

ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE

Volume 14
Issue 1
2023

<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)

Vasily 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)

Vasily 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)

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

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

N.M. Fazul'dinova, technical editor (Moscow, Russia)

D.D. Ochirova, 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 14
Выпуск 1
2023

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. Агбалян, 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. Максюттов, 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)

Россия)

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

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

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

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

Е.В. Шейн, 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)

Н.М. Фазульдинова, технический редактор (Москва, Россия)

Д.Д. Очирова, 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 ЭЛ № ФС 77-82594 от 18.01.2022 г.

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

P.V. Bolshanik¹, S.B. Kuznetsova, B.V. Usovich

. Development of water and vegetation planning city area (Isilkul city, Omsk region) 4-20

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Filippova N.V., Kosykh N.P., Filippov I.V., Niyazova A.V.

Annual growth and primary production of sphagnum in raised bog Mukhrino
(four-year observations: 2019-2022) 21-37

Blinova I.V.

The northern range of rare plant species in the NE Fennoscandia between historical and recent climatic
changes: the case of *Eriophorum gracile* (Cyperaceae) 38-58

ХРОНИКА

Akhmedova I.D.

Synergy effect of the Research and Educational Center – UNESCO CHAIR "Environmental Dynamics and
Global Climate Change" as a driver of Yugra educational environment 58-65



DEVELOPMENT OF A WATER-VEGETABLE FRAME OF AN URBAN AREA (ISILKUL CITY, OMSK REGION)

P.V. Bolshanik^{1*}, S.B. Kuznetsova², B.V. Usovich¹

¹Омский государственный педагогический университет, Омск

²Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

*bolschpetr@mail.ru

Citation: Bolshanik P.V., Kuznetsova S.B., Usovich B.V. 2023. Development of a water-vegetable frame of an urban area (Isilkul city, Omsk region). *Environmental dynamics and global climate change*, 14(1): 4-20.

DOI: 10.18822/edgcc110762

В статье рассматриваются природные условия и ресурсы Ишимской равнины, испытывающей продолжительные периоды переувлажнения, вызванные подтоплением территории. Геоэкологические проблемы подтопления территории и засоления земель вызывают интенсивную трансформацию ландшафтов и изменение типа использования земель. Выделяются основные свойства природных компонентов: рельефа, горных пород, почв, растительности и вод, которые способствуют или ослабляют проявление неблагоприятных процессов. Анализируется ландшафтная структура территории Ишимской равнины и выявляются элементарные ландшафты, способствующие устойчивости территории к антропогенному воздействию. Сравнивается естественная и антропогенная ландшафтная структура. Характеризуются географические компоненты, влияющие на особенности функционирования и развития ландшафтов. Реконструируется ландшафтная структура центральной части территории г. Исилькуля и даются рекомендации по ее усовершенствованию. Разработаны схемы водного и растительного каркаса города. Предлагаются меры по преодолению подтопления территории грунтовыми водами. Перечисляются виды растений для различных экологических ниш, подходящие для создания водно-растительного каркаса города.

Ключевые слова: ландшафты, ландшафтная структура, водно-растительный каркас, функционирование и развитие ландшафтов, антропогенная трансформация, подтопление.

Introduction

The formation of a comfortable urban environment is inextricably linked with the planning of an anthropogenic landscape that performs environmental, reclamation and recreational functions.

"Ecological frame of the city", "landscape-ecological frame", "water-green city frame", "landscape-recreational frame of the city" - these are essentially synonymous phrases that are used in scientific and special literature depending on the scale and detail of the study. and urban landscape planning [Targaeva, 2022]. The term "ecological frame" was introduced into the everyday life of researchers by V.V. Vladimirov (1980, 1986). Later, the terminology of urban landscape ecology was developed in [Runova, 1993; Kuleshova, 1999; Georgita, 2011; Tukmanov, 2012]. Among the scientific works of contemporaries devoted to the history and development of the theory of urban landscape planning, the works of E.Yu. Kolbovsky et al. [2008, 2018]. In foreign literature, the ecological structure of cities has been defined as ecological network (ecological network) or green infrastructure (green infrastructure) [Green infrastructure..., 2013; Podoinitsyna, 2016; Klimanov, 2018]. According to its functional purpose, green infrastructure corresponds to the domestic green frame of the city [Baro et al., 2014].

This paper discusses the issues of landscape planning of the city of Isilkul, the center of the district of the same name in the Omsk region. Given the size and specialization, the current geo-ecological problems of the settlement and the natural and climatic conditions of the forest-steppe, the term water-plant urban frame is used. The water-vegetation urban frame is a structured set of adjacent territories with vegetation cover and water bodies within the city limits and its immediate environs, which performs environment-forming, reclamation and recreational functions.

Currently, the western regions of the Omsk region are characterized by the processes of rising groundwater levels, which caused flooding in 24 zones, with a total area of about 60 thousand hectares. Within one of these zones is the city of Isilkul. An unfavorable geo-ecological situation has developed in the city and in the adjacent territories, associated with swamping, and in some cases, salinization of soils.

The purpose of this article is to substantiate measures for the creation of a water-vegetation frame of Isilkul, located on the southern outskirts of Western Siberia within the Ishim Plain. Among the objectives of the research: the study of the infrastructure of the city; reconstruction of natural landscapes; determining the causes of flooding of the territory, designing the water-vegetation frame of the urban area.

Objects and methods of investigation

The territory of the study object is located in the central part of the eastern half of the Ishim Plain and forms an ellipse in plan, elongated from north to south (Fig. 1). Within the boundaries of the object of study are located Isilkul with its suburbs, partly the land of rural settlements of the Isilkul administrative district - Solntsevo, Boevoye, Lesnoye. In the north, the study area includes a fragment of the territory of the Kamyshlov log tract, in the south - the basin of the lake. Settlement.

The choice of research methods was determined by the specifics of the tasks being solved and the landscape features of the study area. First of all, this concerns a significant transformation of natural landscapes in the vicinity of the city and the need to reconstruct ecosystems in the built-up area. Another important methodological task was the development of recommendations for the localization of processes that cause flooding of the urban landscape. The use of traditional landscape methods and techniques for solving the set tasks turned out to be ineffective. This required a combination of field and office methods of landscape ecology and environmental protection, which included.

In total, 30 observation points were described during the research. Two landscape profiles of 12 km (along the line Kamyshlov Log - Lake Gorodishche) and 2 km (from west to east through Isilkul) were broken up and examined. Natural, introduced and ruderal vegetation has been studied. Surveyed urban engineering networks, ways of surface water runoff. As part of office work, reports and cartographic materials of the State Historical Archive of the Omsk Region were analyzed; landscape map of the Omsk region.

Results of research

Prior to the start of construction, the territory of Isilkul was a flattened isometric upland typical of the Ishim steppe with a relative excess of height above the surrounding area of 1-5 m. The gentle slopes of the upland were occupied by grass-forb steppe meadows on carbonate chernozems and solods. Locally, in the hollows of the flat top and in moist relief depressions along its periphery, spiked aspen-birch forests grew in a mosaic pattern, which alternated with small lakes. The shores of reservoirs were occupied by reed and reed-sedge bogs. Increased mineralization was characteristic of the waters of endorheic lakes and soils along their banks.

There is no centralized rain sewerage system in the city. Rain, melt, groundwater is collected in ditches and flows down them into natural and artificial reservoirs (pits), as well as into natural relief depressions in the city. In the off-season, excess surface water is partially transferred using mobile pumps from the center of the northern part of the city to the southern part, and then, through a dug channel, is diverted to Lake Gorodishche. Partially, surface runoff is discharged naturally and by force through ditches outside the central part and accumulates in depressions and ditches of the city's bypass roads. The total length of ditches in Isilkul is about 300 km, however, about 90 km require repair and deep cleaning, and about 24 km need to be re-laid. Also, in many places there are no roads or bypass pipes in a non-working condition.

The reason for the periodic flooding of the city, along with the increased amount of precipitation, is the deterioration of the filtration properties of soils and soils, insufficient capacity and violation of the operating conditions of the drainage system. The predisposition of forest-steppe landscapes to secondary salinization, together with increased fluctuations in the level of groundwater, and their pollution with unorganized runoff, have caused excessive mineralization of urban soils.

The discussion of the results

Reconstruction of sewerage networks should become the top-priority measure to create a water-vegetable frame of the city.

Expected result of the reconstruction of the drainage system: lowering the level of groundwater and reducing the risk of flooding of the territory; increased soil drainage and reduced concentration of soluble salts; improvement of the sanitary and epidemiological situation in the city.

The reconstruction of the landscapes of the territory, the analysis of the transport infrastructure made it possible to propose a sectoral structure of forest plantations for Isilkul, in which the inner boundaries of the sections are forest protection belts of roads and railways. Forest parks in the form of strips and semicircles 300-600 m wide are planned to be laid in relief depressions at a distance of 1-2 km from the boundaries of the existing development (Fig. 4).

A latitudinal strip of green zone will pass through the territory of the city. It will connect the existing squares and green sports grounds with the green recreational areas of the city center. Thus, a latitudinal vegetation corridor is formed, connecting the water-vegetation frame through the central territory of the city.

Favorable places for planting in the modern landscape are marked by residual birch-aspen forests, lakes or swamps. Most often, these are waste lands that do not belong to agricultural land. In essence, it is proposed to carry out reforestation and form insular small-leaved forests of a given configuration, typical for the natural zone. At the same time, road belts, in addition to protecting soils from wind erosion, should strengthen the ecological unity of island forest ecosystems. The surveyed large forest areas in the west and north-west of the region are distinguished by the preservation of the indigenous flora and can be used to collect seeds of wild plants and select seedlings. The results of the study of natural and introduced flora made it possible to differentiate the species composition of future plantings according to optimal growing conditions and expand the list of species proposed for landscaping (Table 1-3).

The water-vegetation urban framework will include lakes, natural and artificial runoff troughs, drainage ditches, suffusion depressions, as well as all areas occupied by vegetation (Fig. 3-4).

The implementation of the program to create a water-green frame of the city will have a positive impact on the environment and comfort:

- will lower the level of groundwater;
- dry the territory of the city of Isilkul and the surrounding environs;
- eliminates the flow of sewage into the lakes Gryaznovskoye, Gorodishche;
- will significantly increase the comfort of living for city residents, which will contribute to the influx of people into the city of Isilkul and the Isilkul region as a whole.

The supply of purified water to the lakes Kamyshlovo, Salt, Krivoe will increase the area of the water surface of these reservoirs, which will increase the production of fish products. Lowering the groundwater level, as well as abandoning the cesspool sewerage system, will make it possible to save money allocated for the removal of sewage by sewage trucks, annual flood control, and annual repair of flooded buildings and structures.

Key words: landscape structure, water-vegetation frame, urban environment, wastewater, flooding, salinization, suffusion subsidence lakes, birch-aspen forests, Ishim plain.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование комфортной городской среды неразрывно связано с планированием антропогенного ландшафта, выполняющего средообразующие, рекультивационные и рекреационные функции. Трудности планирования ландшафтной структуры современного города непосредственно связаны с междисциплинарным характером проблем урбанизации. К планированию городской среды имеют отношение архитектура, технические науки, инженерная геология и гидрогеология, геоботаника и экология, охрана окружающей среды. При этом исторически в мировом и отечественном градостроительстве приоритетными и конкурирующими подходами всегда были оборона, экономика производства и эстетика архитектуры города [Колбовский, 2006]. В настоящее время в связи с укрупнением и уплотнением застройки на первое место вышли санитарно-экологические, социальные и рекреационные требования к городскому устройству.

«Экологический каркас города», «ландшафтно-экологический каркас», «водно-зеленый городской каркас», «ландшафтно-рекреационный каркас города» - это по существу словосочетания-синонимы, которые употребляются в научной и специальной литературе в зависимости от масштабов и детальности изучения и планирования урбанизированного ландшафта [Таргаева, 2022]. Терминология окончательно не устоялась. Но в самом общем виде такой каркас означает обоснованное размещение экосистем в структуре урбанизированной территории, нацеленное на снижение уровня загрязнения и в целом техногенного воздействия на городское население. Наивысшее место в этой иерархии занимает как раз «экологический каркас», который применяется для крупных городских агломераций и регионов в целом. Его особенность заключается в том, что он нацелен не только на улучшение условий проживания населения, но и на встраивание природных экосистем с флорой и фауной в антропогенные ландшафты. В обиход исследователей термин «экологический каркас» ввел В.В. Владимиров [1980, 1986]. В дальнейшем терминология экологии городского ландшафта получила развитие в работах [Рунова, 1993; Кулешова, 1999; Георгица, 2011; Тукманова, 2012]. Среди научных работ современников, посвященных истории и развитию теории планирования городского ландшафта заслуживают внимание труды Е.Ю. Колбовского с соавторами [2008, 2018]. В зарубежной литературе экологическая структура городов получила определение как ecological network (экологическая сеть) или green infrastructure (зеленая инфраструктура) [Green infrastructure..., 2013; Подойницына, 2016; Климанова, 2018]. По своему функциональному назначению green infrastructure соответствует отечественному зеленому каркасу города [Baro et al., 2014].

В настоящей работе рассматриваются вопросы ландшафтного планирования города Исилькуля, центра одноименного района Омской области. Учитывая размеры и специализацию, актуальные геоэкологические проблемы населенного пункта и природно-климатические условия лесостепи используется термин водно-растительный городской каркас (ВРГК). Водно-растительный городской каркас – это структурированная совокупность сопряженных территорий с растительным покровом и водоемами в пределах городской черты и ее ближайших окрестностей, выполняющая средообразующие, рекультивационные и рекреационные функции.

Геологическое строение и рельеф территории были проанализированы в коллективной монографии [Геология ..., 1982]. Характеристика почвенно-растительного покрова на территории юга Ишимской равнины исследована членами Омского отделения РГО [Березин Л.В., 2009; Мищенко Л.Н., 2009]. Описание гидрологических условий, сооружение гидротехнических сооружений и про-

цессов мелиорации дано в трудах аграрного университета [Гидрология..., 1994]. О засолении почв в Омской области написано в работе [Федосеева, 2021]. В статье посвященной экспертной оценке состояния ландшафтов Исилькульского района отмечается критическое засоление и заболачивание земель [Хоречко и др., 2016]

История изучения природы Ишимской степи берет начало в середине XIX века с экспедиции П.П. Семенова-Тянь-Шанского [Семенова-Тянь-Шанский, 1946]. Уже тогда исследователи отмечали деградацию лесов и пересыхание рек. Этот процесс усилился процесс в 1890-1914 гг., когда обмелели речки из Катайского урочища, впадавшие в озера Крутинского, Тюкалинского, Саргатского, Большереченского районов. «Причиной этого явления оказывается главным образом беспощадное истребление лесов не только порубками, но и пожарами (палами)» [Богданов, 2018; Валитов, 2008]. Современную экологическую ситуацию района исследования описывают материалы Министерства природных ресурсов и экологии Омской области [Доклад ..., 2016].

В настоящее время для западных районов Омской области характерны процессы подъема уровня грунтовых вод, которые вызвали подтопления в 24 зонах, общей площадью около 60 тыс. га. В пределах одной из таких зон находится г. Исилькуль. В городе и на прилегающих территориях сложилась неблагоприятная геоэкологическая обстановка, связанная заболачиванием, а в ряде случаев и засолением почвогрунтов. Такая ситуация сформировалась в том числе из-за того, что полноценная централизованная система отведения и очистки хозяйственно-бытовых, дождевых и талых вод в городе отсутствует. Гибель городских насаждений, заболачивание почв, ухудшение несущей способности фундаментов зданий и сооружений, нарушение функционирования ЛЭП и других транспортных магистралей и, в целом, снижение экологической ценности земель приводят к негативным социально-экономическим последствиям для города.

Целью данной статьи является обоснование мероприятий по созданию водно-растительного каркаса Исилькуля, расположенного на южной окраине Западной Сибири в пределах Ишимской равнины. В числе задач исследований: изучение инфраструктуры города; реконструкция природных ландшафтов; определение причин подтопления территории, проектирование водно-растительного каркаса городской территории.

Работа выполнена в рамках разработки проекта по созданию комфортной городской среды в г. Исилькуле Омской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория объекта исследования находится в центральной части восточной половины Ишимской равнины и образует в плане эллипс, вытянутый с севера на юг (Рис. 1). В границах объекта исследований расположены Исилькуль с пригородами, частично земли сельских поселений Исилькульского административного района - Солнцевское, Боевое, Лесное. На севере, в район исследования входит фрагмент территории урочища Камышловский лог, на юге – котловина оз. Городище. Согласно кадастровой карте в Исилькульском районе на долю сельскохозяйственных угодий приходится 51.1%. Порядка 13% площади занимают земли лесного фонда. Остальная часть территории распределена между землями населенных пунктов и водного фонда, а также земель производственного и специального назначения. Бросовые земли, порядка 10-15% от всей территории района, большей частью, отнесены к фонду государственного запаса. Они заняты пустырями, оврагами, болотами и солончаками

Исилькуль разделен железной дорогой на две примерно равные части (северная и южная). В городской черте расположена грузопассажирская железнодорожная станция. Основу экономики города составляют небольшие предприятия сельскохозяйственной обрабатывающей и пищевой промышленности. По данным статистики на 2022 год в городе проживало 22000 человек (13000 человек в северной части, 9000 человек в южной части).

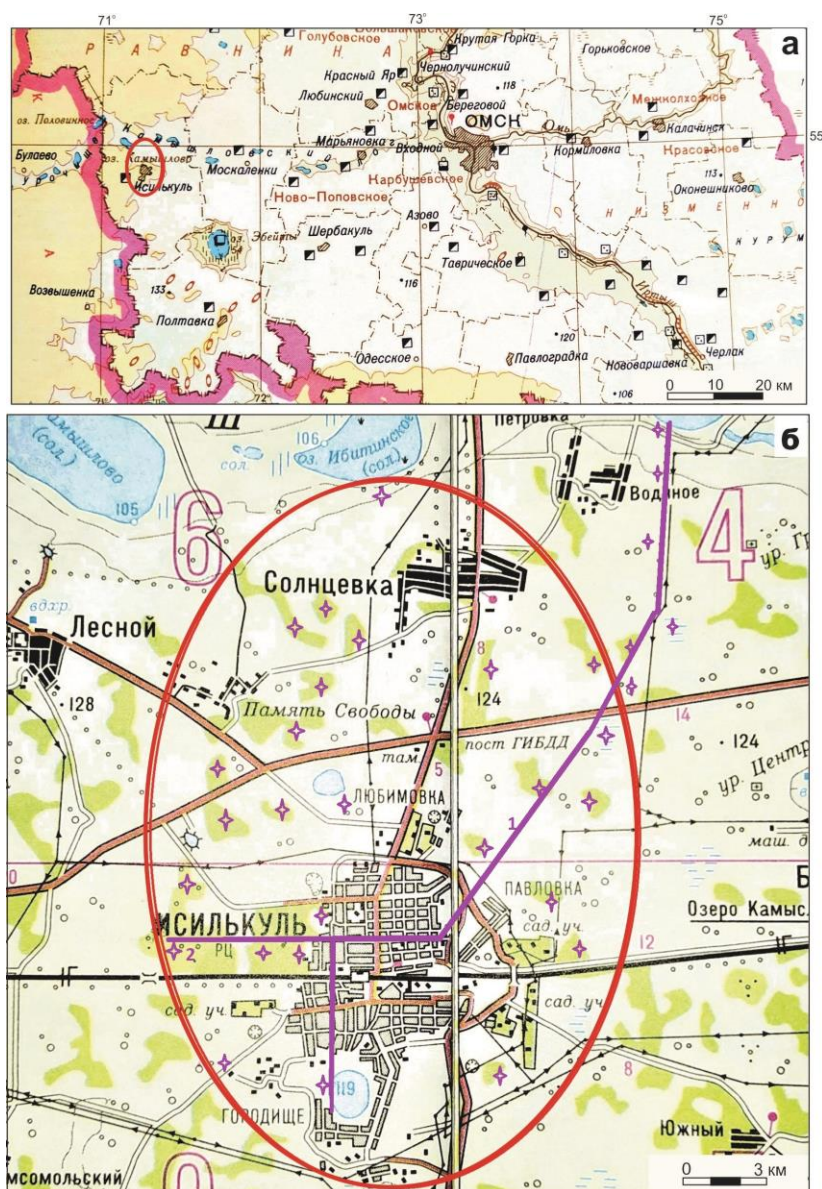


Рисунок 1. Положение района исследований (красный эллипс) на фрагменте карты полезных ископаемых Омской области [Атлас ..., 1999] (а) и на топографической обзорной карте региона [Атлас ..., 1999] (б).

1 – ландшафтный профиль Камышловский лог – озеро Городище, 2 – ландшафтный профиль Лесопитомник – бульвар Озерки, * - точки наблюдения.

Климат континентальный, со значительными сезонными и суточными перепадами температур. Среднегодовая температура составляет 1.3 °С. Среднегодовая скорость ветра - 3.7 м/сек. Роза ветров ориентирована в юго-западном направлении. Многолетняя норма годового количества осадков 373 мм. Сумма осадков за теплый период составляет 290 мм. Число дней с осадками за холодный период – около 60, за теплый – 86. Высота снежного покрова равна 25 см, а глубина промерзания почвы – 137 см. Невысокий снежный покров способствует глубокому промерзанию почвы и, как результат, ухудшению в ходе весеннего снеготаяния инфильтрации. Сведения об изменениях климата в регионе противоречивы. На фоне общих тенденций его аридизации отмечается, что рост среднегодовой температуры сопровождается увеличением количества выпадающих осадков [Гудинова и др., 2010]. За период с 2000 по 2020 год увеличение годовой суммы осадков по сравнению с предыдущим периодом составило около 80 мм или 25%.¹

Абсолютная отметка высоты центральной части застройки Исилькуля - 125 м. Геоморфологические условия территории отличаются плоским рельефом с суффозионно-просадочными понижениями блюдцеобразной формы с болотами, минерализованными и пресными озерами. Распространение

¹ http://www.pogodaiklimat.ru/history/28688_2.htm

подобных форм рельефа обусловлено строением геологического разреза. В верхней части он сложен отложениями Павлодарской свиты нижнего плейстоцена - слабопроницаемыми водоупорными пестрыми глинами с прослоями песков и линзами просадочных лессовидных суглинков. Для кровли водоупорных пластов характерна слабая волнистость, с многочисленными воронками. Условия залегания водоупорных пластов характеризуются восточным, юго-восточным азимутом падения, что затрудняет сток грунтовых вод в долину р. Иртыш. Территория Исилькульского района относится к бессточной области Ишимской равнины. В начале голоцена эту территорию дренировала р. Камышловка. На картах XVIII века она показана наряду с правым притоком Иртыша р. Омь. Развитие экстенсивного земледелия привело к интенсивному сносу в долину реки почвы и мелкозема, что стало причиной заиливания русла и переходу поверхностного стока в подземный. В юго-западной части города расположено пресное озеро Городище (высота уреза воды 119 м), в 1 км к северу – озеро Грязновское (высота уреза воды 123 м). По периметру города расположены многочисленные котлованы, образованные при добыче строительных материалов. Гидрологический режим бессточных лесостепных озер крайне изменчив. Многие из них засолены, имеют разную минерализацию (от 1554 мг/дм³ до 396 г/дм³). Уровни этих озер колеблются по сезонам и по годам. С наличием подземных вод, залегающих неглубоко от поверхности, также связано существование в котловинах лесостепи мигрирующих озер. Возникают они обычно после весеннего половодья или ливневых дождей, а затем некоторое время подпитываются подземными водами.

Зональными типами почв на Ишимской равнине являются черноземы обыкновенные карбонатные [Большаник, 2017]. В замкнутых понижениях распространение получают почвы солонцового типа, которых отличает высокая плотность, низкая пористость и слабая водопроницаемость. На сохранившихся целинных землях преобладают злаково-разнотравные, разнотравно-злаковые остепненные луга и луговые степи с разнотравно-типчаково-тырсово-красноковыльной и овсецовой растительностью [Большаник, 1996]. В березово-осиновых колках произрастают вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) коротконожка перистая (*Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv.), костер безостый (*Bromus inermis* Leyss.), мятлик узколистый (*Poa angustifolia* L.), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), чина луговая (*Lathyrus pratensis* L.). В западинах вокруг озер или болот распространение получают астра солончаковая (*Aster tripolium* L.), бескильница расставленная (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.), вейник незаметный (*C. neglecta* (Ehrh.) Gaertn., Mey. Et Scherb), камфоросма марсельская (*Camphorosma monspeliaca* L.), лисохвост солончаковый (*Alopecurus arundinaceus* Poir.), осоки дернистая (*Carex cespitosa* L.) и береговая (*C. riparia* Curtis); пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), сведа рожконосная (*Suaeda corniculata* (C.A. Mey.) Bunge), солерос травянистый (*Salicornia herbacea* L.), сосярея горькая (*Saussurea amara* (L.) DC), тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin.), ячмень короткоостистый (*Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link). В населенных пунктах региона древесно-кустарниковая растительность представлена как естественными зональными видами (береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и бородавчатая (*B. pendula* Roth), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), ивы козья (*Salix caprea* L.) и ломкая (*S. fragilis* L.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.) так и интродуцированные (тополь серебристый (*Populus alba* L.) и бальзамический (*P. balsamifera* L.), лох серебристый (*Elaeagnus argentea* Pursh). В нижнем ярусе растительного покрова нарушенных ландшафтов отмечается сокращение видового разнообразия злаков и осок. Структура ландшафтов района соответствует таковой в Ишимской степи (Рис. 2). В общем виде это плоско-западинные водоразделы и их склоны с древними ложбинами стока с злаково-разнотравными остепненными лугами на черноземах обыкновенных и березовыми разнотравно-злаковыми лесами на солодах по западинам. К северу от Исилькуля, в 8 км от окраины города, проходит древняя долина с многочисленными солеными, реже пресными озерами с галофитно-злаковыми лугами и вейниково-тростниковыми болотами на солончаках и лугово-болотных почвах.

Выбор методов исследования определялся спецификой решаемых задач и ландшафтными особенностями изучаемой территории. Прежде всего, это касается значительной трансформации природных ландшафтов в окрестностях города и необходимостью реконструкции экосистем на застроенной территории. Другой немаловажной методической задачей являлась разработка рекомендаций по локализации процессов, вызывающих подтопление урболандшафта. Использование традиционных ландшафтных методов и методик для решения поставленных задач оказалось неэффективным. Для этого потребовалось комбинировать полевые и камеральные методы ландшафтной экологии и охраны окружающей среды, которые включали:

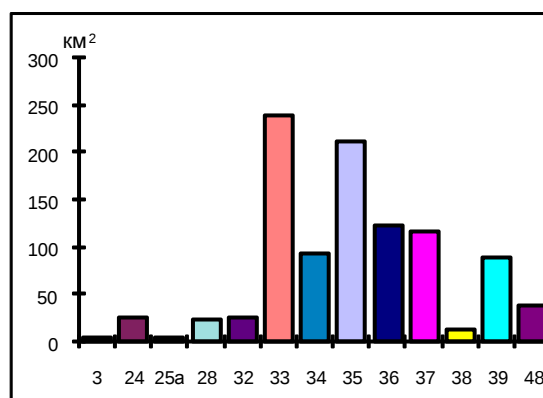


Рисунок 2. Распределение площадей, занятых различными ландшафтами в Ишимской равнине [Большаник, 1996].

Легенда к диаграмме:

3. Озера лесостепи соленые с минерализацией до 19 г/л, местами 30-50 г/л, хлоридные и хлоридно-сульфатные.

24. Наклонные плоскозападинные поверхности с березовыми и березово-осиновыми разнотравно-злаковыми лесами, остепненными разнотравно-злаковыми лугами и сельскохозяйственными землями на серых и темно-серых лесных почвах.

25a. Наклонные слабодренированные поверхности с разнотравно-злаковыми, типчаковыми лугами, парковыми березняками с фрагментами злаково-осоковых заболоченных ивняков среди луговых массивов на луговых засоленных в комплексе с солонцами, черноземно-луговых засоленных и лугово-болотных почвах.

28. Плоские поверхности с озерами, низинными заболоченными лугами, светлуховыми и тростниковыми займищами, мохово-травяными, тростниково-травяными болотами, иногда гипново-сфагновыми с березой и сосной, с болотами низинными торфяными почвами, лугово-болотными и луговыми засоленными почвами.

32. Плоскозападинные слабозалесённые поверхности с разнотравно-злаковыми, разнотравно-вейниковыми березовыми, березово-осиновыми лесами, осиновыми злаково-широколистными лесами, разнотравно-типчаковыми остепненными, осоково-листохвостными заболоченными лугами, мелкими осоковыми болотами на серых лесных, лугово-черноземных солонцеватых, солонцах луговых и лугово-болотных почвах.

33. Выровненные и гривные поверхности с богаторазнотравно-злаковыми и типчаковыми остепненными лугами, с фрагментами злаково-широколистных березово-осиновых лесов, сельскохозяйственными землями на черноземах выщелоченных, обыкновенных, обычных солонцеватых черноземно-луговых солонцеватых в комплексе с солонцами, темно-серых лесных почвах, солодах луговых.

34. Выровненные поверхности с разнотравно-вейниковыми и разнотравно-злаковыми березово-осиновыми и осиново-березовыми лесами, настоящими суходольными лугами, остепненными лугами на лугово-черноземных солонцеватых почвах, солодах и солодах луговых.

35. Мелкозападинные слабозаболоченные поверхности с разнотравно-вейниковыми и вейниково-осоковыми осиново-березовыми редколесьями, ивняками, осоково-разнотравными низинными лугами, галофитно-разнотравными лугами на солодах луговых, лугово-болотных, лугово-черноземных солонцеватых почвах, солонцах луговых.

36. Пологосклоновые поверхности с разнотравно-злаковыми березовыми редколесьями, вейниково-осоковыми березово-осиновыми лесами, осоково-разнотравными слабогалофитными закустаренными и лугами на солодах луговых, черноземно-луговых солонцеватых почвах, солонцах луговых и солончаках луговых.

37. Пониженные поверхности с тростниковыми, дернисто-осоково-тростниковыми и светлуховыми займищами, осоково-вейниковыми, лисохвостными, светлуховыми заболоченными лугами, иногда с озерами на лугово-болотных, болотных низинных торфянисто-глеевых почвах.

38. Приозерные заболоченные понижения у крупных соленых озёр с осоково-листохвостными заболоченными лугами, полынно-бескильничевыми, солянковыми лугами, светлуховыми болотами на болотных низинах торфянисто- и торфяно-глеевых почвах, солонцах луговых и солончаках луговых.

39. Плоскозападинные мозаичные поверхности с разнотравными осиново-березовыми лесами и колками, мертвопокровными осинниками, разнотравно-осоковыми заkochкаренными березняками, галофитно-злаковыми, полынно-типчаковыми лугами на лугово-черноземных солонцеватых, лугово-черноземных, лугово-болотных почвах, солодах луговых.

48. Выровненные поверхности с сельскохозяйственными землями на месте остепненных березово-осиновых лесов, разнотравно-типчаково-ковыльных степей, злаково-богаторазнотравных остепненных лугов на черноземах обыкновенных, лугово-черноземных солонцеватых почвах [Большаник, 1996].

1) рекогносцировочные маршруты с целью оценки ландшафтного разнообразия территории исследований;

2) дешифрирование космических снимков и топографических карт для обоснования размещения точек наблюдения и ландшафтных профилей²;

3) обследование и описание рельефа, водоемов, почв и растительности на участках, характеризующих доминирующие типы природных ландшафтов;

4) разбивка, обследование и описание природных и антропогенных комплексов по ландшафтным профилям, ориентированным в крест простираения элементарных ландшафтов и городской инфраструктуры;

5) изучение материалов статистической отчетности предприятий коммунального хозяйства Исилюля, балансовые расчеты сточных вод.

