments—challenges and recommendations for the future // Ecology letters. V. 15. P. 899–911.
- Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. 2011. European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 144 p.
- Blinova I.V. 2016. Spatial population structure of rare orchid species in rich fens in central part of Murmansk Region // Russian Journal of Ecology. V. 47(3). P. 234–240. (in Russian and English).
- Blinova I., Uotila P. 2012. *Dactylorhiza traunsteineri* (Orchidaceae) in Murmansk Region (Russia) // Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica. V. 88. P. 67–79.
- Brooker R.W., Carlsson B.Å., Callaghan T.V. 2001. *Carex bigelowii* Torrey ex Schweinitz (*C. rigida* Good., Non Schrank; *C. hyperborea* Drejer) // Journal of Ecology. V. 89(6). P. 1072–1095.
- Charpentier A., Stuefer J. 1999. Functional specialization of ramets in *Scirpus maritimus*: Splitting the tasks of sexual reproduction, vegetative growth, and resource storage // Plant Ecology. V. 141. P. 129–136.
- Chatters C., Sanderson N.A. 2014. Slender Cottongrass *Eriophorum gracile* in the New Forest. Curdridge, Hampshire, UK. 106 p.
- Conaghan J.P., Sheehy Skeffington M. 2009. The distribution and conservation of *Eriophorum gracile* Koch ex Roth (Cyperaceae), Slender Cotton-grass, in Ireland // Watsonia. V. 27. P. 229–238.
- Decker K., Culver D.R., Anderson D.G. 2006. *Eriophorum gracile* W. D. J. Koch (slender cottongrass): a technical conservation assessment. Colorado: USDA Forest Service. 42 p. https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5206985.pdf
- Dickenmann R., Keel A. 2004. Aktionsplan Schlanke Wollgras (*Eriophorum gracile* Roth) // AP ZH 1-05. Zürich. 23 p. URL. https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/naturschutz/artenschutz/aktionsplaene-flora/bluetenpflanzen/eriophorum_gracile_ap.pdf (the data of access: 25.02.2022)
- Gage E., Cooper D.J. 2006. *Carex livida* (Wahlenberg) Willdenow (livid sedge): a technical conservation assessment. Colorado: USDA Forest Service, 45 p. https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5206978.pdf
- Guyonneau J. 2006. Répartition, état de conservation et écologie de la Linaigrette grêle (*Eriophorum gracile*) dans les tourbières de la chaîne du Jura français // Les Nouvelles Archives de la Flore Jurassienne, n°4. P. 53–64.
- Hájek M., Horsák M., Tichý L., Hájková P., Dítě D., Jamrichová E. 2011. Testing a relict distributional pattern of fen plant and terrestrial snail species at the Holocene scale: a null model approach // Journal of Biogeography. V. 38. P. 742–755.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. V. 4(1). 9 p. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hulten E., Fries M. 1986. Atlas of North European vascular plants: north of the Tropic of Cancer. Vol. I-III. Königstein: Koeltz Scientific Books.
- Karlsen S., Høgda K., Wielgolaski F., Tolvanen A., Tømmervik H., Poikolainen J., Kubin E. 2009. Growing-season trends in Fennoscandia 1982–2006, determined from satellite and phenology data // Climate Research. V. 39. P. 275–286. <https://doi.org/10.3354/cr00828>
- Kivinen S., Rasmus S., Jylhä K., Laapas M. 2017. Long-Term Climate Trends and Extreme Events in Northern Fennoscandia (1914–2013) // Climate. V. 5 (1). 16 pp. <https://doi.org/10.3390/cli5010016>
- Kitamura K., Kakishima S., Uehara T., Morita S., Tainaka K.-i., Yoshimura J. 2016. The Effects of Rainfall on the Population Dynamics of an Endangered Aquatic Plant, *Schoenoplectus gemmifer* (Cyperaceae) // PLoS ONE. V. 11(6). P. e0157773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157773>
- Kreplin H.N., Ferreira C.S.S., Destouni G., Keesstra S.D., Salvati L., Kalantari Z. 2021. Arctic wetland system dynamics under climate warming. Water. V. 8(4). 16 pp. <https://doi.org/10.1002/wat2.1526>
- Käsermann C., Moser D.M. 1999. Merkblätter Artenschutz – Blütenpflanzen und Farne. Stand. 344 p.
- Mäkiranta P., Laiho R., Mehtätalo L., Straková P., Sormunen J., Minkkinen K., Penttilä T., Fritze H., Tuittila E.-S. 2018. Responses of phenology and biomass production of boreal fens to climate warming under different water-table level regimes // Global Change Biology. V. 24(3). P. 944–956. <https://doi.org/10.1111/gcb.13934>
- Mark A. F., Fetcher N., Shaver G. R., Chapin III F. S. 1985. Estimated Ages of Mature Tussocks of *Eriophorum vaginatum* along a Latitudinal Gradient in Central Alaska, U.S.A. // Arctic and Alpine Research. V. 17(1). P. 1–5.
- Mark A.F., Chapin F.S. 1989. Seasonal control over allocation to reproduction in a tussock-forming and a rhizomatous species of *Eriophorum* in central Alaska // Oecologia. V. 8. P. 27–34. <https://doi.org/10.1007/BF00377194>

- Marshall G.J., Kivinen S., Jylha K., Vignols R.M., Rees W.G. 2018. The accuracy of climate variability and trends across Arctic Fennoscandia in four reanalyses // *Int. J. Climatol.* V. 38. P. 3878–3895. <https://doi.org/10.1002/joc.5541>
- Rantanen M., Karpechko A.Y., Lipponen A. et al. 2022. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 // *Communications Earth & Environment.* V. 3. Article number 168. P. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Red Data Book of East Fennoscandia / Kotiranta H., Uotila P., Sulkava S., Peltonen S.-L. (eds.). 1998. Helsinki. 351 p.
- Salimi Sh., Almuktar S., Scholz M. 2021. Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands // *Journal of Environmental Management.* V. 286. N. 112160. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>
- Sosnovska S., Danylyk I. 2017. Population structure of *Carex dioica* L. (Cyperaceae) in Ukraine under different growth conditions // *Biodiversity: Research and Conservation.* Vol. 46. P. 19–33.
- Sporbert M., Jakubka D., Bucher S.F., Hensen I., Freiberg M., Heubach K., König A., Nordt B., Plos C., Blinova I., Bonn A., Knickmann B., Koubek T., Linstädter A., Mašková T., Primack R.B., Rosche C., Shah M.A., Stevens A.-D., Tielbörger K., Träger S., Wirth C., Römermann C. 2022. Functional traits influence patterns in vegetative and reproductive plant phenology - a multi-botanical garden study // *New Phytol.* V. 235(6). P. 2199–2210.
- Tolvanen A., Henry G. 2000. Population structure of three dominant sedges under muskox herbivory in the high Arctic // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* V. 32. P. 449–455.

Поступила в редакцию: 16.12.22
Переработанный вариант: 31.12.22

THE MAIN PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE MUKHRINO FIELD STATION AREA AND ITS SURROUNDINGS

Kupriianova I.V.¹, Kaverin A.A.¹, Filippov I.V.¹, Ilyasov D.V.¹, Lapshina E.D.¹, Logunova E.V.¹, Kulyabin M.F.¹

¹ *Yugra State University, Khanty-Mansiysk*

y_kupriyanova@ugrasu.ru

Citation: Kupriianova I.V., Kaverin A.A., Filippov I.V., Ilyasov D.V., Lapshina E.D., Logunova E.V., Kulyabin M.F. 2022. The main physical and geographical characteristics of the Mukhrino field station area and its surroundings // Environmental dynamics and global climate change. V. 13. N. 4. P. 215-252.

DOI: [10.18822/edgcc240049](https://doi.org/10.18822/edgcc240049)

На основе литературного обзора и по данным полевых маршрутных наблюдений были рассмотрены особенности основных физико-географических компонентов международной полевой станции «Мухрино» и ее окрестностей: геологического строения и рельефа, климата, гидрографии, разнообразия позвоночных животных, растительного и почвенного покрова, ландшафтной структуры. Принадлежность территории к геологическим элементам, таким как Фроловская мегавпадина, Южно-Елизаровский прогиб, Ханты-Мансийская синеклиза и Усть-Иртышская впадина свидетельствует об отрицательных неотектонических движениях и максимальных мощностях осадочных отложений кайнозойского возраста. Особенностью современного рельефа является отчетливо выраженная ярусность, которая формировалась в процессе трансформаций, происходивших в неоген-четвертичное время. Важное влияние на формирование облика территории оказали аккумулятивные процессы. Комбинация их влияния поспособствовала формированию плоского эрозионно-аккумулятивного рельефа, сложенного тонкозернистыми песчаными и супесчаными озерно-аллювиальными, супесчаными, суглинистыми аллювиальными осадками позднего плейстоцена и переслаивающимися супесчаными и суглинистыми аллювиальными голоценовыми отложениями. Климат характеризуется большой повторяемостью антициклональной погоды, быстрой изменчивостью погоды, влажный с умеренно-теплым летом и умеренно суровой снежной зимой. Гидрографическая сеть хорошо развита. Стационар расположен в долине реки Мухриной с большим количеством водотоков, озер и болот, и прилегающей к району сопряжения пойм Оби и Иртыша. Наблюдается слабая дренирующая роль рек, что указывает на переувлажнение и заболоченность территории. Растительный покров представлен сочетанием сообществ олиготрофных верховых болот, суходольных лесов и пойм. В результате классификации растительного покрова было выделено 11 типов. Почвенный покров также сочетает в себе зональные и интразональные черты и формируется за счёт таких процессов, как подзоло-, глее- и торфообразование, а также аллювиального. Предварительно на территории исследования было выделено 5 основных типов почв: подзолы, светлосемы, аллювиальные, торфяные олиготрофные и эутрофные. Спецификой ландшафтной структуры описываемой территории является широкое распространение болотных, лесных и пойменных геосистем, в связи с чем разнообразна ее фауна. Хозяйственная деятельность человека не ведётся. Это позволяет считать экосистемы района стационара «Мухрино» фоновыми и в целом не нарушенными, что делает их привлекательными для разнонаправленных исследований, в основу которых будут положены интегральный подход и геосистемный анализ его природных комплексов.

Ключевые слова: федеральные проекты, геоботаническая карта, картографирование, Обь-Иртышский бассейн, Кондинская низменность, аллювиальные террасовые комплексы, четвертичные рыхлые отложения, среднетаежная провинция, суходольные леса, олиготрофные верховые болота, гидроморфные почвы, светлосемы, ландшафтные области.

Key words: federal projects, geobotanical map, mapping, Ob-Irtysh basin, Kondinsky lowland, floodplain complexes, Quaternary loose deposits, middle taiga province, upland forest, ombrotrophic raised bogs, hydromorphic soils, svetlozems, landscape areas.

SUMMARY

The International Mukhrino Field Station [URL:<http://mukhrinostation.com>, accessed: January 10, 2023] was established on the basis of the UNESCO Chair “Environmental Dynamics and Global Climate Change” of Yugra State University in 2009 to study biodiversity, thermal and water regime, carbon balance of natural forest-mire and alluvial landscapes of West Siberia [Lapshina et al. 2015].

In the last few years, the natural complexes of the station have been chosen as one of the sites [<https://carbon-polygons.ru/polygons/muxrino> , accessed January 10, 2023] for the implementation of two federal projects of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation: a pilot project to create carbon landfills on the territory of the regions of Russia for the development and testing of carbon balance control technologies (Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated February 5, 2021 No. 74 “On landfills for the development and testing of carbon balance control technologies” (as amended on 21.01.2022)) and the most important innovative project of national importance “Unified National System for Monitoring Climatic Substances” (Decree of the Government of the Russian Federation No. 3240-r of October 29, 2022). Both projects are aimed at integrating terrestrial and remote information about carbon pools and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems of Russia. This integration will ensure the fulfillment of the necessary data with the National Budget of carbon stocks and greenhouse gas flows, reporting on the implementation of obligations agreed upon by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the terms of the Paris Climate Agreement (2015, ratified by the Russian Federation in 2019).

While carrying out future complex works within the framework of the above-mentioned projects, studies of the features of spatial differentiation of physical and geographical components, properties and factors – rocks, relief, climate, waters, soils, vegetation, wildlife, will more reliably establish some patterns of territorial distribution of natural complexes, dependencies between their components, determine the significance of each of them for the formation of the landscape structure and their boundaries [Mikhailov, 1985], and ultimately the features and dynamics of carbon pools and fluxes in these geosystems.

Currently, more than 200 works have been published as a result of field research [<https://mukhrinostation.com/research/publications/> , accessed January 10, 2023], however, so far no summarizing works on the physical and geographical conditions of the Mukhrino Field Station and its surroundings have been published.

In this paper, the aim is to use the analysis of literature and field data to establish the spatial structure and specifics of individual components of natural forest-swamp and floodplain complexes of the Mukhrino Field Station.

Methods. The data of field route observations for the 2021-2022 field seasons, archival cartographic materials, satellite images and remote sensing data, literary sources (atlases, scientific publications, monographs, reports of scientific expeditions, etc.) served as the material for analyzing the physical and geographical conditions of the Mukhrino station and its surroundings (a square of 25*25 km was taken).

For the climatic characteristics of the area, the observation data of the nearest meteorological station of Khanty-Mansiysk for a 30-year period (1991-2020) are taken as a basis [AISORI: <http://aisori-m.meteo.ru>].

Geobotanical descriptions were performed according to the generally accepted method on trial areas of 5×5 m in open areas and 10×10 m in communities with a well-defined tree layer. During the field seasons of 2021-2022, 291 complete geobotanical descriptions were carried out in the study area, including a complete list of vascular plant and mossy species, their tiered addition and projective cover. All geobotanical descriptions were processed based on the principles of the dominant vegetation classification approach [Pogrebnyak, 1955; Alexandrova, 1969; Kuznetsov, 2007] using the IBIS 6.2 software package [Zverev, 2007].

Based on these data, a geobotanical map of the territory was created. The work on its creation was divided into the following stages: 1) a preliminary classification of vegetation based on satellite imagery has been created (classification without training), field routes covering all previously identified types have been planned; 2) field work has been carried out with the collection of geobotanical descriptions; 3) a geobotanical legend of maps of a given scale has been developed; 4) a classification of satellite images with training based on the developed legend has been carried out; 5) the accuracy of the received map is estimated.

When studying the features of the soil cover, soil-morphological, comparative-geographical and profile methods were used. The names of soils and soil horizons are given in accordance with the “Classification and diagnostics of soils of Russia” [2004] and “Classification of soils of the USSR” [1977]. Using the catenary method [Glazovskaya, 1988], full-profile soil sections were laid in key areas, confined to relief elements and plant associations, taking into account the current state of landscapes. 10 sections were laid and 1 peat column with horizon-by-horizon selection of soil samples was taken. A detailed description of the morphological structure of the soil profile was carried out according to the rules adopted in soil science [Rozanov, 2004]. The pH of water and salt extracts was determined by a potentiometric method with a soil-solution ratio of 1:2.5 for mineral horizons and 1:25 in organogenic horizons using a pH meter [Vo-

robyova L.A., 2006]. The determination of organic carbon was carried out by dry combustion using the Euro EA 3000 Elemental Analyzer.

Results and discussion. The area of the Mukhrino Field Station is located in the central part of Western Siberia in the Middle Taiga biogeographic zone (coordinates 60°53'20" n.l., 68°42'10" e.l.) of the Khanty-Mansiysk district of Yugra, 30 km southwest of Khanty-Mansiysk and is located on the left bank of the Ob rivers and the Irtysh. The belonging of the territory to geological elements, such as the Frolov megadepression, the South Elizarovsky downwarping, the Khanty-Mansi syncline and the Ust-Irtysh depression indicates negative neotectonic movements and is characterized by maximum capacities of sedimentary deposits of Cenozoic age. A feature of the modern relief is a distinct tiering, which was formed in the process of transformations that took place in the Neogene-Quaternary time. Accumulative processes had an important influence on the formation of the appearance of the territory. The combination of their influence contributed to the formation of a flat erosive-accumulative relief composed of close-grained sandy and sandy loam lacustrine-alluvial, sandy loam, loamy alluvial sediments of the late Pleistocene and overlapping sandy loam and loamy alluvial Holocene deposits.

According to the Köppen-Geiger climate classification [McKnight, Hess, 2000], the study area belongs to the Dfc zone – cold (continental) without a dry season with a cold summer climate. According to the classification of climates of the USSR, proposed by A.A. Grigoriev and M.I. Budyko [1959] and taking into account, in addition to temperature and humidification modes, the radiation balance, the described territory belongs to region II Z D – the climate is humid with moderately warm summers and moderately severe snowy winters.

Humidification almost entirely depends on the moisture brought from the Atlantic, the influence of the continent is expressed in the high frequency of anticyclonic weather, in the intense transformation of air masses in summer and winter, which gives the circulation of the atmosphere peculiar features, expressed in very rapid variability of the weather and stronger winds [Kostin, Pokrovskaya, 1961]. In any season of the year, sharp fluctuations in air temperature are possible, not only from month to month, but also from day to day and even during the day. The high frequency of anticyclonal weather contributes to the fact that in terms of the number of clear days and the number of hours of sunshine, in terms of the amount of solar radiation received, the district significantly exceeds the European territory of Russia at the same latitudes [Orlova, 1962].

The hydrographic network of the region belongs to the Ob-Irtysh basin of the Kara Sea. According to the general scheme of the Ob-Irtysh basin A.A. Kurakova [2022] the territory of the station is located in zone VII – from the mouth of the Konda River to the mouth of the Irtysh, where there is a transition from the middle Ob to the lower Irtysh. According to the map of genetic types of lake basins, the territory lies at the junction of the Kondinsky and floodplain Ob-Irtysh lake districts [Atlas..., 2004]. Both rivers have wide floodplain valleys with strongly meandering channels, an abundance of channels, branches and lakes. The average annual annual runoff varies from 200 to 250 mm, with a coefficient of variation equal to 0.15-0.25. The weak draining role of rivers is one of the important factors of waterlogging and swampiness of the territory. The degree of waterlogging reaches 30-40% [Atlas..., 2004]. The station is located in the valley of the Mukhrina River with a large number of watercourses, lakes, swamps. The density of the river network is up to 0.3 km / km², the lake content is 20% or more, which is a consequence of excessive moistening of the territory, flat terrain and close occurrence of water-resistant horizons. Small slopes of the terrain and its low vertical dissection determine the slow flow of rivers and a large coefficient of tortuosity of their channels.

According to the zonal-provincial division of the vegetation cover of the West Siberian Plain, the studied territory belongs to the boreal (taiga) zone, the Ob-Irtysh province of the Middle Taiga subzone [Ilyina et al., 1985]. According to marsh zoning, it is included in the Middle Taiga province of the West Siberian oligotrophic ridge-mochagin and pine-shrub-sphagnum bogs (oligotrophic hummock-ridge and pine- fruticulose- sphagnum bog) [Liss et al., 2001]. The average congestion of the province is 50% [Stepanova, 2012].

The zonal vegetation is represented by dark coniferous timber in combination with their post-fire stages of restoration and rows of swampy forests typical of the middle taiga of Western Siberia. Forests occupy areas of well-drained river terraces and gentle hills between extensive oligotrophic bog with intrazonal vegetation occupying the main areas of the watershed territory. As a result of the classification of vegetation cover, 11 types were identified.