Всего в ходе исследований описано 30 точек наблюдения. Разбиты и обследованы два ландшафтных профиля 12 км (по линии Камышловский лог – озеро Городище) и 2 км (с запада на восток через Исилюль) [Большаник и Демешко, 2022]. Изучена естественная, интродуцированная и рудеральная растительность. Обследованы городские инженерные сети, пути стока поверхностных вод. В рамках камеральных работ проанализированы отчеты и картографические материалы Государственного исторического архива Омской области³; ландшафтная карта Омской области [Атлас ..., 1999]. При дешифрировании картографических материалов использовались карты Nokia, ESRI ArcGIS Nat.Geo.

РЕЗУЛЬТАТЫ

До начала строительства территория Исилюля представляла собой типичную для Ишимской степи уплощенную возвышенность изометричной формы с относительным превышением высоты над окружающей местностью 1-5 м. Пологие склоны возвышенности были заняты злаково-разнотравными остепненными лугами на карбонатных черноземах и солодах. Локально в западинах плоской вершины и в увлажненных понижениях рельефа по ее периферии мозаично произрастали колковые осиново-березовые леса, которые чередовались с небольшими озерами. Берега водоемов занимали тростниковые и вейнико-осоковые болота. Повышенная минерализация была характерна для вод бессточных озер и почв по их берегам.

В границах современной застройки и в пригородах Исилюля природные экосистемы полностью трансформированы. Почвенный покров замещен почвогрунтами, в минеральном составе которого преобладают суглинки и строительный мусор. Плодородный слой недоразвитый. Почвогрунты уплотнены, местами засолены (до 0.5-1%), весной и во время осадков обводнены. Свободные от построек участки по улицам и дворам заасфальтированы или выложены плиткой. Элементы озеленения представлены в центральной части города газонами и клумбами с привозными почвами и посадками культурных травянистых и цветковых растений. Древесная растительность в виде посадок деревьев лиственных реже хвойных пород произрастает по периметру городского парка и в окружении муниципальных зданий, а также незастроенных участков [Большаник и Усович, 2022]. В частном секторе процент естественного и искусственного озеленения еще более низкий в связи с плотной застройкой. Среди деревьев преобладают лиственные деревья и посадки плодовых деревьев. В пригородах и за их пределами находятся участки садовых товариществ, фруктовые сады, питомник растений, поля и

² SAS.Planet [Электронный ресурс]. URL: <https://sas-planet.ru> (дата обращения 11.02.2022).

³ Планы села Исилюль-Куль и переписка Исилюльского с/совета о постройке кирпичного завода. // ГИАОО, Ф. 1011, оп. 1, д. 34.

пастбища сельхоз предприятий, пустыри с неорганизованными свалками и пустоши на бросовых землях. По периметру вокруг города расположены озера, сухие и обводненные котловины, группировки деревьев и кустарников. Наряду с посадками овощных и зерновых культур, по обочинам дорог и на пустырях широко распространена рудеральная растительность, видовой состав которой определяется степенью увлажнения почв и грунтов. Вдоль дорог и обрабатываемых полей расположены лесозащитные полосы. Наибольшее распространение в растительном покрове окрестностей города имеют сообщества травянистых растений, испытывающих антропогенную сукцессию (выпас скота, весенние палы) и произрастающие на неорганизованных пастбищах бросовых земель. Вместе с травяным ярусом осиново-березовых колков они представляют собой резерват семенного фонда дикоросов Ишимской степи.

На территории Исилькуль преобладает коттеджная застройка с рассредоточенными по территории города многоэтажными объектами (жилые дома, учреждения иного назначения). Большинство объектов оснащено системой водоснабжения от группового водопровода, но система централизованного отведения хозяйственно-бытовых стоков имеется только в центре северной части города. Канализационная сеть состоит из самотечной и напорной части. Самотечная сеть оснащена дренажными железобетонными колодцами накопителями. Работу напорной сети обеспечивают 9 канализационные насосные станции (КНС). Сточные воды транспортируются до озера Грязновское, расположенного в 1.5 км от северной окраины города. Сброс сточных вод производится в напорном режиме без очистки. В частном секторе города население использует для отвода стоков выгребные ямы (септики), которые, как правило, не имеют противофильтрационных экранов. Опорожнение выгребов (септиков) производится с помощью спецавтотранспорта. Вывоз нечистот осуществляется ежедневно в объеме порядка 900 м³ с доставкой на прямой выпуск без очистки в озеро Грязновское.

Централизованная система дождевой канализации в городе отсутствует. Дождевые, талые, грунтовые воды собираются в кюветы и по ним стекают в естественные и искусственные водоемы (котлованы), а также в естественные понижения рельефа на территории города. В межсезонье избытки поверхностных вод частично перебрасываются с помощью мобильных помп из центра северной части города в южную часть и далее по прорытому каналу отводятся в озеро Городище. Частично поверхностные стоки естественным и принудительным путем по кюветам отводятся за пределы центральной части и аккумулируются в понижениях и кюветах объездных дорог города. Общая протяженность кюветов в Исилькуле около 300 км, однако, порядка 90 км требует ремонта и глубокой очистки, а порядка 24 км необходимо проложить заново. Так же во многих местах дороги отсутствуют или находятся в нерабочем состоянии перепускные трубы.

Выработавшая ресурс и технически несовершенная система водоотведения привела к ухудшению санитарно-экологической обстановки в городе:

а) хозяйственно-бытовые стоки:

- загрязнение оз. Грязновское;
- подтопление федеральной трассы Р254 Новосибирск-Челябинск, а также территорий вокруг озера Грязновское;
- критическое поднятие грунтовых вод в городе (затопление подвалов, улиц, территорий, приусадебных участков);

- загрязнение стоками грунтовых вод;

- риски возникновения очагов инфекционных заболеваний;

б) дождевые стоки:

- затопление территории города во время дождей и таяния снега;
- аккумуляция стока в низинах и кюветах, заболачивание и засоление территорий;
- в периоды половодья и осенних паводков происходит переполнение озера Городище, котлованов с затоплением обширных прилегающих территорий.

По данным балансодержателя существующих сетей канализации МУП «Тепловая компания» объем перекачанных стоков за 2019 год составил 103500 м³, вывезено спецавтотранспортом 328500 м³, то есть общий объем отведенных стоков составляет 1184 м³/сут. Расчетный объем стоков г. Исилькуль составляет 6900 м³/сут. Дефицит мощности системы водоотведения составляет порядка 5716 м³/сут.

Таким образом, причиной периодических подтоплений территории города наряду с возросшим количеством осадков, является ухудшение фильтрационных свойств почв и грунтов, недостаточные мощности и нарушение условий эксплуатации системы водоотведения. Предрасположенность лесостепных ландшафтов к вторичному засолению вместе с усилившимися колебаниями уровня грунто-

вых вод, их загрязнением неорганизованными стоками стали причиной избыточной минерализации городских почвогрунтов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Первоочередным мероприятием по созданию водно-растительного каркаса города должна стать реконструкция канализационных сетей. Для восполнения дефицита мощности системы водоотведения необходимо ввести в эксплуатацию дополнительные насосные станции, увеличить количество колодцев накопителей стоков, увеличить диаметр труб и площадь сечения кюветов. В итоге реконструированная система внутригородских сетей канализации представляется в следующем виде:

- канализационные насосные станции (КНС) общим количеством 11 шт. (северная часть – 5 шт., южная часть - 6 шт.);
- самотечные сети диаметрами условного прохода 136–450 мм, общей протяженностью - 33 км;
- устройство на самотечной сети полиэтиленовых колодцев, количеством - 730 шт.;
- напорные сети от КНС в две нитки (Ø90-160 мм) с сопутствующими сооружениями (ревизионные колодцы) - 8,4 км.

Состав внешнегородских сетей канализации:

- главные канализационные насосные станции (ГКНС) в количестве 3 шт.;
- напорные сети в две нитки (Ø280-450) с устройством сопутствующих сооружений на сети (камеры переключения, ревизионные и водобойные колодцы, береговой незатапливаемый сброс) – 12,5 км;
- очистные сооружения общей производительностью 6900 м³/сут.

Состав внутригородской системы дождевой канализации:

- существующая, а также вновь сооружаемая система кюветов с перепускными трубами - 324 км (300 км - существующие, 24 км - вновь сооружаемые);
- система самотечных ж/б лотков с установленными на них песколовками - 17,8 км;
- закрытая система самотечных трубопроводов с установленными на сеть железобетонными колодцами - 31,6 км;
- железобетонные колодцы - 630 шт.;
- канализационные насосные станции - 6 шт.;
- напорные сети в две нитки (Ø280-400) с устройством сопутствующих сооружений на сети (ревизионные, водобойные колодцы) - 8,7 км.

Состав внешнегородской системы дождевой канализации:

- главные канализационные насосные станции (ГКНС) в количестве 2 шт.;
- напорные сети в две нитки (Ø500-710 мм) с устройством сопутствующих сооружений на сети (камеры переключения, ревизионные, водосборные колодцы, береговой не затапливаемый сброс) 12,3 км;
- локальные очистные сооружения общей производительностью 25920 м³/сут.

Основной объем дождевых и талых вод будет отводиться по кюветам через водопропускные трубы к железобетонным закрытым лоткам. Лотки будут оборудованы колодцами-песколовками для улавливания и осаждения твердых частиц во избежание попадания их в закрытую трубопроводную сеть.



Рисунок 3. Планируемые направления переброски сточных вод:

1 – в озеро Грязновское, 2 – в Камышловский лог, 3 – в суффозионно-просадочные западины на северо-востоке города, 4 – в озеро Городище, 5 – суффозионно-просадочные западины.

Приоритетные участки для проведения мероприятий по водоотведению (Рис. 3):

1. Южная часть города, окрестности озера Городище. Водоем является базисом эрозии для южной и частично центральной части города. Его переполнение создает чрезвычайную ситуацию для половины населения Иксилькуля. Очистка и углубление дна будет способствовать понижению уровня грунтовых вод.

2. Водоотводы под железной дорогой в западной части города. Их очистка позволит направить поверхностный сток с северной части города, для которой железная дорога выступает в качестве барьера, нарушающего сток воды.

3. Дренажный канал из северной части города в Камышловский лог. Перепад высот между центральной частью города и дном лога составляет около 26 метров (от 131 до 105 м), что позволит сбрасывать излишки грунтовой воды из северной части города.

4. Южные районы города, занятые частным сектором с садово-огородными участками. Здесь необходимо рекомендовать использование для полива огородов и садов грунтовых вод, что позволит сократить использование питьевой воды для хозяйственных нужд.

Ожидаемый результат реконструкции системы водоотведения: понижение уровня грунтовых вод и снижения рисков затопления территории; усиление дренажа почвогрунтов и снижение концентрации растворимых солей; улучшение санитарно-эпидемиологической обстановки в городе.

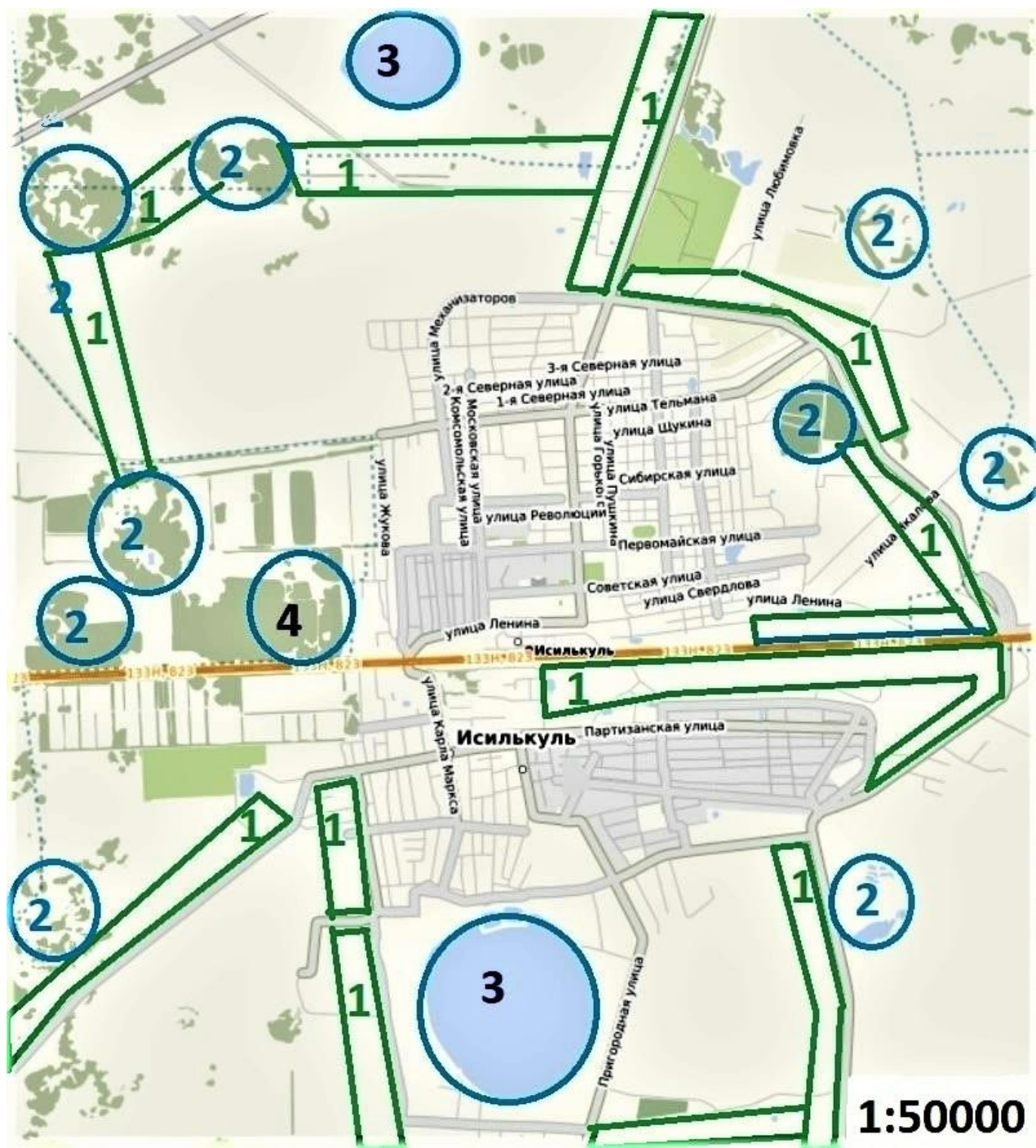


Рисунок 4. Расположение массивов березово-осиновых лесов в составе планируемого водно-растительного каркаса Иксилькуль:

1 – лесополосы вдоль транспортных магистралей, 2- суффозионно-просадочные западины с березовыми колками или луговой растительностью, 3 – озера, 4 - лесопитомник.

Растительную составляющую ВРГК образуют внутригородские зеленые насаждения с природными и искусственными лесными экосистемами, которые расположены за пределами городской черты. Возможности внутригородского озеленения ограничены существующим и перспективным планом застройки города. Подходящей территорией для посадки деревьев и крупных кустарников являются открытые участки между улицами Ленина и Первомайской в северной половине города, а также пустыри вдоль железной дороги. Для этого необходимо согласование планов и мероприятий озеленения с землепользователями, участие в работе ландшафтного дизайнера. Увеличение плотности и качества зеленых насаждений в городе благоприятно скажется на микроклимате, снизит уровень запыленности воздуха и шумового воздействия транспорта.

Лесопарковые и лесозащитные посадки [О мелиорации..., 2015] городов организуются за пределами зон перспективной застройки населенного пункта, отличаются по конфигурации и видовому составу растений. Для рекреационных целей считается достаточной норма 50 м² лесных насаждений на человека при численности жителей города менее 100 тысяч. При этом лесные насаждения зеленой зоны вокруг районных центров могут находиться до 10 км от границ города. Однако эти нормы недостаточны, так как не учитывают условия воспроизводства лесов на границе лесостепи.

По конфигурации лесопосадки могут образовывать кольца, полукольца, клинья, быть прерывистыми или образовывать сплошную полосу. Реконструкция дозастроечных ландшафтов территории, анализ транспортной инфраструктуры позволили предложить для Исылькуля секторальную структуру лесных насаждений, в которой внутренними границами секций выступают лесозащитные полосы автомобильных и железнодорожных дорог. Лесопарки в форме полос и полуколец шириной 300-600 м планируется заложить в понижениях рельефа на удалении 1-2 км от границ существующей застройки (Рис. 4). В предлагаемом варианте лесные насаждения займут площадь около 6 км², что составит 260 м² на 1 жителя Исылькуля или 1/2.5 при сопоставлении площадей леса и городской застройки.

Через территорию города пройдет широтная полоса зеленой зоны в районе улиц Ленина, Советская и Первомайская. Она свяжет имеющиеся скверы и зеленые спортивные площадки с зелеными рекреационными зонами улицы Ермолаева. Таким образом образуется широтный растительный коридор, связывающий водно-растительный каркас через центральную территорию города.

Благоприятные места для посадок в современном ландшафте маркируются остаточными берегово-осиновыми лесами, озерами или болотами. Чаще всего это бросовые земли, которые не относятся к сельскохозяйственным угодьям. По существу, предлагается провести лесовосстановительные работы и сформировать типичные для природной зоны островные мелколиственные леса заданной конфигурации. При этом дорожные лесополосы (зеленые коридоры) кроме защиты почв от ветровой эрозии должны упрочить экологическое единство островных лесных экосистем. Обследованные крупные лесные массивы на западе и северо-западе района отличаются сохранностью коренной флоры и могут быть использованы для сбора семян дикоросов и отбора саженцев. Результаты изучения естественной и интродуцированной флоры позволили дифференцировать видовой состав будущих посадок растений по оптимальным условиям произрастания и расширить перечень видов, предлагаемых к озеленению (Таблица 1-3).

Таблица 1. Список растений, устойчивых к засолению и рекомендуемых для озеленения на исследуемом участке

Галофиты (устойчивые к засолению)	Растения, улучшающие химический состав почв
Тамарикс (<i>Tamarix</i> L.)	<i>Сидераты</i>
Очиток (<i>Sedum</i> L.) (разные сорта)	Люцерна (<i>Medicago</i> L.)
Молочай многоцветный (<i>Euphorbia lingulata</i> Heuff)	Лилейник (<i>Heimerocallis</i> L.)
Лох серебристый (<i>Elaeagnus argentea</i> Pursh)	Солодка уральская (<i>Glycyrrhiza uralensis</i> L.)
Кермек Гмелина (<i>Limonium gmelinii</i> (Willd.) Kuntze	
Манжетка мягкая (<i>Alchemilla mollis</i> (Buser) Rothm)	<i>Мелиоранты</i>
Кохия (<i>Kochia</i> Roth)	Можжевельник казацкий (<i>Juniperus sabina</i> L.)

Галофиты (устойчивые к засолению)	Растения, улучшающие химический состав почв
Овсяница аметистовая (<i>Festuca amethystina</i> L.)	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)
Аквилегия канадская (<i>Aquilegia canadensis</i> L.)	Ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ledeb.)

Таблица 2. Список растений, устойчивых к переувлажнению и рекомендуемых для озеленения на исследуемом участке

Деревья	Кустарники	Травы
Ива ломкая (<i>Salix fragilis</i> L.)	Смородина черная (<i>Ribes nigrum</i> L.)	Лабазник вязолистный (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim) (культурные сорта)
Ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ledeb.)	Смородина красная (<i>Ribes rubrum</i> L.)	Калужница болотная (<i>Caltha palustris</i> L.)
Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i> Mill.)	Спирея (<i>Spiraea</i> L.) (разные виды)	Бузульник зубчатый (<i>Ligularia dentata</i> (A. Gray) Hara)
	Калина красная (<i>Viburnum opulus</i> L.)	Молочай болотный (<i>Euphorbia palustris</i> L.)
		Вербейник (<i>Lysimachia</i> L.)
		Аир болотный (<i>Acorus calamus</i> L.)
		Ирис сибирский (<i>Iris sibirica</i> L.)
		Лилейник (<i>Heimerocallis</i> L.) (культурные сорта)
		Аквилегия (водосбор) (<i>Aquilegia vulgaris</i> L.) (культурные сорта)
		Люцерна (<i>Medicago</i> L.)
		Манжетка (<i>Alchemilla</i> L.)

Таблица 3. Список растений, рекомендуемых для озеленения на исследуемом участке в зависимости от отношений к освещенности

Светолюбивые	Теневыносливые
Тамарикс (<i>Tamarix</i> L.)	Смородина черная (<i>Ribes nigrum</i> L.)
Можжевельник виргинский (<i>Juniperus virginiana</i> Hetz)	Ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ledeb.)
Лиственница европейская (<i>Larix decidua</i> Mill.)	Лилейник (<i>Heimerocallis</i> L.)
Береза пушистая (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.)	Ирис (<i>Iris</i> L.)
Ива ломкая (<i>Salix fragilis</i> L.)	Барбарис (<i>Berberis</i> L.)
Очиток (<i>Sedum</i> L.) (разные сорта)	Боярышник (<i>Crataegus</i> L.)
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	Сирень (<i>Syringa</i> L.)
Девичий виноград пятилисточковый (<i>Parthenocissus quinquefolia</i> L. Planch)	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)
Тополь итальянский (<i>Populus italica</i> (Du Roi) Moench)	Бузульник зубчатый (<i>Ligularia dentata</i> (A. Gray) Hara)
Спирея (<i>Spiraea</i> L.) (разные сорта)	
Можжевельник казацкий (<i>Juniperus sabina</i> L.)	
Люцерна (<i>Medicago</i> L.)	

Светолюбивые
Лилейник (<i>Heimerocallis</i> L.)
Манжетка мягкая (<i>Alchemilla mollis</i> (Buser) Rothm)
Молочай многоцветный (<i>Euphorbia lingulata</i> Heuff)
Аквилегия канадская (<i>Aquilegia canadensis</i> L.)
Кермек Гмелина (<i>Limonium gmelinii</i> (Willd.) Kuntze)
Лох серебристый (<i>Elaeagnus argentea</i> Pursh)

Кроме сбора и посадки в зеленой зоне дикорастущих растений предлагается частичное пере-профилирование существующего в Исилькуле питомника плодовых деревьев (Исилькульской семеноводческой станции).

Факторы, затрудняющие проведение работ по озеленению территории города:

1) *Засоление территории.* Для проведения работ по озеленению необходимо провести химическую мелиорацию, путем внесения в почву гипса из расчета 1 кг на 1м² земли. А также использовать виды и роды растения, устойчивые к засолению почвы или способствующие рассолению (См. таблицу 1).

2) *Переувлажнение территории.* Для проведения работ по озеленению необходимо провести понижение уровня грунтовых вод. А также использовать растения, устойчивые к переувлажнению (См. таблицу 2).

3) *Различная интенсивность солнечной инсоляции.* Для выбора растений для озеленения, необходимо учитывать и отношение их к интенсивности освещения (См. таблицу 3).

ВЫВОДЫ

Основным ландшафтом, который регулирует водный и солевой обмен на территории и способствующий устойчивости территории в целом являются березовые колки расположенные в суффузионно-просадочных западинах. Данный вид ландшафтов имеет высокую экологическую ценность и требует разработки мероприятий по сохранению их в составе водно-растительного каркаса при планировании благоустройства города.

В водно-растительной городской каркас войдут озера, естественные и искусственные ложбины стока, дренажные каналы, суффузионные западины, а также все территории, занятые растительностью (Рис. 3-4). При проведении работ по преобразованию городской среды необходимо учитывать особенности функционирования и развития естественных ландшафтов территории. Так, ландшафты суффузионно-просадочных понижений, играют роль регулятора поверхностного стока и перевода его в подземный сток. Данную функцию они должны выполнять и в запланированном водно-растительном городском каркасе.

Реализация программы по созданию водно-зеленого каркаса города окажет положительное воздействие на окружающую среду и комфорт:

- понизит уровень грунтовых вод;
- осушит территорию города Исилькуль и прилегающих окрестностей;
- ликвидирует поступление сточных вод в озера Грязновское, Городище;
- значительно увеличит комфорт проживания жителей города, что поспособствует притоку населения в город Исилькуль и Исилькульский район в целом.

Подача очищенной воды в озера Камышлово, Соленое, Кривое увеличит площадь водного зеркала данных водоемов, что позволит увеличить производство рыбоводческой продукции. Понижение уровня грунтовых вод, а также отказ от выгребной системы канализации даст возможность экономии денежных средств, выделяемых на вывоз стоков ассенизаторскими машинами, ежегодную борьбу с паводками, ежегодный ремонт подтопленных зданий и сооружений.

Разработанный водно-растительный каркас лег в основу совместного проекта Администрация Исилькульского городского поселения и Омского центра городской среды. Разработчиками проекта выступал консорциум «Архитектурное бюро ТЕПЛО (СПб) + Партнерство ГОРОДРЕШАЕТ.РФ

(Омск)». Пилотным проектом преобразования городской среды является центральная часть г. Иси́ль-куля «Бульвар «Озерки»: возвращение сердца города» (от ул. Первомайской до ул. Ленина).

Данный проект победил во Всероссийском конкурсе малых городов Министерства строительства РФ и будет реализован в 2023 году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Atlas of the Omsk region*. 1999. Federal Geodesic and Cartographic Service of Russia, Moscow, 56 pp. (in Russian) [Атлас Омской области. 1999. Москва: Федеральная служба геодезии и картографии России. 56 с.]
- Berezin L.V. 2009. Potential resources of marginal soils. In: *Problems of rational use of marginal lands*. (L.V. Berezin, K.S. Baikov, eds.), pp. 7-15, RASKhN, Sib. otd-nie SibNIISKh, Omsk. (in Russian) [Березин Л.В. 2009. Потенциальные ресурсы малоплодородных почв. В книге: Проблемы рационального использования малоплодородных земель / Под ред. Л.В. Березина, К.С. Байкова. Омск: РАСХН. Сиб. отд-ние СибНИИСКХ. С. 7-15]
- Bogdanov I.I. 2018. *Geoecology with the basics of biogeography and landscape nature management: a textbook*. (I.I. Bogdanov, ed.), Izdatel'stvo OmGPU, Omsk, 334 pp. URL: <https://www.iprbookshop.ru/105283.html> (Last accessed 20.04.2023). (in Russian) [Богданов И.И. 2018. Геоэкология с основами биogeографии и ландшафтного природопользования: учебное пособие (Под ред. Богданова И.И.) Омск: Издательство ОмГПУ. 334 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/105283.html> (дата обращения: 20.04.2023)]
- Bol'shanik P.V. 2017. *Geoecological problems of transformation of the relief of urbanized territories (on the example of the cities of Western Siberia)*. INFRA-M, Moscow, 243 pp. (in Russian) [Большаник П.В. 2017. Геоэкологические проблемы трансформации рельефа урбанизированных территорий (на примере городов Западной Сибири). Москва: ИНФРА-М. 243 с.]
- Bol'shanik P.V. 1996. *Landscape support for solving environmental problems of the Omsk Irtysh region*. Abstract dis. cand. geographical sciences. Tomsk, 25 pp. (in Russian) [Большаник П.В. 1996. Ландшафтное обеспечение решения природоохран-ных проблем Омского Прииртышья: автореф. дис. кан. геогр. наук. Томск. 25 с.]
- Bol'shanik P.V., Demeshko V.N. 2022. Reconstruction of the landscape structure of the territory now occupied by the city of Isilkul. *Natsional'nye priority Rossii*, 3(46): 79-84. (in Russian) [Большаник П.В., Демешко В.Н. 2022. Реконструкция ландшафтной структуры территории, ныне занимаемой городом Исилькулем // Национальные приоритеты России. № 3 (46). С. 79-84]
- Bol'shanik P.V., Usovich B.V. 2022. Cartographic Analysis of Geoecological Problems of Transformation of the Surface Runoff of Rivers of the Ishim Plain. In: *Ekologiya i prirodopol'zovanie. Sbornik statei po materialam II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, pp. 43-49, Krasnodar. (in Russian) [Большаник П.В., Усович Б.В. 2022. Картографический анализ геоэкологических проблем трансформации поверхностного стока рек Ишимской равнины // Экология и природопользование. Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции. Краснодар. С. 43-49]
- Valitov R.G. 2008. *Principles of hydroecological zoning of the territory of the city of Omsk*, (R.G. Valitov, F.I. Novikov, eds.). ORO RGO, Omsk, 58 pp. (in Russian) [Валитов Р.Г. 2008. Принципы гидроэкологического зонирования территории города Омска / Под ред. Р.Г. Валитова, Ф.И. Новикова. Омск: ОРО РГО. 58 с.]
- Vladimirov V.V. 1980. Relevance of the background of ecological programming in regional planning. *Questions of geography*, 113: 109-117. (in Russian) [Владимиров В.В. 1980. Актуальность предпосылки экологического программирования в районной планировке // Вопросы географии. № 113. С. 109-117]
- Vladimirov V.V. 1986. *City and landscape*. (V.V. Vladimirov, E.M. Mikulina, Z.N. Yargina, eds.), Moscow: Mysl', 238 pp. (in Russian) [Владимиров В.В. 1986. Город и ландшафт / Под ред. В.В. Владимирова, Е.М. Микულიной, З.Н. Яргиной. Москва: Мысль. 238 с.]
- Geology of the USSR*. Vol. 14: *Western Siberia. Altai Territory, Kemerovo, Novosibirsk, Omsk, Tomsk regions*. Part 1: Geological description. Book 1-2. Nedra, Moscow, 1982. (in Russian) [Геология СССР. Т.14: Западная Сибирь. Алтайский край, Кемерово, Новосибирская, Омская, Томская обл. Ч.1: Геологическое описание. Кн.1-2. М.: Недра, 1982.]
- Georgitsa I.M. 2011. The specifics of the urban ecological framework. *Yaroslavskii pedagogicheskii vestnik*, 2(1): 133-136. (in Russian) [Георгица И.М. 2011. Специфика городского экологического каркаса // Ярославский педагогический вестник. №2. Т. 1. С. 133-136]
- Inozemtsev A.S. (ed.). 1994. *Hydrology, land reclamation and hydraulic engineering: collection of scientific papers*. Omsk State Agrarian University, Omsk, 61 pp. (in Russian) [Иноземцев А.С. (ред.). 1994. Гидрология, мелиорация и гидротехника. Омск: Ом. гос. агр. ун-т., 61 с.]
- Gudinova Zh.V., Akimova I.S., Klochikhina A.V. 2010. Climate change and hygienic assessment of weather conditions in Omsk and the Omsk region. *Gigiena i sanitariya*, 6: 18-20. (in Russian) [Гудинова Ж.В., Акимова И.С., Клочихина А.В. 2010. Изменение климата и гигиеническая оценка метеоусловий в Омске и в Омской области // Гигиена и санитария. № 6. С. 18-20]
- Report on the environmental situation in the Omsk region for 2015*. 2016. Izhevsk: OOO "Print-2". Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii Omskoi oblasti, 300 pp. (in Russian) [Доклад об экологической ситуации в Омской области за 2015 год. 2016. Ижевск: ОО "Принт-2". Министерство природных ресурсов и экологии Омской области. 300 с.]
- Klimanova O.A., Kolbovskii E.Yu., Illarionova O.A. 2018. Ecological Framework of the Largest Cities of the Russian Federation: Modern Structure, Territorial Planning and Development Problems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 63(2): 127-146. (in Russian) [Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. 2018. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. Т. 63. Вып. 2. С. 127-146.] <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2018.201>
- Kolbovskii E.Yu. 2006. *Landscape science*, (E.Yu. Kolbovskii, ed.). Moscow: Akademiya, 480 pp. (in Russian) [Колбовский Е. Ю. 2006. Ландшафтоведение (Под ред. Е. Ю. Колбовского). Москва: Академия. 480 с.]