Within the territory of the station, rocks of various genesis, composition, properties are distributed, serving as a substrate for the spread of various types of vegetation and the formation of various types and complexes of soils. According to the map of soil-forming rocks [Electronic version ..., 2011], the territory is confined to the area of lake-alluvial, lake and alluvial deposits of sandy and sandy loam granulometric composition, as well as organogenic peat top and transitional deposits (peat deposits of about three meters, in some places more than five) [Atlas..., 2004]. According to the soil-geographical zoning, this territory belongs to the Boreal geographical belt, the European-West Siberian taiga-forest continental soil-bioclimatic region to the subzone of svetlozems, podzolic soils and podzols of the middle taiga, the Lower Irtysh province of gleyzems, svetlozems, podzols, podzolic soils and peat-bog soils and is part of two districts: Priobsky sod-gleyed alluvial soils and silty slimy-bog-gley soils with the participation of podzolized alluvial soil layered clay and loamy on alluvial deposits and the Kondinsky district raised peat soils ridge-mochazhin, ridge-mochazhinno-lake and pine-sphagnum swamps, humic-illuvial podzols and gleyed podzols sandy on lake-alluvial de-

posits [Atlas..., 2004]. The soil cover combines zonal and intrazonal features and is formed due to such processes as podsolization-, gleization- and peat accumulation, as well as formation alluvia. Tentatively, 5 main types of soils were identified in the study area: podzols, svetlozems, alluvial soils, peat oligotrophic and eutrophic peat soils.

In accordance with landscape zoning [Moskvina, Kozin, 2001; Moskvina, 2004], the survey area belongs to the West Siberian physico-geographical country, lies at the junction of two landscape areas - the Kondo-Vakhovskaya lake-swamp (lacustrine-boggy) lowlands and the Ob-Irtysh floodplain intrazonal meadow-swamp-forest, and in turn, the intersection of two provinces – the Kondinsky flat swamp and swamp-taiga lowlands (Kondinsky polesie) and the Priobskaya terraced north and middle taiga, and the districts – Kovenskoe-Erginsky and Irtysh-Kovensky (Fig. 5).

The specifics of the landscape structure of the described territory is the widespread distribution of swamp, forest, floodplain geosystems. The basis for determining the types and types of complexes is based on soil-geobotanical differences.

In accordance with zoogeographic schemes of land zoning according to M.A. Menzbir [1934], A.P. Semenov-Chan-Shansky [1936], V.G. Heptner [1936] and I.I. Puzanov [1938] the territory of the Mukhrino field station belongs to the European-Ob subdistrict, the European-Siberian region, the Palearctic Sub-kingdom, the Holarctic Kingdom and is located on the West Siberian lowland plain. By Yu.A. Mekaev [1987] is part of the Circumboreal region. In accordance with the zoogeographic zoning scheme of the West Siberian Plain country proposed by N.A. Gladkov et al. [Atlas of the Tyumen Region, 1971], refers to the taiga zone, the Middle Taiga subzone, the Kondinsk-Sosva province. According to the map of the diversity of habitats of terrestrial vertebrates, the territory of the station is located within a combination of valley, lake-swamp and forest-swamp medium-taiga habitats [Atlas ..., 2004]. The largest number of species is represented by the valley complex, which is transitional from the floodplain to the swamps, the smallest is the swamp.

Human economic activity is not developed. This makes it possible to consider the ecosystems of the Mukhrino Field Station area as background and generally undisturbed, which makes them attractive for multidirectional studies based on an integrated approach and geosystem analysis of its natural complexes.

Conclusion. The obtained information on the physical and geographical and biological characteristics of the Mukhrino Field Station will allow to deepen theoretical knowledge about the interrelationships of the components of natural landscapes, will be in demand while mapping and for works devoted to environmental monitoring, such as assessment and forecast of changes in the carbon balance. This article was a stage in clarifying the degree of knowledge of the physical and geographical conditions and the territory under study as a whole; prompted the collection of detailed cartographic materials: topographic maps, aerial and satellite images; drawing up a program of field and desk work. In the future, it is planned to conduct research on the refinement of the collected material, complex field work, including geological, geodetic, microclimatic, soil, phyto/zoocenological studies within various landscapes and, as a result, the compilation of industry and applied maps of natural areas.

ВВЕДЕНИЕ

Международная полевая станция (стационар) «Мухрино» [URL:<http://mukhrinostation.com>, дата обращения: 10 января 2023] была создана на базе кафедры ЮНЕСКО «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата» Югорского государственного университета в 2009 г. с целью изучения биоразнообразия, теплового и водного режима, углеродного баланса естественных лесоболотных и пойменных ландшафтов Западной Сибири [Lapshina et al. 2015].

В последние несколько лет природные комплексы станции были выбраны одной из площадок [<https://carbon-polygons.ru/polygons/muxrino>, дата обращения 10 января 2023] для реализации двух федеральных проектов Минобрнауки России: пилотного проекта по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса (Приказ Минобрнауки России от 5 февраля 2021 г. № 74 «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса» (с изменениями от 21.01.2022)) и важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатических веществ» (Распоряжение правительства Российской Федерации №3240-р от 29 октября 2022 г.). Оба проекта направлены на интеграцию наземной и дистанционной информации о пулах углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России. Такая интеграция обеспечит наполнение необходимыми данными Национального бюджета запасов углерода и потоков парниковых газов, отчетности о выполнении обязательств, согласованных Рамочной конвенцией Организации Объединенных наций об изменении климата (РКИК ООН) и условий Парижского соглашения по климату (2015, ратифицировано Российской Федерацией в 2019 году).

С момента создания стационара были проведены экспериментальные исследования разной направленности. При изучении физико-химических свойств болотного комплекса были освещены

гео- и биохимические [Степанова, Покровский, 2011; Латыш, 2017; Szajdak et al. 2019], гидрологические [Bleuten et al., 2020] и метеорологические [Dyukarev et al., 2021] характеристики торфяной толщи. Исследования биологических свойств были связаны с изучением потоков парниковых газов [Alekseychik et al. 2017; Glagolev et al. 2018; Dyukarev et al., 2018], палеоэкологии болот [Amon et al., 2020], микробиологии, включая микологию [Белова и др., 2013; Filippova, 2019], инвентаризации флоры лишайников [Лапшина и Конева, 2010], мхов и сосудистых растений [Лапшина, Писаренко, 2013], а также орнитофауны [Архипов и др., 2018].

При проведении будущих комплексных работ в рамках вышеупомянутых проектов исследования особенностей пространственной дифференциации физико-географических компонентов, свойств и факторов – горных пород, рельефа, климата, вод, почв, растительности, животного мира, позволят более надежно установить некоторые закономерности территориального распределения природных комплексов, зависимости между их компонентами, определить значение каждого из них для формирования ландшафтной структуры и их границ [Михайлов, 1985], в конечном итоге особенности и динамику пулов и потоков углерода в этих геосистемах.

В настоящее время в результате полевых исследований издано более 200 работ [<https://mukhrinostation.com/research/publications/>, дата обращения 10 января 2023], однако до сих пор обобщающих работ по физико-географическим условиям стационара и его окрестностей «Мухрино» не опубликовано.

Природные комплексы стационара «Мухрино» удалены от источников техногенного загрязнения и поэтому они могут выступать в качестве эталонных (фоновых) при проведении экологических исследований. Например, в исследовании Кулькова М.Г. и Зарова Е.А. [2013] донные отложения озер вторичного происхождения, расположенных на территории Сомотлорского месторождения (Нижевартовский район, ХМАО) сравнивались с донными отложениями подобных по происхождению озер, расположенных на стационаре «Мухрино». В работе Fiałkiewicz-Kozieł В. с соавторами [2016], направленной на выявление антропогенных и естественных источников загрязнения России, Мухрино выступал местом оценки антропогенного воздействия и степени миграции переносимых по воздуху частиц пыли различного происхождения, а также потенциального определения временной границы антропоцена. При этом рассматриваемые природные комплексы являются индикаторами чувствительности к глобальному изменению климата [Dyukarev et al., 2021].

В настоящей работе поставлена цель с помощью анализа литературных и полевых данных установить пространственную структуру и специфику отдельных компонентов природных лесоболотных и пойменных комплексов международной полевой станции «Мухрино».

Для достижения цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

1. дать общую характеристику района исследования, включая морфометрические данные, пространственные закономерности изменений и развития геологических процессов и климатические особенности;
2. охарактеризовать гидрологические особенности территории исследования;
3. изучить разнообразие и особенности почвенного и растительного покрова, позвоночных животных, приуроченных к различным ландшафтам;
4. изучить ландшафтные особенности и их структуру;
5. выявить особенности экохозяйственного использования территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для анализа физико-географических условий территории станции «Мухрино» и ее окрестностей (квадрат 25×25 км) послужили данные полевых маршрутных наблюдений за полевые сезоны 2021-2022 годы, архивные картографические материалы, космические снимки и данные дистанционного зондирования, литературные источники (атласы, научные публикации, монографии, отчеты научных экспедиций и др.).

При систематизации и анализе физико-географических характеристик исследуемой территории опирались на материалы и карты комплексного Атласа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, созданного в соответствии с распоряжением №122-рг от 10 апреля 2002 г. губернатора А.В. Филипенко. Он включает более 250 карт разного масштаба, сгруппированных в тринадцать разделов, отображающих природу и природные ресурсы округа как по отдельным компонентам (геологическое строение, рельеф, климат, мерзлота, поверхностные воды, растительность и животный мир и др.), так и интегрально (ландшафты, ландшафтное районирование и др.).

Для климатической характеристики района за основу взяты данные наблюдений ближайшей метеорологической станции г. Ханты-Мансийск за 30-летний период (1991-2020 гг.) [АИСОРИ: <http://aisori-m.meteo.ru>].

Геоботанические описания выполняли по общепринятой методике на пробных площадях 5×5 м на открытых участках и 10×10 м в сообществах с хорошо выраженным древесным ярусом. За полевые сезоны 2021-2022 годов на исследуемой территории было проведено 291 полных геоботанических описаний, включающие полный список видов сосудистых растений и мохообразных, их ярусного сложения и проективного покрытия. Все геоботанические описания обработаны на основе принципов подхода доминантной классификации растительности [Погребняк, 1955; Александрова, 1969; Кузнецов, 2007] с использованием программного пакета IBIS 6.2 [Zverev, 2007].

На основе этих данных была создана геоботаническая карта территории. Работа по ее созданию делилась на следующие этапы: 1) создана предварительная классификация растительности по космической съемке (классификация без обучения), запланированы полевые маршруты, охватывающие все предварительно выделенные типы; 2) проведены полевые работы со сбором геоботанических описаний; 3) разработана геоботаническая легенда карты заданного масштаба; 4) проведена классификация космических снимков с обучением на основе разработанной легенды; 5) оценена точность полученной карты.

В качестве основы для картографирования был использован медианный снимок Sentinel-2 (усреднение всей имеющейся съемки Sentinel-2 за период с 2021 по 2022 год с предварительно удаленными облаками и их тенями), отобраны снимки за период максимальной вегетации (1 июля – 15 августа), использован продукт Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A (атмосферно скорректированный с пересчетом в отражательную способность поверхности). Расчеты проводились с использованием Google Earth Engine [URL: <https://earthengine.google.com/>].

Усреднение снимков позволяет избежать влияния на результат классификации атмосферных явлений, непостоянства угла съемки и других случайных факторов. По космическим снимкам были спланированы экспедиционные маршруты и намечены точки геоботанических описания.

Выделено 3 основных класса лесной растительности и 7 классов болотной растительности (в соответствии с типами биотопов, в которых были проведены наземные полевые исследования). Кроме того, был выделен 1 класс луговой растительности и вспомогательные класс водных поверхностей. Легенда карты разрабатывалась с целью картографирования с размером минимального объекта порядка 20 м (что соответствует пространственному разрешению снимка Sentinel-2). При таком масштабе картирования некоторые классы получились комплексными, например, болотный грядово-мочажинный комплекс, состоящий из сухих сосново-кустарничково-сфагновых гряд и шейхцериево-сфагновых мочажин, в таком масштабе представляет 1 класс.

Классификация с обучением была выполнена в ГИС-GRASS с использованием алгоритма SMAP, который учитывает не только спектральную яркость конкретного пикселя, но и характеристики пикселей, находящихся в его окрестности, что существенно повышает ее качество [i.smap: <https://grass.osgeo.org/grass82/manuals/i.smap.html>].

При изучении особенностей почвенного покрова использовались почвенно-морфологический, сравнительно-географический и профильный методы. Названия почв и почвенных горизонтов даны в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» [2004] и «Классификации почв СССР» [1977]. Используя катенарный метод [Глазовская, 1988], на ключевых участках закладывались полнопрофильные почвенные разрезы, приуроченные к элементам рельефа и растительным ассоциациям, с учетом современного состояния ландшафтов. Было заложено 10 разрезов и взята 1 торфяная колонка с погоризонтным отбором почвенных образцов. Выполнялось подробное описание морфологического строения профиля почв по правилам, принятым в почвоведении [Розанов, 2004]. Определение pH водной вытяжки было произведено потенциометрическим методом при соотношении почва-раствор 1:2,5 для минеральных горизонтов и 1:25 в органогенных горизонтах с помощью pH-метра [Воробьева Л.А., 2006]. Определение органического углерода было произведено методом сухого сжигания с помощью элементного анализатора Euro EA 3000 Elemental Analyzer.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геологическое и геоморфологическое строение

Район международной полевой станции «Мухрино» находится в центральной части Западной Сибири в среднетаежной биогеографической зоне (координаты 60°53'20" с.ш., 68°42'10" в.д.) Ханты-Мансийского района Югры в 30 км к юго-западу от Ханты-Мансийска и расположен в левобережье рек Обь и Иртыш (рис. 1). К югу от станции простирается Кондинская низменность с отметками 30 - 50 м н.у.м., относящаяся к внутреннему морфоструктурному поясу [Середовских, 2022].

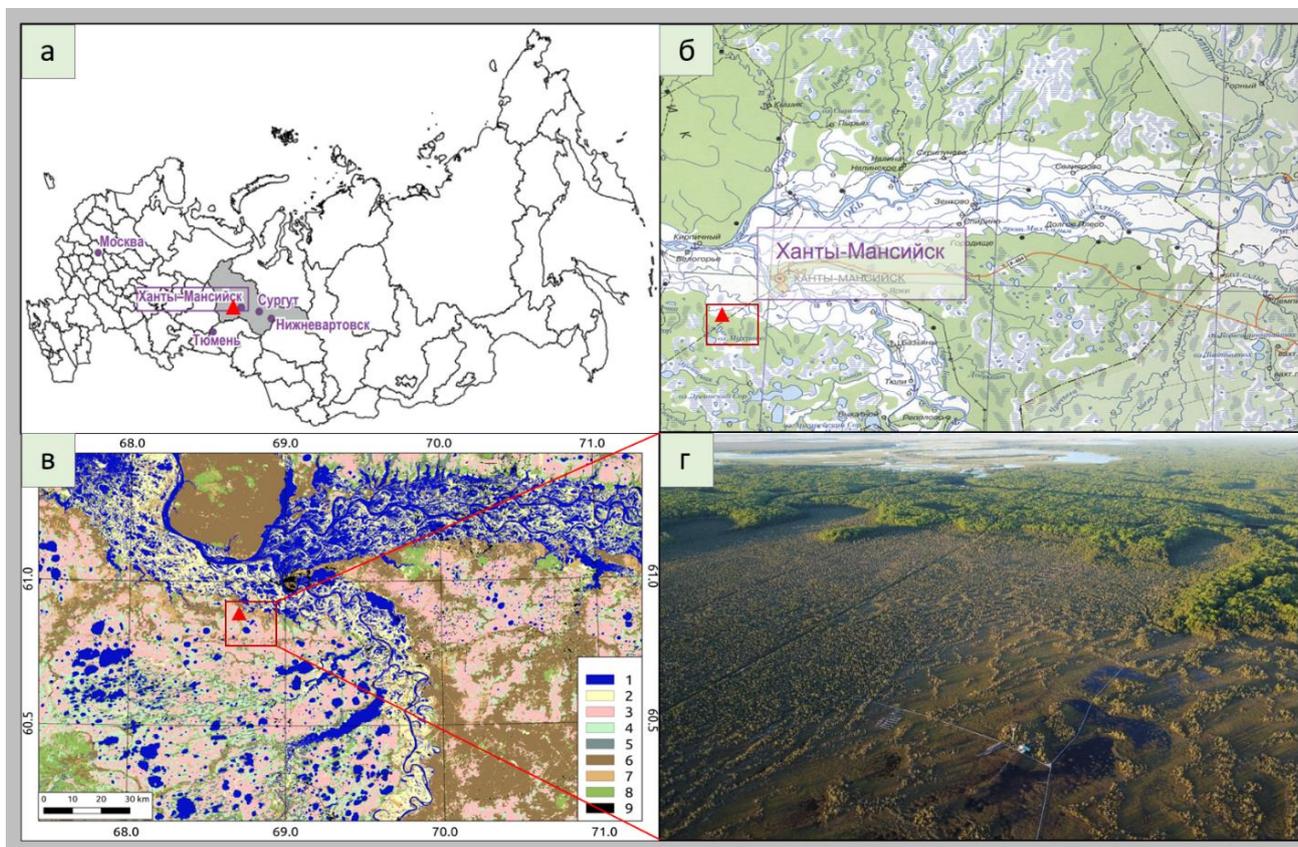


Рисунок 1. Географическое положение международной полевой станции на картах: а – России и региона [Шветье, Каацке, 2012]; б – топографической карте в пределах окрестностей Ханты-Мансийска [Атлас..., 2004]; в – классифицированном снимке Landsat-5 с типологической легендой: 1 – водные объекты; 2 – пойма; 3 – грядово-мочажинный комплекс; 4 – ям; 5 – сосновый лес; 6 – смешанный лес; 7 – лиственный лес; 8 – нарушенный лес; 9 – инфраструктура [Dyukarev et al., 2021]; г – фотографическое изображение природных комплексов станции [Фото Дюкарева Е.А.].

Трансформации, происходившие в неоген-четвертичное время и связанные с изменением уровня Мирового океана с амплитудой разнопорядковых колебаний в десятки и сотни метров, обусловили формирование серии разновозрастных и разновысотных ярусов рельефа (геоморфологических уровней), из которых наиболее выраженными на данной территории являются аллювиальные террасовые комплексы, а также погребенные позднеплиоценовые речные долины, днища которых опущены на 200-300 м ниже уровня моря. Эти структуры нашли отражение в современном рельефе, основной особенностью которого является отчетливо выраженная ярусность [Атлас..., 2004; авторы главы «Рельеф» (С. 33): Васильчук Ю.К., Тальская Н.Н., Кузин И.Л.]. Помимо эндогенных процессов существенное влияние оказывают экзогенные процессы, проявляющиеся в аккумуляции [Земцов, 1976; Трофимов и др., 1986; Атлас..., 2004]. Природные комплексы территории лежат в пределах аккумулятивной равнины, приуроченной к современным речным долинам Оби и Иртыша. В свою очередь их биогеоценозы – пойменные луга, суходольные леса и болота комплексного строения – располагаются на наиболее молодых геоморфологических уровнях аллювиального и озерно-аллювиального происхождения – пойме и двух террасах (второй – 28-30 м и третьей – 30-35 м над урезом воды), достигающие на отдельных участках несколько километров [Атлас..., 2004]. Комбинация влияния внутренних и внешних процессов поспособствовала формированию плоского эрозионно-аккумулятивного рельефа [Трофимов и др., 1986], характеризующегося изрезанностью густой сетью долин небольших водотоков, низкого вертикального (5-10 м) и сильного горизонтального (0,6-1,8 км) расчленений.

В геолого-структурном отношении территория стационара согласно данным Атласа ХМАО-Югры находится в пределах Западно-Сибирской эпигерцинской плиты, сформированной типичными платформенными осадками. На тектонической карте центральной части Западно-Сибирской плиты [Ахпателов и др., 2004] район исследований расположен в пределах Фроловской мегавпадины, осложненной Южно-Елизаровским прогибом, Ханты-Мансийской синеклизой, Усть-Иртышской впадиной и характеризуется выраженными неотектоническими отрицательными движениями с амплитудой минус 25 метров [Атлас..., 2004]. Ханты-Мансийская синеклиза являлась областью наиболее устойчивого погружения в течение всего мезокайнозоя и поэтому характеризуется максимальными мощностями отложений этого возраста.