- Kolbovskii E.Yu. 2008. *Landscape planning*, (E.Yu. Kolbovskii, ed.). Moscow: Akademiya, 348 pp. (in Russian) [Колбовский Е.Ю. 2008. Ландшафтное планирование (Под ред. Е.Ю. Колбовского). Москва: Академия. 348 с.]
- Kuleshova M.E. 1999. Ecological frameworks. *Okhrana dikoi prirody*, 3: 25-30. (in Russian) [Кулешова М.Е. 1999. Экологические каркасы // Охрана дикой природы. № 3. С. 25-30]
- Mishchenko L.N. 2009. Features of the soils of the arable layer of the Omsk region and their anthropogenic evolution. In: *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya maloplodородnykh zemel': materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (g.Omsk, 28-29 aprelya 2009 g.)*, (L.N. Mishchenko, Yu.A. Azarenko, eds.), pp. 37-41, RASKhN. Sib. otd-nie SibNIISKh, Omsk. (in Russian) [Мищенко Л.Н. 2009. Особенности почв пахотного слоя Омской области и их антропогенная эволюция // Проблемы рационального использования малоплодородных земель: материалы Международной научно-практической конференции (г.Омск, 28-29 апреля 2009 г.) / Под ред. Л.Н. Мищенко, Ю.А. Азаренко. Омск: РАСХН. Сиб. отд-ние СибНИИСХ. С. 37-41]
- About land reclamation. Federal'nyi zakon ot 10.01.1994 No. 4-FZ: po sostoyaniyu na 31.12.2014 (in Russian) [О мелиорации земель. Федеральный закон от 10 января 1994 г. № 4-ФЗ: по состоянию на 31 декабря 2014 г.]
- Podoinitsyna D.S. 2016. Critical analysis of the Green Infrastructure concept. *Architecture and Modern Information Technologies*, 1(34): 12. (in Russian) [Подойницына Д.С. 2016. Критический анализ концепции «Зеленая инфраструктура» // Architecture and Modern Information Technologies. №1(34). С. 12]
- Runova T.T. 2016. *Territorial organization of nature management*, (T.T. Runova, K.N. Volkova, T.T. Nefedova, eds.). Nauka, Moscow, 208 pp. (in Russian) [Рунова Т.Т. 2016. Территориальная организация природопользования / Под ред. Т.Т. Руновой, К.Н. Волковой, Т.Т. Нефедовой. М.: Наука. 208 с.]
- Semenov-Tyan-Shanskii P.P. 1946. *Journey to the Tien Shan in 1856-1857. Memoirs*. Vol. 2, OGIZ, Moscow. (in Russian) [Семенов-Тянь-Шанский П.П. 1946. Путешествие в Тянь-Шань в 1856-1857 годах. Мемуары. Том второй. Москва: ОГИЗ]
- Targaeva E.E. 2022. *Peculiarities of formation of the model of the ecological frame of the industrial city of the resource region (on the example of the cities of Novokuznetsk and Prokopyevsk)*: the dissertation of the candidate of geographical sciences, Novokuznetsk, 180 pp. (in Russian) [Таргаева Е.Е. 2022. Особенности формирования модели экологического каркаса индустриального города ресурсного региона (на примере городов Новокузнецка и Прокопьевска): дисс. канд. геогр. наук Новокузнецк. 180 с.]
- Tukmanova Z.G. 2012. Comprehensive formation of water-green systems of the city. *News KSUAE*, 1(19): 38-45. [Тукманова З.Г. 2012. Комплексное формирование водно-зеленых систем города // Известия КГАСУ. № 1 (19). С. 38-45]
- Fedoseeva Yu.E. 2021. Determination of soil salinity in the Omsk region. *RATIO ET NATURA*, 1(3). (in Russian) [Федосеева Ю.Е. 2021. Определение засоленности почв Омской области // RATIO ET NATURA. № 1(3)]
- Khorechko I.V., Veselova M.N., Chudopalova D.A. 2016. Expert assessment of the state of use of agrolandscapes in the Isilkulsky district of the Omsk region. *Vestnik OmGAU*, 3(23):141-146. (in Russian) [Хоречко И.В., Веселова М.Н., Чудопалова Д.А. 2016. Экспертная оценка состояния использования агроландшафтов Исилькульского района Омской области // Вестник ОмГАУ. № 3 (23). С. 141-146]
- Baro F., Chaparro L., Gomez-Baggethun E., Langemeyer J., Nowak D. J., Terradas J., 2014. Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona, *Spain*, 43 (4): 466-479. (in Russian)
- Green infrastructure. An integrated approach to land use. Position Statement*, 2013. URL: <http://www.landscapeinstitute.org/policy/GreenInfrastructure.php> Last accessed 14.09.2022.

Поступила в редакцию: 04.09.22
Переработанный вариант: 19.05.23

ANNUAL GROWTH AND PRIMARY PRODUCTION OF SPHAGNUM IN RAISED BOG MUKHRINO (FOUR-YEAR OBSERVATIONS: 2019-2022)

Filippova N.V.¹, Kosykh N.P.², Filippov I.V.¹, Niyazova A.V.¹

¹ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск

filippova.courlee.nina@gmail.com

Citation: Filippova N.V., Kosykh N.P., Filippov I.V., Niyazova A.V. 2023. Annual growth and primary production of sphagnum in raised bog Mukhrino (four-year observations: 2019-2022). *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 14(1): 21-37.

DOI: 10.18822/edgcc472141

Supplement (дополнительные материалы): <https://edgccjournal.org/EDGCC/article/view/472141>

Изучение динамики линейного прироста и первичной продукции сфагновых мхов актуально в свете той роли, которую они играют в динамике углерода и его консервации в виде торфяной залежи. В глобальном масштабе, определены значения этих параметров для разных видов сфагновых мхов и в связи с разными абиотическими факторами. Однако, до сих пор остается недостаток в данных на территории Западной Сибири. Особенно важны данные многолетнего мониторинга, на основе которых можно говорить о многолетней динамике. В настоящем исследовании использовался метод относительных меток (индивидуальные кольца и «ершики») для определения годовичного прироста и продуктивности 8 видов сфагнума на верховом болоте в зоне средней тайги Западной Сибири. Наблюдения продолжались в течении 4 вегетационных сезонов. Всего сделано 1574 измерения линейного прироста и 200 измерений первичной продукции. Множественный дисперсионный анализ показал влияние нескольких факторов на значения линейного прироста: видовая принадлежность, год, местообитание и уровень болотных вод. Линейный прирост сфагновых мхов варьировал от 1,6 до 3 (в среднем между видами 2,1), далее по видам: S. divum (1,6 см в год), S. fuscum (1,7), S. capillifolium (1,7), S. papillosum (1,9), S. jensenii (2,7), S. angustifolium (3), S. majus (4,5 см в год). Годовая первичная продукция колебалась от 1,2 до 3,7 (в среднем 2,3) г/дм²: S. divum (1,2 г/дм² в год), S. papillosum (2,1), S. fuscum (2,1), S. jensenii (2,2), S. angustifolium (2,2), S. balticum (2,3), S. capillifolium (2,5), S. majus (3,7 г/дм² в год). Эксперимент с повышением температуры на 1,5 градуса не показал значимых изменений в линейном приросте S. balticum. Данные измерений прироста и первичной продукции представлены в виде общедоступного набора данных в депозитории GBIF.

Ключевые слова: продуктивность, первичная продукция, торфяное болото, торф, цикл углерода, Западная Сибирь

The linear growth and primary production of Sphagnum is an important parameter for estimation of carbon balance of peatland ecosystems, given large areas these landscapes cover in the Western Siberia. Sphagnum represents the largest pull of biomass in raised bogs, which in anoxic conditions becomes peat, storing the preserved sources of carbon. Primary production estimates of different Sphagnum species are well studied globally, different authors studied many parameters of growth and production in natural and experimental conditions. The main parameters defining the growth and primary production are: the species biology, humidity, nutrient balance and photosynthetic radiation. Regional monitoring of carbon balance requires local estimates of Sphagnum linear growth and production, registered for specific regional species for a number of years, covering temporal and spatial dynamics. This was the scope of the monitoring program, initiated in Mukhrino field station of Yugra State University in middle taiga zone of Western Siberia 4 years ago.

To cover biological, spatial and temporal variability of Sphagnum linear growth and productivity, a series of permanent plots was established in Mukhrino field station in October 2018. The plots were located along the boardwalks of the station to protect the surface of peatland during permanent monitoring. Eight species of Sphagnum were chosen, each species was measured in 2-3 plots to cover spatial variation, totaling in 27 plots. Each plot contains about 20 markers established to measure growth of a particular species in an exact location. Two types of markers were used for upright-growing ("wire brush") and side-growing ("individual ring") species of Sphagnum. The markers were attached at the end of vegetation season (October) and were measured a year after (the exact dates of measurements were 09.10.2019, 17.10.2020, 09.10.2021 u 13.09.2022). Additionally, a sample of Sphagnum carpet 1 dm³ was extracted from each plot on the date of measurements for estimation of Sphagnum productivity (to calculate

the dry weight of 1-cm shoots per 1 dm², which is then multiplied by a mean annual increment on this plot). To estimate the parameters of linear growth and production, we measured the water level below the surface and described vegetation composition on each plot. Part of plots were established under experimental warming conditions using Open Top Chambers which raised temperature on 1.5 °C on average. Climatic parameters were measured using an automatic weather station in the near proximity to the plots.

Totally 1574 measurements of *Sphagnum* linear growth increment and 200 estimates of *Sphagnum* primary production were made during the four-years period. The collected data were organized in a dataset using Darwin Core standard and published through Global Biodiversity Information Facility to be Findable, Accessible, Interoperable and Reusable by any researcher or project in this discipline. The analytical tools (R scripts) which were applied for the analyses of these data were published in GitHub and could be accessed and reproduced. Additionally, we made a literature database to integrate data of *Sphagnum* linear growth from published sources and compare our data with the previous results.

The following results were estimated during the study. The linear growth increment of eight species of *Sphagnum* varied from 1.6 to 3 (mean between species 2.1) cm per year. The species in ascending order of annual growth: *S. divum* (1.6 cm per year), *S. fuscum* (1.7), *S. capillifolium* (1.7), *S. papillosum* (1.9), *S. jensenii* (2.7), *S. angustifolium* (3), *S. majus* (4.5 cm per year). The annual primary production varied from 1.2 to 3.7 (mean between species 2.3) g/dm². The species in ascending order of annual primary production: *S. divum* (1.2 g/dm² per year), *S. papillosum* (2.1), *S. fuscum* (2.1), *S. jensenii* (2.2), *S. angustifolium* (2.2), *S. balticum* (2.3), *S. capillifolium* (2.5), *S. majus* (3.7). There are statistically significant differences in annual growth increments and primary production between some species, while others are the same. The specific year has significant influence on growth increment and primary production on average for *Sphagnum* species, but different species have positive or negative impact. There is statistically significant correlation between bog water level and growth increment for four species: two species with positive impact and two species with negative impact. When averaged for two habitats (treed bogs and *Sphagnum* lawns), the annual growth increments statistically differ, while the primary production is the same. There wasn't statistical effect of raised temperature (Open Top Chambers) on *Sphagnum* linear growth.

We used literature data to compare our estimates of linear growth increment and primary production with other studies. The statistical analysis proved some difference for three species, but in general our data confirm the global trends.

The following conclusions could be used in modelling of carbon stock in regional models of raised bog ecosystems: 1) there is statistical difference between mean growth increment and primary production of different species of *Sphagnum*; 2) the specific year weather parameters influence growth and production, based on interannual variation; 3) the averaged linear growth estimates of two habitats (treed bogs and *Sphagnum* lawns) differ significantly, but there wasn't statistical difference for primary production between habitats; 4) the linear growth of some species could be influenced by water level, negatively or positively for different species; 5) the mean estimates of species-specific linear growth increment and primary production coincide with literature-based information and could be used in modelling of regional scenarios of carbon cycle.

Key words: productivity, net primary production, peatland, peat, carbon cycle, West Siberia

ВВЕДЕНИЕ

Оценка линейного прироста и первичной продукции сфагноума актуальна в связи с интересом к роли сфагновых болот в глобальном потоке углерода, а также потребностью производств, занимающихся культивированием сфагноума. Активное развитие направление получило в конце 20 века с классических работ R.S. Clymo [Clymo, 1970; Clymo, 1973; Clymo et al., 1982 и др.].

Существует несколько десятков методов, использующихся для измерения линейного прироста и первичной продукции (см. например обзор методов в [Clymo, 1970; Vitt et al., 2007]). Первая группа методов основана на естественных маркерах – присущих сфагнуму годичных отрезках, ограниченных зимним изогнутым коленом стебля [Whinam and Buxton, 1997; Vitt et al., 2007; Mironov et al., 2016; Mironov et al., 2020], изменению уровня пигментации, или других изменениях структуры побега сфагноума [Clymo, 1970; Лапшина и Мульдьяров, 1971]. Ко второй группе можно отнести ручные методы измерения с помощью меток, от которых отсчитывают начало прироста. Исходным методом был предложенный R.S. Clymo метод «коленчатых проволочек» («cranked wire») [Clymo, 1970; Clymo, 1973], использующийся для прямостоячих видов сфагноума с плотной дерниной. Изогнутая инертная проволока закрепляется в дернину и измеряется рост сфагноума относительно начальной метки на проволоке. Модификация этого метода представлена в виде «проволочных ершиков» («brush wire»), где изогнутое колено заменяется ершиком из лески, таким образом, якорь получается более надежным [Gunnarsson and Rydin, 2000]. В дополнение к простому измерению линейкой,

придумали использовать стеклянную размеченную трубочку с воротничком для повышения точности измерений до 0.2 см [Clymo, 1970; Sonesson, 1980; Sonesson and Johansson, 1974]. Для ускоренного измерения прироста «оптом» на площадке исследователи пользуются нейлоновыми сетками (ячейка 1-1,5 см), закрепленными на поверхности головок сфагнома, где измерения проводятся сразу во многих точках, где побеги соприкасаются с нитями сетки [Lindholm, 1990; Laine et al., 2011; Vitt et al., 2007]. В экспериментальных условиях, когда измерения ведутся в камерах или в лотках, метки можно закрепить на дно или на края посуды, обеспечив стабильный рост относительно них сфагновых побегов [Limpens and Berendse, 2003]. Кроме того, в экспериментальных условиях пользуются обрезанием побегов до определенной длины на начальном этапе эксперимента и соответствующий учет прироста относительно этой длины в конце эксперимента. Все вышеперечисленные методы плохо годятся для мочажинных, растущих в бок или плавающих видов сфагнома, для которых используют индивидуальные метки (привязанные под головки сфагнома веревочки или петли из проволоки, которые крепятся к флажкам или колышкам) [Vitt et al., 2007]. Современные авторы в качестве таких меток используют легко доступные в магазинах нейлоновые стяжки для кабелей [Gaudig et al., 2020]. Наконец, к третьему классу методов измерения линейного прироста сфагнома мы отнесли более точный метод радиоактивных меток (C_{14}), который при наличии соответствующего оборудования позволяет наиболее точно оценить прирост и собрать достаточно большое количество измерений [Aerts et al., 1992].

Для пересчета линейного прироста сфагнома в массу первичной продукции на площадь, необходимо дополнительно провести измерения сухой массы сфагнома, соответствующей удельной высоте. Для этого используют отбор дернин сфагнома с единицы площади (5 см² или 10 см²), делают подсчет числа побегов, высушивают и взвешивают определенные (1 или 2 см) отрезки побегов под головками [Clymo, 1970].

Результаты изучения характеристик линейного прироста и удельной первичной продукции сфагнумов представлено в сотнях публикаций с широким географическим охватом. Оценивались как природные параметры (разные виды сфагнумов, влияние погодных условий, микрорельефа и т.д.), так и искусственные (влияние удобрений, искусственное повышение температуры, регулирование уровня болотных вод), в зависимости от задач, поставленных исследователями. В том числе, описаны основные закономерности роста и первичной продукции сфагновых мхов (см. также Gunnarsson, 2005):

1. Избыточное увлажнение и высокий стабильный уровень болотных вод имеют положительное влияние на линейный прирост и первичную продукцию для всех видов сфагнома (и наоборот, периодическая засуха и понижение уровня болотных вод ведут к замедлению роста) [Clymo, 1973; Hayward and Clymo, 1983; Loisel, 2012; Gaudig et al., 2017; McNeil and Waddington, 2003; Bengtsson et al., 2020; Gaudig et al., 2020].
2. Среди экологических групп видов сфагнома по отношению к факторам увлажнения местообитаний, более активный рост имеют гидрофильные виды топей (например, *S. majus*, *S. riparium*, *S. cuspidatum*); виды, растущие на повышениях и имеющие плотную дернину, имеют замедленный рост (*S. fuscum*, *S. divum*).
3. Повышение температуры в ряде экспериментов оказывало положительное влияние на прирост [Moore, 1989; Sonesson et al., 2002; Gunnarsson, 2005; Breeuwer et al., 2008].
4. Затенение и уменьшение уровня ФАР имеют отрицательную корреляцию с линейным приростом [Clymo, 1973; Hayward and Clymo, 1983; Loisel, 2012; Bengtsson et al., 2020].
5. Удобрения азотом, фосфором, калием и кальцием могут оказывать различное влияние в зависимости от уровня насыщенности почвы этими элементами, в случае недостатка элементов оказывая положительное влияние на рост сфагнома [Aerts, 1992; Gunnarsson and Rydin, 2000; Aerts, 2001; Limpens and Berendse, 2003; Gaudig et al., 2017; Bengtsson et al., 2020; Gaudig et al., 2020].
6. Изучено влияние сезона года, в том числе показан активный рост ранней весной и возможность зимнего роста в ряде климатических провинций [Küttim et al., 2020].
7. Существуют исследования, связывающие влияние лунных циклов на периодичность прироста [Mironov et al., 2018]; а также ингибирование роста проникающим ультрафиолетовым излучением [Mironov et al., 2020].

Таким образом, в глобальном масштабе накоплены обширные данные по изучению линейного прироста и первичной продукции разных видов сфагновых мхов и влиянию на них абиотических факторов среды. Однако, до сих пор остается недостаток в данных на территории Западной Сибири.

Особенно ценность представляют данные многолетнего мониторинга, на основе которых можно говорить об общих трендах. Недостаточны или отсутствуют данные по отдельным видам сфагновых мхов.

Целью проекта, лежащего в основе публикации, является организация постоянного мониторинга за приростом и первичной продукцией сфагнома на стационаре «Мухрино» Югорского государственного университета, где ведутся комплексные измерения параметров цикла углерода. **Основной целью публикации** является описание методики получения и структуры открытых данных о линейном приросте и первичной продукции, опубликованных в виде набора данных на портале Глобальной информационной системы о биоразнообразии (GBIF). В публикации впервые обобщаются результаты четырех лет наблюдений на площадках, заложенных на стационаре в 2018 году. Приводятся величины значений прироста и первичной продукции, а также результаты статистических анализов, тестирующих влияние на эти значения различных абиотических факторов.

МЕТОДИКА

Дизайн полевого эксперимента

Для измерения скорости линейного прироста использовали классический метод меток: для прямостоячих видов сфагнома (*Sphagnum fuscum*, *S. divum*, *S. papillosum*, *S. capillifolium*) использовали ершики, для наклонно растущих и плавающих видов (*S. majus*, *S. jensenii*, *S. balticum*, *S. angustifolium*) проволочные кольца (рис. 1). Ершики изготавливались вручную из инертной проволоки (садовая проволока в пластиковой оплетке), которая скручивалась с леской для получения «ершика» и в верхней части помечалась флажком. В нижней трети ершика закреплялась метка, относительно которой измерялся рост сфагнома вверх. Ершики устанавливались в среднем по 10 штук на площадке в радиусе 50 см, так чтобы охватить вариацию в микрорельефе площадки. Проволочные петли скручивали из той же проволоки, затем объединяли по 5 штук на колышек, который также помечался флажком. Два колышка (каждый по 5 петель) устанавливались на площадку на расстоянии 50 см друг от друга.

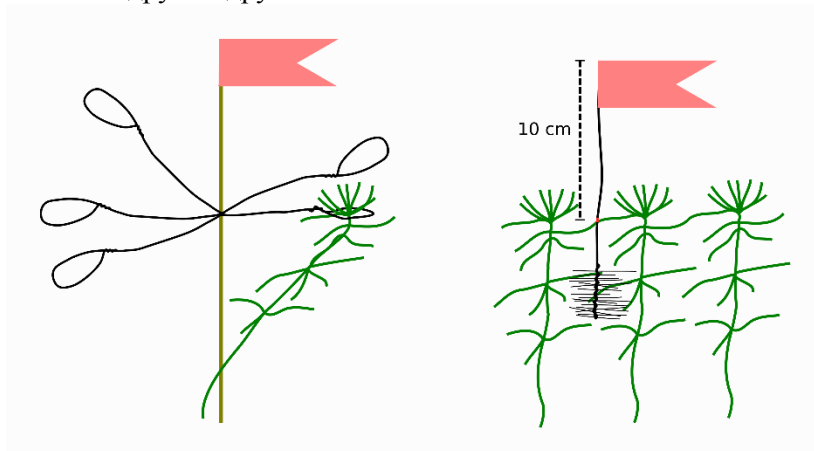


Рисунок 1. Схематичное изображение методики измерений с помощью проволочных петель (слева) и ершиков (справа).

Для измерения прироста разных видов сфагнома заложено 27 площадок так, что каждый вид сфагнома измерялся на 2-3 площадках, чтобы охватить пространственную вариацию (рис. 2). Все площадки заложены в радиусе 500 м вдоль мостков стационара Мухрино (координата центра расположения площадок 60.89190N, 68.68222E) [Dyukarev et al., 2021]. На каждой площадке была снята координата с помощью GPS и один раз (осенью 2019 года) измерен уровень болотных вод (измерения проводили в 3х точках на площадке, и записывалось среднее значение, общее для всей площадки).

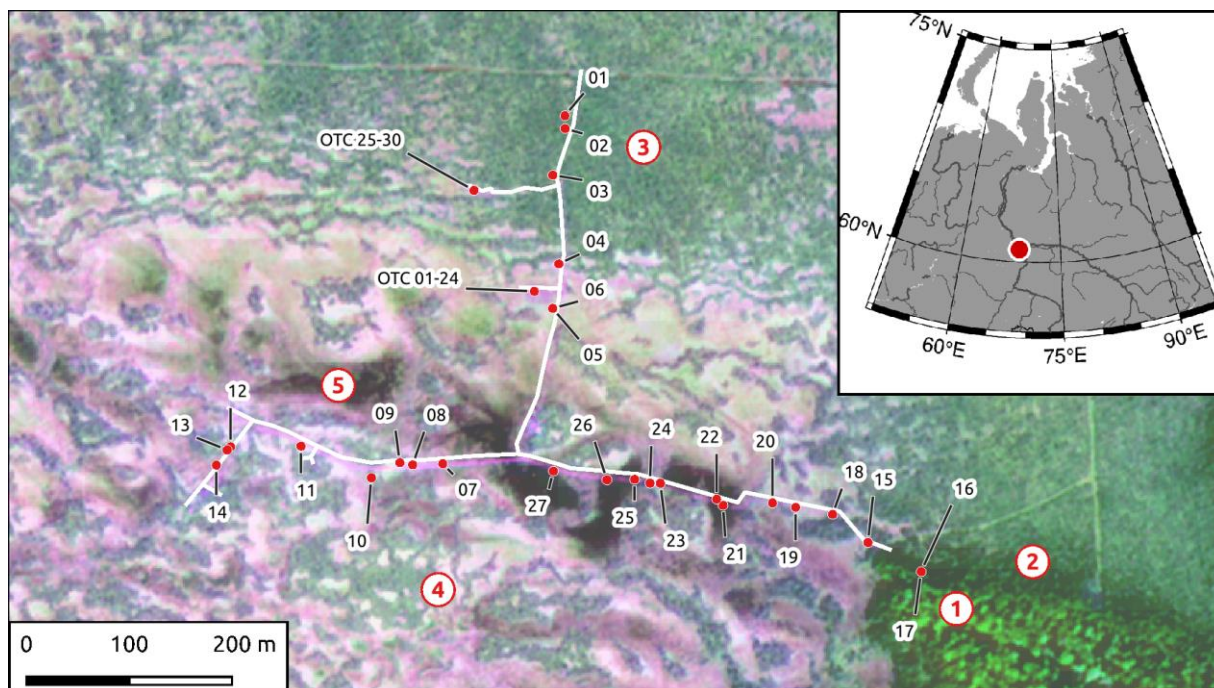


Рисунок 2. Карта расположения площадок для измерения прироста разных видов сфагновых мхов на полигоне «Мухрино» вдоль мостков на верховом болоте. Номера площадок и соответствующие виды сфагнома приведены в Приложении 1. Красными цифрами обозначены типы местообитаний: 1 – смешанный хвойный лес, 2 – рослый рям, 3 – рям, 4 – грядово-мочажинный комплекс, 5 – сфагновые топи.

Метки для измерения скорости линейного прироста устанавливали поздней осенью с тем, чтобы проследить прирост следующего года с ранней весны. Измерения прироста проводили в конце сентября – начале октября (09.10.2019, 17.10.2020, 09.10.2021 и 13.09.2022), соответственно в эти же даты после измерений устанавливались метки на следующий год. Следующей недели проводили дополнительный осмотр меток, чтобы удостовериться в их сохранности перед началом сезона роста.

Для изучения влияния на скорость прироста потепления климата, были заложены площадки на экспериментальном полигоне с камерами с открытым верхом (Open Top Chambers, OTC). Внутри площадки в результате тепличного эффекта создается повышение температуры на 1,5°C [Buttler et al., 2015]. Всего было заложено 15 площадок внутри OTC, и 15 площадок в контроле, где измерялся один вид сфагнома – *S. balticum* методом проволоочных колец. На каждой площадке заложено в среднем по 5 (в отдельные годы по 10) меток.

Для пересчета линейного прироста на удельную фитомассу, во время осенних измерений прироста отбирались пробы для учета плотности сфагнового ковра. На каждой площадке рамкой 5 см² отбирались дернины сфагнома, в которых затем подсчитывали число побегов, а верхние участки стеблей длиной 3 см высушивались для определения средней массы побега на единицу длины.

Хранение и представление данных

Для хранения полученных данных в стандартном формате и обеспечения свободного открытого доступа к ним, была создана таблица в формате DarwinCore, которая загружена, регулярно обновляется, и доступна для скачивания на платформе GBIF [Filippova and Kosykh, 2022; Электронное приложение 1] (табл. 1). Преимущество открытого хранения стандартизованных данных – это возможность их использования другими исследователями.

Таблица 1. Структура полей набора данных, представленного в формате DarwinCore и доступного для скачивания.

Поле таблицы	Тип данных
occurrenceID	Индивидуальный номер измерения, например MuSGrowth_0001
eventID	Индивидуальный номер площадки, например MuSGrowth_01
samplingProtocol	Метод измерения (“cranched wire”, “individual wire ringlet”)
habitat	Тип местообитания (“Oligotrophic Pine-dwarfshrubs-Sphagnum bog”, “Oligotrophic graminoid-Sphagnum bog”)
fieldNotes	Уровень болотных вод, см ниже уровня ковра, среднее из трех измерений, сделанных единожды на площадке
decimalLatitude	Координата площадки, широта
decimalLongitude	Координата площадки, долгота
Datum	Датум, в котором представлена координата площадки (WGS84)
coordinateUncertaintyInMeters	Неточность измерений координаты площадки, в метрах (3 м)
scientificName	Вид сфагнома
organismQuantity	Результат измерений прироста
organismQuantityType	Вид измерений (прирост, вес головок, вес побегов или число головок)
eventDate	Дата начала/окончания измерения
Year	Год, когда происходил прирост
kingdom	Царство (Plantae)
eventRemarks	Примечания к качеству измерений

Статистический анализ

Анализ структуры полученных данных и статистические расчеты выполнены в программном обеспечении R Studio 2022.02.0 [R Core Team, 2022] с использованием пакетов corplot [Wei, Simko, 2021], ggplot2 [Wickham, 2016], ggpubr [Kassambara, 2020], magrittr [Bache and Wickham, 2022], purr [Henry and Wickham, 2022], reshape [Wickham, 2007], rstatix [Kassambara, 2021], stats [R Core Team, 2022], tidyverse [Wickham et al., 2019]. Для определения нормальности распределения использовали тест Шапиро-Вилкоксона, а также построение плотности вероятности с помощью функции `geom_density` пакета `ggplot2`. Для сравнения нескольких групп использовали множественный дисперсионный анализ (функция `aov` пакета `stats`), а также метод Краскела – Уоллиса (функция `kruskal.test` пакета `stats`). Парные различия определяли Т-критерием Вилкоксона (`pairwise.wilcox.test` пакета `stats`) с последующим построением матрицы различий при помощи функции `corplot` одноименного пакета. Проверку зависимости прироста от уровня болотных вод делали при помощи коэффициента корреляции Пирсона (функция `cor.test` пакета `stats`), визуализацию корреляции проводили при помощи параметра `geom_smooth (method = "lm")` функции `ggplot`. Все скрипты для подготовки и анализа данных, подготовки таблиц и графиков были опубликованы в репозитории (проект R) на GitHub (<https://github.com/ninacourlee/MusSGrowth-analysis.git>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИИ

Структура полученных данных

Всего в течении четырех лет проведено 1574 измерения линейного прироста. Из них 539 измерений выполнено методом ершиков и 1035 – методом индивидуальных колец. По годам количество измерений распределялось равномерно и варьировало в зависимости от числа сохранившихся меток, всего в 2019 году проведено 365 измерений, в 2020 – 467, в 2021 – 402, в 2022 – 340 измерений. По типам местообитаний, всего в топях сделано 461 измерение, в рядах – 357 измерений. Выполнены измерения восьми видов, в том числе: *Sphagnum angustifolium* – 89 измерений, *S. balticum* – 796, *S. capillifolium* – 83, *S. fuscum* – 125, *S. jensenii* – 175, *S. divum* – 95, *S. majus* – 68, *S. papillosum* – 143 измерения. В рамках эксперимента по искусственному изменению

температуры с помощью камер с открытым верхом (ОТС), всего было выполнено 378 измерений, из них 183 в контроле и 195 внутри камер (все измерения проводились на одном виде сфагнома – *S. balticum*). Измерение первичной продукции выполнено на 200 образцах, из которых около половины выполнена в рамках эксперимента по изменению температуры. Визуализация структуры полученных данных представлена в виде столбиковых диаграмм (рис. 3).

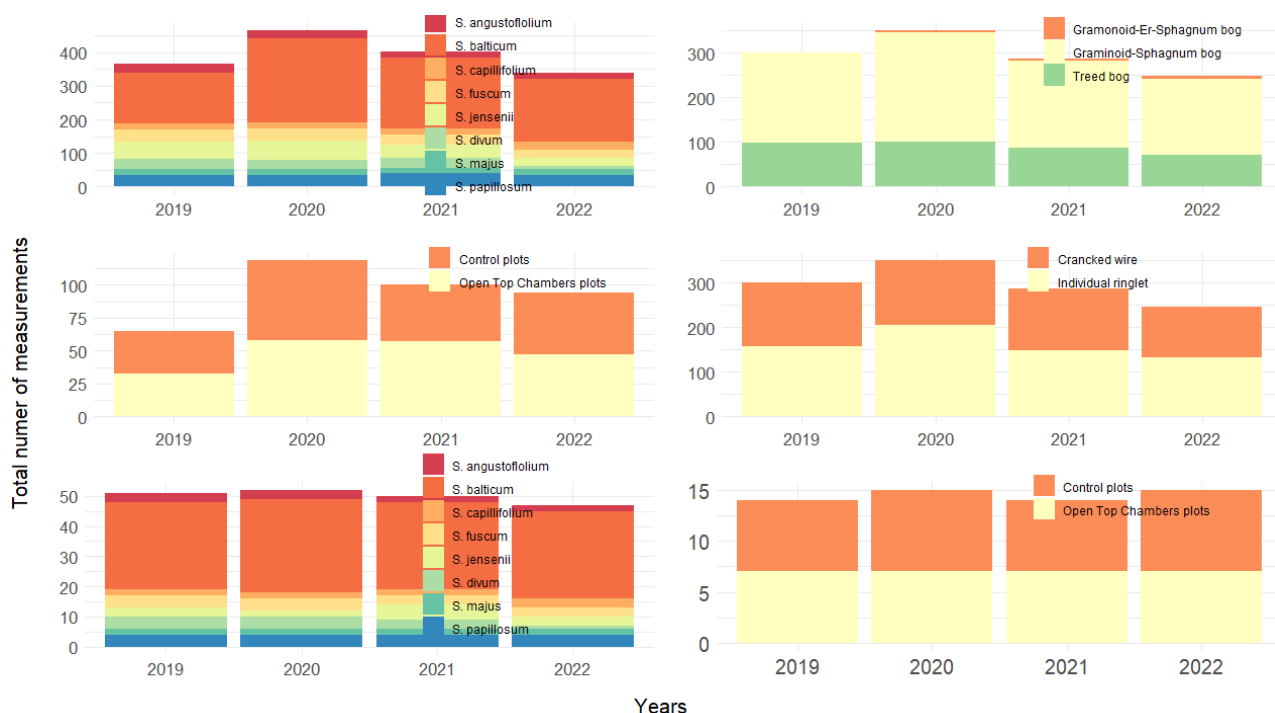


Рисунок 3. Описательные статистики, представляющие общее число полученных измерений линейного прироста сфагнома и первичной продукции по годам, видам, типам местообитаний, экспериментальным условиям и методам измерений на площадках стационара Мухрино за четырехлетний период мониторинга. А-Д: линейный прирост сфагнома, Е-Ф: первичная продукция.

Выбор аналитических методов

Тест Шапиро – Вилкоксона показал, что распределение данных прироста не нормально (логарифмирование не позволяет привести его к нормальному), поэтому все последующие методы анализа должны быть непараметрическими. Диаграммы рассеяния (рис. 4) демонстрируют правосторонний скос распределения годовых приростов сфагнома.

Множественный дисперсионный анализ показал значимое влияние нескольких факторов на скорость прироста: фактора видовой принадлежности, года, местообитания, уровня болотных вод, и взаимодействия этих факторов (табл. 2). Далее подробнее анализируется степень влияния каждого из значимых параметров.

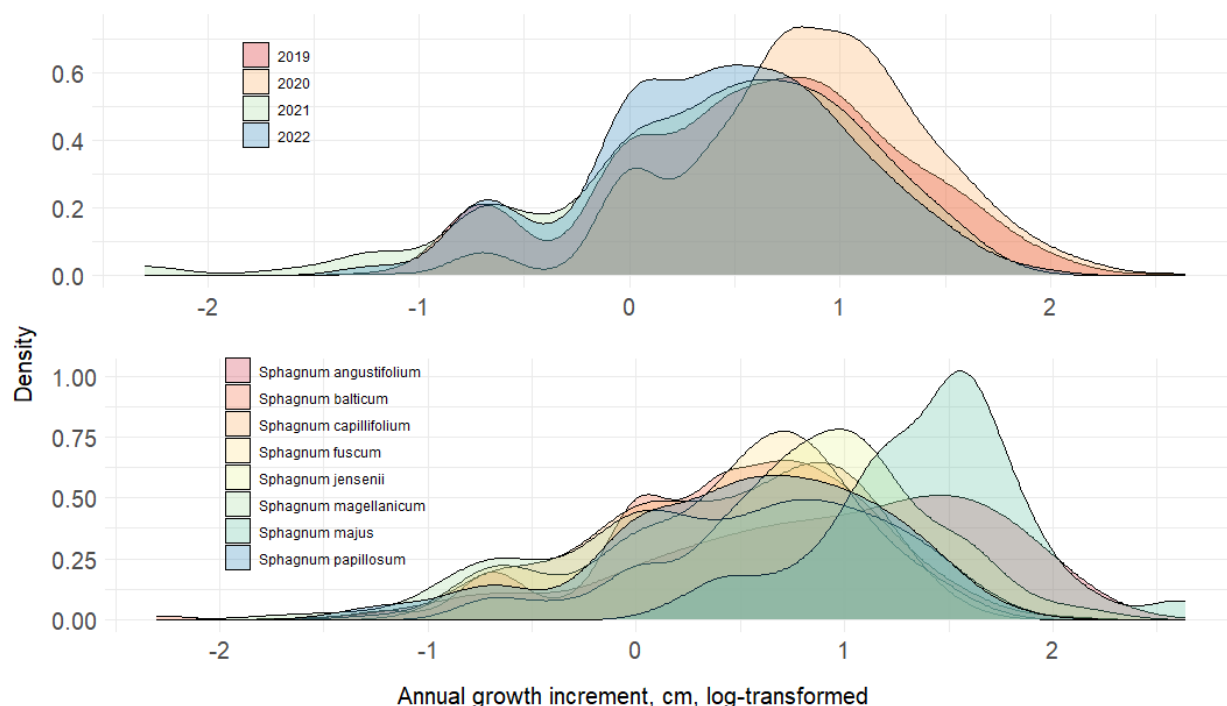


Рисунок 4. Диаграммы рассеяния (geom_density, ggplot) по годам (вверху) и по видам (внизу) на площадках стационара Мухрино за четырехлетний период мониторинга.

Таблица 2. Результаты множественного дисперсионного анализа (aov, stats), показывающие значимое влияние нескольких параметров и их взаимодействия на линейный годовой прирост сфагнома.

№	Effect	Degrees of Freedom in the numerator	Degrees of freedom in the denominator	F-value	p-value	p<.05	Generalized Eta-Squared measure of effect size
1	Вид сфагнома	7	1485	67.17	2.59e-84	***	0.24
2	Год	3	1485	53.573	7.06e-33	***	0.098
3	Местообитание (топь, рям)	5	1485	6.017	1.61e-05	***	0.02
4	УБВ	1	1485	5.227	0.022	*	0.004
5	Вид сфагнома:Год	21	1485	5.453	3.1e-14	***	0.072
6	Вид сфагнома:Местообитание	1	1485	2.095	0.148		0.001
7	Год:Местообитание	13	1485	2.28	0.006	**	0.02
8	Вид сфагнома:УБВ	7	1485	16.896	1.37e-21	***	0.074
9	Год:УБВ	3	1485	1.3	0.273		0.003
10	Местообитание:УБВ	3	1485	6.131	0.000384	***	0.012
11	Вид:Год:УБВ	18	1485	4.398	2.31e-09	***	0.051
12	Год:Местообитание:УБВ	6	1485	1.112	0.353		0.004

Прирост разных видов сфагнома

Различия линейного прироста между видами и отклонения по годам показаны на графике (рис. 5) и в таблице (табл. 3). Анализ различий прироста в зависимости от видовой принадлежности выявил пары видов, между которыми есть достоверные различия в приросте, и пары видов, где различия отсутствуют. Всего из 28 возможных пар, отличия в приросте отсутствуют или низки у 11 (40%) (рис. 6). Наибольшие различия наблюдаются у гидрофильных *S. majus* и *S. jensenii* по сравнению со всеми другими видами. Более активный рост гидрофильных видов сфагнома также повсеместно подтверждается в литературе.

Таблица 3. Средние значения прироста со стандартными отклонениями (sd) на площадках стационара Мухрино за четырехлетний период мониторинга, см/год.

Вид	Среднее по видам	2019	2020	2021	2022
<i>S. divum</i>	1,6(1,3)	1,5(1,3)	2,0(1,5)	1,3(1,0)	1,8(1,1)
<i>S. fuscum</i>	1,7(1,0)	1,8(1,3)	2,0(0,9)	1,4(0,8)	1,7(0,7)
<i>S. capillifolium</i>	1,7(1,9)	1,5(1,3)	2,2(1,0)	1,3(0,7)	1,7(0,8)
<i>S. balticum</i>	1,9(1,1)	1,7(1,1)	2,5(1,2)	1,7(1,0)	1,6(0,9)
<i>S. papillosum</i>	1,9(1,2)	1,7(1,0)	1,8(1,0)	1,7(1,2)	2,4(1,3)
<i>S. jensenii</i>	2,7(1,5)	2,7(1,2)	3,3(1,8)	2,4(1,4)	1,8(1,0)
<i>S. angustifolium</i>	3(2)	3,7(1,9)	3,9(2,1)	1,9(1,5)	2,2(1,5)
<i>S. majus</i>	4,5(2,3)	5,3(2,4)	5,7(2,5)	3,4(1,2)	3,4(1,5)
Среднее по годам	2,1(1,5)	2,2(1,6)	2,7(1,6)	1,8(1,2)	1,8(1,1)

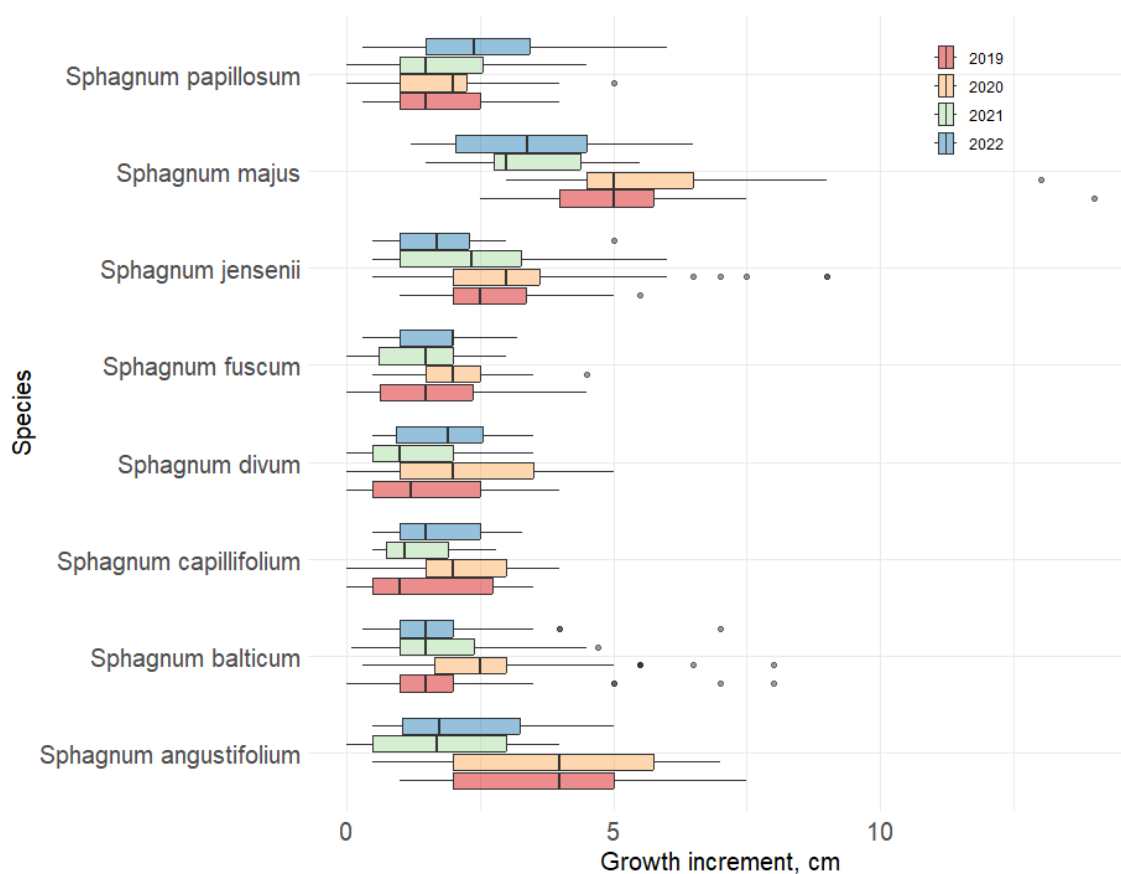


Рисунок 5. Диаграммы размаха (geom_boxplot, ggplot), демонстрирующие различия прироста между видами сфагнома и по годам, на площадках стационара Мухрино за четырехлетний период мониторинга.

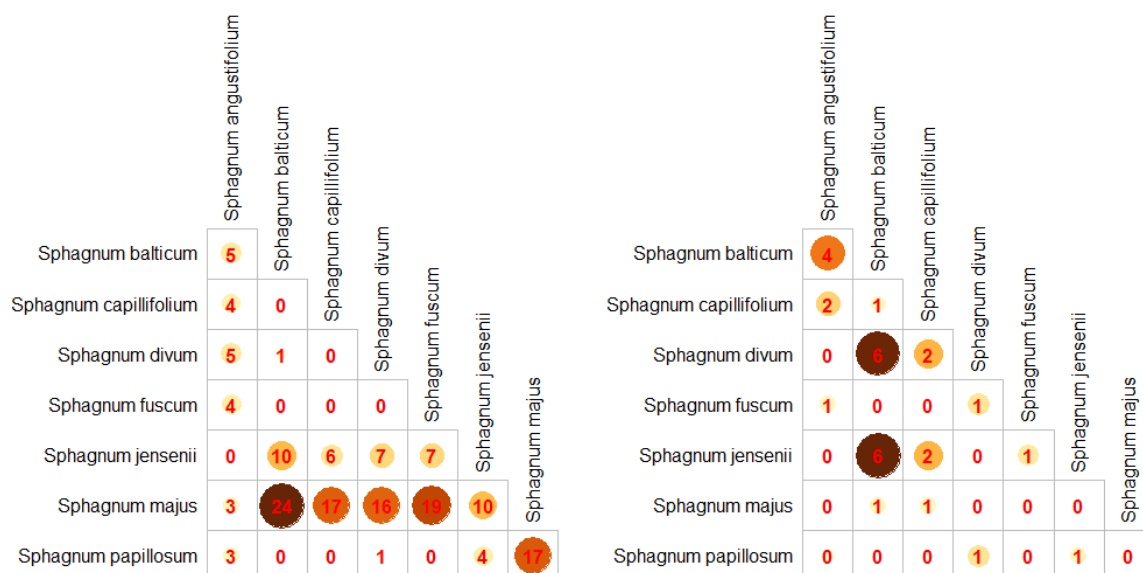


Рисунок 6. Матрица различий в линейном приросте (слева) и первичной продукции (справа) между видами, построенная с использованием критерия Вилкоксона, р-значения были преобразованы ($-\log_{10}$), чтобы визуализировать разницу: чем больше значение, тем больше различие (ноль – различия недостоверны).

Межгодовая динамика прироста

Общий средний (все виды сфагнома) прирост по годам различается, однако не для всех пар лет (табл. 4) различия достоверны. Также, нет общего паттерна активного роста в определенные годы для всех видов, он различается в зависимости от вида (рис. 7).

В настоящее время мы имеем только четыре года наблюдений, что недостаточно для анализа влияния климатических параметров на скорость линейного прироста/первичной продукции. Оценка значимости температуры, влажности воздуха и других параметров погодных условий будет сделана в будущем после накопления многолетнего ряда наблюдений.

Таблица 4. Значение уровня значимости среднего прироста сфагнома между годами, полученные в результате теста Вилкоксона.

p-value	2019	2020	2021
2020	0,14	-	-
2021	0,00	4e-08	-
2022	0,14	0,00	0,14

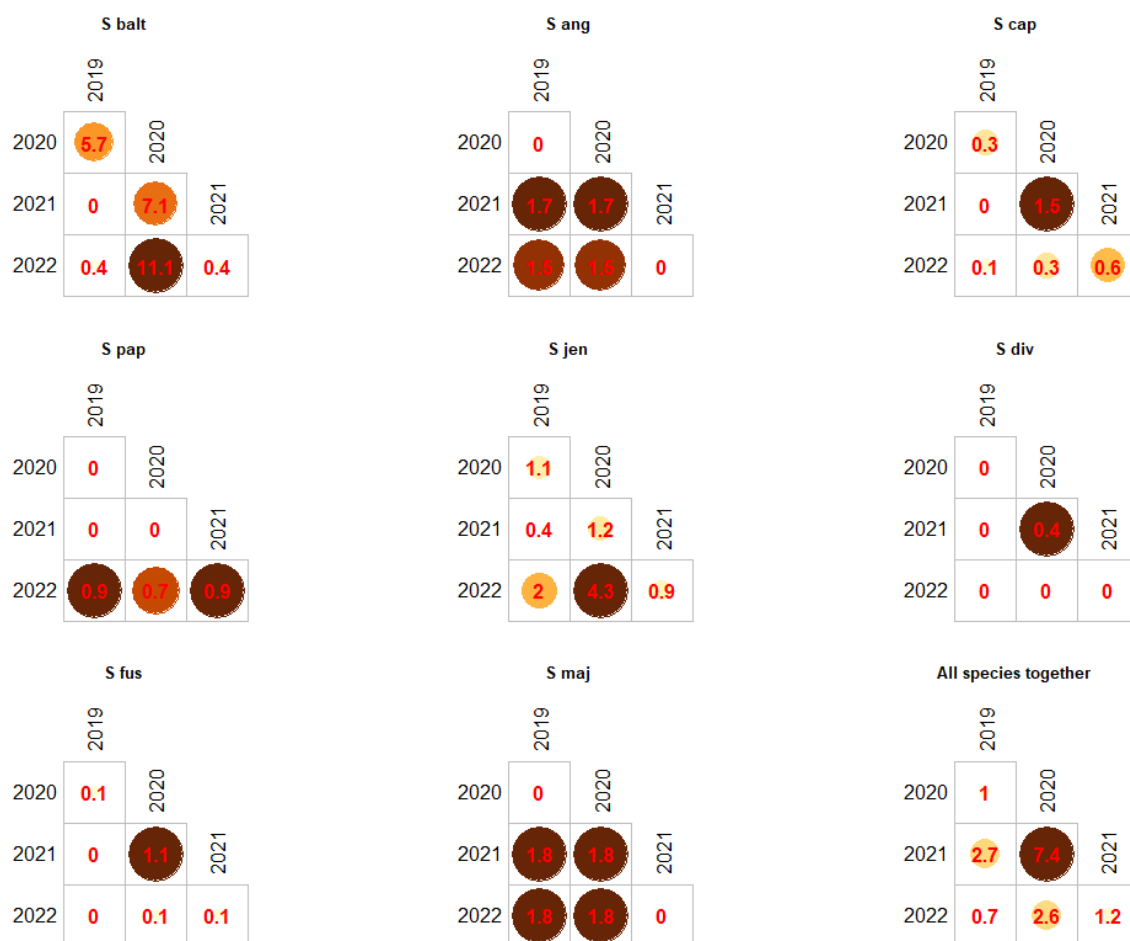


Рисунок 7. Матрицы различий линейного прироста разных видов сфагнома, построенные с использованием критерия Вилкоксона, р-значения были преобразованы ($-\log_{10}$), чтобы показать разницу, 0 – незначительная разница.

Влияние уровня болотных вод

Уровень болотных вод отрицательно коррелирует со скоростью прироста ($p\text{-value} = 3,642e^{-06}$), если объединить все измерения разных видов сфагнома и взять значения УБВ, измеренные на всех площадках (рис. 8). То есть, в целом для разных видов сфагнома с повышением УБВ ближе к поверхности, скорость прироста увеличивается.

Однако, эта интегральная характеристика может меняться, если рассматривать отдельный вид под влиянием изменений УБВ. Косвенно мы изучили этот аспект с помощью сравнения разных площадок (с разным уровнем УБВ) для каждого отдельного вида. Для четырех видов показана статистически значимая корреляция между уровнем болотных вод и скоростью прироста, причем для одних – положительная, то есть с понижением УБВ рост увеличивается (*S. angustifolium*, *S. divum*), для других – отрицательная, с понижением УБВ рост уменьшается (*S. balticum*, *S. papillosum*). Для четырех видов (*S. capillifolium*, *S. jensenii*, *S. fuscum*, *S. majus*) корреляция не была статистически значимой.

В нашем случае не было прямого эксперимента: мы не измеряли изменение УБВ и вслед за этим регулярно прирост. Вместо этого, данные о разных уровнях болотных вод (УБВ) для одного вида сфагнома были взяты из разных площадок (причем, однократные измерения за все годы). В таком случае, влияние на изменения прироста могут оказывать другие (не учтенные) параметры этой площадки. Представленные результаты скорее являются поводом для продолжения более детального исследования этого параметра в будущих экспериментах.

Различия прироста по местообитаниям

Дисперсионный анализ и тест Вилкоксона показали, что существуют достоверные различия между средним приростом сфагновых мхов двух типов местообитаний. Если суммировать виды, обитающие в рямах и топях за все годы наблюдений, то средний линейный прирост (с 95% доверительным интервалом) видов сфагновых мхов топей составляет $2,5 \pm 0,3$ см/год, рямов – $2,1 \pm 0,7$ см/год.

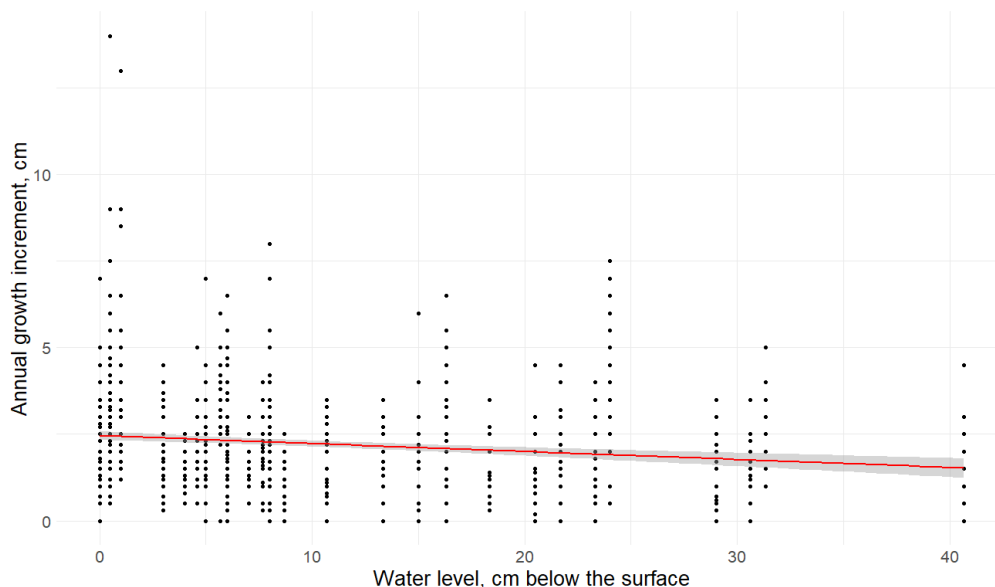


Рисунок 8. График корреляции уровня болотных вод (ось x) и прироста всех видов сфагнума (ось y), на основе метода Пирсона (corr.test) при помощи визуализации geom_point и geom_smooth функции ggplot.

Влияние экспериментального манипулирования температурой на прирост сфагнума

Проверка достоверности различий между приростом внутри площадок ОТС (то есть, при повышенной температуре) и в контроле с помощью теста Вилкоксона, показала отсутствие значимых различий. Также, результаты дисперсионного анализа подтвердили отсутствие влияния экспериментального повышения температуры на достоверные различия в выборке.

Поскольку ранее в литературе [Moore, 1989; Sonesson et al., 2002; Gunnarsson, 2005; Breeuwer et al., 2008] показано положительное влияние повышения температуры на прирост, то вероятно предположить слабый отклик на повышение температуры в приросте конкретного вида (*S. balticum*). Точный ответ может быть получен только в случае дополнительных экспериментов.

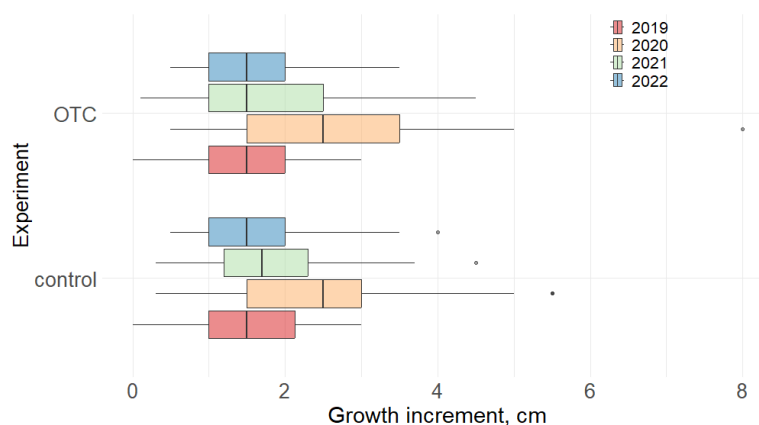


Рисунок 9. Диаграммы размаха (geom_boxplot, ggplot), демонстрирующие различия прироста сфагнума (*S. balticum*) в экспериментальных условиях (повышение температуры с помощью ОТС) и в контроле.

Первичная продукция

Средние оценки первичной продукции разных видов сфагнома по годам и общие по годам и видам показаны в таблице 5. Дисперсионный анализ показал значимость влияния видовой принадлежности и года на величину первичной продукции (табл. 6). Средняя первичная продукция сфагновых видов увеличивается в ряду: *S. divum* – *S. capillifolium* – *S. jensenii* – *S. papillosum* – *S. balticum* – *S. fuscum* – *S. angustifolium* – *S. majus* (рис. 10). Достоверные различия между парами видов показаны в матрице различий (рис. 6), наибольшие различия наблюдаются между *S. divum* и всеми остальными видами. Если игнорировать видовую принадлежность и проанализировать различия между местообитаниями (топиями и рядами), в каждом из которых присутствуют разные виды, то достоверных различий в первичной продукции не выявляется. Однако, суждение о первичной продукции на уровне сообщества (болотного участка) должно строиться на оценке проективного покрытия разных видов сфагнома.

Таблица 5. Средние значения первичной продукции со стандартными отклонениями (sd) на площадках стационара Мухрино за четырехлетний период, г/дм² в год.

Вид	Среднее по видам	2019	2020	2021	2022
<i>S. divum</i>	1,2(0,2)	1,0(0,5)	1,5(0,4)	1,2(0,8)	1,1(0,0)
<i>S. papillosum</i>	2,1(0,4)	1,7(0,7)	2,1(0,5)	2,4(1,4)	2,5(1,0)
<i>S. fuscum</i>	2,1(0,7)	1,8(0,7)	3,1(6,1)	2,1(0,7)	1,4(0,4)
<i>S. jensenii</i>	2,2(0,3)	2,0(0,2)	2,7(0,9)	2,1(1,6)	2,1(0,4)
<i>S. angustifolium</i>	2,2(0,4)	2,5(0,4)	2,4(0,9)	1,8(1,3)	1,9(0,9)
<i>S. balticum</i>	2,3(0,5)	2,0(0,8)	3,0(1,2)	2,4(1,1)	1,8(0,7)
<i>S. capillifolium</i>	2,5(0,9)	1,8(0,7)	3,9(0,4)	2,0(0,0)	2,5(1,0)
<i>S. majus</i>	3,7(1,7)	3,0(0,8)	5,2(2,1)	5,0(0,3)	1,5(0,9)
Среднее по годам	2,3(0,7)	2,0(0,6)	3,0(1,1)	2,4(1,1)	1,8(0,5)

Таблица 6. Результаты множественного дисперсионного анализа (aov, stats), показывающие значимое влияние нескольких параметров и их взаимодействия на продукцию сфагнома.

Effect	Degrees of Freedom in the numerator	Degrees of Freedom in the denominator	F-value	p-value	p<.05	Generalized Eta-Squared measure of effect size
Вид сфагнома	7	161	4.844	5.61e-05	*	0.174
Год	3	161	13.929	4.05e-08	*	0.206
Эксперимент ОТС	2	161	0.247	0.781		0.003
Вид:Год	21	161	1.179	0.276		0.133
Год: Эксперимент	5	161	1.099	0.363		0.033

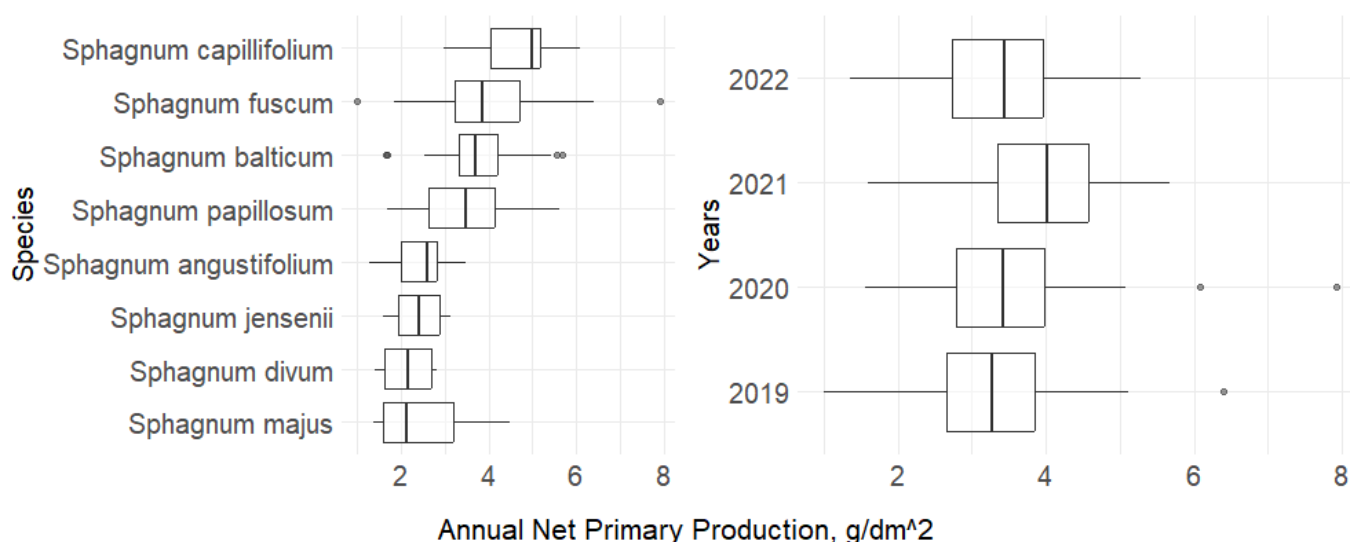


Рисунок 10. Диаграммы размаха (geom_boxplot, ggplot), демонстрирующие различия первичной продукции по видам сфагнома и по годам.

Сравнение результатов с литературными данными

Для сравнения полученных нами значений линейного прироста сфагнома с литературными данными, была составлена база данных приростов разных видов сфагновых мхов, опубликованных в работах разных авторов (Электронное приложение 1). В настоящее время в базу данных включено 33 публикации и одно электронное приложение с исходными данными, что составляет около 1,5 тысяч записей. В базе представлены сведения о линейном приросте и первичной продукции шестнадцати видов сфагновых мхов по всему миру. Географический охват включает 18 стран и три континента (Европа, Азия, Северная Америка). К сожалению, большинство статей не имеют исходных данных о приросте сфагнома в виде электронных приложений и таблиц, часто данные приходится извлекать из столбчатых диаграмм, что не может не сказаться на их качестве. Только одна из изученных работ содержала электронное приложение в виде таблицы, загруженной на Dryad – лучший пример представления исходных данных такого типа, которому нужно следовать [Bengtsson et al., 2020].