Осадочный чехол представлен кайнозойскими образованиями палеогеновой системы. Данная территория расположена на сопряжении трех свит возрастом от нижнего до верхнего олигоцена. На морских отложениях с размывом залегают континентальные отложения атлымской свиты (нижний олигоцен) мощностью до 60 м. Это – аллювиальные и озерно-аллювиальные пески светло-серые и белые, кварцевые, реже полевошпато-кварцевые. Новомихайловская свита (средний олигоцен) представляет собой толщу до 100 м мощности озерно-болотных, озерных и аллювиальных отложений – неравномерно переслаивающимися серыми глинами, алевритами и песками, местами содержащими прослойки лигнитов и бурых углей. Туртасская свита (верхний олигоцен) мощностью до 90 м сложена зеленовато-серыми глинами и глинистыми алевритами, тонкослоистыми, местами плитчатыми, слюдистыми, с прослоями диатомитов и тонкозернистых глауконит-кварцевых песков. Осадки преимущественно озерного типа.

Четвертичные рыхлые отложения, причиной формирования которых послужила эрозионно-аккумулятивная деятельность речных потоков, представлены тонкозернистыми песчаными и супесчаными озерно-аллювиальными (третья надпойменная терраса) и супесчаными, суглинистыми аллювиальными (вторая надпойменная терраса) осадками позднего плейстоцена мощностью от 15 до 25 м, а также переслаивающимися супесчаными и суглинистыми аллювиальными голоценовыми отложениями в пойме мощностью до 25 м [Атлас..., 2004].

Климат

По классификации климатов Кёппена-Гейгера [McKnight, Hess, 2000] территория исследования относится к зоне Dfc – холодный (континентальный) без сухого сезона с холодным летом климат. По классификации климатов СССР, предложенной А.А. Григорьевым и М.И. Будыко [1959] и учитывающей кроме режимов температуры и увлажнения радиационный баланс описываемая территория относится к области ПЗД – климат влажный с умеренно-теплым летом и умеренно суровой снежной зимой.

Увлажнение почти целиком зависит от влаги, приносимой с Атлантики, влияние континента выражается в большой повторяемости антициклональной погоды, в интенсивной трансформации воздушных масс летом и зимой, что придает циркуляции атмосферы своеобразные черты, выражающиеся в очень быстрой изменчивости погоды и более сильным ветрам [Костин, Покровская, 1961]. В любой сезон года возможны резкие колебания температуры воздуха, не только от месяца к месяцу, но и от суток к суткам и даже в течение суток. Большая повторяемость антициклональной погоды способствует тому, что по числу ясных дней и числу часов солнечного сияния, по количеству поступившей солнечной радиации округ значительно превосходит Европейскую территорию России на тех же широтах [Орлова, 1962].

Термический и радиационный режим. Средняя годовая температура воздуха минус 0,5°C (1991-2020 гг.) (табл.1). Её годовой ход типичен для континентального климата [Кобышева и др., 2001]. Температуры поверхности почвы ниже температуры воздуха: в зимние месяцы холоднее на несколько градусов, летом теплее на десятые доли градуса. Среднегодовое значение достигает минус 2,3°C. Годовой приход суммарной солнечной радиации – от 3400 до 3600 МДж/м². Прямая и рассеянная солнечная радиация имеют определенный годовой ход. Наименьший вклад прямой радиации отмечается в период с ноября по январь (25-30 %). Зимой повсеместно преобладает рассеянная солнечная радиация. Наиболее благоприятны условия для поступления прямой радиации летом, когда вклад её в суммарную составляет 46-57 %. Максимум месячных сумм суммарной радиации приходится на июль (615,9 МДж/м²); минимум - на декабрь (16,8 МДж/м²). Для годового хода суммарной солнечной радиации характерно резкое увеличение (в 3 раза) месячных сумм от февраля к марту, что объясняется увеличением высоты солнца и продолжительности дня и уменьшением облачности [Атлас..., 2004].

Таблица 1. Климатические характеристики по данным 1991 – 2020 гг. по метеостанции г. Ханты-Мансийск. Примечание: *среднегодовые значения, **суммарные значения [АИСОРИ: <http://aisori-m.meteo.ru>].

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
<i>Термический режим</i>													
Средняя температура воздуха, °С	-19,1	-16,7	-7,8	0,0	8,3	15,4	18,2	14,5	8,2	0,7	-10,4	-16,6	-0,5*
Средняя минимальная температура, °С	-23,0	-20,6	-12,1	-4,3	3,4	11,0	13,7	10,6	4,7	-2,1	-13,6	-20,5	–
Средняя максимальная температура, °С	-15,2	-12,8	-3,3	4,7	13,7	20,3	22,9	19,0	12,2	3,7	-7,2	-12,8	–
Средняя температура поверхности почвы, °С	-22,2	-20,3	-11,6	-3,5	6,9	15,1	18,0	14,2	7,1	-0,8	-12,0	-18,9	-2,3*
<i>Осадки и режим увлажнения</i>													
Норма атмосферных осадков, мм	29,0	24,7	29,9	30,1	42,7	60,5	71,5	84,0	55,8	46,4	38,3	33,8	546,7**
Число дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками	26,3	24,0	20,1	19,0	21,0	19,3	17,0	21,1	22,0	24,0	27,0	28,1	268,9**
Влажность воздуха, %	83	81	76	69	65	66	71	78	81	83	85	84	77*
<i>Снежный покров</i>													
Средняя высота, см	41	50	53	24	1	0	0	0	0	2	13	27	–
Максимальная высота, см	71	82	94	85	42	0	0	0	11	27	55	62	94*
Число дней	31	28	31	22	3	0	0	0	0,5	12	29	31	187**
<i>Облачность</i>													
Общая, баллы	7,0	6,5	6,3	6,4	6,9	6,6	6,2	7,1	7,6	7,7	7,4	7,1	6,9*
Число ясных дней	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2	25**
Число облачных дней	14	14	17	16	17	18	20	18	14	13	12	14	187**
Число пасмурных дней	14	11	11	11	12	10	9	12	15	17	16	15	153**
Нижняя, баллы	1,8	1,3	1,9	2,4	4,0	3,9	3,7	4,6	4,9	4,9	3,7	2,5	3,3*
Отношение нижней облачности к общей, %	26	20	30	38	58	59	60	65	64	64	50	35	48*
<i>Ветровой режим</i>													
Скорость ветра, м/с	2,4	2,3	2,5	2,7	2,7	2,4	2,1	2,1	2,2	2,5	2,5	2,4	2,4*
<i>Повторяемость различных направлений ветра, %</i>													
С	5	8	7	12	15	15	19	13	11	7	6	6	10*
СВ	6	8	6	9	12	10	12	8	7	5	6	5	8*
В	16	16	13	12	14	14	14	12	12	8	11	14	13*
ЮВ	13	10	12	8	10	10	9	10	11	9	11	12	10*
Ю	19	14	17	12	9	9	7	9	11	15	15	16	13*
ЮЗ	19	18	20	19	14	12	11	14	16	24	23	20	17*
З	17	21	20	21	15	18	15	21	20	24	22	22	20*
СЗ	5	5	5	7	11	12	13	13	12	8	6	5	9*
штиль	9	10	7	6	5	6	9	11	10	5	9	10	8*

Годовой радиационный баланс положительный и изменяется в пределах 1100-1200 МДж/ (м²*мес) в год, что составляет 30-32 % годового количества суммарной радиации. В годовом ходе максимальное значение радиационного баланса отмечается в июне (339,4 МДж/ (м²*мес)), минимальные - в декабре-январе (минус 50,3 МДж/ (м²*мес)). С апреля по сентябрь радиационный баланс

положителен. Значения радиационного баланса резко увеличиваются весной, от апреля к маю (в 3,3 раза), и уменьшаются осенью, от сентября к октябрю (в 2,5 раза) [Атлас..., 2004].

Продолжительность солнечного сияния в год составляет от 1700 до 1800 часов. Наибольшее число часов солнечного сияния отмечается в июле (275-309), наименьшее - в декабре (0-27). Весной число часов солнечного сияния в 2,5-3,5 раза больше, чем осенью, что связано с годовым ходом облачности [Атлас..., 2004].

Зима. Средняя суммарная солнечная радиация не превышает 96,4 МДж/ (м²*мес.). Радиационный баланс в ноябре достигает наиболее низких в году отрицательных значений из-за наименьшего за год притока тепла и большой отражательной способности снежного покрова.

Начало зимы характеризуется дальнейшим увеличением повторяемости циркуляционных процессов восточного типа, способствующих понижению температуры [Атлас..., 2004]. Средняя температура воздуха ниже нуля устанавливается в первой половине октября. Наиболее интенсивное её понижение отмечается в конце октября - начале ноября, после появления снежного покрова, вследствие чего разность средних температур в октябре и ноябре составляет 9,7°С. Средняя месячная температура воздуха изменяется от минус 16,6°С в декабре до минус 19,1°С в январе (табл. 1) со значительной межсуточной (5°С), междневной (15°С) и межгодовой (15°С) изменчивостью. Минимальная температура наблюдается в январе – минус 23,0°С (табл. 1). В понижениях долины Оби отмечается наибольший абсолютный минимум температуры (до минус 50 °С). Период с устойчивыми морозами длится 150-160 дней. Сумма средних суточных температур воздуха ниже 0 °С варьирует от 2400 до 2600 °С [Атлас..., 2004]. Средняя температура поверхности почвы изменяется от минус 18,9°С в декабре до минус 22,2°С в январе (табл. 1)

Весна. Средняя суммарная солнечная радиация составляет 515.4 МДж/ (м²*мес) [Атлас..., 2004]. Средняя дата перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С – середина апреля (табл. 1).

Лето продолжается с июня по август. Средняя суммарная солнечная радиация составляет 509,5 МДж/(м²*мес) [Атлас..., 2004]. Средняя дата перехода средней суточной температуры воздуха через 10 °С наблюдается в начале-середине июня. Среднемесячная температура в июле плюс 18,2 °С (табл. 1).

Осень. Средняя суммарная солнечная радиация составляет 213.7 МДж/ (м²*мес) [Атлас..., 2004]. Средняя дата первого заморозка – начало сентября. Средняя дата перехода средней суточной температуры через 10 °С в период падения – первая декада сентября, через 0 °С – первая декада октября (табл. 1).

Период активной вегетации с суммой средних суточных температур воздуха с температурой выше 10°С близок к фактическому периоду вегетации большинства растений, а сумма температур соответствует необходимому количеству тепла [Воронина, 1977]. Переход к суточным температурам воздуха выше +10° наступает в первых числах июня, и к тому времени в среднем прекращаются весенние заморозки. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 10°С составляет 90-100 дней, сумма температур за этот период – 1400-1500°С [Атлас..., 2004].

Осадки и режим увлажнения. Годовой ход осадков относится к континентальному типу. В холодный период выпадает около 20 % годовой суммы [Булатов, 2007]. Большая часть их выпадает в первые месяцы зимы в связи с циклоническими процессами на полярных и арктических фронтах. Годовое количество осадков в пределах 547 мм. Годовой минимум отмечается в феврале и составляет 24,7 мм. Максимальное за год количество осадков выпадает в июле-августе (72-84 мм). Наибольшее число дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками наблюдается зимой (26-28 дней). В годовом ходе относительная влажность воздуха изменяется от 81 до 84% зимой, к весне уменьшается до 69-76%, достигает минимального значения 65% в мае, к осени снова происходит увеличение до 80% (табл. 1).

Снежный покров. Средняя дата появления снежного покрова – начало-середина октября. Продолжительность залегания снежного покрова 190 - 200 дней. Среднее из наибольших декадных высот снежного покрова изменяется от 43 до 51 см, с максимальной высотой 94 см в марте. Сход снежного покрова наблюдается в начале-середине мая (табл. 1).

Вечная мерзлота. Вечная мерзлота на данной территории отсутствует. Величина криогенных сезонных затрат энергии составляет 25%. Сезонное промерзание от 20 до 80 см, постоянного промерзания нет. Распространение сезонно мерзлых и талых пород редкое островное, их температура колеблется от 0 до 4°С. Глубина сезонного промерзания от 0,5 (на болоте) до 2 метров (в пойме) [Атлас..., 2004].

Облачность. Интенсивная циклоническая деятельность обуславливает наличие значительной облачности в течение всего года, особенно в осенне-зимний период. Среднее количество общей облачности, изменяясь в пределах от 6,4 баллов (в июне – июле) до 7,7 баллов (в октябре), за год составляет 6,9 баллов. Годовой ход количества нижней облачности аналогичен ходу общей облачности, но имеет большую амплитуду колебаний. В течение всего года доля нижней облачности в общей облачности составляет около 50%. Число пасмурных дней по общей облачности равно 163, облачных – 187, ясных – 25. Наиболее пасмурные дни наблюдаются в осенне-зимний период, в весенне-летний период – облачные (табл. 1).

Ветровой режим. В годовом режиме ветра достаточно четко прослеживается мусонообразный характер: зимой ветер дует с охлажденного материка на океан, летом – с океана на сушу. Высока повторяемость западных и юго-западных ветров: зимой около 20%, в мае падает до 15%. Средние месячные скорости ветра во все сезоны года не превышают 3 м/с, с максимумом в апреле-мае (2,7 м/с) и минимумом в июле-августе (2,1 м/с) (табл.1). Часты метели и туманы [Атлас..., 2004].

Гидрография

Гидрографическая сеть региона относится к Обь-Иртышскому бассейну Карского моря. Согласно общей схеме Обь-Иртышского бассейна А.А. Кураковой [2022] территория стационара расположена в зоне VII – от устья реки Конда и до устья Иртыша, где наблюдается переход от средней Оби к нижнему Иртышу. Согласно карте генетических типов озерных котловин, территория лежит на сопряжении Кондинского и пойменного Обь-Иртышского озерных районов [Атлас..., 2004]. Обе реки имеют широкие пойменные долины с сильно меандрирующими руслами, избытком протоков, рукавов и озер. Среднемноголетний годовой сток изменяется от 200 до 250 мм, с коэффициентом вариации равным 0,15-0,25. Слабая дренирующая роль рек является одним из важных факторов переувлажнения и заболоченности территории. Степень заболоченности достигает – 30-40 % [Атлас..., 2004]. Стационар расположен в долине реки Мухриной с большим количеством водотоков, озер, болот. Густота речной сети составляет до 0,3 км/км², озерность 20 и более %, что является следствием избыточного увлажнения территории, равнинности рельефа и близкого залегания водоупорных горизонтов. Небольшие уклоны местности и его низкое вертикальное расчленение определяют медленное течение рек и большой коэффициент извилистости их русел.

Наличие развитой поймы приводит к формированию на какой-то период водоема со стоячей водой с высокой биопродуктивностью. Помимо этого, формируются и существуют самостоятельные пойменные водоемы, которые иногда разделяют на придаточные водоемы (протоки), представляющие собой переходный тип от речного русла к озеру, и непосредственно водоемы поймы – соры. Они образуются на основе отмерших участков старых русел (стариц) и представляют собой блюдцеобразные емкости, заполняемые в период весенне-летнего половодья и служащие местом нереста фитофильных видов и нагула большинства видов рыбы, а также других организмов, связанных с гидрологическим режимом реки. Площадь озер существенно изменяется в течение года [Земцов, 1976]. В половодье соры представляют собой проточные озера больших размеров. Подавляющая часть соров имеет очень плоское дно, понижающееся к основному руслу реки. По мере спада паводочной волны на главных реках вода из соров постепенно сбрасывается в их русла и соры сильно мелеют, обнажая илистое или песчаное дно [Малик, 1978].

Кроме вышеописанных, на данной территории распространены внепойменные водоемы, отчленившиеся от поймы и потерявшие связь с гидрологическим режимом реки в результате вертикальной эрозии русла. Это мелководные водоемы - внутриболотные озерки и озера, расположенные среди болотного массива «Мухрино», они образуют обширную болотно-озерную систему [Фашевский, 2007]. По происхождению котловин эти озера органогенные. Они весьма различны по форме и размерам: круглые, округлые, овальные, вытянутые. Подавляющее большинство водоемов – бессточные озерки площадью менее 0,1 км² и глубиной менее 2 м, это части грядово-мочажинно-озеркового комплексного ландшафта. Озера имеют высокую природоресурсную ценность, являясь источником водных, биологических (флора и фауна), минеральных и органических ресурсов [Атлас..., 2004].

Болотный массив «Мухрино» представляет собой олиготрофное верховое сфагновое болото и является типичным для среднетаежной зоны Западной Сибири [Иванов; Новиков, 1976] практически полностью покрывает локальный водораздел между небольшими реками Мухрина и Большая речка, впадающими в протоку Байбалаковскую (пойма Иртыша) и протоку Ендырскую (пойма Оби) [рис. 2; Лапшина и Конева, 2010]. Протяженность болотного массива с запада на восток составляет 4,5 км. С юга болотный массив ограничивает полоса островков, покрытых смешанным лесом, а с севера – кромка первой обской террасы. С восточной стороны окраина Мухринского болота образована усту-

пом террасы, возвышающимся на 2–6 м над долиной реки Мухрина. Форма уступа волнистая вследствие активной обратной эрозии несколькими ее истоками [Bleuten et al., 2020]. Протяженность болота от южной до северной границы достигает 13 км, а его площадь составляет 50 км² [Заров, 2013].

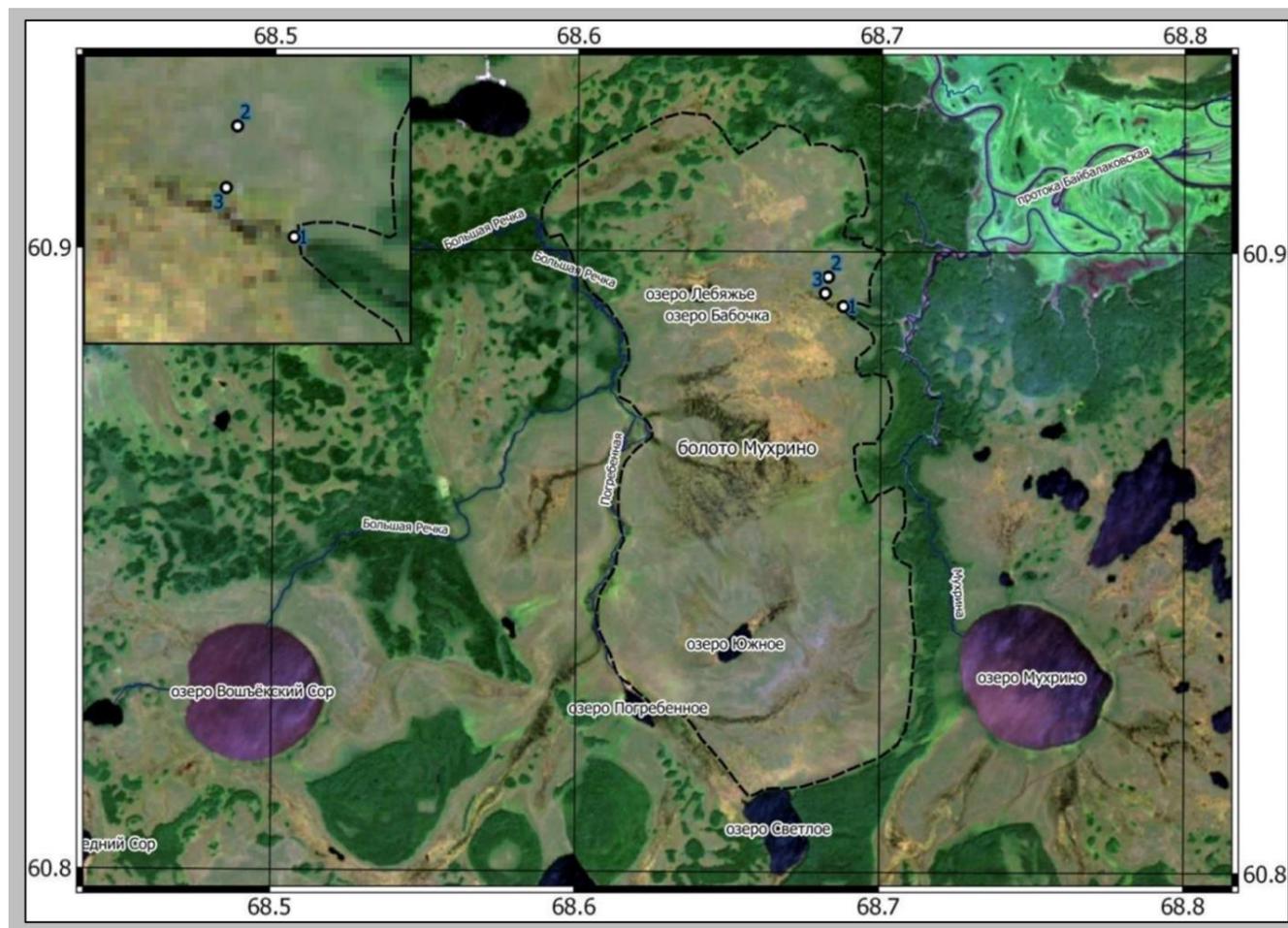


Рисунок 2. Болотный массив «Мухрино» и его окрестности. Примечание: пунктиром обозначена граница болотного массива Мухрино; белые точки с черной обводкой – микроландшафты (1 – рослый ям; 2- ям; 3 – мочажина) [Латыш, 2017].