Мы сравнивали литературные данные с нашими данными о линейном приросте (рис. 11). С помощью Т-критерия Вилкоксона показано, что у трех видов наблюдаются достоверные различия (при 5% уровне значимости) между измеренным нами приростом, и литературными данными: *S. balticum* и *S. divum* в нашем исследовании имеют меньший прирост, *S. fuscum* несколько больший. Однако, сравнение с глобальными трендами не входило в задачи настоящего исследования, поскольку требует большей работы с качеством исходных данных и использование сложных статистических моделей (например, в работе Bengtsson et al., 2021]. В целом показано, что данные, полученные на Мухрино, не выбиваются из глобальных измерений.

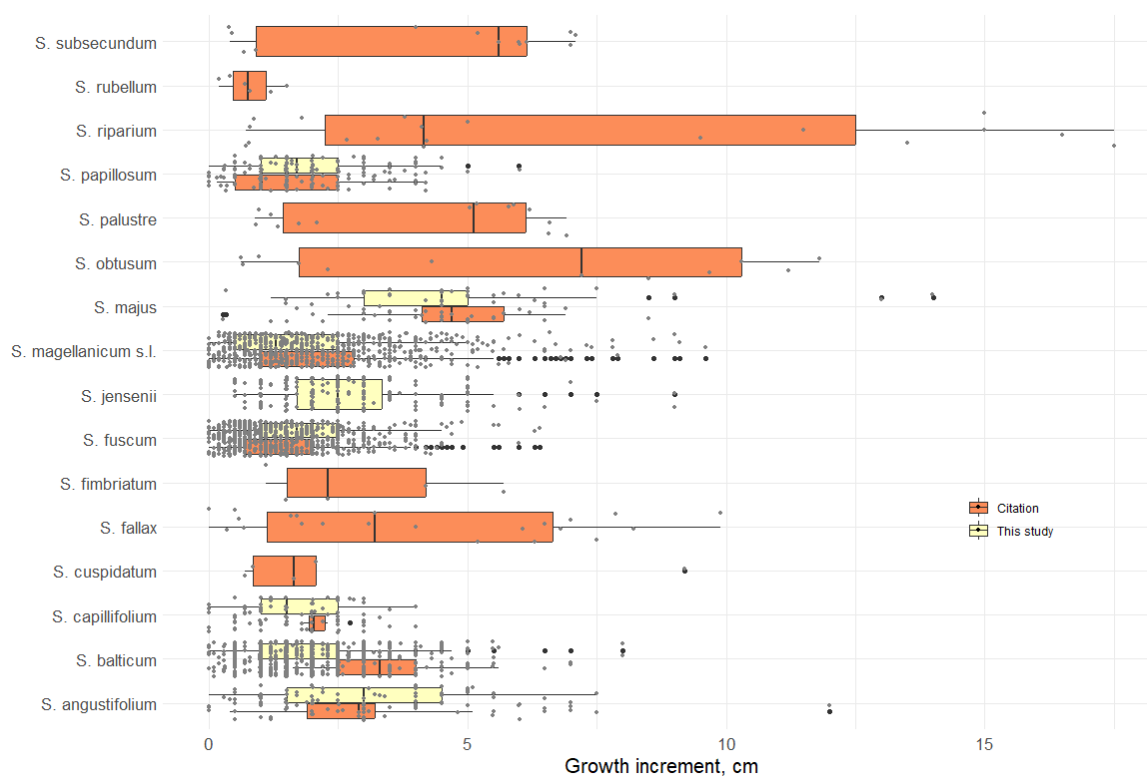


Рисунок 11. Диаграммы размаха (geom_boxplot, ggplot), демонстрирующие различия линейного прироста 15 видов сфагнома по литературным данным (оранжевый) и нашим измерениям (желтый). Серые точки – исходные данные; диаграмма размаха включает среднее, межквартильный размах, мин и макс значения; черные точки – выбросы диаграммы размаха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализированы результаты 4х-летних измерений линейного прироста и первичной продукции 8 видов сфагновых мхов на участке верхового болота «Мухрино» в средней тайге Западной Сибири (2019-2022), всего проведено 1574 измерения годовичного линейного прироста и 200 измерений первичной продукции. Одновременно с фоновыми участками, изучалось влияние экспериментального повышения температуры в камерах с открытым верхом – Open Top Chambers (OTC).
2. Исходные данные измерений линейного прироста и первичной продукции представлены в стандартизованном формате DwC и опубликованы в открытом доступе через портал GBIF.
3. Множественный дисперсионный анализ показал влияние нескольких факторов на значения годовичного прироста: имеют значение видовая принадлежность, год, местообитание и уровень болотных вод. Эксперимент с ОТС не показал значимых изменений в приросте. Каждый из факторов проанализирован с помощью статистических анализов и визуализации в графиках показаны общие тенденции.
4. Получены средние значения линейного прироста и первичной продукции по видам, по годам и общая средняя оценка для основных местообитаний (рямы, топи) верхового болота «Мухрино» за изученный период.
5. Создана база данных годовичного линейного прироста и первичной продукции сфагновых мхов по литературным данным. Сравнение полученных в нашем исследовании данных с литературными показало, что полученные измерения согласуются с данными из других регионов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование поддержано грантом для организации молодежной лаборатории в Югорском государственном университете (Западно-Сибирский межрегиональный научно-образовательный центр мирового уровня) в рамках национального проекта «Наука и университеты» (Лаборатория разработки методики метагеномного анализа для экспресс-оценки воздействий на среду в условиях интенсивного недропользования). Работа Ниязовой А.В. выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (регистрационный номер 123030300031-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Aerts R., Wallen B., Malmer N. 1992. Growth-limiting nutrients in Sphagnum-dominated bogs subject to low and high atmospheric nitrogen supply. *Journal of ecology*, 1(80): 131-140. <https://doi.org/10.2307/2261070>
- Aerts R., Wallén B., Malmer N., De Caluwe H. 2001. Nutritional constraints on Sphagnum-growth and potential decay in northern peatlands. *Journal of Ecology*, 2 (89): 292-299. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00539.x>
- Bache S., Wickham H. 2022. magrittr: A forward-pipe operator for R. R package version 2.0.3. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=magrittr>.
- Bengtsson F., Rydin H., Baltzer J.L., Bragazza L., Bu Z.J., Caporn S.J., Dorrepaal E., Flatberg K.I., Galanina O., Galka M., Ganeva A. 2020. Environmental drivers of Sphagnum growth in peatlands across the Holarctic region. *Journal of Ecology*, 109(1): 417-431. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13499>
- Breeuwer A., Heijmans M.M., Robroek B.J., Berendse F. 2008. The effect of temperature on growth and competition between Sphagnum species. *Oecologia*, 1(156): 155-167. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-0963-8>
- Buttler A., Robroek B.J., Laggoun Défarge F., Jassey V.E., Pochelon C., Bernard G., Delarue F., Gogo S., Mariotte P., Mitchell E.A., Bragazza L. 2015. Experimental warming interacts with soil moisture to discriminate plant responses in an ombrotrophic peatland. *Journal of vegetation Science*, 26(5): 964-974. <https://doi.org/10.1111/jvs.12296>
- Clymo R. S. 1970. The Growth of Sphagnum: methods of measurement. *Journal of Ecology*, 1(58): 13-49. <https://doi.org/10.2307/2258168>
- Clymo R. S. 1973. The growth of Sphagnum: some effects of environment. *Journal of Ecology*, 3(61): 849-869. <https://doi.org/10.2307/2258654>
- Clymo R. S., Hayward P. M. 1983. Bryophyte ecology. In: *The Ecology of Sphagnum*, (A. J. E. Smith, ed.), Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 229-289. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5891-3_8
- 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*, 10(8): 824. <https://doi.org/10.3390/land10080824>
- Filippova N., Kosykh N. 2023. Sphagnum annual growth and primary production measurements (Mukhrino field station, West Siberia) (2018-2022). Version 1.12. Yugra State University Biological Collection (YSU BC). Occurrence dataset. <https://doi.org/10.15468/fcz7at> Last accessed 15.02.2023.
- Gaudig G., Krebs M., Joosten H. 2017. Sphagnum farming on cut-over bog in NW Germany: Long-term studies on Sphagnum growth. *Mires & Peat*, 20(4): 1-19. <https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.238>
- Gaudig G., Krebs M., Joosten H. 2020. Sphagnum growth under N saturation: interactive effects of water level and P or K fertilization. *Plant Biology*, 22(3): 394-403. <https://doi.org/10.1111/plb.13092>
- Gunnarsson U. 2005. Global patterns of Sphagnum productivity. *Journal of Bryology*, 3(27): 269-279. <https://doi.org/10.1179/174328205X70029>
- Gunnarsson U., Rydin H. 2000. Nitrogen fertilization reduces Sphagnum production in bog communities. *The New Phytologist*, 147(3): 527-537. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00717.x>
- Hayward P. M., Clymo R. S. 1983. The growth of sphagnum: experiments on, and simulation of, some effects of light flux and water-table depth. *Journal of Ecology*, 3(71): 845-863. <https://doi.org/10.2307/2259597>
- Henry L., Wickham H. 2022. purrr: functional programming tools. R package version 0.3.5. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=purrr> Last accessed 15.02.2023.
- Kassambara A. 2020. ggpubr: 'ggplot2' based publication ready plots. R package version 0.4.0. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr> Last accessed 15.02.2023.
- Kassambara A. 2021. rstatix: pipe-friendly framework for basic statistical tests. R package version 0.7.0. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix> Last accessed 15.02.2023.
- Kassambara A. 2022. ggcorrplot: visualization of a correlation matrix using 'ggplot2'. R package version 0.1.4. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=ggcorrplot> Last accessed 15.02.2023.
- Küttim M., Küttim L., Ilomets M., Laine A.M. 2020. Controls of Sphagnum growth and the role of winter. *Ecological Research*, 35(1): 219-234. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12074>
- Laine A.M., Juurola E., Hájek T., Tuittila E.S. 2011. Sphagnum growth and ecophysiology during mire succession. *Oecologia*, 167: 1115-1125. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2039-4>
- Limpens J., Berendse F. 2003. Growth reduction of Sphagnum magellanicum subjected to high nitrogen deposition: the role of amino acid nitrogen concentration. *Oecologia*, 135: 339-345. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1224-5>

- Lindholm T., Vasander H. 1990. Production of eight species of *Sphagnum* at Suurisuo mire, southern Finland. *Annales Botanici Fennici*, 27(2): 145-157.
- Loisel J., Gallego-Sala A.V., Yu Z. 2012. Global-scale pattern of peatland *Sphagnum* growth driven by photosynthetically active radiation and growing season length. *Biogeosciences*, 9(7): 2737–2746. <https://doi.org/10.5194/bg-9-2737-2012>
- McNeil P., Waddington J. M. 2003. Moisture controls on *Sphagnum* growth and CO₂ exchange on a cutover bog. *Journal of Applied Ecology*, 2(40): 354-367. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00790.x>
- Mironov V. L., Kondratev A.Y., Mironova A.V. 2020. Growth of *Sphagnum* is strongly rhythmic: contribution of the seasonal, circalunar and third components. *Physiologia Plantarum*, 168(4): 765-776. <https://doi.org/10.1111/ppl.13037>
- Mironov V.L., Grabovik S.I., Ignashov P.A., Kantserova L.V. 2016. Geotropic curvature of *Sphagnum*: environmental features of their genesis and trial application for estimation shoot length increment. *Arctoa*, 25(2): 352-363. <https://doi.org/10.15298/arctoa.25.27>
- Moore T. R. 1989. Growth and net production of *Sphagnum* at five fen sites, subarctic eastern Canada. *Canadian Journal of Botany*, 4(67): 1203-1207. <https://doi.org/10.1139/b89-156>
- R Core Team. 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. Last accessed 15.02.2023.
- Sonesson M., Carlsson B.Å., Callaghan T.V., Halling S., Björn L.O., Bertgren M., Johanson U. 2002. Growth of two peat-forming mosses in subarctic mires: species interactions and effects of simulated climate change. *Oikos*, 99(1): 151-160. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.990115.x>
- Sonesson M., Persson S., Basilier K., Stenström T.A. 1980. Growth of *Sphagnum riparium* Ångstr. In Relation to Some Environmental Factors in the Stordalen Mire. *Ecological Bulletins*, 30: 191-207.
- Vitt D. H. 2007. Estimating Moss and Lichen Ground Layer Net Primary Production in Tundra, peatlands and forests. In: *Principles and standards for measuring primary production*, (T. Fahey, A. Knapp, eds.), Oxford University Press, New York pp. 82-105.
- Wei T., Simko V. 2021. R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix. (Version 0.92). URL: <https://github.com/taiyun/corrplot>. Last accessed 15.02.2023.
- Whinam J., Buxton R. 1997. *Sphagnum* peatlands of Australasia: an assessment of harvesting sustainability. *Biological Conservation*, 82(1): 21-29. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00015-3)
- Wickham H. 2007. Reshaping data with the reshape package. *Journal of Statistical Software*, 21(12). URL: <https://www.jstatsoft.org/v21/i12/> Last accessed 15.02.2023.
- Wickham H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York. URL: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Last accessed 15.02.2023.
- Wickham H., Averick M., Bryan J., Chang W., McGowan L.D., Francois R., Grolemund G., Hayes A., Henry L., Hester J., Kuhn M., Pedersen T.L., Miller E., Bache S.M., Muller K., Ooms J., Robinson D., Seidel D.P., Spinu V., Takahashi K., Vaughan D., Wilke C., Woo K., Yutani H. 2019. Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 43. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>

Поступила в редакцию: 15.02.23
Переработанный вариант: 17.05.23

THE NORTHERN RANGE OF RARE PLANT SPECIES IN THE NE FENNOSCANDIA BETWEEN HISTORICAL AND RECENT CLIMATIC CHANGES: THE CASE OF *ERIOPHORUM GRACILE* (CYPERACEAE)

I. V. Blinova

Полярно-альпийский ботанический сад-институт ФИЦ КНЦ РАН

ilbli@yahoo.com

Citation: Blinova I.V. 2023. The northern range of rare plant species in the NE Fennoscandia between historical and recent climatic changes: the case of *Eriophorum gracile* (Cyperaceae). *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, 14(1): 38-58.

DOI: 10.18822/edgcc567769

Влияние факторов, определяющих границы ареалов, для конкретных видов растений плохо изучено из-за множественности и сложности взаимосвязей. В периоды климатических изменений ответы редких видов растений по сравнению с широкораспространенными проявляются контрастнее, поскольку их адаптационный предел, особенно климатический, может быть исчерпан. Сопоставление крупномасштабного исторического пути конкретного вида, сопряженного с климатом разных эпох, и мелкомасштабных современных климатических изменений, может быть прогностическим для определения тенденций исчезновения отдельных видов.

Eriophorum gracile – редкий вид семейства осоковых, занесенный во многие региональные Красные книги России, в том числе в Мурманской области. В Фенноскандии находится в краснокнижном списке видов Норвегии. Стенобионт на богатых минеротрофных болотах, которые спорадически встречаются по всей Европе и чрезвычайно редко за Полярным Кругом.

В ходе работы уточнено географическое распространение *E. gracile* в Мурманской области на северной границе ареала и собраны фактические данные для тестирования редкости вида по системе IUCN. Подтверждено 14 местонахождений и 30 популяций. Наибольшая представленность отмечена в Лапландии Имандрской и Варзугской. Два местонахождения – из Понойской и Мурманской Лапландии – исключены. Основным фактором, определяющим северную границу распространения, для данного вида является климатический. Большинство местонахождений *E. gracile* расположены в двух из пяти наиболее теплых термических районах, подтверждающих его бореальный статус. Другими лимитирующими факторами являются гидрологический (зависимость от высокого уровня болотных вод) и эдафический (индикатор перехода между слабокислыми и нейтральными почвами).

Исчезновения популяций *E. gracile* и сдвига северной границы этого вида в ответ на современные климатические изменения не ожидается, если повышение температуры не изменит уровень болотных вод местообитаний. Возможны находки новых популяций *E. gracile* в бассейнах тех рек, где вид уже обнаружен, в пределах своего регионального климатического оптимума. Предположительно современные популяции *E. gracile* в северо-восточной части Фенноскандии – остаточные от прежнего палеоареала вида и рефугиумов плейстоценовых оледенений, но требуются дополнительные исследования относительно реликтовых сообществ для установления своевременной охраны.

Ключевые слова: *Eriophorum gracile*, Cyperaceae, редкие виды, Фенноскандия, северная граница ареала, климат, оледенения, реликтовые виды, палеонаходки.

Determinants of range limits for a concrete plant species are still debated because of their complexities [Roy et al. 2009]. In periods of climatic changes, the responses of plants of rare species are more pronounced in comparison to those of common plant species because their adaptation limits, especially climatic, may be depleted [Nielsen et al., 2019; Niskanen et al., 2019; Tyler et al. 2020]. A large-scale historical path of species which reflects past climates compared to small-scale trends of current climate could be prognostic for an estimation of extinction rate [Liu et al., 2017].

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 snow cover period extends from the middle of October until the end of May, and the thermal growing season from early June until the middle of September. The average amount of precipitation varies from 800 to 1200 mm in mountainous regions and from 500 to 800 mm in the greater part of the lowland area [Yakovlev 1961; Yakovlev, Kozlova 1971]. Murmansk Region is geomorphologically part of the Baltic Shield, and its topography generally becomes lower from northwest to southeast [Geologiya SSSR, 1958]. It contains the oldest rocks of the European continent which are mainly composed by granites and gneisses with

local alkaline intrusions in its eastern part [Pozhilenko et al., 2002; Ivanyuk et al., 2008]. Two latitudinal vegetation zones can be distinguished: tundra and taiga [Ramenskaya 1983]. The taiga zone is divided into the transitional forest-tundra zone and the northern taiga [Chernov 1971].

The biogeographic provinces of Eastern Fennoscandia were first described by Finnish botanists in 1859 and further developed at the end of the 1800s and early 1900s [Hämet-Ahti et al., 1998; Uotila, 2013]. Of the eight provinces, Lapponia petsamoënsis (Lps), Lapponia tulomensis (Lt), Lapponia murmanica (Lm), Lapponia Imandrae (Lim), Lapponia Varsugae (Lv), Lapponia ponojensis (Lp) have borders entirely within Murmansk Region. Only small parts of the two southern provinces Regio kuusamoënsis (Ks) and Karelia keretina (Kk) are included in Murmansk Region. The largest part of Kk is situated in the Republic of Karelia. Of Ks the largest part lies in Finland and another small part is in Karelia.

Eriophorum gracile is rare plant species from Cyperaceae. It is included in many regional Red data books of the Russian Federation and also in Murmansk Region [Krasnaya..., 2014]. In Fennoscandia the species is inserted in the Red data list of Norway [Kålås et al., 2010]. *E. gracile* is a specialist species of rich fens which occur sporadically in Europe and rarely north of the Arctic Circle [Lansdown, 2011].

Specimens of *E. gracile* from the following herbaria were examined: KPABG, H, KAND, LE, MW, INEP, PTZ, S, TROM and the Pasvik Nature Reserve. Additionally, the Moscow Digital Herbarium [Seregin, 2023], the Kasviatlas [Lampinen, Lahti, 2021], the Cryptogamic Russian Information System [CRIS, 2023] and the «Flora of Russian Lapland» [Kozhin, Sennikov, 2020] have been checked. The list of occurrences and distribution map are composed. The ordination of occurrences goes according to the biogeographic provinces from west to east latitudinally. The number of geographic dots (T) and the number of populations (T) are given in brackets after the province acronym. All the records are divided into confirmed and excluded (on the basis of ecological characteristics). The later are in the end of the list. The nearest occurrences (within 25 km) are indicated as one sign on the map. The map (Figure 1) is compiled in Arcview GIS 3.2.

A base temperature of 5°C has been used for the definition of the thermal growing season (the onset and length). The length of the growing season has a tendency to shortening from south-south-west to east-north-east [Blinova, Chmielewski, 2015]. For a simplified termic division of surface of Murmansk Region the map of the onset of the growing season [Yakovlev, Kozlova, 1971] has been used (Figure 2). The records of *E. gracile* have been proved on an association of localities and the occurrences of rocks with a content of CaO higher 5% mass according to literature [Perevozchikova, 1971; Pozhilenko et al., 2002; Arzamastsev et al., 2008; Filina et al., 2022] and with a help of the previously made list of Ca-rocks with chemical content [Blinova, 2009]. pH of the surface water is measured directly in the field 1-2 times from June to August of 2014 in four different water logged sites with population subsets of the species (the record № 11.1 from the list) using a PH-009 (Kelilong Instruments) pen with a 0.0-14.0 scale divided into units of 0.1; soil salinity, using a TDS 5 (HM Digital) pen with a 0-9990 mg/l scale divided into units of 1 mg/l. Hypotheses concerning historical path of the species are based on the chorological study and data concerning climatic characteristics and vegetation of geological periods. Relic status of *E. gracile* is assumed according to paleorecords in certain geological periods (taxonomical relicts). The relic range of the species is proposed but not proved.

Geographic distribution at the northern range of the species has been defined in Murmansk Region where this species has its northern border. The regional population data set are collected for further the IUCN-red data book testing [Guidelines ..., 2019]. 30 populations from 14 geographic localities have been confirmed (Table 1). Of eight biogeographic provinces, Lapponia Imandrae and Lapponia Varsugae have more populations of *E. gracile*. Two records – one from Lapponia ponojensis and another from Lapponia murmanica – are excluded. It is proved that the main factor which shapes the northern limit of this species in Fennoscandia is climatic. The majority of populations are situated in two of five the warmest climatic subunits of Murmansk Region (Table 2), and these climatic areas match the latitudinal forest border. Another determinants shaping geographic range are hydrological (an association with a high water table) and edaphic (an indicator species of transition between slightly acid and neutral soils).

An extinction of populations of *E. gracile* and a range shift of the species as a response to recent climatic trends is not predicted at the northern border if warmer temperatures will not affect high water table of habitats. Moreover, within its regional climatic optimum species could expand its presence in river basins with already existed species' occurrences. The populations of *E. gracile* in the north-eastern Fennoscandia might be remnants of its paleo-range and Pleistocene refugia, additional research will help conservation management of a potentially relic habitats.

Key words: *Eriophorum gracile*, Cyperaceae, rare plant species, Fennoscandia, the northern distributional range, climate, glaciations, relic species, paleorecords.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение факторов, определяющих границы распространения видов, является важной теоретической базой экологии, эволюции и охраны природы, поскольку они могут касаться макроэволюционных механизмов видообразования [Roy et al., 2009]. И, хотя работ, которые связаны

с изучением закономерностей распространения видов на границах ареалов, выполнено много по всему миру, эта тема – полностью не раскрыта. В Мурманской области проходит северная граница распространения многих видов сосудистых растений, которую часто связывают с климатическим фактором [Ramenskaya, 1983; Blinova, 2009]. Климатическое потепление уже привело к трансформации растительного покрова Фенноскандии [Nielsen et al., 2019; Niskanen et al., 2019; Tyler et al., 2020]. Отмечено, что распространение редких видов растений особенно тесно связано с изменениями как современного климата [Vincent et al., 2020; Roman-Palacios, Wiens, 2020], так и исторического, связанного с оледенениями [Liu et al., 2017]. Поэтому выявление изменений в географии популяций конкретных видов на северном пределе распространения является актуальным.

В северных регионах травы из Cyperaceae часто лидируют в составе болотных фитоценозов [Smagin, Boch, 2001]. И хотя осоковые часто являются доминантами болот, в Мурманской области есть и редкие виды этого семейства. Среди них *Eriophorum gracile* – вид, занесенный в Красную книгу Мурманской области [Red ..., 2014]. По глобальной шкале *E. gracile* близок к видам, находящимся под угрозой исчезновения (NT) [Bilz et al., 2011]. В Фенноскандии *E. gracile* включен в Красную книгу Норвегии [Kalas et al., 2010], но отсутствует в списке краснокнижных видов Финляндии [Rassi et al., 2010]. Вид включен во многие региональные Красные книги Европейской части России.

Пушица *Eriophorum gracile* получила статус редкости относительно недавно в связи с тестированием и подтверждением небольшого числа очень фрагментированных популяций по всему ареалу, а также фактами их исчезновения. Дефицит данных для этого вида все еще остается большим и на организменном и на популяционном уровнях. Для *E. gracile* отмечен недостаток информации по особенностям динамики популяций и репродуктивной биологии и требуются дальнейшие мониторинговые работы по всему ареалу.

Определение статуса редкости вида предусматривает учет всех местонахождений вида и числа его популяций в пределах региона [Guidelines ..., 2019]. Особенности географического распространения многих видов сосудистых растений Мурманской области традиционно базируются на изданиях «Флоры Мурманской области» [Flora ..., 1953-1966], а также картах Хультена [Hulten, 1950, 1971; Hulten, Fries, 1986]. Эти материалы по распространению видов уже относятся к историческим. Также очерк, посвященный *E. gracile*, в Красной книге Мурманской области [Red ..., 2014] требует новой редакции.

Поэтому цель данной работы заключалась в проведении ревизии местонахождений *Eriophorum gracile* в Мурманской области, составлении карты современного географического распространения в регионе и установлении примерного числа локальных популяций для последующей оценки редкости вида по методике IUCN. Также в цели работы входило проведение географического анализа распространения данного вида с выявлением факторов, определяющих его северную границу, и установление возможного исторического пути вида.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мурманская область (66-70°N с.ш.) находится в атлантико-арктической климатической зоне умеренного пояса [Yakovlev, 1961]. Большая часть ее территории расположена севернее Полярного круга. Влиянием теплого морского течения Гольфстрим обусловлен относительно мягкий климат, который определяет развитие в регионе преимущественно бореальных типов растительности [Regel, 1935; Ramenskaya, 1983]. Среднегодовое количество осадков неодинаково в разных районах области. Годовая сумма осадков варьирует от 800 до 1200 мм в горных районах до 500-800 мм на большей части равнинной территории [Yakovlev, Kozlova, 1971]. Снежный покров лежит с середины октября по конец мая. Вегетационный период длится с раннего июня по середину сентября и имеет тенденцию к заметному (19 дней) удлинению с 1951 г. [Blinova, Chmielewski, 2015]. Мурманская область является частью обширной площади Балтийского (Фенноскандинавского) щита, сложенного кристаллическими, преимущественно архейскими породами [Geology of the USSR ..., 1958]. При этом есть породы, содержащие кальций и даже высококальциевые, и они имеют ограниченное распространение в области [Pozhilenko et al., 2002; Ivanyuk et al., 2008; Petrov et al., 2013; Sidorov et al., 2021; Filina et al., 2022].

Восемь биогеографических провинций выделены в регионе с конца XIX века: Петсамо (*Lapponia petsamoensis*, Lps), Лапландия Туломская (*Lapponia tulomensis*, Lt), Лапландия Мурманская (*Lapponia murmanica*, Lm), Лапландия Имандрская (*Lapponia imandrae*, Lim), Лапландия Варзугская

(*Lapponia Varsugae*, Lv), Лапландия Понойская (*Lapponia ponojensis*, Lp), Куусамо (*Regio kuusamoensis*, Ks) и Карелия Керетская (*Karelia keretina*, Kk) [Hamet-Ahti et al., 1998; Uotila, 2013]. Относительно недавно к самостоятельной провинции (*Lapponia Khibibinensis*) отнесены Хибинские горы [Urbanavichus et al., 2008] и выделен горный блок [Blinova, Chmielewski, 2015]. Но в данной работе новые деления не использовали.

Eriophorum gracile – циркумбореальный вид с обширным ареалом в холодных и умеренных областях северного полушария: от Европы на восток через Сибирь и Казахстан до Амура и Приморья Дальнего Востока России, спорадически на Камчатке, Сахалине, Китае, Корею и на большей территории Северной Америки [Hulten, Fries, 1986; Новоселова, 1994; Lansdown, 2011]. Везде – в заболоченных местообитаниях.

Для составления списка местонахождений и карты распространения изучен материал следующих гербариев: КРАБГ – Полярно-альпийского ботанического сада-института, KAND – Кандакшского государственного заповедника, ГЗП – государственного заповедника Пасвик, INEP – института проблем промышленной экологии Севера, PTZ – Карельского научного центра, LE – Ботанического института им. В. Л. Комарова, Н – университета г. Хельсинки, S – шведского музея естественной истории, TROM – Арктического университета Норвегии. Также использованы электронные базы данных для сборов KAND, MW, INEP в Цифровой гербарии МГУ [Seregin, 2023], базе данных проекта “Flora of Russian Lapland” [Kozhin, Sennikov, 2020] и Cryptogamic Russian Information System [CRIS, 2023], финских сборов в “Kasviatlas” [Lampinen, Lahti, 2021].

В списке местонахождений вида нумерация сборов – сплошная, и ординация идет согласно биогеографическим провинциям в широтном направлении с юга на север. Для гербарных сборов приводится акроним их хранилища (гербария), для литературных упоминаний – ссылка на источник. Оригинальные записи этикеток на других языках приведены в квадратных скобках. В скобках после аббревиатур биогеографических провинций через тире указано число учтенных географических точек (Т) и число популяций (П).

Местонахождения подразделены на подтвержденные и исключенные. Исключенные местонахождения помещены в конец списка. Критерием для исключения служило несоответствие экологических (климатических, эдафических, гидрологических и др.) характеристик географического пункта минимальным требованиям для произрастания вида в данных условиях. Далее проверялось наличие ваучерного образца в гербарии и подробности сбора.

Распространение *Eriophorum gracile* представлено в виде точечного ареала. Близкие местонахождения, удаленные в пределах 25 км друг от друга, отмечали на базовой карте Мурманской области одним знаком. Электронные карты выполнены в Arcview GIS 3.2.

Вегетационный период рассматривали как число дней выше базовой температуры +5°C. Длина вегетационного периода контрастно отличается в разных районах области, имеет тенденцию к сокращению на восток-северо-восток и отражает расположение растительных зон в Мурманской области [Blinova, Chmielewski, 2015]. Начало вегетационного периода, обусловленное переходом средней суточной температуры воздуха через +5°C весной, хорошо согласуется с расположением зональной растительности. Поэтому для разграничения региона по теплообеспечению летом для упрощения использовали климатическую карту [Yakovlev, Kozlova, 1971] перехода средней суточной температуры воздуха через +5°C весной.

Местонахождения *Eriophorum gracile* проверяли на предмет связи с горными породами по геологическим картам Мурманской области [Perevozchikova, 1971; Pozhilenko et al., 2002; Remizova, 2007], картам щелочных массивов [Arzamastsev et al., 2008; Filina et al., 2022] и другим работам [Zaitsev et al., 2014; Kastornyy, 2020; Sidorov et al., 2021]. Предварительно сделана калибровка пород по содержанию в них кальция. Породы, среднее содержание СаО в которых превышало или равнялось 5%, относили к высококальциевым. Составлен справочный список основных высококальциевых пород с их составом и процентным содержанием кальция [Blinova, 2009].

Уровень кислотности болотных вод и содержание в них солей были непосредственно измерены в полевых условиях портативными приборами 1-2 раза в период с июня по август 2014 г. в четырех изолированных фрагментах популяции *Eriophorum gracile* в центральной части Мурманской области (№ 11.1 по списку). Для определения кислотности почвы использовали портативный прибор для измерения уровня pH воды pH-009 (Kelilong Instruments, Китай) с диапазоном измерений от 0.00 до 14.00 и ценой деления 0.1. Для измерения удельной электропроводности воды использовали кондуктомер AP-2 (НМ Digital, Китай) с диапазоном измерений от 0-9999 мкСм ценой деления 1 мкСм. Поскольку данное болото обследовали в 2013-2015 гг. на предмет градиентов кислотности и электропроводности почвенных растворов по данным из 28 пунктов измерений (с различными

выборками), связанных с индикаторными видами растений, шкала почв по кислотности была составлена на основании этих данных [Blinova, 2016]. Три группы почв были выделены на основании принятого во многих европейских странах и США (но отличающегося в России) деления на слабокислые (рН 5.9-6.8), нейтральные (рН 6.8-7.2) и слабощелочные почвы (рН 7.0-7.9). Наиболее близкие показатели по диапазонам рН они имели с системой Швейцарии [BGS, 2010]. Связь индикаторного вида с одной из трех групп по кислотности почвы была определена на основании кластерного анализа и анализа главных компонент, причем в группах также учитывалось значение электропроводности. По значениям рН и электропроводности *E. gracile* был на границе между слабокислыми и нейтральными почвами.

Гипотезы исторического расселения вида основаны на хорологическом анализе *Eriophorum gracile*, данных относительно климатических характеристик и растительности определенного исторического периода. Под реликтами понимали виды, существование которых доказано по палеонаходкам в прошлых геологических периодах (таксономические реликты). Предположение о реликтовом деградированном ареале *E. gracile* возможно, но обоснование не входило в задачи исследования, так как для этого недостаточно данных, несмотря на то, что вид по своему ареалу встречается спорадически.

Полевые данные статистически обработаны, в выборках получены средние ($\bar{X}$), стандартное отклонения (SD), минимум и максимум значений (min-max). Для установления связи между климатическим фактором и численностью местонахождений, (популяций), а также между численностью генеративных побегов в популяции и показателями почвенных вод применяли регрессионный анализ и использовали программу PAST [Hammer et al., 2001].

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Список местонахождений *Eriophorum gracile* на территории Мурманской области приведен ниже.

Подтвержденные местонахождения:

Ks (T2 – П4)

1. между оз. Вуоснаярви и оз. Вуориярви – бассейн оз. Ниваярви:

1.1. р. Кутсайоки, Олений водопад (Янискогас?) [Tuntsajoki. Peuraköngäs - 34¹]: [Pesola, 1955] и литературная ссылка в базе Н;

1.2. оз. Райярви [Rajajärvi - 50]: [Pesola, 1955] и литературная ссылка в базе Н;

1.3. оз. Ниваярви [Rajajärvi – Nivajärvi - 62]: [Pesola, 1955] и литературная ссылка в базе Н;

2. пос. Куоляярви:

2.1. болото между горой и деревней с церковью, Aschan M., 04.07.1913 [Kuolajarvi, Kart mellan fjället och kyrkoby]: Н; Куоляярвская деревня с церковью, пустошь, Ruotsalo R., 17.07.1937 [Kuolajarven kirkonkylä, Rame]: Н;

Kk (T2 – П4)

3. о-в Великий:

3.1. Городецкий порог, на сфагновом болоте вокруг озера Тростникового, Победимова Е., Коломойцева С., 08.08.1957: LE,

3.2. кочкарно-мочажинное болото, в воде, 79 кв., Бакеева Л., Вехов В.Н., Дворцовская Н., 30.06.1963: KAND, [Kozhin, Sennikov, 2020],

3.3. осоково-гипновое кочкарное болото, Вехов В.Н., Флоренская К.К., 23.07.1964: (KAND, [Kozhin, Sennikov, 2020], и оно же Вехов В. Н., 23.07.1964: KAND, [Kozhin, Sennikov, 2020], и, возможно оно же: грядово-мочажинное болото в 64 кв., Вехов В.Н., Филин В. Р. 04.08.1976: MW, [Seregin, 2023];

Примечание: указания на этот вид в близком пункте (п-ов Киндо) В. Н. Веховым и Н. Е. Богдановой [Vekhov, Bogdanova, 1971] были переопределены Д.Д. Соколовым на *E. polystachyon*.

4. о-в Ряжков:

¹ номер в системе типов местообитаний в работе [Pesola, 1955], в том числе с учетом содержания кальция.

4.1 осоково-сфагновое болото, Бреслина И.П., 09.08.1963: KAND, [Kozhin, Sennikov, 2020];

Lv (ТЗ – П8)

5. бассейн р. Варзуга:

5.1. между Падунотом (водопад) и Сергозером, на сфагновом болоте, Регель К.В., 22.07.1913: LE;

6. бассейн р. Поной, срединная часть:

6.1. зоологический заказник регионального значения "Понойский", 3.4 км к югу от д. Чальмны-Варрэ (Ивановка), болото Тульлампе, осоково-пушицево-гипновая топь, Кузнецов О.Л., 01.08.2018: INEP по CRIS, PTZ; [Borovichev et al., 2020; Kutenkov et al., 2020];

7. бассейн р. Поной, верховья:

7.1. северо-восточный берег оз. Чурозеро, к востоку от избы рыбаков, грядово-мочажинное болото, в мочажине, заросшей пушицей, Чернов Е.Г., Смирнова Г.К., Ковакина В.А., Маркеева Т., 31.07.1946: КРАВГ;

7.2. в 7 км к северо-западу от устья р. Сахарной, грядово-мочажинное болото, осоковая, без мхов, мочажина, Орлова Н.И., Чернов Е.Г., Свеженина А.Ф., №239/5, 23.07.1960: КРАВГ;

7.3. в 8 км к северу-северо-западу от устья р. Сахарной, осоковое и осоково-сфагновое болото, не очень топкие места, много, Орлова Н.И., Чернов Е.Г., Свеженина А.Ф., №184/7, 22.07.1960: КРАВГ и дублеты в КРАВГ, LE и ЦСБС;

7.4. между р. Тичка и руч. Большой, травяно-гипновая топь в центре мезоэвтрофного болота, 14.VIII.2019, Кузнецов О.Л., Кутенков С.А., Игнашов П.И.: PTZ, [Borovichev et al., 2021];

7.5. р. Пятчема, болото Макаровское, грядово-топяной комплекс, мезотрофная травяно-гипновая топь, 25.VIII.2019, Кутенков С.А., Игнашов П.И.: PTZ, [Borovichev et al., 2021];

7.6. р. Пятчема, болото Макаровское, обширная осоково-вахтовая топь в центре болота, 21.VIII.2019, Кутенков С.А., Игнашов П.И.: PTZ, [Borovichev et al., 2021];

Примечание: с 40-60х годов прошлого века на участке р. Поной от с. Красношелье до оз. Чурозеро известны три популяции *Eriophorum gracile* – 7.1, 7.2, 7.3. Экспедиция обследовала также пункты сборов 6.1., 7.5, 7.6., откуда собраны образцы харовых водорослей [Romanov, Blinova, 2015], но тогда *E. gracile* не был отмечен. Исходя из информации гербарных этикеток и литературных данных [Kutenkov et al., 2020], число популяций в бассейне р. Поной превышает число собранных гербарных образцов и в будущем нуждается в корректировке. Так, есть наблюдения еще четырех популяций на болотах у р. Тичка [Borovichev et al., 2021]. В виду обширных площадей болотных массивов в этом районе актуальным является выявление границ популяций *E. gracile* в пределах болотных массивов: из описаний не ясно, относятся ли они к разным, или к одной популяции.

Lim (Т4 – П7)

8. около Кандалакши:

8.1. проливы, осоковое болото, Савич Н., 19.08.1921, переопр. *E. polystachion*, Schipczinsky N., 1929; переопр. Efimov P., 2022: LE;

8.2. между Кандалакшей и Колвицей, на болоте между горами, Lindberg H., 28.07.1913, [inter Kandalakscha et Kolvitsa, in palude infra alpem]: Н, и предположительно они же: между Кандалакшей и Колвицей, болото, Aschan M., 28.07.1913 [Mellan Kantalaks och Kolvitsa, Kart]: Н; 9.5 км на В-ЮВ от г. Кандалакша, старая Лувеньгская дорога, восточная часть комплексного мохово-пухоносово-осокового болота у подножия г. Малая Куртяжная (Iuvfen), Блинова И.В., 06.08.2015: КРАВГ;

9. залив на р. Умба:

9.1. мшистые окраины мочажин, Kihlman A. Osw., 22.08.1892 [ad pag. Umba, in ripa muscosa stagni]: Н;

10. срединная часть бассейна р. Умба:

10.1. пороги на Умбе, в воде, N 863, registration number S14-25787, Kihlman A.Osw., 16.08.1892 [Kontioikoski ad flum. Umpjok in aquosis]: Н и S, дублет из Н;

10.2. Капустные озера, сенопас на разливе у домика Николаевых, асс. *Equisetum limosum*, неизв. коллектор, 22.07.1940, опр. Чернов Е.Г., 07.08.1960: КРАВГ;

Примечание: географически близкая к предыдущей популяции.

11. окрестности г. Апатиты:

11.1. ~3.8 км на В-ЮВ от центра г. Апатиты, склоновое пушицево-пухоносово-осоковое болото (moch_fen1), в нескольких небольших мочажинах, очень рассеянно, Блинова И.В. 25.06.2014 (цветение), 15.07.2014 (плодоношение): КРАВГ;

11.2. 3.5 км к востоку от г. Апатиты, долина р. Жемчужной, склоновое облесенное сосной, осоково-травяно-сфагновое болото, мочажина, Разумовская А.В., 05.08.2017: INEP по CRIS;

Примечание: местонахождения 8.2, 11.1 и 11.2 относятся к недавно описанным в регионе богатым минеротрофным болотам и на карте, приведенной в обзорной статье [Blinova et al., 2017], имеют нумерацию соответственно 7, 5 и 6.

Lt (T1 – П1)

12. у Пулозера, по литературным данным: [Fellman, 1831, 1882; Hulten, 1950, 1971; Hulten, Fries, 1986].

Примечание: впервые местонахождение “Ad Pollomjaur” появилось в одном из первых аннотированных списков сосудистых растений для Кольского полуострова для *Eriophorum triquetrum* (синоним *E. gracile*) [Fellman, 1931]. В 1882 г. приводится тот же географический пункт [Fellman, 1882] и пометка о том, что *E. gracile* и *E. triquetrum* – один и тот же вид. “Pollomjaur” (Lake Polozero, Lt) – небольшое озеро Пулозеро в Туломской Лапландии, откуда известны указания других сосудистых растений из трудов Фельмана [Väre, 2011]. Это – единственное указание на присутствие данного вида в Русской Лапландии (Lapponica Rossica) остается и в “Conspectus Florae Fennicae” [Hjelt, 1892]. Однако местонахождение не было включено во «Флору Мурманской области» [Chernov, 1954], но присутствовало на картах Хультена [Hulten, 1950, 1971; Hulten, Fries, 1986]. В Красной книге Мурманской области неправильно интерпретировано как «к северу от Волчьих Тундр» [Red ..., 2014], хотя вид не приводился в списках флоры Лапландского государственного заповедника [Berlina, Kostina, 2012].

Северное расположение этого местонахождения без наличия гербарного материала вызывало сомнения в правильном указании о встречаемости там *E. gracile*. Однако, как будет показано далее, этот пункт соответствует климатическим предпочтениям вида. Также сравнительно недавно в районе Пулозера обнаружили новые высококальциевые породы, названные высококальциевыми гнейсами [Petrov et al., 2013]. Вместе с напорным увлажнением они создают заболоченные ландшафты, эдафически удовлетворяющие экологические требования *E. gracile*. В данной местности следует провести новые поисковые работы в период плодоношения этого вида в середине июля. Поскольку сам вид легко просматривается, то сначала следует закартировать примерные болотные участки в данном районе, где он мог бы расти.

Lps (T2 – П6)

13. Печенгский р-он, пос. Янискоски:

13.1. в 1 км к юго-западу от поселка, аапа-болото, единичные экз., № 28543, Кравченко А.В., 15.08.2016: [Kravchenko et al., 2017];

13.2. болото Кайтоапа, участок с аапа-комплексом, Кутенков С., 15.08.2016: PTZ, [Kravchenko et al., 2017].

Примечание: ранее, с 05.08.1993, с норвежской стороны через границу от Янискоски известна другая популяция *Eriophorum gracile* [Blindheim, 2023]. Указание о том, что образцы 13.1. и 13.2. имеются в гербарии заповедника Пасвик [Kravchenko et al., 2017] не подтвердилось.

14. Печенгский р-он, Государственный заповедник Пасвик:

14.1. кв. 3, выд. 14, в 1 км к юго-западу от Глухой плотины, между озерами Марккиналампи и Пахталампи, аапа-болото, участок с грядово-мочажинным комплексом, десятки экз., № 22935, Кравченко А.В., 04.08.2010: [Kravchenko, Kuznetsov, 2016];

14.2. кв. 3, выд. 28, в 0.5 км к северо-востоку от ПЗ91, аапа-болото, рассеянно на значительной площади, № 25029, Кравченко А.В., 01.08.2012: [Kravchenko, Kuznetsov, 2016];

14.3. Глухая плотина, южный берег залива «Лангватн» на оз. Боссоярви, аапа-болото, 69.361418 29.737079, № 627, Кравченко А.В., 04.08.2011 [Glyhaya dam, S shore of “Langvatn” Bay of Bossojarvi Lake, Aapa mire]: (ГЗП),

14.4. западный берег оз. Боссоярви (Питкаярвенлахти), залив Хаапаниеми, болотная система Пиипаринийенке, восточный конец, очень влажное переходное болото вдоль ручья, 69.31269 29.518, № 31042, Кравченко А.В., 19.07.2019 [W shore of Bossojavrre Lake (Pitkanjarvenlahti), Haapaniemi Cape, Piiparinjankä mire system, E end, very wet transitional mire along mire brook]: (ГЗП).

Примечание: указание о том, что гербарные образцы 14.1. и 14.2. имеются в гербарии заповедника Пасвик [Kravchenko, Kuznetsov, 2016] не подтвердилось, но гербарный образец 14.3 собран на близко расположенном болоте. В заболоченной пойме р. Паз в месте оз. Боссоярви все четыре местонахождения можно рассматривать как отдельные популяции. Также ранее, в 11.08.1987,

с норвежской стороны р. Паз на этом участке известна популяция *Eriophorum gracile* на окраине богатого минеротрофного болота с *Carex rostrata* [TROM; Rama, 2023].

Исключенные местонахождения:

Lp (T1 – П1)

15. Поной выше устья Поноя вверх, но ниже Орловского залива: данное местонахождение известно из карт ФМУ: [Chernov, 1954].

Примечание: сам Е. Г. Чернов [Chernov, 1954] географические пункты в очерке, посвященном *Eriophorum gracile*, не называл. В первом издании Атласа Хультена это местонахождение еще не отмечено на карте [Hulten, 1950]. В следующем издании [Hulten, 1971] указано, что учтены данные вышедшей ФМУ [Chernov, 1954], и местонахождение у Поноя внесено на карту. Также сохранилось и в третьем издании карт [Hulten, Fries, 1986]. По неизвестным причинам в Красной книге Мурманской области [Red ..., 2014] уточнено до «губа Русинга», т.е. географически между мысом «Орловский» и архипелагом «Три Острова». Эти места в 2015-2016 гг. обследованы [Belkina et al., 2018], но вид не обнаружен [Kozhin et al., 2018].

Lm (T1 – П1)

16. Иоканга, Mela A.J., 15.07.1872, из гербария J. Emil Johansson [Jokonga, Mela, A.J., Herbarium J. Emil Johansson]: Н.

Примечание: в атласах Хультена [Hulten, 1971; Hulten, Fries, 1986] отсутствует. Впервые появилось в литературных указаниях как «р. Иоканга» в Красной книге Мурманской области [Red ..., 2014]. На этикетке образца, хранящегося в гербарии Ботанического института г. Хельсинки (Н), указано “Jokonga, 15.07.1872, A.J. Mela”. Но сам A.J. Malmberg (впоследствии изменивший фамилию на Mela) никогда не посещал Иокангу, и его сборы 1972 года касаются северного Саво (Sb/PS) на юго-востоке Финляндии [pers. soobchsh. P. Uotila, M. Piirainen]. В хельсинский гербарий (Н) образец попал в 1974 г. из департамента патологии растений (НРР), но сам гербарный лист – из коллекции J.E. Johansson (=J.E. Aro). Предположительно, после того, как J.E. Johansson получил сборы от A.J. Malmberg (в т. ч. неоформленный образец *Eriophorum gracile*), он подготовил этикетки самостоятельно. Так, в коллекции J.E. Johansson идентичную этикетку “Jokonga, 15.07.1872, A.J. Mela” имеет гербарный лист *Ranunculus hyperboreus*, при этом образец этого вида есть в основной коллекции (Н) и собран А.Н. & В.Ф. Броthers в июне 1872 г. Принимая во внимание, что A.J. Malmberg путешествовал по южному берегу Кольского полуострова до Поноя в 1870 г., наиболее вероятным местом сбора является обширное болото между Кандалакшей и Лувеньгой, где A.J. Malmberg вместе с J. Sahlberg собирали в коллекцию *Carex livida* (Н). Это – то же болото, где в 1913 г. Н. Lindberg обнаружил другой редкий вид осоковых *Schoenus ferrugineus* [Blinova, Uotila, 2013], и где мы также собирали в гербарий *C. livida* и *E. gracile* [Blinova, 2015].

В Мурманской области распространение *Eriophorum gracile* очерчивает северный предел. Самое первое упоминание об этом виде в Туломской Лапландии у Пулозера сделано Я. Фельманом [Fellman, 1831]. В 1892 г. О. Чильманом были обнаружены популяции этого вида по берегам реки Умба, и в 1913 г. Линдбергом на болоте между Кандалакшей и Колвицей в Лапландии Имандрской. В 1913 г. К.В. Регелем был собран образец этого вида в Лапландии Варзугской у Сергозера, удаленном от прежних местонахождений. Также в 1913 г. в Куусамо, юго-западной части Мурманской области (со смежной с Финляндией территорией), описывают популяции этого вида между озерами Райярви и Ниваярви [Pesola, 1955]. Они не были подтверждены в ходе обследования территории бывшего Национального парка Кутса в 1994 г. [Ulvinen, 1996]. Однако с рядом расположенным поселением Куолаярви гербарий собирали дважды: в 1913 и в 1937 годах. В связи с публикацией «Флоры Мурманской области» [Flora ..., 1954-1966], но уже после выхода первого тома с очерком, посвященном *E. gracile* [Chernov, 1954], в экспедициях на восток области находят новые и крупные популяции этого вида в верховьях р. Поной. В это же время на юге области в Карелии керетьской на островах Кандалакшского заповедника находят несколько новых местонахождений. После 2000х годов были выявлены местонахождения на крайнем северо-западе региона в долине р. Паз [Kravchenko, Kuznetsov, 2016; Kravchenko et al., 2017], в центральной части Имандрской Лапландии на болотах бассейна оз. Имандра [Blinova, Petrovskiy, 2014], топях в средней части р. Поной [Borovichhev et al., 2020; Kutenkov et al., 2020] и в верховьях р. Поной рядом с выявленными в 40-60х годах у оз. Чурозеро [Borovichhev et al., 2021].

Долгое время не все сборы этого вида в разных ботанических коллекциях были учтены. Есть литературные подтверждения о том, что гербарные сборы этого вида были переопределены как *Eriophorum angustifolium* [Kertland, 1971; Sokolov, Filin, 1996] и наоборот. Ошибочные определения и ошибки в идентификации пунктов сборов были обнаружены в разных гербариях и в ходе выполнения этой работы.

В настоящее время по литературным и гербарным данным известно 30 популяций *Eriophorum gracile* в Мурманской области из 16 географических пунктов (таблица 1). Два местонахождения – из Понойской и Мурманской Лапландии – исключены. Таким образом, число современных популяций может быть оценено 30 из 14 местонахождений, расположенных в шести биогеографических провинциях. На карте распространения *E. gracile* из-за близости некоторых из них они соответствуют 13 знакам (рисунок 1). Больше всего популяций представлено в Лапландии Имандрской и Варзугской.

Таблица 1. Информация по находкам *Eriophorum gracile* (Сурепaceae) в разных биогеографических провинциях Мурманской области и пояснения к построению карты распространения.

Характеристики Провинция	Число местонахождений	№ по списку	Объединены для нанесения пункта на карту	Отмечено на карте	Число популяций
<i>Ks</i>	2	1-2	1.1.+1.2.+1.3.	2	4
<i>Kk</i>	2	3-4	3.1.+3.2.+3.3.; 8.1.+8.2.+4.1.*	1	4
<i>Lv</i>	3	5-7	7.1.+7.2.+7.3.+7. 4+7.5+7.6	3	8
<i>Lim</i>	4	8-11	8.1.+8.2.+4.1.*; 10.1.+10.2.; 11.1.+11.2.	4	7
<i>Lt</i>	1	12		1	1
<i>Lps</i>	2	13-14	13.1.+13.2.; 14.1.+14.2.+14.3. +14.4.	2	6
Всего	14			13	30
<i>Lp</i>	1	15	исключено	0	1
<i>Lm</i>	1	16	исключено	0	1

*Местонахождение на о-ве Рязков (4.1) в провинции *Kk* объединено вместе двумя другими возле Кандалакши (8.1.+8.2.) из провинции *Lim* из-за их географической близости.

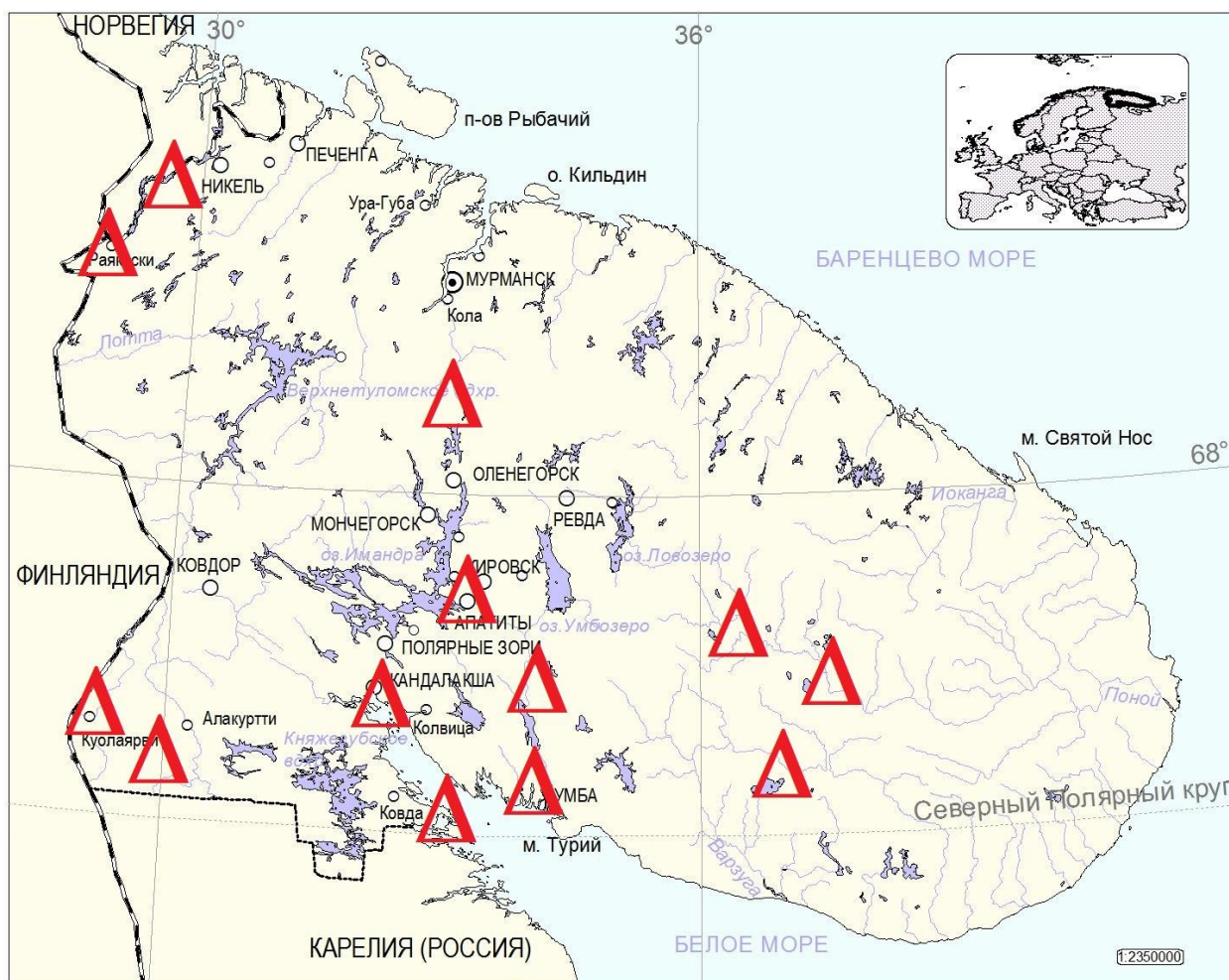


Рисунок 1. Распространение *Eriophorum gracile* на территории Мурманской области.

Региональная климатическая граница вида

В Мурманской области юго-юго-западные районы прогреваются в начале лета быстрее (рисунок 2). Некоторые виды растений, зависимые от температурного фактора, или виды более южного распространения, встречаются только там [Ramenskaya, 1983; Blinova, 2009]. Все местонахождения *Eriophorum gracile* находятся внутри лесной зоны и не пересекают экотон лесотундры. Большинство местонахождений этого вида располагаются в первых двух, наиболее теплых районах. Два местонахождения (в окрестностях г. Апатиты и у залива р. Умба) – на границе второго и третьего терморегiona. Выявлена обратная и статистически достоверная связь между увеличением порядкового номера терморегiona и числом местонахождений (таблица 2). Порядковый номер увеличивается от наиболее теплого терморегiona к наиболее холодному, т.е. чем холоднее, тем меньше популяций. Более того, эта связь стремительно обрывается уже в третьем терморегione, подтверждая наличие климатической границы для этого вида в регионе и полностью оправдывая бореальный тип ареала данного вида. Это также служит дополнительным подтверждением ошибочных указаний встречаемости данного вида на Иоканге и в устье Поноя. При этом одно из первых местонахождений данного вида в Туломской Лапландии, которое ранее считалось дискуссионным, входит в термический район, достаточный для роста *E. gracile*. Не исключается возможность обнаружения новых местонахождений этого вида, особенно к западу от Верхнетуломского водохранилища.

Таблица 2. Коэффициенты регрессии и статистика для анализа связи числа местонахождений и популяций (зависимые переменные) *Eriophorum gracile* в Мурманской области с положением в определенном термическом регионе (независимая переменная).

Величины Переменные		Coeff.	SE	t	p	R ²
Число местонахождений	Constant	7.13	1.64	4.35	0.01	
	Терморегион	-1.37	0.42	-3.26	0.03	0.73
Число популяций	Constant	15.8	3.65	4.33	0.01	
	Терморегион	-3.09	0.93	-3.30	0.03	0.73

Примечание. Температурные регионы по переходу температуры воздуха через +5 °С весной: 1-20 мая, 2-25 мая, 3-1 июня, 4-5 июня, 5-10 июня, 6-15 июня. Порядковый номер терморегиона изменяется от 1 до 6 и подразумевает переход от наиболее теплого до наиболее холодного. *Coeff.* – коэффициент регрессии, *SE* – стандартная ошибка, *t* – критерий, *p* – уровень значимости, *R²* – коэффициент детерминации.

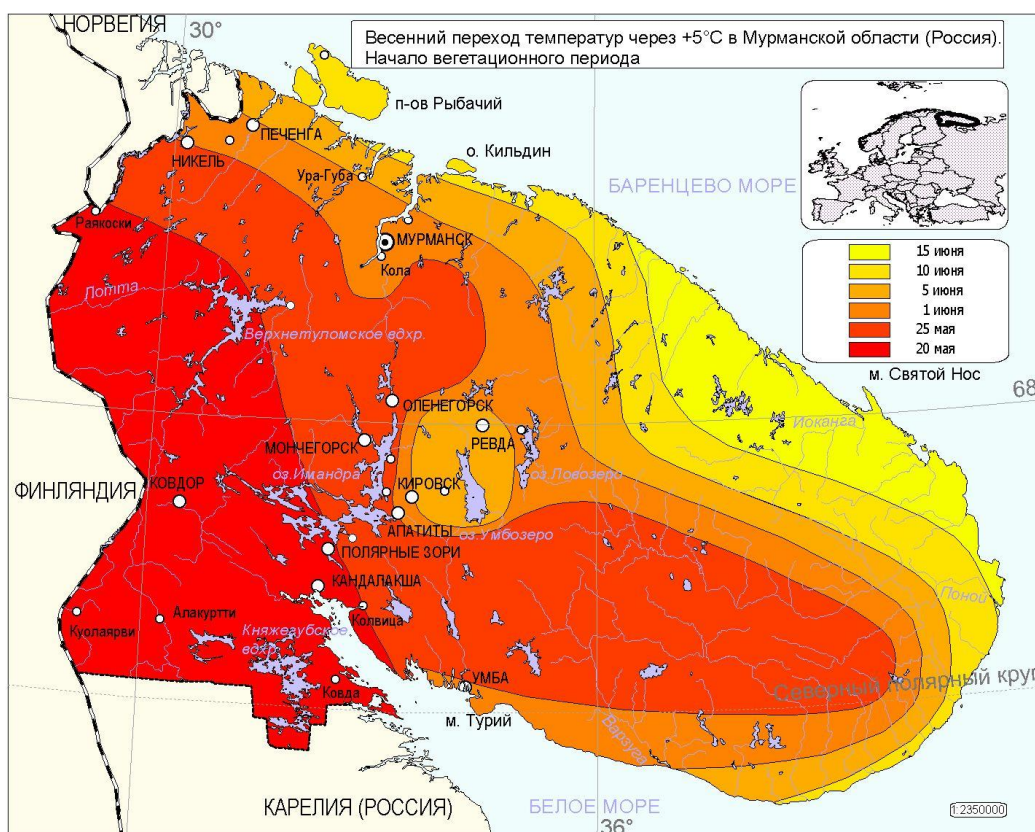


Рисунок 2. Начало вегетационного периода в Мурманской области по материалам климатических карт [Yakovlev, Kozlova, 1971]. Температурные регионы от наиболее теплого до наиболее холодного по переходу температуры воздуха через +5°С весной: 1-20 мая, 2-25 мая, 3-1 июня, 4-5 июня, 5-10 июня, 6-15 июня.

В связи с потеплением климата, отмеченным в последние годы в регионе, возможно обнаружение новых популяций по водоразделам тех рек, где они уже были ранее обнаружены, в пределах его климатической границы. С другой стороны, часть популяций может исчезнуть из-за высокой температуры воздуха, приводящей к иссушению биотопов, поскольку существует умеренная обратная связь с температурой воздуха настоящего вегетационного периода [Blinova, 2022]. Но эта вероятность особенно высока для тех мест, где снижение уровня болотных вод повлечет за собой уменьшение площади обводненных мочажин.