Растительный покров

Международная полевая станция «Мухрино» согласно зонально-провинциальному делению растительного покрова Западно-Сибирской равнины относится к бореальной (таежной) зоне, Обь-Иртышской провинции среднетаежной подзоны [Ильина и др., 1985]. По болотному районированию территория исследования входит в среднетаежную провинцию Западно-Сибирских олиготрофных грядово-мочажинных и сосново-кустарничково-сфагновых болот [Лисс и др., 2001]. Средняя заторфованность провинции составляет 50% [Степанова, 2012].

Зональная растительность представлена темнохвойными лесами в сочетании с их послепожарными стадиями восстановления и рядами заболоченных лесов, типичными для средней тайги Западной Сибири. Леса занимают участки хорошо дренированных речных террас и пологие холмы между обширными олиготрофными торфяниками с интразональной растительностью, занимающими основные площади водораздельной территории. Всего торфяники занимают около 50 % площади, при этом доля мезотрофных болот составляет менее 3 % [Terentieva et al., 2016].

Для описания растительного покрова использовался трехуровневый иерархический подход. Были выделены следующие категории: 1) крупные участки суши (5–30 км), распознаваемые в региональном масштабе, в тексте пронумерованы римскими цифрами; 2) сухопутные подразделения среднего масштаба гомогенные или комплексного строения, в тексте пронумерованные арабскими цифрами; 3) небольшие наземные контура (около 100 м²), которые представляют собой мозаичные или однородные сообщества и выделенные в тексте цифрами и буквами (например, 1б. Сфагновые мочажины).

I. Олиготрофные верховые болота (обозначение «Б-М» на рис. 3) включают сообщества с атмосферным водно-минеральным питанием и преобладанием сфагновых мхов в напочвенном покрове.

1. Грядово-мочажинные болотные комплексы (обозначения «Б3-М» и «Б4-М» на рис. 3). Занимают обширные болотные массивы центральных частей междуречий Западной Сибири. Наблюдается чередование гряд багульниково-касандрово-сфагновых (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*), местами с сосной (*Pinus sylvestris*) и сфагновых мочажин с пушицей и шейхцерией (*Sphagnum balticum*, *S. majus*, *Eriophorum vaginatum*, *Scheuchzeria palustris*), ориентированных поперек стока болотных вод. Эти комплексы обычно располагаются на очень пологих участках (уклон 0,003–0,008 м/км). Конфигурация и расстояние между грядами и мочажинами связаны с уклоном поверхности торфяника, но в основном они имеют равный удельный вес в комплексе. Микротопы гряд более сухие и на 25–50 см выше мочажин.

1а. Сосново-кустарничковые- (*Pinus sylvestris*, *Ledum palustre*, *Chamaedaphne calyculata*) сфагновые (*Sphagnum fuscum*) гряды (обозначения «Б3.1-М» и «Б4.3-М» на рис. 3). Высота сосны обычно 0,5–2,0 м, проективное покрытие 3–10 %.

1б. Сфагновые мочажины (обозначения «Б3.3-М» и «Б4.1-М» рис. 3) – низкие участки комплекса размером 10–100 м² с уровнем грунтовых вод 0–15 см представленные осоково-шейхцериево-сфагновыми и пушицево-осоково-сфагновыми сообществами. Среди кустарничков преобладают подбел (*Andromeda polifolia*) и клюква (*Oxycoccus palustris*). Травы включают несколько видов: шейхцерия (*Scheuchzeria palustris*), осока (*Carex limosa*), виды пушицы (*Eriophorum russeolum*, *E. vaginatum*) и росянка (*Drosera rotundifolia*, *D. anglica*). В моховом покрове доминируют несколько гидрофильных видов сфагновых мхов: *Sphagnum balticum*, *S. papillosum*, *S. jensenii*, *S. majus* и *S. lindbergii*.

2. Кустарничковое сфагновое болото с редкими низкорослыми соснами (*Pinus sylvestris*) («открытое болото») с преобладанием кассандры (*Chamaedaphne calyculata*), пушицы (*Eriophorum vaginatum*) и сфагновых мхов (*Sphagnum angustifolium*, *S. divinum*, *S. fuscum*) (обозначение «Б1-М» рис. 3). Эти типы сообществ располагаются в переходной зоне шириной от 100 до 200 м, реже шире, между олиготрофным верховым болотом и участками суходольного леса на минеральных отложениях. Они также могут развиваться в пограничной зоне между верховыми и минеротрофными болотами.

3. Сосново-кустарничково-сфагновое болото (рям) занимает самые высокие поверхности с уровнем грунтовых вод ниже 30 см, которые занимают около трети площади болотной системы Мухрино (обозначения «Б2-М» и «Б5-М» рис. 3).

3а. Типичный рям (обозначение «Б5-М» на рис. 3) характеризуется хорошо выраженным древесным ярусом из сосны (*Pinus sylvestris*) высотой 0,5–4 м и кустарничков – кассандры (*Chamaedaphne calyculata*), багульника (*Ledum palustre*), подбела (*Andromeda polifolia*), с примесью голубики (*Vaccinium uliginosum*) и клюквы (*Oxycoccus microcarpus*). Из травянистых растений обильна морозка (*Rubus chamaemorus*), единично встречается пушица (*Eriophorum vaginatum*) и росянка (*Drosera rotundifolia*). Господствующим видом сфагновых мхов является *Sphagnum fuscum* с незначительной примесью других видов (*S. magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. capillifolium*). Этот тип болот также широко распространен в Западной Сибири, занимая как большие однородные площади, так и в составе грядово-мочажинных комплексов с незначительными различиями в растительном покрове.

3б. Рослый рям (обозначение «Б2-М» на рис. 3) с густым кустарничковым ярусом из багульника (*Ledum palustre*), кассандры (*Chamaedaphne calyculata*), с участием черники (*Vaccinium myrtillus*), отличается от типичного рьяма высотой древесного яруса (6–10 м) из сосны (*Pinus sylvestris*) с незначительной примесью кедра сибирского (*P. sibirica*) и березы (*Betula pubescens*) и преобладанием в напочвенном покрове *Sphagnum angustifolium* и *S. divinum*.

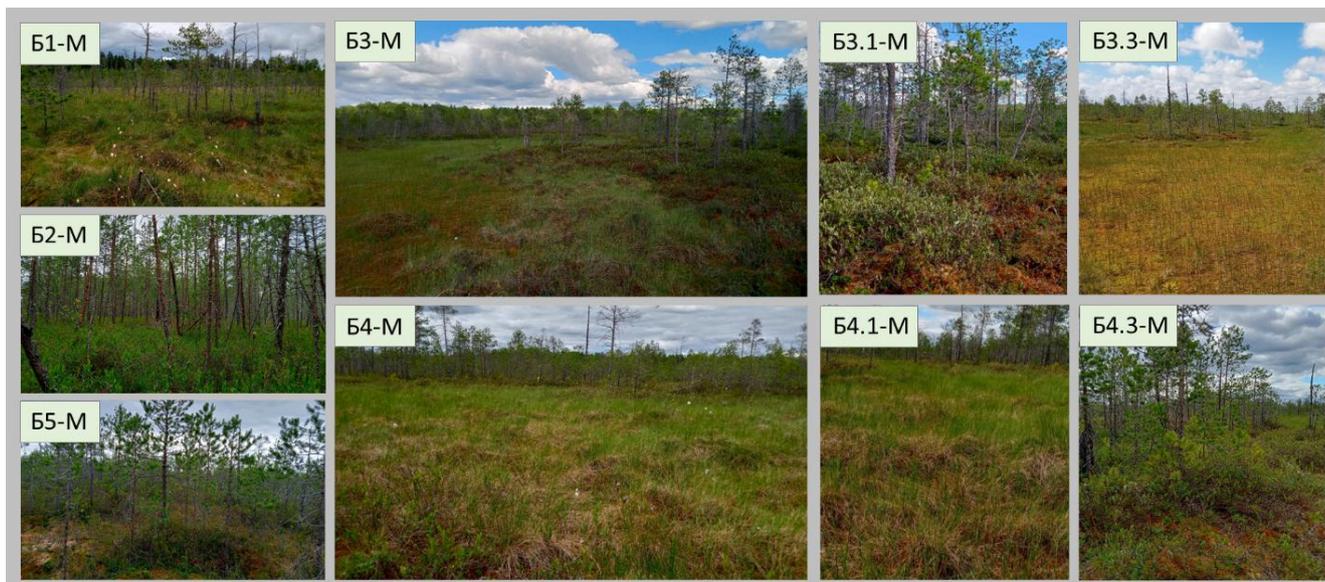


Рисунок 3. Рямовые (Б1, Б2, Б5) и грядово-мочажинные комплексы болотной экосистемы (Б3, Б4). Элементы грядово-мочажинного комплекса: шейхцериевая (Б3.3) и пушицевая (Б4.1) мочажины, сосново-кустарничковые гряды (Б3.1 и Б4.3).

II. Суходольные леса (обозначение «Л-М» на рис. 4). Характеризуются древесными сообществами, занимающие суходольные участки, расположенные среди большого болотного массива исследуемой территории.

4. Темнохвойные, преимущественно кедровые леса (обозначение Л3-М на рис. 4). В спелом плотном насаждении (сомкнутость крон 90–95%) преобладает кедр сибирский (*Pinus sibirica*) с вкраплениями пихты (*Abies sibirica*) и ели (*Picea obovata*). Деревья верхнего яруса имеют средний диаметр 40 см на высоте груди и среднюю высоту 27 м. Травянистый ярус разрежен (проективное покрытие менее 10%), основными компонентами являются хвощ (*Equisetum sylvaticum*) и кислица (*Oxalis acetosella*). Моховой ярус фрагментарный, образован *Polytrichum commune* и *Pleurozium schreberi*.

5. Лиственные леса

5.1. Осиновые леса (обозначение Л5-М на рис. 4). Плотный древостой (сомкнутость крон 60–70%) с преобладанием осины (*Populus tremula*) сформировался в результате после пожарной сукцессии. В подлеске также обычна береза (*Betula pendula*), кедр (*Pinus sibirica*) присутствует разреженно (до 5%). Деревья верхнего яруса имеют средний диаметр 7 см на высоте груди и среднюю высоту 12 м. В травяно-кустарничковом ярусе (проективное покрытие 10-15%) преобладают брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), хвощ (*Equisetum sylvaticum*) и вейник (*Calamagrostis canescens*)

5.2. Заболоченные березово-осоково- (*Carex globularis*) сфагновые (*Sphagnum angustifolium*) и хвощево-мелкотравные леса (обозначение «Л2-М» и «Л6-М» на рис. 4) с березой (*Betula pubescens*) в верхнем ярусе и молодым подростом кедра (*Pinus sibirica*), пихты (*Abies sibirica*), ели (*Picea obovata*) и преобладанием в травяно-кустарничковом ярусе черники (*Vaccinium myrtillus*) и участием зеленых мхов (*Pleurozium schreberi*) в напочвенном покрове или хвоща (*Equisetum sylvaticum*) и мелкотравья. Древостой IV-V класса бонитета высотой 17-20 м. Эти леса развиваются в слабо выраженных депрессиях с затрудненным дренажем на глеевых подзолах.

6. Смешанный мелкотравно-зеленомошный лес (обозначения «Л1-М» и «Л3-М» на рис. 4) густой (сомкнутость крон 70-80%) с преобладанием в древесном ярусе кедра (*Pinus sibirica*), пихты (*Abies sibirica*), ели (*Picea obovate*), осины (*Populus tremula*) и березы (*Betula pubescens*). Древостой III-IV класса бонитета, достигает высоты 20-22 м и диаметра стволов 30-50 см. В напочвенном покрове преобладает таежное мелкотравье – линнея (*Linnaea borealis*), майник (*Maianthemum bifolium*), папоротник (*Gymnocarpium dryopteris*) и бореальные виды зеленых мхов *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, в меньшем обилии встречается черника (*Vaccinium myrtillus*), хвощ (*Equisetum sylvaticum*) и виды плаунов (*Diphazium complanatum*, *Lycopodium annotinum*). Представляет собой климаксную стадию развития на хорошо дренированных супесчаных и суглинистых подзолах.

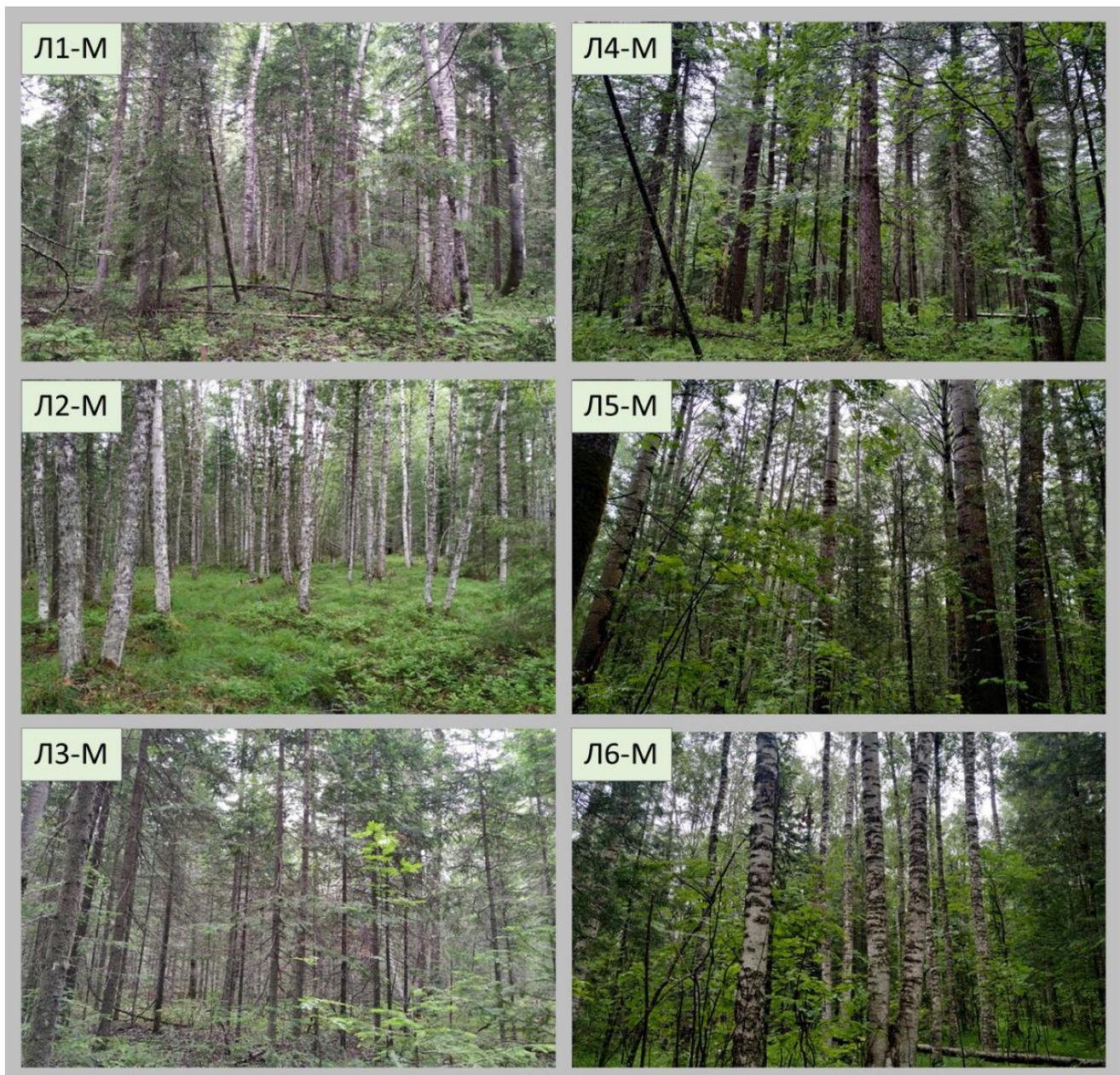


Рисунок 4. Лесные микроландшафты (Л1-Л6).

III. Поймы

8. Ивняки с преобладанием ив (*Salix triandra*, *S. alba*, *S. viminalis*, *S. dasyclados*). Занимают самый высокий уровень поймы – прирусловые валы, частота затопления 25–50%.

9. Луга с канареечником (*Phalaroides arundinacea*) распространены в центральной пойме, которая затопляется на 1–2 месяца, повторяемость затопления 50–75 %.

10. Осоковые болота (*Carex aquatilis*, *C. juncella*) преобладают на самом низком уровне поймы – притеррасном понижении, которое затопляется каждый год на 2–4 месяца.

Итоговая классификация включает 11 типов растительного покрова и водные объекты (Приложение 1). На основе карты рассчитаны площади (в долях), занимаемые каждым типом сообществ. По занимаемым площадям преобладающими типами в пределах всей исследуемой территории являются сообщества олиготрофных верховых болот, затем следуют лесные и пойменные. В пределах карбонового полигона основная площадь также занята сообществами олиготрофных верховых болот, в пределах тестового полигона ВИП ГЗ – лесными сообществами (табл. 2).

Таблица 2. Площади (%), занимаемые выделенными растительными сообществами. Примечание: *номера соответствуют легенде карты из Приложения 1.

№ п/п*	Тип экосистемы	Исследуемая территория (62500 га)	Карбоновый полигон «Мухрино» (1574 га)	Тестовый полигон ВИП ГЗ (651 га)
	<i>Суходольные леса</i>	23.8	8.67	85.5
1	Березовые и осиновые лиственные леса	9.83	2.1	39.38
2	Смешанные березово-осиново-хвойные леса	8.06	5.92	36.82
3	Темнохвойные, преимущественно кедровые леса	5.95	0.65	9.34
	<i>Верховые болота</i>	47.4	90	8.13
4	Рослые рямы	8.85	8.35	6.4
5	Типичные рямы	10.5	14.5	0.96
6	Рямы с редкой сосной	3.98	1.43	0.33
7	Кустарничково-пушицево-сфагновые открытые болота	8.38	7.92	0
8	Олиготрофные грядово-мочажинные комплексы	10.37	45.24	0
9	Мезоолиготрофные осоково-сфагновые болота	2.5	0.49	0.04
10	Олиготрофные осоково-сфагновые обводненные топи	2.79	12.06	0.4
11	<i>Пойменные луга</i>	21.76	0.16	4.64
12	<i>Водные объекты</i>	7.01	1.18	1.68

Почвообразующие породы и почвенный покров

В пределах территории расположения пробных площадей распространены породы различного генезиса, состава, свойств, служащие субстратом для распространения различных типов растительности и формирования разнообразных типов и комплексов почв. Согласно карте почвообразующих пород [Электронная версия..., 2011] территория приурочена к области озерно-аллювиальных, озерных и аллювиальных отложений песчаного и супесчаного гранулометрического состава, а также органогенных торфяных верховых и переходных отложений (залежи торфа около трех метров, местами более пяти) [Атлас..., 2004].