Эдафические ограничения для произрастания вида, связанные с минерализацией почвы

Ранее мы подчеркивали связь редких видов растений из семейства орхидных с содержанием кальция в почве [Blinova, 2009]. К числу районов Мурманской области с высококальциевыми горными породами относятся: полуострова Рыбачий, Средний, окрестности г. Никеля, зона между реками Лотта и Нота, мыс Турий, острова в Кандалакшском заливе и побережье в жерле Белого моря,

Ловозерский и Хибинский горные массивы, район Вуориярви-Куолаярви, окрестности г. Ковдора, бассейны верховий рек Поной и Варзуга [Arzamastsev et al., 2008; Blinova, 2009; Filina et al., 2022]. Приуроченность сосудистых видов растений к районам, богатым кальцием, характерна и для Финляндии [Pesola, 1928; Sjörs, Gunnarsson, 2002]. Там же распространение болот с богатым минеральным питанием связано с расположением высококальциевых горных пород [Tahvanainen, 2004]. Все местонахождения *Eriophorum gracile* на территории Мурманской области располагаются в привязке к этим районам. Даже для района Пулозера с первой находкой этого вида Я. Фельманом [Fellman, 1831] недавно обнаружены высококальциевые гнейсы [Petrov et al., 2013]. Поскольку само месторождение было открыто спустя почти два столетия, чем собран вид, то *E. gracile* можно использовать для фитоиндикации слабокислых и нейтральных вод на болотах и для поиска кальцийсодержащих пород. Встречаемость *E. gracile* на карбонатных болотах отмечена также в Белоруссии [Rare ..., 2013] и Польше [Wolejko et al., 2019].

Eriophorum gracile регионально избегает слишком кислых почв, но локально изолирован от мест с повышенным содержанием кальция [Blinova, 2016]. Наши экспериментальные работы на богатом минеротрофном болоте в центральной части Мурманской области показали, что большая площадь изученного болота (69 %) была занята почвами нейтральной реакции, с небольшими по площади (13 %) слабокислыми участками и около пятой части болота (18 %) почвами слабощелочной реакции с градиентом pH от 5.9 до 7.9. Обводненные мочажины с фрагментами популяции *E. gracile* находились на границах участков между слабокислыми и нейтральными почвами и имели болотные воды с pH 6.7 ± 0.2 и электропроводностью 33 ± 12 мкСм/см (таблица 3). При этом значения электропроводности – наиболее информативны относительно локальной встречаемости *E. gracile* и связи с минерализацией почвы, чем показатель pH (таблица 4).

Таблица 3. Показатели почвенной среды в вегетационный период 2014 г. в изолированных обводненных мочажинах с фрагментами популяции *Eriophorum gracile* на болоте в центральной части Мурманской области (местонахождение №11.1 по списку)

Показатели	X	SD	min-max	n
Характеристики среды				
Кислотность почвы	6.7	0.2	6.4-7.0	7
Электропроводность, мкСм/см	33.0	12.0	23-59	7

Таблица 4. Коэффициенты регрессии и статистика для анализа связи числа генеративных побегов *Eriophorum gracile* с кислотностью и уровнем электропроводности почвенных вод (2014, местонахождение №11.1 по списку).

Величины	Coeff.	SE	t	p	R ²
Переменные					
Число генеративных побегов	-151.84	103.86	-1.46	0.22	
Кислотность почвы	21.82	14.82	1.47	0.21	0.00
Электропроводность, мкСм/см	0.58	0.23	2.53	0.06	0.41

Примечание. Выборка данных была составлена по семи измерениям водной среды в мочажинах (в трех фрагментах популяции дважды за вегетационный период, в одном – один раз). *Coeff.* – коэффициент регрессии, *SE* – стандартная ошибка, *t* – критерий, *p* – уровень значимости, *R²* – коэффициент детерминации.

К сожалению, данные по электропроводности болотных вод редко приводятся в литературе. Даже в работах по экологических шкалам используется только кислотность почвенной среды, причем с широкими диапазонами для градаций [Landolt et al., 2010; Ellenberg et al., 2010; Dengler et al., 2023]. В результате по этим шкалам можно сделать лишь грубый прогноз о встречаемости вида в конкретном местообитании, и их невозможно использовать для поиска популяций редких видов в регионе (таблица 5).

Таблица 5. Значения шкал Landolt et al. (2010), Ellenberg и Leuschner (2010) и Dengler et al., (2023) в отношении реакции почвы (pH) для *Eriophorum gracile* и наши данные (2014).

pH (Landolt et al., 2010)		pH (Ellenberg et al., 2010)		pH (Dengler et al., 2023)		pH (местонахождение №11.1 по списку)
балл	единицы	балл	единицы	балл	единицы	единицы
3 – I	4.5-7.5	4	5.5-6.0	3.9 – I	–	6.4-7.0

Примечание. Балл – первая цифра означает ступень, вторая – вариабельность признака (I – маленькая, II – большая), единицы (диапазон) – кислотность почвы указана на основании пересчета значений баллов.

Особенности фитоценотического окружения вида

В целом по области подходящих биотопов, где может расти *Eriophorum gracile* – сравнительно мало. Это – осоковые топи, мочажины и берега небольших и мелких озер богатых минеротрофных болот [Chernov, 1954]. Подобные местообитания характерны для этого вида по всему ареалу [Johnson, Steingraeber, 2003; Lansdown, 2013]. Богатые минеротрофные болота в Мурманской области – редко встречающийся тип из-за очень ограниченной встречаемости высококальциевых горных пород. Пока известно менее десятка таких региональных болот [Blinova et al., 2017]. Однако указания на встречаемость *E. gracile* в ранее обнаруженных болотах могут привести к новым находкам этих редких биотопов.

Недавно обнаруженные уникальные топи с доминированием в некоторых местах *Eriophorum gracile* – второй тип местообитаний [Kuznetsov et al., 2019; Kutenkov et al., 2020], где отмечен вид. Это – также редкие по себе биотопы, требующие дальнейшего изучения. Предположительно, они являются реликтовыми, как и в приморской Ирландии и Англии, с другими редкими видами [Conaghan, Sheehy Skeffington, 2009; Chatters, Sanderson, 2014]. Сопровождающие *E. gracile* виды схожи и в маленьких и в больших популяциях в Ирландии и Англии, а также в мурманских, и ведущим фактором размера популяций остается стабильно высокий уровень болотных вод в сочетании с большой площадью обводненных участков [Conaghan, Sheehy Skeffington, 2009; Chatters, Sanderson, 2014; Blinova, 2016].

На европейской части *Eriophorum gracile* является диагностическим видом союзов *Caricion lasiocarpae* Vanden Berghen in Lebrun, Noirfalise, Heinemann et Vanden Berghen 1949 (Syn.: *Eriophorion gracilis* Preisg ex Oberdorfer) и *Saxifrago-Tomentypneon* [Kasermann, Moser, 1999; Peterka et al., 2017], расширяя свой фитоценотический ареал в сообществах союза *Chamaedaphno-Sphagnion obtusi* (подсоюз *Chamaedaphno-Comarenion*) в Западной Сибири [Lapshina, 2010]. Стоит отметить, что классификация союза *Caricion lasiocarpae* спорна и постоянно пересматривается [Lapshina, 2010; Smagin, 2012].

Сообщества союза *Caricion lasiocarpae* нельзя назвать редкими. Нет точных данных, какую площадь они могут охватывать, но в пределах Российской Федерации это будет составлять меньше 8.9% площади, которые приходится на все болота [Vomperskiy et al., 2011; State report ..., 2018]. Предположительно площадь сообществ, в которых есть популяции *Eriophorum gracile*, незначительна. Так, несмотря на устойчивую связь с сообществами определенного союза, его встречаемость в них на юго-востоке Западной Сибири составляет 10-17% [Lapshina, 2010]. Поэтому уязвимость данного вида по ареалу связана с ограниченной площадью мест произрастания и часто маленькой площадью популяций из-за небольшого числа генеративных особей и низкой вероятностью попадания разносимых ветром семян к подтопленным участкам [Blinova, 2022]. Естественную редкость этого вида усиливает и антропогенный фактор: топкие сообщества часто представляют собой объекты мелиорации и осушения.

Лимитирующие экологические факторы на северной границе распространения вида

В Красной книге Мурманской области среди лимитирующих факторов и угроз, таких очевидных для водно-болотных видов, как торфоразработки, мелиорация, уничтожение болот при строительстве, приводящие к трансформации геохимического и гидрологического режимов, указано, что не известны биологические лимитирующие факторы. В ходе данной работы для данного вида выявлен один из основных факторов, определяющих продвижение вида на север – климатический. Также следует заметить, что *Eriophorum gracile* – слабый конкурент в тех местообитаниях, которые являются для него характерными (союз *Caricion lasiocarpae*). Он не может конкурировать с такими

доминантными видами, как *Carex lasiocarpa* и другими. Особи *E. gracile* встречаются в малозаселенных другими видами растений мочажинах с высоким уровнем болотных вод. Биологическими барьерами выступают и способы расселения. Анемохория в условиях топей способствует расселению данного вида в относительно постоянных условиях среды. Однако, такие местообитания – единичны для данного вида и в Мурманской области и по всему ареалу. На богатых минеротрофных болотах с высококонтрастным покрытием (вариабельные участки по кислотности почвы, площади обводненных участков и участием других видов) анемохория дает незначительные шансы на распространение и самоподдержание популяций. Также по литературным данным известно, что процент некачественных семян в популяциях этого вида – весьма велик (около 95%) [Barr, 1996]. Этот показатель также является барьером для репродуктивного возобновления особей в популяциях этого вида и требует дальнейшего изучения.

Исторический путь вида и данные относительно реликтового статуса местонахождений

В Мурманской области популяции *Eriophorum gracile* расположены вблизи наиболее крупных рек и озер бассейнов Белого и Баренцева моря. Самыми крупными из всех мурманских популяций являются понойские, особенно уникальны они в среднем течении, где стабильно существуют условия мезотрофных топей. На некоторых озерах и топких болотах приморского побережья Ирландии и южной Англии также обнаружены крупные популяции *E. gracile* с числом генеративных побегов больше четырех тысяч [Conaghan, Sheehy Skeffington, 2009; Chatters, Sanderson, 2014]. Исключительные популяции этого вида с численностью генеративных побегов до десяти тысяч известны и в восточной Франции [Guyonneau, 2006]. Предполагается, что современные популяции *E. gracile* – реликтовые и являются остатками прежних более крупного размера [Conaghan, Sheehy Skeffington, 2009; Hajek et al., 2011; Dite et al., 2018]. Однако возраст этих реликтов является дискуссионным.

Осоковые – третье крупное семейство однодольных (>5600 видов, 95 родов) [Larridon et al., 2021], представители которого часто встречаются в болотных местообитаниях по всему Земному шару. Ископаемые находки осоковых в Европе датируются палеогеном и включают ряд вымерших таксонов [Friis, 1985; Jiménez-Mejías et al., 2016]. Ископаемые плоды *Eriophorum gracile* в Фенноскандии известны с неогена [Burgh, 1978; Friis, 1985]. Климат неогена изменялся от теплого и влажного субтропического к более прохладному сезонному, но, все же, безморозному, вечнозеленые тропические леса сменялись сначала листопадными, а затем хвойными лесами [Grímsson et al., 2007; Linkina, Petrova, 2015; McCoy et al., 2022]. Плейстоцен ознаменовался уже серьезным похолоданием с чередой оледенений и появлением аркто-альпийских видов. В голоцене сформировались основные черты современного климата и растительности [Lavrova, 1960; Sjögren, 2021]. Ископаемые остатки растений предыдущих эпох в Мурманской области, в основном, относятся к голоцену [Lebedeva, 1977, 1983; Tolstobrova et al., 2016; Korsakova et al., 2019]. Из уникальных доказательств далеких климатических эпох известны только палеозойские [Kirichenko, 1970] и девонские [Krishtofovich, 1966]. Растительный покров позднеледниковья был несомнутый и включал виды, разнообразные как по экологии, так и по географическому происхождению. В Карелии обнаружено много пыльцы пушицы в палеосообществах с *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum* (*S. magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. fuscum*), господствовавших около 6400-4200 л. н. (атлантик – суббореал) [Filimonova, 2020]. Для Мурманской области из событий голоцена по материалам спорово-пыльцевого анализа важным является существование, а затем отступление около 2000 лет назад древесной растительности, там, где сейчас располагается зона тундр [Kremenetski et al., 1997; Kremenetski et al., 2004; Sapelco et al., 2016].

Короткий обзор палеогеографии региона показывает благоприятные условия для существования популяций *Eriophorum gracile* в Мурманской области с середины неогена до плейстоцена и с атлантического периода по настоящее время по ископаемым остаткам, характерным для определенного времени и соответствующему климату. Однако холодный послеледниковый климат не соответствовал ни росту древесной растительности, ни порогу холодостойкости *E. gracile* – единственной пушицы с циркумполярным ареалом, представляющей бореальную группу, он был благоприятен для циркумполярных пушиц арктических групп ареалов, которые в настоящее время достигают крайнего севера региона. Предположительно вид смог пережить ледниковое покрытие в северных рефугиумах, а не мигрировал из южно-европейских. Репродуктивные стратегии *E. gracile* не эффективны даже для колонизации современных растительных сообществ [Blinova, 2022], и активное расселение присуще видам с широкой экологической амплитудой, чем стенобионтам [Bhagwat, Willis, 2008]. Изучая видовое богатство местообитаний с характеристиками среды (pH) по климатическому градиенту, который соответствовал Плейстоценовому для Северной Евразии,

высказана гипотеза о том, что наиболее часто встречающиеся исторические биотопы характеризовались умеренным количеством осадков и почвами от слегка кислых до нейтральных [Chytry et al., 2007]. В Мурманской области местообитания *E. gracile* соответствуют этим критериям.

Европейские популяции *Eriophorum gracile* могут быть реликтовыми и сильно пострадавшими в период плейстоценовых оледенений в северо-восточной части Фенноскандии. В Центральной Европе, на южной границе распространения, исчезновение популяций этого вида по сравнению с позднеледниковым существованием отмечено только в настоящее время в связи с глобальным потеплением климата [Hajek et al., 2011; Díte et al., 2018]. Такое сокращение ареала является подтверждением его уязвимого реликтового статуса. Причем исчезновение популяций этого вида, возможно, происходит по всей южной периферии. Такие данные есть для Мордовии и Чувашии [Kiryukhin, 2004; Gafurova, 2021].

Климатическое потепление, отмеченное в последние годы на всей планете и в Фенноскандии, по сравнению климатической динамикой от неогена до голоцена не является сопоставимо крупномасштабным. Его угроза заключается в огромной скорости происходящих процессов [Overpeck, Cole, 2008], которые могут привести к серьезным изменениям биоразнообразия. Ранее мы отмечали, что современное потепление может отрицательно влиять на численность популяций *Eriophorum gracile* в Мурманской области [Blinova, 2022]. Однако для данного вида повышение температуры в современных масштабах (1-3°C) может быть негативным только в комбинации с уменьшением уровня болотных вод и площади обводненных мочажин, например, на богатых минеротрофных болотах. Там, где этих ограничений нет, например, в условиях топей Понойской депрессии, повышение температуры может благоприятно влиять на численность и размер площади, занимаемой популяцией. Но климатическое потепление может запускать и другие механизмы, которые могут привести к исчезновению вида, не такие очевидные, как изменение экологии местообитаний, например, проблемы в жизненном цикле и воспроизведении особей. Регионально стоит учитывать и предположительно реликтовый характер местообитаний. Проблема реликтового характера ключевых болот, а также мхов минеротрофного комплекса, поднимается и для Тверской области [Nosova et al., 2022].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования уточнено региональное распространение *Eriophorum gracile* в Мурманской области и собраны данные для тестирования редкости вида по системе IUCN. Изучены экологические и фитоценотические особенности данного вида на северном пределе распространения и определены лимитирующие факторы для распространения его популяций в северных регионах. Представлены перспективы изменения числа местонахождений в период современных климатических изменений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность Р. Uotila, М. Piirainen, Н. Väre (Botanical Museum (H), Finnish Museum of Natural History) за обсуждение сборов с территории России, хранящихся в финском гербарии, а также исторических справок относительно финских экспедиций. Сотрудники Геологического института ФИЦ КНЦ РАН Г.Ю. Иванюк, В.Н. Яковенчук, М.Н. Петровский помогли разобраться в вопросах состава горных пород Кольского полуострова, продуктивными были обсуждения плейстоценовых оледенений с В.В. Колька. Отдельная признательность идет сотрудникам других организаций за консультации относительно гербарных сборов: А. Разумовской (ИПППЭС РАН), Н.В. Поликарповой и В.Н. Чераневой (государственный заповедник Пасвик), Г.С. Антипиной (ПетрГУ), П. Ефимову (БИН РАН), J. Lundberg (The Swedish Museum of Natural History). Критические замечания трех анонимных рецензентов позволили исправить недочеты рукописного варианта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Arzamastsev A., Yakovenchuk V., Ivanyuk G. 2008. *The Khibina and Lovozero alkaline massifs: Geology and unique mineralization*, 59 pp.
- Barr C. 1996. Population Study of *Eriophorum gracile* Koch (Cyperaceae) at its Southern Range Limit in Pennsylvania. *Bartonia*. 59: 87-93.
- Belkina O.A., Borovichev E.A., Likhachev A.Yu. 2018. Bryological rationale for the establishment of the Orlov-Ponoy Nature Sanctuary (Kola Peninsula). *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 8: 63-78. (in Russian). [Белкина О.А., Боровичев Е.А., Лихачев А.Ю. 2018. Бриологическое обоснование создания орлов-понойского заказника (Кольский полуостров) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Т. 8. С. 63-78.]
- Berlina N.G., Kostina V.A. 2012. Flora of vascular plants of the Lapland Reserve (annotated list). In: *Trudy Laplandskogo zapovednika*. Vol. 6. Pero, Moscow, pp. 112-198. (in Russian). [Берлина Н.Г., Костина В.А. 2012. Флора сосудистых растений Лапландского заповедника (аннотированный список) // Труды Лапландского государственного заповедника. Т. 6. М.: Перо. С. 112-198.]
- BGS, Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz. 2010. Klassifikation der Böden der Schweiz. *Luzern*. 86 p.
URL: https://www.bodensystematik.de/klass_03_2010.pdf Last accessed 01.03.2023.
- Bhagwat S.A., Willis K.J. 2008. Species persistence in northerly glacial refugia of Europe: a matter of chance or biogeographical traits? *Journal of Biogeography*, 35(3): 464-482.
- Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. 2011. *European Red List of Vascular Plants*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 144 pp.
- Blindheim T. 2023. *Biofokus*. Version 1.2276. Biofokus. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/jxbhqx> accessed via GBIF.org on 2023-01-25. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/1054080889> Last accessed 01.03.2023.
- Blinova I.V. 2009. *Biology of orchids in the northeast of Fennoscandia and strategies for their survival on the northern border of distribution*: dis. Doctor of biol. sciences. Moscow, 552 pp. [Блинова И.В. 2009. Биология орхидных на северо-востоке Фенноскандии и стратегии их выживания на северной границе распространения: дис. ... докт. биол. наук. М., 552 с.]
- Blinova I. 2013. Environmental changes and danger for rare plant species in wetlands of Murmansk Region In: *Proceedings of International Conference on wetlands and bird flyways in Barents-Euro-Arctic Region and the Green Belt of Fennoscandia, September 13-15, 2011, Murmansk, Russia*, pp. 171-179, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk. (in Russian and English). [Блинова И.В. 2013. Изменения окружающей среды и устойчивость редких видов растений в болотных фитоценозах Мурманской области (Россия) // Водно-болотные угодья и пути миграции птиц в Баренцевом / Евроарктическом регионе и вдоль зеленого пояса Фенноскандии. Материалы международной научно-практической конференции 13-15 сентября 2011 г., Мурманск, Россия. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 171-179.]
- Blinova I.V. 2015. Base-rich fens in the southern part of Murmansk Region, and the case for their protection. *Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*, 22(3): 102-114. (in Russian). [Блинова И.В. 2015. К характеристике минеротрофных травяных болот в южной части Мурманской области и о необходимости их охраны // Вестник КНЦ РАН. Вып. 22. № 3. С. 102-114.]
- Blinova I.V. 2016. Effects of Soil Conductivity and pH on Population Spatial Structure of Rare Orchids and Sedges in a Base-Rich Fen in Murmansk Region (Russia). *Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*, 4(27): 109-121. (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. 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*. 13(4): 202-214. <https://doi.org/10.18822/edgcc134238>
- Blinova I., Uotila P. 2013. *Schoenus ferrugineus* (Cyperaceae) in Murmansk Region (Russia). *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica*, 89: 65-74.
- Blinova I.V., Petrovskii M.N. 2014. Base-rich fens in the central part of Murmansk Region, and the case for their protection. *Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*, 18(3): 38-55. (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., Chmielewski F.M. 2015. Climatic warming above the Arctic Circle: Are there trends in timing and length of the thermal growing season in Murmansk Region (Russia) between 1951 and 2012? *Int. J. Biometeorol*, 59(6): 693-705.
- Blinova I.V., Kutenkov S.A., Mironov V.L., Mamontov Yu.S., Petrovskij M.N. 2017. Description and protection of base-rich fens in Murmansk Region. In: *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii*, pp. 442-445, Geologicheskii institut KNZ RAN. Apatity. (in Russian). [Блинова И.В., Кутенков С.А., Миронов В.Л., Мамонтов Ю.С., Петровский М.Н. 2017. К характеристике и охране богатых минеротрофных болот Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии. ГИ КНЦ РАН. Апатиты. С. 442-445.]
- Borovichev E.A., Kozhin M. N., Ignashov P.A., Kirillova N.R., Kopeina E.I., Kravchenko A.V., Kuznetsov O.L., Kutenkov S.A., Melekhin A.V., Popova K.B., Rasumovskaya A.V., Sennikov A.N., Fadeeva M.A., Khimich Yu.R. 2020. Noteworthy records of plants, lichens and fungi in Murmansk Region. II. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 1: 17-33. (in Russian). [Боровичев Е.А., Кожин М.Н., Игнашов П.А., Кириллова Н.Р., Копейна Е.И., Кравченко А.В., Кузнецов О.Л., Кутенков С.А., Мелехин А.В., Попова К.Б., Разумовская А.В., Сенников А.Н., Фадеева М.А., Химич Ю.Р. 2020. Значимые находки растений, лишайников и грибов на территории Мурманской области. II // Труды Карельского научного центра РАН. № 1. С. 17-33.]
- Borovichev E.A., Kozhin M. N., Kuznetsov O.L., Kutenkov S.A., Melekhin A.V., Rasumovskaya A.V., Fadeeva M.A., Khimich Yu.R., Koroleva N.E., Ignashov P.A., Kudr E.V., Popova K.B. 2021. Noteworthy records of plants, lichens and fungi in Murmansk Region. III. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 1: 82-93.]. (in Russian).

- [Боровичев Е.А., Кожин М.Н., Кузнецов О.Л., Кутенков С.А., Мелехин А.В., Разумовская А.В., Фадеева М.А., Химич Ю.Р., Королева Н.Е., Игнашов П.И., Кудр Е.В., Попова К.Б. 2021. Значимые находки растений, лишайников и грибов на территории Мурманской области. III // Труды Карельского научного центра РАН. № 1. С. 82-93.]
- Van Der Burgh J. 1978. The Pliocene flora of Fortuna-Garsdorf. I. Fruits and seeds of angiosperms. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 26: 173-211.
- Chatters C., Sanderson N. A. 2014. *Slender Cottongrass Eriophorum gracile in the New Forest*. Curdridge, Hampshire, UK. 106 pp.
- Chernov E.G. 1954. *Eriophorum gracile*. In: *Flora Murmanskoi oblasti*, Vol. 2. Moscow-Leningrad, pp. 16-18. (in Russian).
- [Чернов Е.Г. 1954. *Eriophorum gracile* / Флора Мурманской области. Т. 2. М.-Л. С. 16-18.]
- Chytrý M., Danihelka J., Ermakov N., Hájek M., Hájková P., Kočí M., Kubešová S., Lustyk P., Otýpková Z., Popov D., Roleček J., Rezníčková M., Šmarda P., Valachovič M. 2007. Plant species richness in continental southern Siberia: effects of pH and climate in the context of the species pool hypothesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 668-678.
- Conaghan J.P., Sheehy Skeffington M. 2009. The distribution and conservation of *Eriophorum gracile* Koch ex Roth (Cyperaceae), Slender Cotton-grass, in Ireland. *Watsonia*, 27: 229-238.
- CRIS. 2023. URL: <http://www.kpabg.ru/cris> Last accessed 22.01.2023.
- Czerepanov S.K. 1995. *Vascular plants of Russia and neighboring countries*. Sankt-Peterburg. 992 pp. (in Russian).
- [Черепанов С.К. 1995. *Сосудистые растения России и сопредельных государств*. СПб. 992 с.]
- Dengler J., Jansen F., Chusova O., Hüllbusch E., Nobis M., Meerbeek K., Axmanová I., Bruun H., Chytrý M., Guarino R., Karrer G., Moeyers K., Raus T., Steinbauer M., Tichý L., Tyler T., Batsatsashvili K., Biță-Nicolae C., Didukh Y., Gillet François. 2023. Ecological Indicator Values for Europe (EIVE) 1.0. *Vegetation Classification and Survey*, 4: 7-29. <https://doi.org/10.3897/VCS.98324>
- Díte D., Hajek M., Svitková I., Košuthová A., Šoltés R., Kliment J. 2018. Glacial-relict symptoms in the Western Carpathian flora. *Folia Geobotanica*, 53(3): 277-300.
- Ellenberg H., Leuschner Ch. 2010. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Eugen Ulmer, Stuttgart, 1357 pp.
- Fellman J. 1831. Index plantarum phanerogamarum in territorio Kolaënsi, lectarum. *Bulletin de la Société impériale des naturalistes de Moscou*, 3: 299-328.
- Fellman N.I. 1882. Plantae vasculares in Lapponia orientali sponte nascentes. In: *Notiser Sällskapets pro Fauna et Flora Fennica Forhandlingar*. Vol. 8. Helsingfors, pp. 1-99.
- Filimonova L.V. 2020. Dynamics of upland and wetland vegetation on the territory of the Tolvoyarvi Reserve from Allerød to the present. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 8: 5-25. (in Russian).
- [Филимонова Л.В. 2020. Динамика суходольной и водно-болотной растительности на территории заказника «Толвоярви» с аллереда до современности // Труды Карельского научного центра РАН. № 8. С. 5-25]
- Filina M.I., Kogarko L.N., Nielsen T.F.D. 2022. Mineralogical, geochemical, and isotopic data of a new special apgaitic dyke, enriched in high field strength elements (Eastern Part of Baltic Shield, Russia). *Lithos*, 428-429: 106828. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106828>
- Flora of Murmansk Region*. 1953. V.1. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo USSR Academy of Sciences. (in Russian). [Флора Мурманской области. 1953. Вып.1. М.-Л.: изд-во АН СССР]
- Flora of Murmansk Region*. 1954. V.2. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo USSR Academy of Sciences. (in Russian). [Флора Мурманской области. 1954. Вып.2. М.-Л.: изд-во АН СССР]
- Flora of Murmansk Region*. 1956. V.3. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo USSR Academy of Sciences. (in Russian). [Флора Мурманской области. 1956. Вып.3. 1959. М.-Л.: изд-во АН СССР]
- Flora of Murmansk Region*. 1959. V.4. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo USSR Academy of Sciences. (in Russian). [Флора Мурманской области. 1959. Вып.4. М.-Л.: изд-во АН СССР]
- Flora of Murmansk Region*. 1966. V.5. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo USSR Academy of Sciences. (in Russian). [Флора Мурманской области. 1966. Вып.5. М.-Л.: изд-во АН СССР]
- Friis E.M. 1985. Angiosperm fruits and seeds from the Middle Miocene of Jutland (Denmark). *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter*, 24(3): 1-165.
- Gafurova M.M. 2021. On the transformation of the vegetation cover of two *Sphagnum* bogs in the northern part of Chuvashia over the past 90 years. In: *Ekologicheskii sbornik. Trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*, pp. 53-58, Tolyatti. (in Russian).
- [Гафурова М.М. 2021. О трансформации растительного покрова двух сфагновых болот северной части Чувашии за последние 90 лет // Экологический сборник. Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции. Тольятти. С. 53-58]
- Kharitonova L.Ya. (ed.). 1958. *Geology of the USSR*. Vol. XXVII: Murmanskaya oblast', part 1, pp. 714, Gosgeoltekhizdat, Moscow. (in Russian) [Харитонов Л.Я. (ред.). 1958. Геология СССР. Т. XXVII: Мурманская область. Ч. 1. М.: Госгеолтехиздат. 714 с.]
- State Report "On the state and use of water resources in the Russian Federation in 2017". 2018. Nia-Priroda, Moscow, 298 pp. (in Russian). [Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». 2018. М.: НИА-Природа. 298 с.]
- URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/ Last accessed 01.03.2023.
- Grace M., Akcakaya H. R., Bennett E., Hilton-Taylor C., Long B., Milner-Gulland E., Young R., Hoffmann M. 2019. Using historical and palaeoecological data to inform ambitious species recovery targets. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 374: 20190297. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0297>
- Grimsson F., Denk Th., Simonarson L. 2007. Middle Miocene floras of Iceland – the early colonization of an island? *Review of Palaeobotany and Palynology*, 144: 181-219.
- Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. 2019. Version 14. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf> Last accessed 01.03.2023.