Согласно почвенно-географическому районированию данная территория относится к Бореальному географическому поясу, Европейско-Западно-Сибирской таёжно-лесной континентальной почвенно-биоклиматической области к подзоне светлосеземов, подзолистых почв и подзолов средней тайги, Нижнеиртышской провинции глееземов, светлосеземов, подзолов, подзолистых и торфяных болотных почв и входит в состав двух округов: Приобского аллювиальных дерново-глеевых и иловато-торфяно-глеевых почв с участием аллювиальных оподзоленных почв слоистых глинистых и суглинистых на аллювиальных отложениях и Кондинского округа торфяных верховых почв грядово-мочажинных, грядово-мочажинно-озерковых и сосново-сфагновых болот, подзолов иллювиально-гумусовых и подзолов глеевых песчаных на озерно-аллювиальных отложениях [Атлас..., 2004].

Специфической особенностью почвенного покрова международной станции «Мухрино» является преобладание гидроморфных почв, широко распространённых даже на наиболее дренированных участках водоразделов. Гидроморфизм почвенного покрова усиливается в связи с процессами современного заболачивания территории [Березина, Лисс, 1976; Перегон, 2005; Инишева, 2009; Dyukarev et al., 2021]. На узких приречных дренированных участках развивается зональный подзолистый почвообразовательный процесс. Далее, в глуби водораздела, в связи с ухудшением поверхностного и грунтового стока, начинают преобладать полугидроморфные почвы, которые в центральной части водораздела обычно сменяются болотными почвами. На наиболее дренированных местоположениях супесчано-суглинистых водоразделов (на узких приречных участках и на самых возвышенных поверхностях увалов) под елово-пихтово-кедровыми лесами развиваются своеобразные подзолистые глубокооглеенные почвы. На подзолистый процесс почвообразования зачастую накладывается болотообразовательный процесс, и формируются полугидроморфные почвы.

В условиях дренированного рельефа на породах тяжёлого механического состава формируются глеезёмы и глееподзолистые почвы; на песчаных и супесчаных породах - подзолы иллювиально-железистые, подзолы иллювиально-железисто-гумусовые, подзолы иллювиально-гумусовые, подзолы торфянисто-глеевые-иллювиально-гумусовые. Ярусный рельеф протяженных долин Оби и Иртыша представлен сложными сочетаниями аллювиальных дерновых, луговых и болотных почв. Кроме пойм главных рек Оби и Иртыша аллювиальные почвы разной степени гидроморфизма с верховыми и низинными болотами развиты по поймам более мелких рек и их притоков.

В ходе полевых работ в 2022 году было предварительно выделено 5 основных типов почв: подзолы, светлосезмы, аллювиальные, торфяные олиготрофные и эутрофные (Приложение 2).

Подзолы иллювиально-гумусовые O-AO-E-BH-BF-C формируются на пониженных, но достаточно дренируемых элементах рельефа – в западинах с близким уровнем залегания грунтовых вод (в пределах 1 м) преимущественно в смешанных лесах. Морфологический профиль хорошо дифференцирован. Осветленный подзолистый горизонт сменяется темно-бурым иллювиально-гумусовым, который к низу сменяется иллювиально-железистым горизонтом охристой окраски. Границы между горизонтами преимущественно волнистые. Почвы довольно богаты гумусом. Иллювиирование гумуса в профиле четко проявляется, снижаясь от грубогумусового горизонта (4,6 %) к подзолистому (1,2%) и увеличиваясь к альфегумусовым горизонтам (1,5-1,8%). Почвы кислые (pH_{H_2O} – 4,2-4,8).

Подзолы глеевые O-Eg-BHg-BCg-CG формируются на слабодренированных участках березового или осинового подболоченных лесов с периодическим застаиванием грунтовых вод в верхней части почвенного профиля. Особенностью их морфологического строения является осветленный поверхностный подзолистый горизонт, залегающий под мощной (до 10 см) оторфованной подстилкой, сменяющийся буровато-охристым или кофейно-коричневым иллювиально-гумусовым горизонтом, переходящим в буровато-серый с неярко выраженными пятнами сизого оттенка. Постоянные признаки оглеения проявляется глубже 0,4-0,7 м. Почвы имеют кислую реакцию (pH_{H_2O} – 4,2-5,8), содержание гумуса снижается от оторфованной подстилки к оглеенному горизонту до 2%.

Светлосезмы иллювиально-железистые O-E-BF-CRM-Cg развиваются на наиболее дренированных поверхностях, сложенных супесчано-легкосуглинистыми отложениями под елово-пихтовыми лесами с примесью кедра. Главные специфические черты этих почв - слабое и приповерхностное проявление современного подзолообразования в сочетании с глубинным оглеением. Развитие подзолистого процесса тормозится низкими температурами, не благоприятствующим активной нисходящей миграции веществ в почвенной толще. Диагностируются по наличию системы подстильно-торфяного, подзолистого, иллювиально-железистого и криометаморфического горизонтов. Подзолистый горизонт характеризуется светло-серым цветом и непрочно-комковатой структурой с содержанием гумуса около 2%. Криометаморфический горизонт холодного серовато-бурого тона непрочно угловато-крупитчатой криогенной структуры, которая с глубиной ослабевает с появлением признаков оглеения. Стабильное оглеение начинается с 1-2 м и прослеживается на большую глубину. Глубокая оглеенность является реликтовой, унаследованной от озёрно-аллювиально-болотного режима низменности в голоцене [Шепелев, 2007]. Реакция почв кислая по всему профилю (pH_{H_2O} – 4,8-5,8).

Аллювиальные дерновые грунтово-глеевые почвы Av-AYg-G-Cox-CG развиваются в условиях кратковременного увлажнения паводковыми водами и расположены главным образом в прирусловой части поймы в ивово-вейниково-качкарно-осоковых (*Carex juncella*) сообществах. В профиле наблюдается четкое проявление глеевого процесса. Содержание гумуса в них составляет около 3%, реакция среды – кислая (pH_{H_2O} – 3,5-4,2).

Торфяные верховые (олиготрофные) почвы Ov-TO1-TO2-TO3-TT занимают плоские пространства, покрытые сосново-кустарничково-сфагновое (*S. fuscum*) сообщество и грядово-мочажинными комплексами с чередованием олиготрофных шейхцериево-сфагновых мочажин и кустарничково- (*Ledum palustre*, *Chamaedaphne calyculata*) сфагновых (*S. fuscum*) гряд. Данный тип почв характеризуется наличием олиготрофной торфяной толщи, залегающей под очесом мхов (мощность 10-70 см). Торфяная толща состоит преимущественно из сфагновых мхов, степень разложения которых обычно увеличивается с глубиной. Соответственно меняется цвет торфа - от светло-бурого до темно-бурого.

Средняя глубина торфяной залежи составляет 3,3 м, максимальная – 5,3 м, минеральное дно сложено глинами и тяжелыми суглинками [Bleuten et al., 2020]. Для данного болотного массива наиболее характерными видами торфа являются: верховой фускум-торф (доля в торфяной залежи

22,5%), отлагаемый сообществами рямов и гряд; сфагновый топяной и пушицево-сфагновый торф (12,0%), характерный для мочажинных растительных сообществ; низинный травяной и древесно-травяной торф, слагающие придонные слои торфяной залежи (5,7%) [Tsyganov et al., 2021]. Верховой фускум-торф характеризуется pH_{H_2O} 3,5–5 и электропроводностью от 0 до 200 мкСм·м⁻² [Sabrekov et al., 2011].

Торфяные низинные (эутрофные) почвы О-ТEmr-ТТ формируются в глубоких депрессиях рельефа на пойменных эутрофных болотах в понижениях речных террас, питаются в той или иной степени минерализованными грунтовыми водами. Профиль состоит из эутрофно-минерально-торфяного горизонта, слоистого за счет примеси минерального материала в виде отдельных прослоек. Степень разложения торфа снижается от менее разложившегося серовато-буро-коричневого цвета в верхней части профиля до перегнойной массы темно-коричневого цвета в нижнем слое торфяной толщи.

Почвенный покров территории станции формируется, главным образом за счёт таких процессов, как подзоло-, глее- и торфообразование, а также аллювиального.

Разнообразие позвоночных животных

В соответствии с зоогеографическими схемами районирования суши по М.А. Мензбиру [1934], А.П. Семенову-Тянь-Шанскому [1936], В.Г. Гептнеру [1936] и И.И. Пузанову [1938] территория полевой станции «Мухрино» относится к Европейско-Обской подобласти, Европейско-Сибирской области, Палеарктического подцарства, Голарктического царства и расположена на Западно-Сибирской низменной равнине. По Ю.А. Мекаеву [1987] входит в состав Циркумбореальной области. В соответствии с зоогеографической схемой районирования Западно-Сибирской равнинной страны, предложенной Н.А.Гладковым и др. [Атлас Тюменской области, 1971], относится к таежной зоне, среднетаежной подзоне, Кондинско-Сосьвинской провинции.

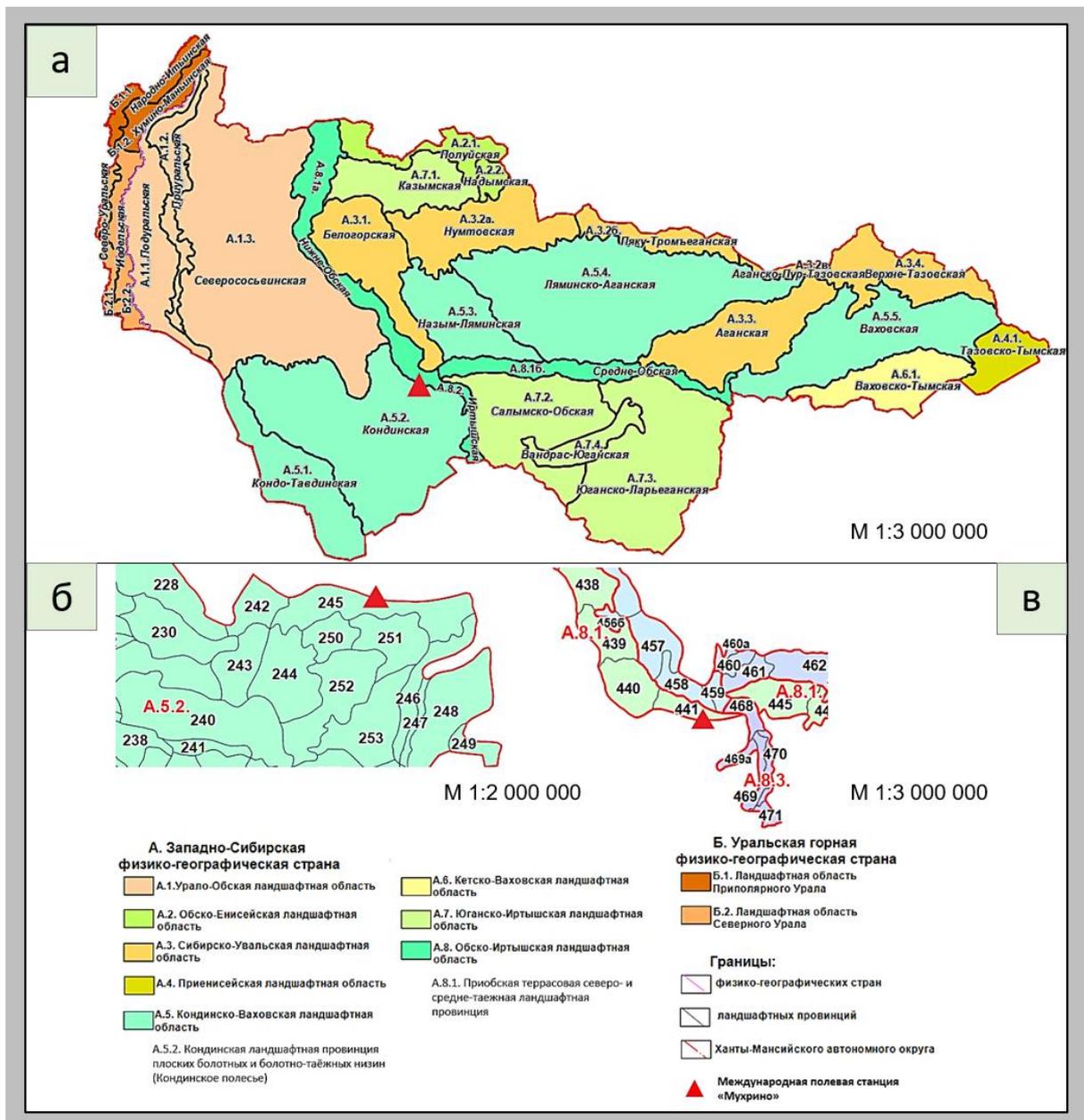
Согласно карте разнообразия сред обитания наземных позвоночных, территория стационара располагается в пределах сочетания долинных, озерно-болотных и лесоболотных среднетаежных местообитаний [Атлас..., 2004].

По данным Атласа Ханты-Мансийского автономного округа –Югры [2004] в пойменных осоково-злаковых лугах, зарослях ивняков, островных березовых, осиновых и еловых с кедром и пихтой лесах наблюдаются рысь, белка, азиатский бурундук, мышь-малютка, сибирский крот, остромордая лягушка, горностай, бурый медведь, ласка, барсук, водяная полевка, выдра, ондатра, лесные и луговые птицы – пеночки, черныш, мохноногий сыч, черный дятел, зарянка, горихвостка, снегирь, щур, клесты, вьюрок, чечевица, овсянки, сорока, луговой конёк, водоплавающие птицы – бекас, дупель, фифи, большой улит, большой кроншнеп, серая утка. В лесоболотных комплексах обитают еж, малая бурозубка, россомаха, барсук, рысь, обыкновенная белка, азиатский бурундук, сибирская косуля, европейская норка, кабан, куница, лесной лемминг, уж обыкновенный, травяная лягушка, темная и красная полевки, лось, полевой лунь, лесной конек, малая мухоловка, славка-мельничек, камышевки, воробьиный сыч, малый пестрый дятел, московка, вьюрок. В комплексах болот кустарниковых и кустарниковых с ягодниками болот, и озер наблюдаются западносибирский и европейский бобр, уж, гадюка, лось, горностай, водяная полевка, выдра, чечевица, скопа, орлан-белохвост, сизая и озерные чайки, дупель, вальдшнеп.

Фауна наземных позвоночных животных данной территории представлена разнообразием видов трех комплексов: долинного, озерно-болотного и лесоболотного. Наибольшим числом видов представлен долинный комплекс, являющийся переходным от поймы к болотам, наименьшим – болотный.

Ландшафты

В соответствии с ландшафтным районированием [Москвина, Козин, 2001; Москвина, 2004], территория обследования относится к Западно-Сибирской физико-географической стране, лежит на стыке двух ландшафтных областей - Кондо-Ваховской озерно-болотных низин и Обско-Иртышской пойменно-террасовой интразональной лугово-болотно-лесной, и в свою очередь, пересечении двух провинций – Кондинской плоских болотных и болотно-таежных низин (Кондинское полесье) и Приобской террасовой северо- и средне-таежной, и районов – Ковенско-Эргинского и Иртышско-Ковенского (рис. 5).



- **Рисунок 5.** Положение международной полевой станции «Мухрино» на разномасштабных схемах ландшафтного районирования Ханты-Мансийского автономного округа [Москвина, 2004].

Спецификой ландшафтной структуры описываемой территории является широкое распространение болотных, лесных, пойменных геосистем. В основу определения типов и видов комплексов положены почвенно-геоботанические различия.

Микроландшафтная структура болотного массива характеризуется наличием в периферийной части широкой полосы сосново-кустарничково-сфагновых сообществ, представленных рослыми и типичными рядами:

- сосново-кустарничково-сфагновое сообщество (рослый ряд) на торфяной олиготрофной почве, лежащей на озерно-аллювиальных отложениях (Б2-М; рис. 3);
- сосново-кустарничково-сфагновое сообщество (типичный ряд) на торфяной олиготрофной почве, лежащей на озерно-аллювиальных отложениях (Б5-М; рис. 3).
- кустарничково-пушицево-сфагновое сообщество с редкой сосной на торфяной олиготрофной почве, лежащей на озерно-аллювиальных отложениях (Б1-М; рис. 3);

Центральная часть занята обширными грядово-мочажинными, грядово-топяными и грядово-озерковыми комплексами:

- кустарничково-сфагновая гряда на торфяной олиготрофной почве, лежащей на озерно-аллювиальных отложениях (Б3.1-М; рис. 3);

- олиготрофная шейхцериево-сфагновая мочажина на торфяной почве, лежащей на озерно-аллювиальных отложениях (Б3.3 –М; рис. 3);
- пушицево-сфагновая мочажина на торфяной олиготрофной почве, лежащей на озерно-аллювиальных отложениях (Б4.3-М; рис. 3);

Микроландшафтная структура лесного массива характеризуется наличием в разной степени заболоченных лесов (осиновых и березовых) на слабодренированных участках, смешанных лесов на пониженных, но достаточно дренируемых элементах рельефа и темнохвойных на наиболее дренированных поверхностях, сложенных супесчано-легкосуглинистыми отложениями:

- березовый осоково-сфагновый заболоченный лес на подзоле глеевом, подстилаемым озерно-аллювиальными отложениями (Л2-М; рис. 4);
- осиновый чернично-мелкотравно-зеленомошный лес на подзоле глеевом, подстилаемым озерно-аллювиальными отложениями (Л5-М; рис. 4);
- березовый хвощево-мелкотравный лес на подзоле глеевом, подстилаемым озерно-аллювиальными отложениями (Л6-М; рис. 4);
- смешанный темнохвойно-березово-осиновый мелкотравно-зеленомошный лес на подзоле иллювиально-гумусовом, подстилаемым озерно-аллювиальными отложениями (Л1-М; рис. 4);
- смешанный березово-осиново-темнохвойный хвощево-мелкотравно-зеленомошный лес на светлосеме иллювиально-железистом, подстилаемым озерно-аллювиальными отложениями (Л3-М; рис. 4);
- кедровый мелкотравно-зеленомошный лес на светлосеме иллювиально-железистом, подстилаемым озерно-аллювиальными отложениями (Л4-М; рис. 4).

Обско-Иртышская пойма в районе исследований представлена преимущественно долгопоемными лугами с многочисленными водоемами и протоками, которые во второй половине мая заполняются водой в результате подпора со стороны Оби и Иртыша. При этом заливаются и долины стекающих в них малых рек и ручьев. После падения уровня воды в Оби и Иртыше, вода из долин ручьев уходит, что приводит к быстрому развитию луговой растительности и формированию водяно-осоковых лугов и пойменных осоковых болот [Таран и др., 2004].

Экохозяйственная специфика

Лесной участок, на котором располагается станция «Мухрино», передан Департаментом недропользования и природных ресурсов Югры передан Югорскому государственному университету в постоянное (бессрочное) пользование. Согласно выписке из государственного кадастра недвижимости, его общая площадь составляет 1573,5 га, он относится к землям лесного фонда и лежит в пределах Самаровского лесничества, Троицкого участкового лесничества, Самаровского урочища. Целевое назначение лесов – эксплуатационные. Вся площадь лесного участка расположена на лесных и нелесных землях. Основная его часть занята нелесными землями (83,1% от общей площади лесного участка), которые представлены болотным массивом (1292,6 га), пойменными лугами и сорами (3,1 га), озерами (8,8 га), ручьями (0,9 га) и профилем сейсморазведки (2,5 га). Лесными землями занято 16,9% от общей площади лесного участка, которые представлены: лиственными с осинкой и березой (118,9 га) и хвойными с сосной обыкновенной, кедром сибирским и пихтой (146,7 га) лесами. Древостой естественного происхождения. Его возрастную структуру составляют приспевающие, спелые и перестойные (запас древесины 39985 м³) породы. Группу приспевающих представляют кедр и пихта, спелых и перестойных – сосна обыкновенная, береза и осина. Сосновые леса занимают 48,1% (127,7 га) лесопокрываемой площади и не отличаются высокой продуктивностью, 5А класс бонитета, запас древесины – 11364 м³. Осинковые леса занимают 23,5% от площади, покрытой лесной растительностью (62,6 га). Насаждения осины составляют 3 класс бонитета с запасом 14370 м³. Березовые леса занимают 21,2% от площади, покрытой лесом (56,4 га). Насаждения березы составляют 4 класс бонитета с запасом 8361 м³. Кедровые и пихтовые леса занимают 7,2% от площади, покрытой лесной растительностью (19,0 га). Насаждения кедра составляют 4 класс бонитета с запасом 5890 м³ [Проект освоения лесов..., 2021].

На территории района станции и в непосредственной близости от нее отсутствуют особо охраняемые природные территории (заповедники, заказники), не ведется разведка и добыча нефти и газа [Постановление..., 2014]. В пределах округа, в 45 км к югу от Мухрино размещается Кондинская группа нефтяных месторождений (Кондинское, Эргинское, Чапровское, Ендырское, имени Александра Жагрина) с извлекаемыми запасами 217 млн. тонн. Нефтедобыча ведется с 2017 г. Компанией

"Конданефть" с начала эксплуатации здесь добыто более 11 млн тонн нефти [Лисс и др., 2001]. Лицензионные участки более крупных по объемам добычи Приобского и Краснотенинского месторождений находятся к востоку и западу от нее в 70 и 90 км, соответственно [Конторович, 2019]. Следы техногенного загрязнения на территории стационара не обнаружены [Fiałkiewicz-Kozieł et al., 2016]. В настоящее время данная площадь не входит в границы территорий приоритетного природопользования, так как нет родовых угодий для малочисленных народов Севера и старожильческого русского населения. В хозяйственной деятельности коренного населения рассматриваемая территория не используется и расположен вне зон охраны/защитных зон объектов культурного наследия [Проект освоения лесов..., 2021].

Таким образом, в пределах данной территории хозяйственная деятельность человека отсутствует или не ведется вовсе. Это позволяет считать экосистемы вблизи стационара "Мухрино" фоновыми и в целом не нарушенными.

При размещении объектов стационара соблюдалось главное условие минимизации отрицательного воздействия на почвенно-растительный покров - это строгое соблюдение границ лесного участка. Соблюдение данного условия приведет к уменьшению площади проявления отрицательного воздействия на растительный мир при размещении объекта и окажет наименьшее отрицательное воздействие на природные ландшафты. К настоящему моменту на стационаре создана необходимая инфраструктура для проведения комплексных изысканий лесоболотных экосистем, позволяющая реализовать круглогодичные многолетние научные исследования, экскурсии, семинары, симпозиумы и другие мероприятия национального и международного уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы

Специфика природных лесоболотных и пойменных комплексов международной полевой станции «Мухрино» и ее окрестностей определяется комплексом физико-географических характеристик:

- равнинностью территории, ее расположением на пересечении трех свит палеогеновой системы в пределах Ханты-Мансийской синеклизы с отрицательными неотектоническими движениями;
- значительным влиянием как эндогенных (формирование серии разновозрастных и разновысотных ярусов рельефа (геоморфологических уровней)), так и экзогенных (аккумуляция) процессов;
- расположением в центральном климатическом районе Югры, характеризующимся средними величинами термического, радиационного и водного режимов, отсутствием вечной мерзлоты, интенсивной циклонической деятельностью, мусонообразным характером ветрового режима;
- переувлажнением, густой речной и озёрной сетью, заболоченностью, пониженной дренирующей ролью рек;
- сочетанием зональных и интразональных черт растительного и почвенного покрова; по итогу классификации растительности на основе классификации космического снимка было выделено 11 типов растительного покрова и водные объекты. По занимаемым площадям преобладающими типами в пределах всей исследуемой территории являются сообщества олиготрофных верховых болот, затем следуют лесные и пойменные.
- сочетанием видов позвоночных животных трех комплексов: долинного, озерно-болотного и лесоболотного, с наибольшим видовым разнообразием в долинном;
- разнородностью микроландшафтов территории;
- отсутствием ведения хозяйственной деятельности человека.

Полученные сведения по физико-географической и биологической характеристике стационара «Мухрино» позволят углубить теоретические знания о взаимосвязях компонентов природных ландшафтов, будут востребованы при составлении карт и для работ, посвящённых экологическому мониторингу, таких как оценка и прогноз изменения углеродного баланса.

Рекомендации

Данная статья явилась этапом выяснения степени изученности физико-географических условий и в целом исследуемой территории; подтолкнула к сбору детальных картографических материалов: топографической карты, аэрофото- и космоснимков; составлению программы полевых и камеральных работ. В дальнейшем планируется проведение исследований по уточнению собранного материала, комплексных полевых работ, в том числе геологических, геодезических,

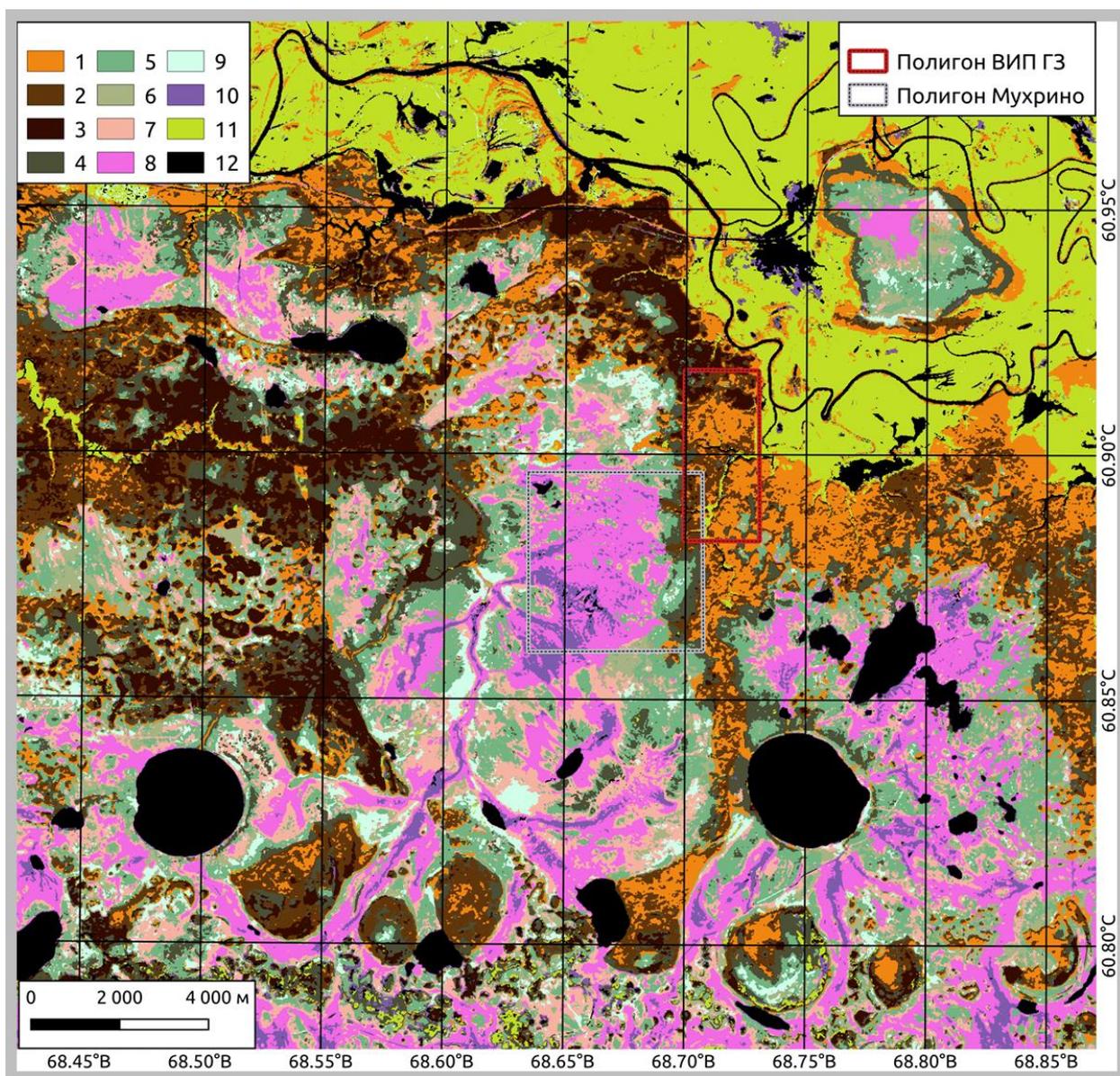
микrokлиматических, почвенных, фито/зооценологических исследований в пределах различных ландшафтов и в итоге составлению отраслевых и прикладных природных карт.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2022-169) на организацию новой молодежной лаборатории "Лаборатория изучения пространственно-временной изменчивости углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири" в Югорском государственном университете в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».

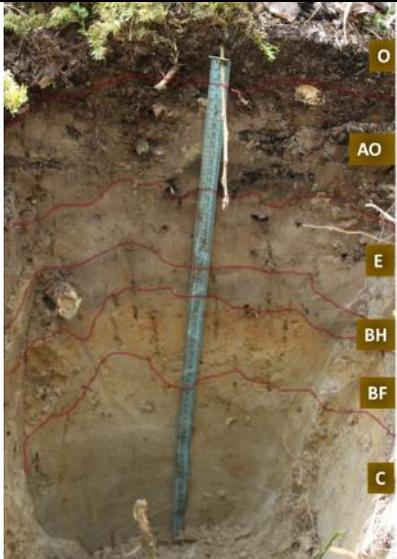
Авторы выражают благодарность и глубокую признательность профессору, доктору географических наук Булатову Валерию Ивановичу за плодотворные обсуждения, ценные советы и замечания при работе над данной статьей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

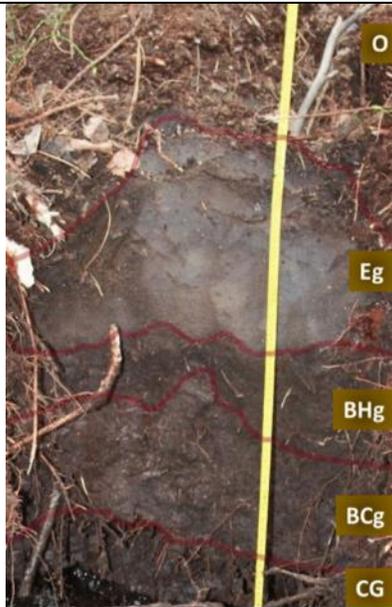


Приложение 1. Результаты классификации растительности территории стационара «Мухрино» и его окрестностей (62500 га) по итогам классификации космического снимка. 1 - Березовые и осиновые лиственные леса (Л2-М), 2 - Смешанные березово-осиново-хвойные леса (Л1-М), 3 - Темнохвойные, преимущественно кедровые леса (Л3-М); болотной растительности: 4 - Рослые ямы (Сосново-кустарничково-сфагновые болота с выраженным древесным ярусом), 5 - Типичные ямы (Сосново-кустарничково-сфагновые болота с редким угнетенным древесным ярусом), 6 - Пушицево-сфагновое болото с редкой сосной - («редкая сосна»), 7 - Кустарничково-пушицево-сфагновые открытые болота, 8 - Олиготрофные грядово-мочажинные комплексы, 9 - Мезоолиготрофные осоково (*Carex rostrata*)-сфагновые болота, 10 - Олиготрофные осоково-сфагновые обводненные топи. Кроме того, выделены классы пойменной растительности и водные объекты: 11 - Пойменные луга, 12 - Водные объекты.

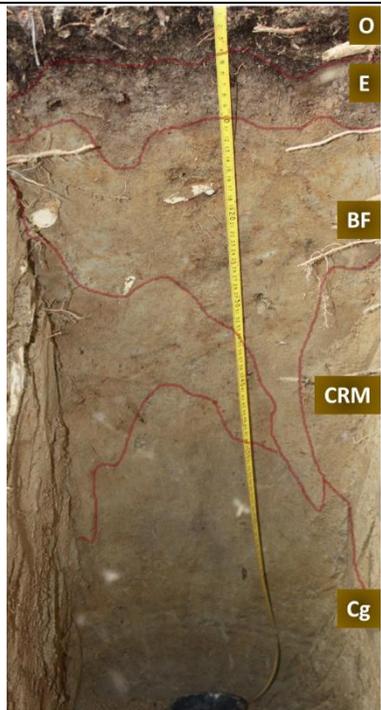
Приложение 2. Морфологические признаки и классификационное положение почв территории исследования [Классификация..., 1977; Классификация..., 2004].

Разрез/ Координаты	Год издания классификации	Ствол	Отдел	Тип	Подтип	Род	Вид	Разновидность
Р-Л1-М (60°53'43" с.ш. 68°42'33" в.д.)	<i>Тип БГЦ: смешанный темнохвойно-березово-осиновый мелкотравно-зеленомошный лес</i>							
	<i>Подзолистая иллювиально-гумусовая мелкоподзолистая супесчаная почва</i>							
	1977	–	–	Подзолистая	Подзолистая	Иллювиально-гумусовая	Мелкоподзолистая	Супесчаная
	<i>Подзол иллювиально-гумусовый ненасыщенный мелкоподзолистый супесчаный (P_o^{III})</i>							
2004	Постлито-генные	Альфегумусовые	Подзолы	Иллювиально-гумусовые	Ненасыщенные	Мелкоподзолистая	Супесчаная	
Микроморфологическая характеристика								
	О (0-3 см)	Подстилка слабооторфованная: темно-коричневый, рыхлый, свежий, корни 85%, граница волнистая, переход ясный.						
	АО (3-15 см)	Грубогумусовый горизонт: темно-коричневый, свежий, корни 30%, уплотненный, зернистая структура, супесчаный, граница волнистая, переход постепенный.						
	Е (15-24 см)	Подзолистый горизонт: белесый, осветленный за счет выноса красящих соединений железа и гумуса, свежий, бесструктурный, мелкозернистый песок, рыхлый, живые корни 10%, граница волнистая, переход ясный по цвету.						
	ВН (24-28 см)	Альфегумусовый горизонт иллювиально-гумусовой модификации: темно-коричневый, образованный в результате иллювиальной аккумуляции гумусовых комплексных соединений, с единичными белесыми пятнами, неоднородная окраска, влажный, мелкозернистый песок, плотный, корни 5%, граница карманистая, переход заметный по цвету.						
	ВF (28-41 см)	Альфегумусовый горизонт иллювиально-железистой модификации: охристый неоднородный, верхняя граница ярко рыжая, основная часть желтовато-охристая, образован в результате иллювиальной аккумуляции алюмо-железистых комплексных соединений, свежий, среднезернистый песок, уплотненный, корни 1%, присутствуют мелкие железистые конкреции, граница волнистая, переход постепенный по цвету.						
	С (41-66 см)	Рыхлая почвообразующая порода: желтовато-палевый, неоднородный, свежий, бесструктурный песок.						

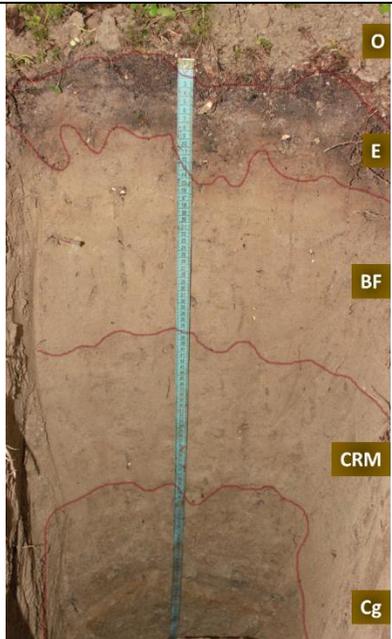
Продолжение (приложение 2)

Р-Л2-М (60°53'41" с.ш. 68°42'18" в.д.)	<i>Тип БГЦ: березовый осоково (Carex globularis)-сфагновый (S. angustifolium) заболоченный лес</i>							
	<i>Болотно-подзолистая торфяно-подзолистая грунтово-оглеенная мелкоподзолистая супесчаная почва</i>							
	1977	–	–	Болотно-подзолистая	Торфяно-подзолистая	Грунтово-оглеенная	Мелкоподзолистая	Супесчаная
	<i>Подзол глеевый ненасыщенный мелкоподзолистый супесчаный (П_{ог})</i>							
2004	Постлитогенные	Альфегумусовые	Подзолы глеевые	Иллювиально-гумусовые	Ненасыщенные	Мелкоподзолистая	Супесчаная	
Микроморфологическая характеристика								
	О (0-10 см)	Оторфованная подстилка: коричневый, рыхлый, свежий, корни 80%, граница карманистая, переход ясный.						
	Eg (10-24 см)	Подзолистый глееватый: сизовато-грязно-белесый за счет вымытого из верхнего горизонта органического вещества со следами оглеения, мелкозернистый песок, влажный, слегка уплотненный, корни 5%, граница волнистая, переход резкий.						
	BHg (24-30 см)	Альфегумусовый иллювиально-гумусовой модификации глееватый: темно-коричневый, образованный в результате иллювиальной аккумуляции гумусовых комплексных соединений, влажный, супесчаный, плотный, корни 10%, граница волнистая, переход заметный по цвету.						
	BCg (30-38 см)	Переходный глееватый: сизовато-коричневый, неоднородный, сырой, слегка уплотненный, супесчаный, конкреции марганца диаметром до 5 мм, корни 15%, граница волнистая, переход постепенный.						
	CG (38-43 см)	Почвообразующая оглеенная порода: темно-бурый, неоднородный, уплотненный, мокрый, связанный песок.						

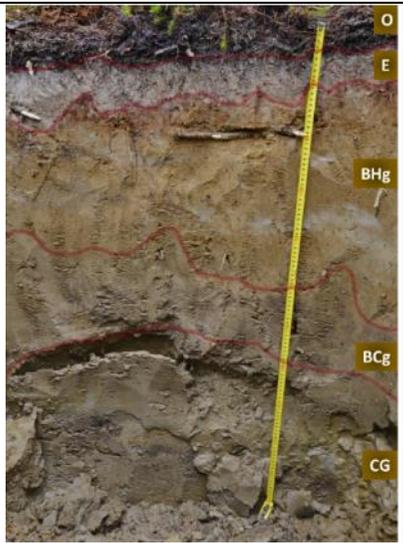
Продолжение (приложение 2)

Р-ЛЗ-М (60°53'41"с.ш. 68°42'03" в.д.)	<i>Тип БГЦ: смешанный темнохвойно-березово-осиновый хвоцево-мелкотравно-зеленомошный лес</i>							
	<i>Подзолистая иллювиально-железистая мелкоподзолистая супесчаная почва</i>							
	1977	–	–	Подзолистая	Подзолистая	Иллювиально-железистая	Мелкоподзолистая	Супесчаная
	<i>Светлозем иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоподзолистый супесчаный (C₆^{илж})</i>							
2004	Постлитогенные	Альфегумусовые	Подзолы	Иллювиально-железистые	Ненасыщенные	Мелкоподзолистая	Супесчаная	
Микроморфологическая характеристика								
	O (0-4 см)	Слабооторфованная подстилка: темно-коричневый с примесью минеральных частиц кварца, рыхлый, свежий, корни 70%, граница волнистая, переход ясный.						
	E (4-10 см)	Подзолистый горизонт: светло-серый, осветленный за счет выноса красящих соединений железа и гумуса, неоднородный, непрочно-комковатая структура, супесчаный, рыхлый, корни 10%, граница карманистая, переход ясный.						
	BF (10-34 см)	Альфегумусовый горизонт иллювиально-железистой модификации: коричнево-охристый, образованный в результате иллювиальной аккумуляции алюмо-железистых комплексных соединений, присутствуют железистые примазки, свежий, среднезернистый песок, уплотненный, живые корни 5%, граница языковатая, переход постепенный.						
	CRM (34-44 см)	Криометаморфический горизонт: серовато-бурый, по цвету слабо отличается от почвообразующей породы, рассыпчатое сложение, угловато-крупитчатая криогенная структура, встречаются хорошо оформленные округлые или вытянутые мягкие суглинистые агрегаты. Горизонт, несмотря на длительное переувлажнение, не оглеен, корни 1%, граница карманистая, переход постепенный.						
	Cg (44-80 см)	Почвообразующая глееватая порода: серовато-палевый, свежий, супесчаный, рыхлый, прослойки белёсого цвета шириной по 1 см.						

Продолжение (приложение 2)

Р-Л4-М (60°54'42" с.ш. 68°43'05" в.д.)	<i>Тип БГЦ: кедровый мелко травно-зеленомошный лес</i>							
	<i>Подзолистая иллювиально-железистая мелкоподзолистая супесчаная почва</i>							
	1977	–	–	Подзолистая	Подзолистая	Иллювиально-железистая	Мелкоподзолистая	Супесчаная
	<i>Светлозем иллювиально-железистый ненасыщенный мелкоподзолистый супесчаный (C₆^{илж})</i>							
2004	Постлитогенные	Альфегумусовые	Подзолы	Иллювиально-железистые	Ненасыщенные	Мелкоподзолистая	Супесчаная	
Микроморфологическая характеристика								
	О (0-2 см)	Слабооторфованная подстилка: темно-коричневый, рыхлый, свежий, корни 50%, граница волнистая, переход постепенный.						
	Е (2-12 см)	Подзолистый горизонт: буро-серый, неоднородный, осветленный за счет выноса красящих соединений железа и гумуса, свежий, корни 10%, уплотненный, непрочно-комковатая структура, супесчаный, граница карманистая, переход ясный.						
	BF (12-37 см)	Альфегумусовый горизонт иллювиально-железистой модификации: коричнево-охристый, образованный в результате иллювиальной аккумуляции алюмо-железистых комплексных соединений, свежий, супесчаный, уплотненный, единичные корни, присутствуют железистые примазки и мелкие конкреции, граница волнистая, переход постепенный.						
	CRM (37-67 см)	Криометаморфический горизонт: серовато-бурый, рассыпчатая, угловато-крупчатая криогенная структура, свежий, супесчаный, уплотненный, единичные корни, граница волнистая, переход постепенный.						
	Сg (67-102 см)	Почвообразующая порода с признаками глееватости: серовато-грязно-бурый, неоднородный, свежий, легкосуглинистый, плотный, прослойки белёсого цвета шириной по 1 см.						

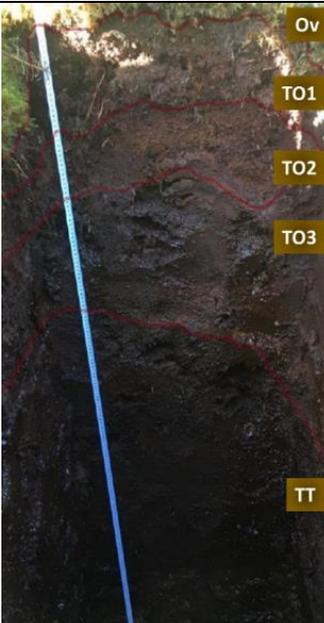
Продолжение (приложение 2)

Р-Л15-М (60°54'28" с.ш. 68°42'41" в.д.)	<i>Тип БГЦ: осиновый чернично-мелкотравно-зеленомошный лес</i>							
	<i>Болотно-подзолистая торфяно-подзолистая грунтово-оглеенная поверхностно-подзолистая супесчаная почва</i>							
	1977	–	–	Болотно-подзолистая	Торфяно-подзолистая	Грунтово-оглеенная	Поверхностно-подзолистая	Супесчаная
	<i>Подзол глеевый ненасыщенный поверхностно-подзолистый супесчаный (П_{ог})</i>							
2004	Постлитогенные	Альфегумусовые	Подзолы глеевые	Иллювиально-гумусовые	Ненасыщенные	Поверхностно-подзолистая	Супесчаная	
Микроморфологическая характеристика								
	О (0-5 см)	Оторфованная подстилка: серовато-бурый, рыхлый, свежий, корни 80%, граница волнистая, переход резкий.						
	Е (5-10 см)	Подзолистый горизонт: белесый, осветленный за счет выноса красящих соединений железа и гумуса, свежий, бесструктурный, супесчаный, уплотненный, корни 10%, граница волнистая, переход резкий.						
	ВНг (10-50 см)	Альфегумусовый иллювиально-гумусовой модификации глееватый: буровато-охристый, образованный в результате иллювиальной аккумуляции гумусовых комплексных соединений, влажный, супесчаный, плотный, корни 5%, граница карманистая, переход ясный.						
	BCg (50-68 см)	Переходный глееватый: буровато-серый, ореховатой структуры, легкосуглинистый, влажный, единичные корни, граница волнистая, переход постепенный.						
	CG (68-108 см)	Почвообразующая оглеенная порода: буровато-светло-серый, неоднородный, уплотненный, мокрый, среднесуглинистый, единичные корни.						

Продолжение (приложение 2)

Р-Л6-М (60°53'08" с.ш. 68°42'45" в.д.)	<i>Тип БГЦ: березовый хвоцево-мелкотравный лес</i>							
	<i>Болотно-подзолистая торфяно-подзолистая грунтово-оглеенная поверхностно-подзолистая супесчаная почва</i>							
	1977	–	–	Болотно-подзолистая	Торфяно-подзолистая	Грунтово-оглеенная	Поверхностно-подзолистая	Супесчаная
	<i>Подзол глеевый ненасыщенный поверхностно-подзолистый супесчаный (П_{ог})</i>							
2004	Постлитогенные	Альфегумусовые	Подзолы	Глеевый	Ненасыщенные	Поверхностно-подзолистая	Супесчаная	
Микроморфологическая характеристика								
	О (0-10 см)	Оторфованная подстилка: темно-бурый, рыхлый, свежий, корни 80%, граница волнистая, переход резкий.						
	Е (10-17 см)	Подзолистый горизонт: грязно-белесый, осветленный за счет выноса красящих соединений железа и гумуса, свежий, бесструктурный, супесчаный, уплотненный, корни 10%, граница волнистая, переход постепенный.						
	ВНг (17-25 см)	Альфегумусовый иллювиально-гумусовой модификации глееватый: буровато-охристый, влажный, супесчаный, плотный, корни 5%, граница волнистая, переход ясный.						
	ВСг (25-39 см)	Переходный глееватый: буровато-серый, влажный, бесструктурный, песчаный, влажный, корни 7%.						

Продолжение (приложение 2)

Р-Б2-М (60°53'4 1" с.ш. 68°41'47 " в.д.)	<i>Тип БГЦ: сосново-кустарничково-сфагновое (S.fuscum) сообщество</i>							
	<i>Торфяные болотные верховые типичные обычные мощные почвы</i>							
	1977	–	–	Торфя- ные болотные верховые	Типич- ные	Обыч- ные	Мощные	–
	<i>Торфяные олиготрофные типичные обычные мощные почвы (сосново-сфагновых болот - рямов) (T_p^B)</i>							
2004	Орга- ногенные	Торфяные	Оли- готрофные	Типич- ные	Обыч- ные	Мощные	–	
Микроморфологическая характеристика								
	Ov (0-6 см)	Очес сфагновых мхов с примесью древесного и кустарничкового опада: светло-коричневый, неразложившийся слой мха сфагнума, корни кустарничков, влажный.						
	TO1 (6-30 см)	Олиготрофно-торфяный: неоднородный коричневато-бурый, корни 70%, влажный, сфагновый мох слабой степени разложения, свежий, рыхлый, переход по окраске и плотности ясный, граница слабоволнистая.						
	TO2 (30-44 см)	Олиготрофно-торфяный: неоднородный светло-бурый, корни 50%, сфагновый мох средней степени разложения, мокрый, переход по окраске и плотности ясный, граница карманистая.						
	TO3 (44-71 см)	Олиготрофно-торфяный: неоднородный коричневато-бурый, корни 10%, сфагновый мох сильной степени разложения, сырой, плотнее предыдущего. Переход по окраске постепенный, граница слабокарманистая.						
	TT (71-162 см)	Органогенная порода, представленная торфяной залежью: неоднородный темно-буровато-коричневый, сильно-неразложившийся сфагновый мох, сырой, плотнее предыдущего.						

Продолжение (приложение 2)

Р-Б3-М (60°53'11" с.ш. 68°41'16" в.д.)	<i>Тип БГЦ: грядово-мочажинный комплекс – чередование олиготрофных шейхцериево-сфагновых мочажин и кустарничково (Ledum palustre, Chamaedaphne calyculata)-сфагновых (S. fuscum) гряд. Торфяной керн отобран в мочажине.</i>						
	<i>Торфяные болотные верховые типичные обычные среднетощные почвы</i>						
	1977	–	–	Торфяные болотные верховые	Типичные	Обычные	Среднетощные
<i>Торфяные олиготрофные типичные обычные среднетощные почвы (грядово-мочажинный комплекс) (Т_р^В)</i>							
2004	Органогенные	Торфяные	Олиготрофные	Типичные	Обычные	Среднетощные	–
Микроморфологическая характеристика							
	Ov (0-21 см)	Очес сфагновых мхов: светло-коричневый, неразложившийся слой мха сфагнума, корни кустарничков, влажный, граница волнистая, переход по степени разложения.					
	TO1 (21-40 см)	Олиготрофно-торфяный: слабой степени разложения, буровато-коричневый, влажный, граница волнистая, переход по степени разложения.					
	TO2 (40-60 см)	Олиготрофно-торфяный: средней степени разложения, черновато-коричневый, мокрый, граница волнистая, переход по степени разложения.					
	TO3 (60-65 см)	Олиготрофно-торфяный: сильной степени разложения, черновато-коричневый, сырой.					

Продолжение (приложение 2)

P-15 (60°53'54" с.ш. 68°45'00" в.д.)	<i>Тип БГЦ: ивово-вейниково-качкарно-осоковое (Carex juncella) сообщество</i>							
	<i>Аллювиальные луговые собственно кислые ожелезненные маломощные укороченные суглинистые почвы</i>							
	1977	–	–	Аллювиальные луговые кислые	Собственно луговые кислые	Ожелезненные	Маломощные укороченные	Суглинистая
	<i>Аллювиальные дерновые грунтово-глеевые ожелезненные маломощные укороченные суглинистые почвы (A^{III})</i>							
	2004	Синлитогенные	Аллювиальные	Аллювиальные серогумусовые (дерновые)	Грунтово-глеевая	Ожелезненные	Маломощные укороченные	Суглинистая
Микроморфологическая характеристика								
	Av (0-4 см)	Дернина: густо пронизанный переплетенными живыми и отмершими корнями, корневищами и побегами луговых растений.						
	AYg (4-14 см)	Серогумусовый (дерновый) глееватый: буровато-серый, зернисто-комковатый, корни 40%, слабо уплотнённый, влажный, легкосуглинистый, граница волнистая, переход резкий.						
	G (14-38 см)	Глеевый: сизовато-палево-буроватый, влажный, плотный, среднесуглинистый, глыбистый, преобладают ржавые затёки и примазки соединений железа, граница слабоволнистая, переход резкий.						
	Cox (38-45 см)	Почвообразующая порода окисленно-глеевая: охристо-ржавая прослойка на вертикальном срезе по площади над сизо-голубыми тонами окраски, тяжелосуглинистая, влажная, граница слабоволнистая, переход резкий.						
	CG (45-70 см)	Почвообразующая порода оглеенная: сизовато-бурый, тяжелосуглинистая, влажная.						

Продолжение (приложение 2)

P-42 (60°54'03" с.ш. 68°45'14" в.д.)	<i>Тип БГЦ: пойменное осоковое (Carex aquatilis, C. juncella) эвтрофное болото</i>							
	<i>Торфяные болотные низинные типичные обычные маломощные почвы</i>							
	1977	–	–	Торфяные болотные низинные	Типичные	Обычные	Маломощные	–
<i>Торфяные эвтрофные иловато-торфяные обычные маломощные (Т^{II})</i>								
2004	Органогенные	Торфяные	Эвтрофные	Иловато-торфянные	Обычные	Маломощные	–	
Микроморфологическая характеристика								
	О (0-8 см)	Оторфованная подстилка: темно-бурый, рыхлый, свежий, корни 80%, граница волнистая, переход резкий.						
	TEmr (8-37 см)	Эвтрофно-минерально-торфяный: наличие в массе торфяного горизонта примеси минерального материала в виде отдельных прослоек, серовато-буро-коричневый, неоднородный, средней степени разложения, влажный.						
	ТТ (37-70 см)	Органогенная порода, представленная торфяной залежью: неоднородный темно-коричневый, сильноразложившийся сфагновый мох, сырой, плотнее предыдущего.						

Продолжение (приложение 2)

P-16 (60°52'35" с.ш. 68°36'46" в.д.)	<i>Тип БГЦ: мезотрофное осоково-сфагновое болото вдоль ручья</i>							
	<i>Торфяные болотные верховые переходные маломощные почвы</i>							
	1977	–	–	Болотные верховая	Болотная верховая торфяная	Переходные	Маломощные	–
	<i>Торфяные олиготрофные остаточо-эутрофные обычные маломощные (Т^В Т^Н)</i>							
	2004	Органогенные	Торфяные	Олиготрофная	Остаточно-эутрофная	Обычные	Маломощные	–
Микроморфологическая характеристика								
	Ov (0-8 см)	Очес сфагновых мхов: светло-коричневый, состоит из живых или слаборазложившихся стебельков мхов с небольшой примесью опада, влажный.						
	TOte (8-23 см)	Олиготрофно-торфяный остаточо-эутрофный: состоит преимущественно из сфагновых мхов разной степени разложения – верхний светло-коричневый олиготрофной (сфагновый) и нижний темно-коричневый эутрофный торф, состоящего из остатков гидрофильной растительности, где сфагнум не доминирует, сырой.						
	TT (23-35 см)	Органогенная порода, представленная торфяной залежью: неоднородный темно-коричневый, сильноразложившийся мох, мокрый, плотнее предыдущего, степень разложения материала увеличивается с глубиной.						

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В. Д. 1969. Классификация растительности. Обзор принципов классификации и классификационных систем в различных геоботанических школах. Л.: Наука. 275 с. [Aleksandrova V. D. 1969. Klassifikatsiya rastitel'nosti. Obzor printsipov klassifikatsii i klassifikatsionnykh sistem v razlichnykh geobotanicheskikh shkolakh. L.: Nauka. 275 p. (in Russian)]
- Архипов В. Ю., Панкова Н. Л., Филиппов И. В. 2018. Аннотированный список птиц международного полевого стационара "Мухрино" и окрестностей, Ханты-Мансийский автономный округ-Югра (западная Сибирь) // Русский орнитологический журнал. Т. 27. №. 1589. С. 1528-1539. P [Arkhipov V. Yu., Pankova N. L., Filippov I. V. 2018. Annotirovannyi spisok ptits mezhdunarodnogo polevogo sta-tsiionara " Mukhrino" i okrestnostei, Khanty-Mansiiskii avtonomnyi okrug-Yugra (zapadnaya Sibir') // Russkii ornitolo-gicheskii zhurnal. V. 27. N. 1589. P. 1528-1539. (in Russian)]
- Атлас Тюменской области. 1971. Вып. 1. М.-Тюмень: ГУ Геодезии и картографии. [Atlas Tyumenskoï oblasti. 1971. Iss. 1. M.-Tyumen': GU Geodezii i kartografii. (in Russian)]
- Атлас Ханты-Мансийского автономного округа. 2004. Экология. Природа т.2-Ханты-Мансийск-Москва. 152 с. [Atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga. 2004. Ekologiya. Priroda t.2-Khanty-Mansiisk-Moskva. 152 p. (in Russian)]
- Ахпателов Э. А. и др. 2004. Атлас: Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа, Государственное предприятие ХМАО «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. ВИ Шпилемана». Ханты-Мансийск: Изд-во «ИздатНаукаСервис». [Akhpatelov E. A. i dr. 2004. Atlas: Geologiya i neftegazonosnost' Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga, Gosudarstvennoe predpriyatie KhMAO «Nauchno-analiticheskii tsentr ratsional'nogo nedropol'zovaniya im. VI Shpil'mana». Khanty-Mansiisk: Publishing house «IzdatNaukaServis. (in Russian)]
- Белова С. Э., Ошкин, И. Ю., Глаголев, М. В., Лапшина, Е. Д., Максютлов, Ш. Ш., & Дедыш, С. Н. 2013. Метанотрофные бактерии грязевых микровулканов в поймах северных рек // Микробиология. Т. 82. №. 6. С. 732-732. [Belova S. E., Oshkin I. Y., Glagolev M. V., Lapshina E. D., Maksyutov S. S., & Dedysh S. N. 2013. Methanotrophic bacteria in cold seeps of the floodplains of northern rivers // Microbiology. V. 82. P. 743-750.]
- Березина Н.А., Лисс О.Л. 1976. Развитие болот таежной зоны Западно-Сибирской равнины. Ритмика природных явлений. Л.: Гидрометеоиздат. 137 с. [Berezina N.A., Liss O.L. 1976. Razvitie bolot taezhnoi zony Zapadno-Sibirskoi ravniny. Ritmika prirodnykh yavlenii. L.: Gidrometeoizdat. 137 p. (in Russian)]
- Булатов В.И. География и экология города Ханты-Мансийска и его природного окружения. 2007. Ханты-Мансийск. Изд-во ОАО «Информационно-издательский центр». 187 с. [Bulatov V.I. Geografiya i ekologiya goroda Khanty-Mansiiska i ego prirodnogo okruzheniya. 2007. Khanty-Mansiisk. Publishing house ОАО «Informatsionno-izdatel'skii tsentr». 187 p. (in Russian)]
- Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ. 272 с. [Vorob'eva L.A. 1998. Khimicheskii analiz pochv: Uchebnik. M.: Publishing house MGU. 272 p. (in Russian)]
- Воронина Л.В. 1977. Агроклиматология Сибири. Новосибирск: Наука. 265 с. [Voronina L.V. 1977. Agroklimatologiya Sibiri. Novosibirsk: Nauka. 265 p.]
- Гептнер В.Г. 1936. Общая зоогеография. М.; Л.: Биомедгиз. 548 с. [Geptner V.G. 1936. Obshchaya zoogeografiya. M.; L.: Biomedgiz. 548 p. (in Russian)]
- Глазовская, М.А. 1988. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР, Москва. 328 с. [Glazovskaya, M.A. 1988. Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov SSSR, Moskva. 328 p. (in Russian)]
- Григорьев А. А., Бudyko М. И. 1959. Классификация климатов СССР. Изв. АН СССР. Сер. геогр. № 3. [Grigor'ev A. A., Budyko M. I. 1959. Klassifikatsiya klimatov SSSR. Izv. AN SSSR. Ser. geogr. N. 3. (in Russian)]
- Заров Е.А. 2013. Виды торфа верховых болот и их физико-химические свойства (на примере болотного массива Мухрино, ХМАО-Югра) // Сборник тезисов I региональной молодежной конференции им. В.И. Шпилемана "Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири" (25-26 марта 2013 года). БУ "Музей геологии, нефти и газа". Ханты-Мансийск: Редакционно-издательский отдел АУ "Институт развития образования". С. 118-121. [Zarov E.A. 2013. Vidy torfa verkhovyykh bolot i ikh fiziko-khimicheskie svoistva (na primere bolotnogo massiva Mukhrino, KhMAO-Yugra) // Sbornik tezisov I regional'noi molodezhnoi konferentsii im. V.I. Shpil'mana "Problemy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya i istoriya geologicheskogo poiska v Zapadnoi Sibiri" (25-26 marta 2013 goda). BU "Muzei geologii, nefiti i gaza". Khanty-Mansiisk: Redaktsionno-izdatel'skii otdel AU "Institut razvitiya obrazovaniya". P. 118-121. (in Russian)]
- Земцов А.А. 1976. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная часть). Томск: Изд-во ТГУ. 340 с. [Zemtsov A.A. 1976. Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoi ravniny (severnaya i tsentral'naya chast'). Tomsk: Publishing house TGU. 340 p. (in Russian)]
- Иванов К.Е.; Новиков С. 1976. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим; Наука: Москва, СССР. п. 447. [Ivanov K.E.; Novikov S. 1976. Bolota Zapadnoi Sibiri, ikh stroenie i gidrologicheskii rezhim; Nauka: Moskva, SSSR. p. 447. (in Russian)]
- Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. и др. 1985. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука. 251 с. [I'ina I.S., Lapshina E.I., Lavrenko N.N. i dr. 1985. Rastitel'nyi pokrov Zapadno-Sibirskoi ravniny. Novosibirsk: Nauka. 251 p. (in Russian)]
- Инишева Л. И. 2009. Болотоведение: учебник для вузов. ГОУ ВПО «Том. гос. пед. университет». Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета. 210 с. [Inisheva L. I. 2009. Bolotovedenie: uchebnik dlya vuzov. GOU VPO «Tom. gos. ped. universitet». Tomsk: Publishing house Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. 210 p. (in Russian)]
- Информационные технологии. Автоматизированная Информационная Система Обработки Режимной Информации (АИСОРИ). Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: [сайт]. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> [Informatsionnye tekhnologii. Avtomatizirovannaya Informatsionnaya Sistema Obrabotki Rezhimnoi Informatsii (AISORI). Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy: [website]. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (in Russian)]
- Классификация и диагностика почв России. 2004. Смоленск: Ойкумена. 342 с. [Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii. 2004. Smolensk: Oikumena. 342 p. (in Russian)]

- Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М., Колос. 223 с. [Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR. 1977. M., Kolos. 223 p. (in Russian)]
- Кобышева, Н. В., Акентьева, Е. М., Богданова, Э. Г., Карпенко, В. Н., Ключева, М. В., Липовская, В. И. и др. 2001. Климат России. СПб.: Гидрометеоздат. 656 с. [Kobysheva, N. V., Akent'eva, E. M., Bogdanova, E. G., Karpenko, V. N., Klyueva, M. V., Lipovskaya, V. I. et al. 2001. Klimat Rossii. SPb.: Gidrometeoizdat. 656 p. (in Russian)]
- Конторович А. Э. 2019. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века // Вестник Российской академии наук. Т. 89. №. 11. С. 1095-1104. [Kontorovich A. E. 2019. Glavnye napravleniya razvitiya neftyanogo kompleksa Rossii v pervoi polovine XXI veka // Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. V. 89. N. 11. P. 1095-1104. (in Russian)]
- Костин С. И., Покровская Т. В. 1961. Климатология. Л.: Гидрометеоздат. 434 с. [Kostin S. I., Pokrovskaya T. V. 1961. Klimatologiya. L.: Gidrometeoizdat. 434 p. (in Russian)]
- Кузнецов О. Л. 2007. Основные методы классификации растительности болот // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 241-269. [Kuznetsov O. L. 2007. Osnovnye metody klassifikatsii rastitel'nosti bolot // Aktual'nye problemy geobotaniki. III Vserossiiskaya shkola-konferentsiya. Leksii. Petrozavodsk: KarNTs RAN. P. 241-269. (in Russian)]
- Кульков М. Г., Заров Е. А. 2013. Оценка нефтяного загрязнения донных отложений озер вторичного происхождения в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО-Югра) // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: Тезисы докладов IV Международной конференции, г. Тюмень, 11–13 сентября 2013 г. / под ред. А. В. Соромотина, А. В. Толстикова. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета. С. 89-92. [Kul'kov M. G., Zarov E. A. 2013. Otsenka neftyanogo zagryazneniya donnykh otlozhenii ozer vtorichnogo proiskhozhdeniya v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge (KhMAO-Yugra) // Okruzhayushchaya sreda i menedzhment prirodnykh resursov: Tezisy dokladov IV Mezhdunarodnoi konferentsii, g. Tyumen', 11–13 sentyabrya 2013 g. / Ed. A. V. Soromotina, A. V. Tolstikova. Tyumen': Publishing house Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. P. 89-92. (in Russian)]
- Куракова А. А. 2022. Размывы пойменных берегов Оби и Иртыша и их связь с морфологией русла // Географический вестник. №. 1 (60). С. 40-59. [Kurakova A. A. 2022. Razmyvy poimennykh beregov Obi i Irtysha i ikh svyaz' s morfolo-giey rusla // Geograficheskii vestnik. 1 (60). P. 40-59. (in Russian)]
- Лапшина Е.Д., Конева В.А. 2010. Видовое разнообразие напочвенных лишайников в растительном покрове верховых болот левобережных террас нижнего Иртыша // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 1. №. 1. С. 92-97. [Lapshina E.D., Koneva V.A. 2010. Vidovoe raznoobrazie napochvennykh lishainikov v rastitel'nom pokrove verkhovykh bolot levoberezhnykh terras nizhnego Irtysha // Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata. V. 1. N 1. P. 92-97. (in Russian)]
- Лапшина Е.Д., Писаренко О.Ю. 2013. Моховая флора Ханты-Мансийского автономного округа (Западная Сибирь) // Turczaninowia. Т. 16. №. 2. С. 62–80. [Lapshina E.D., Pisarenko O.Yu. 2013. Mokhovaya flora Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga (Zapadnaya Sibir') // Turczaninowia. V. 16. N 2. P. 62–80. (in Russian)]
- Латыш И. М. 2017. Групповой химический состав органического вещества торфа среднетаежной зоны Западной Сибири на примере болотного массива "Мухрино" // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 8. №. 2. С. 57-63. [Latysh I. M. 2017. Gruppovoi khimicheskii sostav organicheskogo veshchestva torfa srednetaezhnoi zony Zapadnoi Si-biri na primere bolotnogo massiva " Mukhrino" // Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata. V. 8. N. 2. P. 57-63. (in Russian)]
- Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А. и др. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К. 584 с. [Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A. i dr. 2001. Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh priro-dookhrannoe znachenie. Tula: Grif i K. 584 p. (in Russian)]
- Малик Л.К. 1978. Гидрологические проблемы преобразования природы Западной Сибири. М.: Наука. 179 с. [Malik L.K. 1978. Gidrologicheskie problemy preobrazovaniya prirody Zapadnoi Sibiri. M.: Nauka. 179 p. (in Russian)]
- Мекаев Ю.А. 1987. Зоогеографические комплексы Евразии. Л.: Наука. 126 с. [Mekaeв Yu.A. 1987. Zoogeograficheskie kompleksy Evrazii. L.: Nauka. 126 p. (in Russian)]
- Мензбир М. А. 1934. Очерк истории фауны Европейской части СССР. М.; Л. 168 с. [Menzbir M. A. 1934. Ocherk istorii fauny Evropeiskoi chasti SSSR. M.; L. 168 p. (in Russian)]
- Михайлов Н.И. 1985. Физико-географическое районирование. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 184 с. [Mikhailov N.I. 1985. Fiziko-geograficheskoe raionirovanie. M.: Izt-vo Mosk. Un-ta. 184 p. (in Russian)]
- Москвина Н.Н. 2004. Ландшафтный анализ территории Ханты-Мансийского автономного округа для обеспечения рационального природопользования: Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23: Тюмень. 208 с. РГБ ОД, 61:05-11/13 [Moskvina N.N. 2004. Landshaftnyi analiz territorii Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga dlya obespecheniya ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: Dis. ... kand. geogr. nauk: 25.00.23: Tyumen'. 208 s. RGB OD, 61:05-11/13 (in Russian)]
- Москвина Н.Н., Козин В.В. 2001. Ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск: ГУИПП «Полиграфист». 40 с. [Moskvina N.N., Kozin V.V. 2001. Landshaftnoe raionirovanie Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga. Khanty-Mansiisk: GUIPP «Poligrafist». 40 p. (in Russian)]
- Орлова В. В. 1962. Климат СССР. Западная Сибирь. Л.: Гидрометеоздат. Т. 4. 144 с. [Orlova V. V. 1962. Klimat SSSR. Zapadnaya Sibir'. L.: Gidrometeoizdat. T. 4. 144 p. (in Russian)]
- Перегон А. М. 2005. Периферическое заболачивание на юге таежной зоны Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 160 с. [Peregona A. M. 2005. Perifericheskoe zabolachivanie na yuge taezhnoi zony Zapadnoi Sibiri: dis. ... kand. biol. nauk. Novosibirsk. 160 p. (in Russian)]
- Погребняк П.С. 1955. Основы лесной типологии. 2-е изд., испр. и доп. Киев: Изд-во АН УССР. 452 с. [Pogrebnyak P.S. 1955. Osnovy lesnoi tipologii. 2-e izd., ispr. i dop. Kiev: Izd-vo AN USSR. 452 p. (in Russian)]
- Постановление Правительства Ханты-Мансийского автономного округа - Югры от 26.12.2014 г. N 506-п «Об утверждении Схемы территориального планирования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры». [Postanovlenie Pravitel'stva Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga - Yugry ot 26.12.2014 g. N 506-p «Ob utver-zhdenii Skhemy territorial'nogo planirovaniya Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry». (in Russian)]
- Проект освоения лесов на лесном участке, переданном в постоянное (бессрочное) пользование в целях размещения объекта «Научно-экспериментальный полигон международного полевого стационара «Мухрино» ФГБОУ ЮГУ.

ООО «Геопроектсервис», г. Ханты-Мансийск, 2021 г. [Proekt osvoeniya lesov na lesnom uchastke, peredannom v postoyan-noe (bessrochnoe) pol'zovanie v tselyakh razmeshcheniya ob'ekta «Nauchno-eksperimental'nyi poligon mezhdunarodnogo polevogo statsionara «Mukhrino» FGBOU YuGU. ООО «Геопроектсервис», г. Ханты-Мансийск, 2021 г. (in Russian)]

Пузанов И. И. 1938. Зоогеография. М.: Изд-во Наркомпроса РСФСР. 359 с. [Puzanov I. I. 1938. Zoogeografiya. M.: Izd-vo Narkomprosa RSFSR. 359 p. (in Russian)]

Розанов Б.Г. 2004. Морфология почв. Москва. 432 с. [Rozanov B.G. 2004. Morfologiya pochv. Moskva. 432 p. (in Russian)]

Семёнов-Тян-Шанский А. П. 1936. Пределы и зоогеографические подразделения Палеарктической области для наземных сухопутных животных на основании географического распределения жесткокрылых насекомых. М.; Л. 16 с. [Semenov-Tyan-Shanskii A. P. 1936. Predely i zoogeograficheskie podrazdeleniya Palearkticheskoi oblasti dlya nazemnykh sukhoputnykh zhitvotnykh na osnovanii geograficheskogo raspredeleniya zhestkokrylykh nasekomykh. M.; L. 16 p. (in Russian)]

Середовских Б.А. 2022. Гидроморфология реки Конды: ретроспективный аспект динамики изменения русла: монография. Нижневартовск: изд-во НВГУ. 155 с. [Seredovskikh B.A. 2022. Gidromorfologiya reki Kondy: retrospektivnyi aspekt dinamiki izmeneniya rusla: mono-grafiya. Nizhnevarovsk: izd-vo NVGU. 155 p. (in Russian)]

Степанова В.А. 2012. Особенности макроэлементного химического состава почв верховых болот средней тайги Западной Сибири: Автореф. канд. дисс. Томск: НИ ТГУ. 20 с. [Stepanova V.A. 2012. Osobennosti makroelementnogo khimicheskogo sostava pochv verkhovykh bolot srednei taigi Za-padnoi Sibiri: Avtoref. kand. diss. Tomsk: NI TGU. 20 p. (in Russian)]

Степанова В.А., Покровский О.С. 2011. Макроэлементный состав торфа верховых болот средней тайги Западной Сибири (комплекс болот Мухринский). С. 211–214. [Stepanova V.A., Pokrovskii O.S. 2011. Makroelementnyi sostav torfa verkhovykh bolot srednei taigi Zapadnoi Sibiri (kompleks bolot Mukhrinskii). P. 211–214. (in Russian)]

Таран Г.С., Седелникова Н.В., Писаренко О.Ю., Голомолзин В.В. 2004. Флора и растительность Елизаровского государственного заказника (нижняя Обь). Новосибирск: Наука. 212 с. [Taran G.S., Sedel'nikova N.V., Pisarenko O.Yu., Golomolzin V.V. 2004. Flora i rastitel'nost' Elizarovskogo gos-udarstvennogo zakaznika (nizhnyaya Ob'). Novosibirsk: Nauka. 212 p. (in Russian)]

Трофимов В.Т., Фирсов Н.Г., Бадуи Ю. Б. 1986. Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты: (Пространственно-временные закономерности). М.: Изд-во МГУ. 288с. [Trofimov V.T., Firsov N.G., Badui Yu. B. 1986. Ekzogeodinamika Zapadno-Sibirskoi plity: (Prostranstvenno-vremennyye zakonovernosti). M.: Publishing house MGU. 288 p. (in Russian)]

Шацевский Б. В. 2007. Экологическое значение поймы в речных экосистемах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. №. 5. С. 118-129. [Fashchevskii B. V. 2007. Ekologicheskoe znachenie поймы v rечных ekosistemakh // Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. N. 5. P. 118-129. (in Russian)]

Шветье А., Каацке Ю. 2012. Постоянно действующая концепция обращения с отходами для г. Ханты-Мансийска, Россия. Ханна Грисбаум – Федеральное ведомство по охране окружающей среды. Д.н. Бертрам Цвизеле – ARGUS e.V. Проф., д.н. Берндт-Михаэль Вильке – Берлинский технический университет. 28 с. [Shvet'e A., Kaatske Yu. 2012. Postoyanno deistvuyushchaya kontsepsiya obrashcheniya s otkhodami dlya g. Khanty-Mansiiska, Rossiya. Khanna Grisbaum – Federal'noe ведомство po okhrane okruzhayushchei sredy. D.n. Bertram Tsvizele – ARGUS e.V. Prof., d.n. Berndt-Mikhael' Vil'ke – Berlinskii tekhnicheskii universitet. 28 p. (in Russian)]

Шепелев А. И. 2007. Почвы центральной части таежной зоны Западно-Сибирской равнины (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа): учеб. Пособие. Сургут: СурГУ. [Shepelev A. I. 2007. Pochvy tsentral'noi chasti taezhnoi zony Zapadno-Sibirskoi ravniny (v predelakh Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga): ucheb. Posobie. Surgut: SurGU. (in Russian)]

Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации. 2011. [сайт]. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-2-factory-pochvoobrazovaniya/karta-pochvoobrazuyushchih-porod> [Elektronnaya versiya Natsional'nogo atlasa pochv Rossiiskoi Federatsii. 2011. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-2-factory-pochvoobrazovaniya/karta-pochvoobrazuyushchih-porod> (in Russian)]

Alekseychik P., Mammarella I., Karpov D., Dengel S., Terentieva I., Sabrekov A., Glagolev M., Lapshina E., 2017. Net ecosystem exchange and energy fluxes measured with the eddy covariance technique in a western Siberian bog // Atmospheric Chemistry and Physics. V. 17, P. 9333–9345. <https://doi.org/10.5194/acp-17-9333-2017>

Amon L., Blas A., Alliksaar T., Heinsalu A., Lapshina E., Liiv M., Reitalu T., Vassiljev J., Veski S. 2020. Postglacial flooding and vegetation history on the Ob River terrace, central Western Siberia based on the palaeoecological record from Lake Svetlenkoye // The Holocene. V. 30. №. 5. P. 618-631. <https://doi.org/10.1177/0959683619895582>

Bleuten W., Zarov E., Schmitz O. 2020. A high-resolution transient 3-dimensional hydrological model of an extensive undisturbed bog complex in West Siberia // Mires and Peat. V. 26. 25pp. doi: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1769

Dyukarev E., Filippova N., Karpov D., Shnyrev N., Zarov E., Filippov I., Voropay N., Avilov V., Artamonov A., Lapshina E. 2021. Hydrometeorological dataset of West Siberian boreal peatland: a 10-year record from the Mukhrino field station // Earth System Science Data. V. 13. №. 6. P. 2595-2605. <https://doi.org/10.5194/essd-13-2595-2021>.

Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., Mammarella I., Filippov I., Bleuten W., Khoroshavin V., Ganasevich G., Meshcheryakova A., Vesala T., Lapshina E. 2021. The Multiscale Monitoring of Peatland Ecosystem Carbon Cycling in the Middle Taiga Zone of Western Siberia: The Mukhrino Bog Case Study // Land. V. 10. №. 8. P. 824. <https://doi.org/10.3390/land10080824>.

Dyukarev E.A., Lapshina E.D., Golovatskaya E.A., Filippova N.V., Zarov E.A., Filippov I.V., 2018. Modeling of the net ecosystem exchange, gross primary production, and ecosystem respiration for peatland ecosystems of Western Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. V. 211. №. 1. P. 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012028>

Fialkiewicz-Kozieł B., Smieja-Król B., Frontasyeva M., Słowiński M., Marcisz K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Jassey V.E.J., Kaliszán K., Laggoun-Défarge F., Kołaczek P., Lamentowicz M., 2016. Anthropogenic-and natural sources of dust in peatland during the Anthropocene // Scientific reports. V. 6. №. 1. P. 1-8. <https://doi.org/10.1038/srep38731>

Filippova N., Lapshina E. 2019. Sampling event dataset on five-year observations of macrofungi fruit bodies in raised bogs, Western Siberia, Russia // Biodiversity Data Journal. V. 7. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e35674>

- Glagolev M.V., Ilyasov D.V., Terentieva I.E., Sabrekov A.F., Mochenov S.Y., Maksutov S.S., 2018. Methane and carbon dioxide fluxes in the waterlogged forests of south and middle taiga of Western Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. V. 138. №. 1. P. 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012005>
- i.smmap - Performs contextual image classification using sequential maximum a posteriori (SMAP) estimation. [сайт]. URL: <https://grass.osgeo.org/grass82/manuals/i.smmap.html>
- Lapshina E.D., Alexeychik P., Dengel S., Filippova N.V., Zarov E.A., Filippov I.V., Terentyeva I.E., Sabrekov A.F., Solomin Y.R., Karpov D.V., Mammarella I. 2015. A new peatland research station in the center of West Siberia: description of infrastructure and research activities // Proceedings of the 1st Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 5th PEEX Meeting. P. 236-240.
- McKnight T. L., Hess D. 2000. Climate zones and types // Physical geography: a landscape appreciation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. P. 200-201.
- Sabrekov, A. F., Kleptsova, I. E., Glagolev, M. V., Maksyutov, S. S., and Machida, T. 2011. Methane emission from middle taiga oligotrophic hollows of Western Siberia // Tomsk State Pedagogical University Bulletin. P. 135–143.
- Szajdak L.W., Meysner T., Inisheva L.I., Lapshina E., Szczepański M. and Gaca W. 2019. Dynamics of organic matter and mineral components in Sphagnum-and Carex-dominated organic soils // Mires Peat. V. 24. №. 26. P. 1-15.
- Terentieva I.E., Glagolev M.V., Lapshina E.D., Sabrekov A.F., Maksyutov S.S. 2016. Mapping of West Siberian taiga wetland complexes using Landsat imagery: Implications for methane emissions // Biogeosciences. V. 13. P. 4615–4626. <https://doi.org/10.5194/bg-13-4615-2016>
- Tsyganov, A.N.; Zarov, E.A.; Mazei, Y.A.; Kulkov, M.G.; Babeshko, K.V.; Yushkovets, S.Y.; Payne, R.J.; Ratcliffe, J.L.; Fatyunina, Y.A.; Zazovskaya, E.P.; et al. 2021. Key periods of peatland development and environmental changes in the middle taiga zone of Western Siberia during the Holocene // Ambio.
- Zverev A.A. 2007. Informatsionnye tekhnologii v issledovaniyakh rastitel'nogo pokrova (Information Technologies in Studies of Vegetation Cover). Tomsk: TML-Press.

Поступила в редакцию: 29.11.22
Переработанный вариант: 31.12.22