- 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*, 4: 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*, 38: 742-755.
- Hämét-Ahti L., Suominen J., Ulvinen T., Uotila P. (eds.). 1998. *Retkeilykasvio [Field Flora of Finland]*. 4th ed., pp. 656, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Kasvimuseo, Helsinki.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm Last accessed 01.03.2023.
- Hjelt H. 1892. Conspectus Florae Fennicae, pars II Monocotyledoneae. *Acta Soc. Fauna Flora Fennica*, 5: 109-258.
- Hultén E. 1950. *Atlas över växternas utbredning i Norden. Fanerogamer och ormbunksväxter*. Generalstabens Litografiska Anstalt, Stockholm, 119-512 pp.
- Hultén E. 1971. *Atlas of the distribution of vascular plants in North West Europe*. 2nd ed. Stockholm, 531 pp.
- Hultén E., Fries M. 1986. *Atlas of North European vascular plants: north of the Tropic of Cancer*. V. I-III. Koeltz Scientific Books, Königstein.
- Ignatov M.S., Afonina O.M. 1992. List of mosses in the territory of the former USSR. *Arctoa*, 1: 1-87. (in Russian). [Игнатов М.С., Афонина О.М. 1992. Список мхов территории бывшего СССР // *Arctoa*. Т. 1. С. 1-87.]
- Ivanuk G.Yu., Goryainov P.M., Pakhomovskii Ya.A., Konopleva N.G., Yakovenchuk V.N., Basai A.V., Kalashnikov A.O., Korchak Yu.A. 2008. *Self-organization of ore complexes*. Geos-Geokart, Moscow, 392 pp. (in Russian). [Иванюк Г.Ю., Горьяинов П.М., Пахомовский Я.А., Коноплева Н.Г., Яковенчук В.Н., Базай А.В., Калашников А.О., Корчак Ю.А. 2008. Самоорганизация рудных комплексов. М.: ГЕОС-ГЕОКАРТ. 392 с.]
- Jiménez-Mejías P., Martinetto E., Momohara A., Popova S., Smith S., Roalson E. 2016. A Commented Synopsis of the Pre-Pleistocene Fossil Record of *Carex* (Cyperaceae). *The Botanical Review*, 82: 258-345.
- Johnson J.B., Steingraeber D.A. 2003. The vegetation and ecological gradients of calcareous mires in the South Park valley, Colorado. *Canadian Journal of Botany*, 81: 201-219.
- Kålås J.A., Viken Å., Henriksen S., Skjelseth S. (eds.) *The 2010 Norwegian Red List for Species*. Trondheim, 2010. 480 pp.
- Käsermann C., Moser D.M. 1999. *Merkblätter Artenschutz - Blütenpflanzen und Farne*. Stand, 344 pp.
- Kastornii N.A. 2020. *Composition and structure of the Imandro-Varzug zone of the Kola Peninsula (Severo-Sergozerskaya area)*. Kafedra regionalnoi geologii SPGU, Saint Petersburg, 86 pp. (in Russian) [Касторный Н.А. 2020. Состав и строение Имандро-Варзугской зоны Кольского полуострова (Северо-Сергозерская площадь): выпускная квалификационная работа. СПб.: Кафедра региональной геологии СПбГУ. 86 с.] URL: <https://dspace.spbu.ru/handle/11701/26411?mode=full>
- Kertland M.P.H. 1971. *Eriophorum gracile* Roth. in Ireland. *The Irish Naturalists' Journal*, 17: 62.
- Kirichenko L.A. 1970. *The Kontozero Series of Carboniferous Rocks on the Kola Peninsula*. Nedra, Leningrad, 112 pp. (in Russian). [Кириченко Л.А. 1970. Контозерская серия каменноугольных пород на Кольском полуострове. Ленинград: Недра. 112 с.]
- Kiryukhin I.V. 2004. *Ecology and biology of rare plants of the Republic of Mordovia*: Abstract dis. cand. biol. sciences. Saransk, 28 pp. (in Russian). [Кирюхин И.В. 2004. Экология и биология редких растений Республики Мордовия: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саранск. 28 с.]
- Korsakova O., Molodkov A., Yelovicheva Y., Kolka V. 2019. Middle Pleistocene marine deposits on the Kola Peninsula (NW Russia). *Quaternary International*, 509: 3-16.
- Kozhin M.N., Sennikov A. 2020. *Vascular Plant Herbarium at the Kandalaksha Strict Nature Reserve (KAND)*, Russia. Kandalaksha State Nature Reserve. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/vebcs3> accessed via GBIF.org on 2023-01-23. Last accessed 01.03.2023.
- Kozhin M.N., Golovina E.O., Kopeina E.I., Kutenkov S.A., Sennikov A.N. 2018. Additions and corrections to the records of rare and red-listed vascular plants in Lapponia Ponojensis, Murmansk Region. *Proceedings of KarRC RAS*, 1: 33-50. (in Russian). [Кожин М.Н., Головина Е.О., Копейна Е.И., Кутенков С.А., Сенников А.Н. 2018. Дополнения и уточнения по распространению редких и охраняемых видов сосудистых растений Понойской Лапландии (Мурманская область). Труды КарНЦ РАН. № 1. С. 33-50.]
- Kravchenko A.V., Kuznetsov O.L. 2016. Additions to the flora of the Pasvik Nature Reserve (Murmansk Region). *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 1: 89-95. (in Russian). [Кравченко А.В., Кузнецов О.Л. 2016. Дополнения к флоре заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Труды Карельского научного центра РАН. № 1. С. 89-95]
- Kravchenko A.V., Borovichev E.A., Khimich Yu.R., Fadeeva M.A., Kostina V.A., Kutenkov S.A. 2017. Noteworthy records of plants, lichens and fungi in Murmansk Region. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 7: 34-50. (in Russian). [Кравченко А.В., Боровичев Е.А., Химич Ю.Р., Фадеева М.А., Костина В.А., Кутенков С.А. 2017. Значимые находки растений, лишайников и грибов на территории Мурманской области // Труды Карельского научного центра РАН. № 7. С. 34-50.]
- Kremenetskiy K.V., Vascalova T.V., Goryachkin S.V., Cherkinskii A.V., Sulerzhitskii L.D. 1997. Dynamics of vegetation and peat accumulation in the west of the Kola Peninsula in the Holocene. *Bull. Moskovskogo Obschestva ispytetelei prirody. Otdel biologicheskii*, 102(3): 39-45. (in Russian). [Кременецкий К.В., Ващалова Т.В., Горячкин С.В., Черкинский А.В., Сулержицкий Л.Д. 1997. Динамика растительности и торфонакопления на западе Кольского полуострова в голоцене // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. биол. Т. 102. Вып. 3. С. 39-45.]
- Kremenetskiy K.V., MacDonald G.M., Gervais B.R., Borisova O.K., Snyder J.A. 2004. Holocene vegetation history and climate change on the northern Kola Peninsula, Russia: a case study from a small tundra lake. *Quaternary International*, 122: 57-68.
- Krishtofovich A.N. 1966. *Selected writings* (T.N. Baikovskaya, ed.), Vol. 3: Paleobotanical monographs, pp. 42-47, Moscow-Leningrad: Izdatelstvo USSR Academy of Sciences. (in Russian). [Криштофович А.Н. 1966. Избранные труды. Т. 3: Палеоботанические монографии. / Под ред. Т.Н. Байковской. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 42-47.]
- Kuznetsov O.L., Kutenkov S.A., Ignashov P.A. 2019. Diversity of mires of the Pono Nature reserve (Murmansk Region). In: *Conference materials "X Galkinskii Chleniya" (Saint Petersburg, 4-6 february 2019)*, (T.K. Yurkovskaya et al. eds.), pp. 105-107, Saint Petersburg. (in Russian). [Кузнецов О.Л., Кутенков С.А., Игнашов П.А. 2019. Разнообразие болот заказника

- «Понойский» (Мурманская область) // Материалы конференции «X Галкинские чтения» (Санкт-Петербург, 4-6 февраля 2019 г.) / Под ред. Т.К. Юрковской и др. СПб. С. 105-107.]
- Kuznetsov O.L., Kutenkov S.A., Ignashov P.A. 2020. Unique wetlands of the middle course of the river Ponoy (Murmansk Region). In: *Proceedings of the International Symposium "Territorialnaya okhrana prirody Severnoi Evrazii: ot teorii k praktike"*, pp. 81-83, Apatity. (in Russian). [Кутенков С.А., Кузнецов О.Л., Игнашов П.А. 2020. Уникальные водно-болотные угодья среднего течения р. Поной (Мурманская обл.) // Материалы международного симпозиума «Территориальная охрана природы Северной Евразии: от теории к практике». Апатиты. С. 81-83.]
- Lampinen R., Lahti T. 2022. Kasviatlas 2021. Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki. <http://kasviatlas.fi> Last accessed 01.03.2023.
- Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klölzli F., Lämmler W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schweingruber F. H., Theurillat J., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T. 2010. *Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*, Vol. 2. Haupt Verlag, Bern etc.
- Lansdown R.V. 2011. *Eriophorum gracile*. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T175270A7132063. <https://www.iucnredlist.org/species/175270/7132063> Last accessed 01.03.2023.
- Lapshina E.D. 2010. *Vegetation of swamps in the south-east of Western Siberia*. Novosibirsk, 186 pp. (in Russian). [Лапшина Е.Д. 2010. Растительность болот юго-востока Западной Сибири. Новосибирск. 186 с.]
- Larridon I., Zuntini A., Lévillé-Bourret É., Barrett R., Starr J., Muasya A., Villaverde T., Bauters K., Brewer G., Bruhl J., Costa S., Elliott T., Eritawale N., Escudero M., Fairlie I., Goetghebeur P., Hipp A., Jiménez-Mejías P., Sabino Kikuchi I., Baker W. 2021. A new classification of Cyperaceae (Poales) supported by phylogenomic data. *Journal of Systematics and Evolution*, 59 (4): 852-895.
- Lavrova M.A. 1960. *Quaternary Geology of the Kola Peninsula*. Moscow-Leningrad, 234 pp. (in Russian). [Лаврова М.А. 1960. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.-Л. 234 с.]
- Lebedeva R.M. 1977. Palynological data in the Holocene deposits of the Kola Peninsula and their absolute chronology. In: *Stratigrafiya i paleogeografiya chetvertichnogo perioda severa Evropeiskoi chasti SSSR*, pp. 34-40, Petrozavodsk. (in Russian). [Лебедева Р.М. 1977. Палинологические уровни в голоценовых отложениях Кольского полуострова и их абсолютная хронология // Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода Севера Европейской части СССР. Петрозаводск. С. 34-40.]
- Lebedeva R.M. 1983. The history of vegetation development in the Kola-Karelian region in the Quaternary period. In: *Analysis of the flora of the Murmansk region and Karelia*, (M.L. Ramenskaya, ed.). Nauka, Leningrad, pp. 176-182. (in Russian). [Лебедева Р.М. 1983. История развития растительности Кольско-Карельского региона в четвертичный период // Анализ флоры Мурманской области и Карелии / Под ред. М.Л. Раменской. Л.: Наука. С. 176-182.]
- Linkina L.I., Petrova E.V. 2015. Late Miocene to early Pliocene climatic and landscape conditions in the Middle Volga region. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seria Estestvennye nauki*, 157(1): 34-48. (in Russian). [Линкина Л.И., Петрова Е.В. 2015. Климатические и ландшафтные условия Среднего Поволжья на рубеже миоцена и плиоцена // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. Т. 157. №. 1. С. 34-48.]
- Liu Y., Shen Z., Wang Q., Su X., Zhang W., Shrestha N., Xu X., Wang Z. 2017. Determinants of richness patterns differ between rare and common species: implications for Gesneriaceae conservation in China. *Diversity and Distributions*, 23: 235-246. <https://doi.org/10.1111/ddi.12523>
- McCoy J., Barrass-Barker T., Hocking E. P., O'Keefe J.M.K., Riding J.B., Pound M. J. 2022. Middle Miocene (Serravallian) wetland development on the northwest edge of Europe based on palynological analysis of the uppermost Brassington Formation of Derbyshire, United Kingdom. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 603: 111180. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111180>
- Nielsen T.F., Sand-Jensen K., Dornelas M., Bruun H.H. 2019. More is less: net gain in species richness, but biotic homogenization over 140 years. *Ecological Letters*, 22. <https://doi.org/10.1111/ele.13361>
- Niskanen A., Niittynen P., Aalto J., Väre H., Luoto M. 2019. Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distributions*, 25: 809-821. <https://doi.org/10.1111/ddi.12889>.
- Nosova M.B., Lapshina E.D., Notov A.A., Ignatov M.S. 2022. Holocene dynamics of the relict moss complex of the Korotovsky swamp (State complex "Zavidovo", Russia). *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, 7(1): 80-95. (in Russian). [Носова М.Б., Лапшина Е.Д., Нотов А.А., Игнатов М.С. 2022. Голоценовая динамика реликтового комплекса мхов Коротовского болота (Государственный комплекс «Завидово», Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 7 (1). С. 80-95.]
- Novoselova M.S. 1994. *The genus Cottongrass (Eriophorum L.) - systematics, geography, evolution*. Abstract dis. cand. biol. sciences. Sankt-Peterburg, 23 pp. (in Russian). [Новоселова М.С. 1994. Род Пушица (*Eriophorum* L.) - систематика, география, эволюция: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб. 23 с.]
- Overpeck J., Cole J.E. 2008. Abrupt Change in Earth's Climate System. *Annual Review of Environment and Resources*, 31. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144308>
- Perevozchikova V.A. 1971. Geological map. In: *Atlas of Murmansk Region*, Moscow, p. 4. (in Russian). [Перевозчикова В.А. 1971. Геологическая карта. В книге: *Атлас Мурманской области*. М. С. 4.]
- Pesola V.A. 1928. Kalsiumkarbonaatti kasvimaantieteellisenä tekijänä Suomessa. *Annal. Soc. Zool.-Bot. Fenn. "Vanamo"*, 9(1): 1-245.
- Pesola V.A. 1955. Über die Vegetation der Moore und feuchten Wiesen im Norden Kuusamos und Südwesten Sallas in Nordfinnland. *Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica*, 72(18): 1-25.
- Peterka T., Hájek M., Jiroušek M., Jiménez-Alfaro B., Aunina L., Bergamini A. et al. 2017. Formalized classification of European fen vegetation at the alliance level. *Applied Vegetation Science*, 20: 124-142.
- Petrov V.P., Petrovskaya L.S., Petrovskiy M.N. 2013. High-calcium aluminosilicate gneisses of the Central Kola block: geological and metamorphic nature. *Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*, 15(4): 27-43. (in Russian). [Петров В.П., Петровская Л.С., Петровский М.Н., Тимофеева М.Г. 2013. Высококальциевые алюмосиликатные гнейсы Центрально-Кольского блока: геологическая и метаморфическая природа // Вестник Кольского научного центра РАН. Т. 15(4). С. 27-43.]

- Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhiron D.B., Zhabin S.V. 2002. *Geology of ore districts in Murmansk Region*. Kola Sci Center, Apatity, 359 pp. (in Russian). [Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. 2002. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН. 359 с.]
- Rama H.E. 2023. *Vascular plant herbarium, The Arctic University Museum of Norway (TROM)*. Version 1.2079. UiT The Arctic University of Norway. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/14epds> accessed via GBIF.org on 2023-01-25. <https://www.gbif.org/occurrence/1323698572> Last accessed 01.03.2023.
- Ramenskaya M.L. 1983. *Analysis of the flora of Murmansk Region and Karelia*. Nauka, Leningrad, 215 pp. (in Russian). [Раменская М.Л. 1983. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука. 215 с.]
- Romanov R.E., Blinova I.V. 2015. Species of *Nitella* (Characeae) from Murmansk Oblast (Russia). *Turczaninowia* 18, 4: 16-25. (in Russian). [Романов Р.Е., Блинова И.В. Виды рода *Nitella* (Streptophyta: Charales) в Мурманской области // *Turczaninowia*. 2015. Т. 18(4). С. 16-25.]
- Pugachevskiy A.V. (ed.). 2013. *Rare biotopes of Belarus*, Minsk, 300 pp. (in Russian). [Пугачевский А.В. (ред.). 2013. Редкие биотопы Беларуси. Минск. 300 с.]
- Rassi P., Hyyvärinen E., Juslén A., Mannerkoski I. (eds.). 2010. *The 2010 Red List of Finnish Species*. Helsinki. 685 pp.
- Konstantinova N.A., Koryakin A.C., Makarova O.A., Bianki V.V. (eds.). 2014. *Red Data Book of Murmansk Region*. Ed. 2: Vascular plants. Asia-Print, Kemerovo, 584 pp. (in Russian). [Константиновой Н.А., Корякина А.С., Макаровой О.А., Бианки В.В. (ред.). 2014. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е Сосудистые растения. Кемерово: Азия-принт. 684 с.]
- Regel C. 1935. *Die Vegetationsverhältnisse der Halbinsel Kola*. Verlag des Repertoriums, Berlin etc., 160 pp.
- Remizova A.M. 2007. *Geological map of Murmansk Region*. List Q-36-III, IV. Apatity. (in Russian). [Ремизова А.М. 2007. Геологическая карта Мурманской области. Л. Q-36-III, IV. Апатиты.]
- Roman-Palacios C., Wiens J.J. 2020. Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117: 4211-4217 <https://doi.org/201913007>. 10.1073/pnas.1913007117
- Roy K., Hunt G., Jablonski D., Krug A., Valentine J. 2009. A macroevolutionary perspective on species range limits. *Proceedings. Biological sciences. The Royal Society*, 276: 1485-1493.
- Sapelko T.V., Anisimov M.A., Nosevich E.S. 2016. Palynological reconstructions of Middle and Late Holocene sections of the Barents Sea coast. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 1: 96-110. (in Russian). [Сапелко Т.В., Анисимов М.А., Носевич Е.С. 2016. Палинологические реконструкции разрезов среднего и позднего голоцена побережья Баренцева моря // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1. С. 96-110.]
- Seregin A.P. (red.) 2023. Digital herbarium of Moscow State University. MSU, Moscow. <https://plant.depo.msu.ru/> (accessed on 22.01.2023) (in Russian). [Серегин А.П. (ред.) 2023. Цифровой гербарий МГУ. М.: МГУ. <https://plant.depo.msu.ru/> (дата обращения 22.01.2023)]
- Sidorov M., Kozlov E., Fomina E. 2021. Geology, petrography and mineralogy of explosive breccias of the Sallanlatva massif, the Kola region. *Vestnik MGTU*, 24(1):57-68. (in Russian). [Сидоров М.Ю., Козлов Е.Н., Фомина Е. 2021. Геология, петрография и минералогия взрывчатых брекчий массива Салланлатва, Кольский регион // Вестник МГТУ. Т. 24(1). С. 57-68.]
- Sjögren P. J. 2021. *An overview of Holocene climate reconstructions in northernmost Fennoscandia: A contribution to the Stone Age Demographics project*. *Septentrio Reports*, 3. <https://doi.org/10.7557/7.5747>
- Sjörs H., Gunnarsson U. 2002. Calcium and pH in north and central Swedish mires. *Journal of Ecology*, 90: 650-657.
- Smagin V.A. 2012. Vegetation of swamps and hollows of raised, transitional and aapa-bogs of European Russia and its place in the syntaxonomy of the floristic school. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo Tsentra Rossiiskoi Akademii Nauk*, 14(1-4): 1125-1129. (in Russian). [Смагин В.А. 2012. Растительность топей и мочажин верховых, переходных и аапа-болот Европейской России и ее место в синтаксономии флористической школы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 14. № 1(4). С. 1125-1129.]
- Smagin V.A., Boch M.S. 2001. Flora and vegetation of swamps of the European North of Russia (within the taiga zone). *Botanicheskii Zhurnal*, 86(1): 40-55. (in Russian). [Смагин В.А., Боч М.С. 2001. Флора и растительность болот европейского севера России (в пределах таежной зоны) // Ботанический журнал Т. 86(1). С. 40-55.]
- Sokolov D.D., Filin V.P. 1996. *Key to vascular plants in the vicinity of the White Sea Biological Station of Moscow University*. Moscow, 170 pp. (in Russian). [Соколов Д.Д., Филин В.П. 1996. Определитель сосудистых растений окрестностей Беломорской биологической станции Московского университета. М. 170 с.]
- Tahvanainen T. 2004. Water chemistry of mires in relation to the poor-rich vegetation gradient and contrasting geochemical zones of the north-eastern Fennoscandian Shield. *Folia Geobot*, 39: 353-369.
- Tolstobrova A.N., Tolstobrov D.S., Kolka V.V., Korsakova O.P. 2016. The History of the Development of Osinovoye Lake (Kola Region) in the Late and Post-Glacial Period Based on the Diatom Analysis of Bottom Sediments. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 5: 106-116. (in Russian). [Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Колька В.В., Корсакова О.П. 2016. История развития озера Осинового (Кольский регион) в поздне- и постледниковое время по материалам диатомового анализа донных отложений // Труды Карельского научного центра РАН. №5. С. 106-116.]
- Tyler T., Andersson S., Fröberg L., Olsson K.-A., Svensson A., Olsson O. 2020. Recent changes in the frequency of plant species and vegetation types in Scania, S Sweden, compared to changes during the twentieth century. *Biodiversity Conservation*, 29: 709-728. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01906-5>
- Ulvinen T. 1996. Vascular plants of the former Kutsa Nature Reserve. *Oulanka Reports*, 16: 39-52.
- Uotila P. 2013. Finnish botanists on the Kola Peninsula (Russia) up to 1918. *Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica*, 89: 75-104.
- Urbanavichus G., Ahti T., Urbanavichene I. 2008. Catalogue of lichens and allied fungi of Murmansk region, Russia. *Norrinia*, 17: 1-80.
- Väre H. 2011. Jacob Fellman – The botanising priest. *Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica*, 87: 1-20.
- Vekhov V.N., Bogdanova N.E. 1971. Flora of the White Sea Biological Station of Moscow State University. In: *Flora i rastitelnost' Evropeiskoi chasti SSSR*. Publishing house Moscow University, Moscow, pp. 5-34. (in Russian). [Вехов В.Н., Богданова Н.Е. 1971. Флора Беломорской биологической станции Московского Государственного университета // Флора и растительность Европейской части СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та. С. 5-34.]

- Vincent H., Bornand Ch.N., Kempel A., Fischer M. 2020. Rare species perform worse than widespread species under changed climate. *Biological Conservation*, 246: 108586. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108586>
- Vomperskii S.E., Sirin A.A., Salnikov A.A., Tsiganova O.P. 2011. Estimation of forest cover extent over peatlands and paludified shallow-peat lands in Russia. *Lesovedenie*, 5: 3-11. (in Russian). [Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А. 2011. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. № 5. С. 3-11.]
- Wołejko L., Pawlaczyk P., Stańko R. (eds). 2019. *Alkaline fens in Poland – diversity, resources, conservation*. Świebodzin, 315 pp.
- Yakovlev B.A. 1961. Climate of Murmansk Region. Murmansk, 180 pp. (in Russian). [Яковлев Б.А. 1961. Климат Мурманской области. Мурманск. 180 с.]
- Yakovlev B.A., Kozlova L.G. 1971. Climatic maps. In: *Atlas of Murmansk Region*, pp. 9-11, Moscow. (in Russian). [Яковлев Б.А., Козлова Л.Г. 1971. Климатические карты. // Атлас Мурманской области. М. С. 9-11.]
- Zaitsev A.N., Williams T. C., Jeffries T.E., Strekopytov S., Moutte J., Ivashchenkova O.V., Spratt J., Petrov S.V., Wall F., Seltnann R., Borozdin A.P. 2014. Rare earth elements in phoscorites and carbonatites of the Devonian Kola Alkaline Province, Russia: Examples from Kovdor, Khibina, Vuoriyarvi and Turiy Mys complexes. *Ore Geology Review*, 61: 204-225.

Поступила в редакцию: 01.03.23
Переработанный вариант: 10.05.23

SYNERGY EFFECT OF THE RESEARCH AND EDUCATIONAL CENTER - UNESCO CHAIR "ENVIRONMENTAL DYNAMICS AND GLOBAL CLIMATE CHANGE" AS A DRIVER OF YUGRA EDUCATIONAL ENVIRONMENT

Akhmedova I. D.

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

idakhmedova@mail.ru

Citation: Akhmedova I.D. 2022. Synergy effect of the Research and Educational Center – UNESCO CHAIR "Environmental Dynamics and Global Climate Change" as a driver of Yugra educational environment. *Environmental dynamics and global climate change*, 14(1): 59-64.

DOI: 10.18822/edgcc567770

В Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года поставлена задача по вхождению отдельных субъектов РФ в эксперимент по отработке механизмов достижения углеродной нейтральности с последующим масштабированием полученного опыта, поэтому приоритетным направлением является развитие комплексных научных исследований в области адаптации к изменениям климата, мониторинга и моделирования потоков углерода, оценки поглощающей способности экосистем, поиска и внедрения передовых технологических подходов по снижению выбросов парниковых газов, в том числе принятия управленческих решений на основе Биг Дата и искусственного интеллекта, технологий природопользования на экосистемных принципах.

В настоящей статье представлен опыт Югорского государственного университета по организации исследований в области мониторинга парниковых газов, информация по основным реализуемым проектам и возможностях интеграции исследовательской повестки в дизайн образовательных программ.

Ключевые слова: синергия, углеродное регулирование, образовательная программа, высшая экологическая школа

SUMMARY

The Strategy of socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050 sets the task of including individual subjects of the Russian Federation in the experiment to work out mechanisms for achieving carbon neutrality with the subsequent scaling of the obtained experience, so the priority is the development of integrated research in the field of adaptation to climate change, monitoring and modeling of carbon flows, assessing the absorption capacity of ecosystems, searching for and implementing advanced technological approaches to reduce greenhouse gas emissions, including decision-making management based on Big Data and artificial intelligence, environmental management technologies based on ecosystem principles.

This article presents the experience of Yugra State University in organization of research in the field of greenhouse gas monitoring, information on the main ongoing projects and possibilities of integrating the research agenda into the design of educational programs.

Yugra State University is a participant of urgent ecological agenda at regional, federal and international levels, carrying out researches in the field of environmental dynamics and global climate changes at the international field station "Mukhrino". At the station there is a unique infrastructure for multi-year year-round observations of hydrometeorological parameters, greenhouse gas fluxes and biodiversity.

All studies conducted by YSU are aimed at obtaining reliable actual data on background volumes of natural carbon dioxide emissions (CO₂ and CH₄) and carbon dioxide accumulation by natural ecosystems, establishing the role of peat bogs in maintaining the gas composition of the atmosphere comply with the demands of the modern Russian climate agenda.

At present, the University participates in significant federal projects: a pilot project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to create carbon testing sites on the territory of Russian regions to develop and test technologies to control the carbon balance and the Federal Scientific and Technical Program for

Environmental Development of the Russian Federation and Climate Change in 2021 - 2030, as well as implementing a number of key projects for industrial partners to assess the greenhouse gas budget, study biomass and biogas emissions.

In order to integrate the results of scientific research and the best research practices into the educational space in 2020 the Higher Ecological School of Yugra State University became a part of the Scientific and Educational Center which allowed to launch new educational programs of higher and additional education.

The Higher Ecological School implements new educational programs for training highly qualified personnel in the field of control, monitoring of carbon balance and decarbonization of the economy:

- higher education in the direction of 05.04.06 Ecology and Nature Management "Carbon regulation in a changing climate". The program is focused on training specialists in the field of greenhouse gas monitoring, assessment of carbon balance, corporate carbon regulation, implementation of climate projects;

- Additional professional education "Experience in organizing the work and technical equipment of the carbon landfill", at the request of companies - "Carbon management and reporting of companies", "ESG transformation of companies in the context of new challenges".

The demand for personnel trained in eco-climatic education programs is due to the adoption of documents and programs in Russia aimed at decarbonization of the economy and green transformation.

Given the emerging educational landscape in the field of eco-climatic education, the university plans to implement relevant programs of additional education for children and youth on the basis of the children's carbon site in Shapsha:

- eco-climatic school for educators in the format of supplementary education program - "CLIMATLAB" (in a distance format) to improve the level of methodological training and mastering the formats and mechanisms of designing educational content for students within the global climate agenda.

- The program of additional education "Children's carbon polygon" for 8th-10th graders of school organizations of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Ugra to form primary theoretical and applied competencies in the field of eco-climatic education;

- The program of additional education for youth "Eco-climatic principles of urban space transformation (eco-reconstruction)" (in a distance format) - to form basic applied competencies in the field of ecological design thinking, technological entrepreneurship and creative technologies, climatic design of urban space.

The prospect of commercialization of the scientific results of the Project is the use of data to determine the "baseline" for climate projects, consulting on the development and in the process of implementation of climate projects commercial, public-private (municipal-private) and state enterprises and organizations of the regions of Russia to achieve carbon neutrality, reducing transboundary carbon tax of exporting enterprises and the subsequent entry into existing and newly created markets of international and Russian

The key events of the beginning of the 2023 field season are the implementation of additional education programs in the format of advanced training courses for specialists of carbon test site "Experience of organization and technical equipment of carbon test site" (<https://vk.link/mukhrino>, VKontakte page - <https://vk.com/mukhrino>) and the Summer School for young researchers (https://vk.link/mukhrino_summer_school, VKontakte page - https://vk.com/mukhrino_summer_school) for undergraduate and graduate students.

During several days the leading experts will acquaint the students with the experience of greenhouse gas monitoring at the polygon, equipment and research programs, and on June 5, all the participants will be able to participate and share their personal experience and information about their own research at the round table "Carbon Disposal Sites: Solving Research and Application Problems".

Thus, the synergistic effect of interaction between the scientific center and the higher school is seen in ensuring national leadership of the university in scientific research in the field of greenhouse gas monitoring, development and transfer of technologies of nature management on ecosystem principles, advanced training of personnel to solve problems of low-carbon development in conditions of climate change.

Key words: synergy, carbon regulation, educational program, higher ecological school

Современная климатическая повестка, требующая от регионов Российской Федерации решений по адаптации экономики к климатическим изменениям, диктует необходимость формирования комплексных научных исследований в области мониторинга потоков углерода, оценки поглощающей способности экосистем и поиска новых технологических подходов по снижению выбросов парниковых газов.

Югорский государственный университет является участником актуальной экологической повестки на региональном, федеральном и международном уровнях, реализуя исследования в области динамики окружающей среды и глобальных изменений климата на международном полевом стационаре «Мухрино». На стационаре создана уникальная инфраструктура для проведения

многолетних круглогодичных режимных наблюдений за гидрометеорологическими параметрами, потоками парниковых газов и биоразнообразием.

За время существования стационара накоплены данные по различным аспектам функционирования болот: характеристикам микроклимата, гидрологическому режиму болот, продуктивности болотной растительности, углеродному балансу, микологическому разнообразию, характеристикам торфяной залежи, скорости долговременной аккумуляции торфа и пр.

Стационар входит в международные сети экологического мониторинга INTERACT (www.eu-interact.org), PEEX, SecNet и является научным полигоном по изучению болот для исследователей со всего мира, включен в Общероссийский реестр «Уникальные научные установки» (УНУ) в соответствии с ФЗ № 127 «О науке» и постановлением Правительства РФ № 429.

Сегодня стационар «Мухрино» располагает современной приборной базой, автономной системой энергообеспечения из солнечных панелей и ветрогенератора, готовится к вводу линия электропередач для обеспечения бесперебойного электропитания. Реализация модернизации электрической генерации стала возможна благодаря поддержке нефтяной компании «Роснефть» и Правительству Ханты-Мансийского автономного округа-Югры.

В 2020 году Югорском университете при поддержке гранта Правительства Тюменской области и Западно-Сибирского НОЦ мирового уровня создана Лаборатория экосистемно-атмосферных связей лесоболотных комплексов (ЛЭАС ЛБК) под руководством ведущего ученого Тимо Весала, профессора университета Хельсинки. Одной из задач лаборатории является организация исследований функционирования лесных и болотных комплексов Западной Сибири с применением современных методов и оборудования. Предполагается организация мониторинга углеродного, водного циклов лесных и болотных экосистем, биоразнообразия, микроклимата.

Накопленный опыт исследований в области потоков парниковых газов и углеродного баланса позволил Югорскому государственному университету:

- войти в пилотный проект Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 21 января 2022 г. №42 «О внесении изменений в Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 5 февраля 2021 г. №74 «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса») и получить статус карбонового полигона;

- включиться в реализацию Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021 - 2030 годы, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 08.02.2022 №133, войти в состав Научно - образовательного центра мониторинга климатически активных веществ «Углерод в экосистемах: мониторинг», который создается для разработки национальной системы мониторинга бюджета углерода в наземных экосистемах;

Все исследования, проводимые ЮГУ, направлены на получение достоверных фактических данных о фоновых объемах природной эмиссии углеродсодержащих газов (CO_2 и CH_4) и аккумуляции углекислого газа природными экосистемами, установление роли торфяных болот в поддержании газового состава атмосферы и имеют прямое отношение к реализации Указа Президента «О сокращении выбросов парниковых газов» от 4 ноября 2020 года №666, Национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 года № 3183-р, и Климатической доктрины Российской Федерации, утвержденной распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 года № 861-рп и другим значимым документам в области углеродного регулирования.

За последнее время Университетом выполнен ряд проектов по исследованию бюджета парниковых газов, биоразнообразия и природоохранной ценности на территории лицензионных участков нефтяных месторождений по заказу компаний ООО «Газпромнефть-Хантос» и «Салым-Петролеум Девелопмент Н.В.». Результаты исследовательских проектов могут быть использованы нефтяными компаниями, как основа для оценки возможности реализации различных климатических

проектов, направленных на сокращение выбросов парниковых газов и увеличения поглощающей способности нарушенных экосистем, т.е. способствующих восстановлению углеродного баланса.

В октябре 2021 года Университет принял участие в разработке пользовательского технического задания и прототипа информационной системы (далее ИС) для учета выбросов и поглощений парниковых газов на базе цифровой платформы ПАО «Сбербанк» под руководством В.В. Гаврилова. По итогам совещания у Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А. Новака был отмечен положительный опыт реализации пилотного проекта на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Минэнерго России предложено проработать возможность создания или интеграции ИС для юридических лиц отрасли ТЭК в пилотных регионах.

Так же в 2021 году Югорским государственным университетом при поддержке Правительства округа инициирована реализация проекта по созданию международного центра по оценке и верификации углеродных единиц «Карбон Дата Центр» и региональной системы мониторинга за потоками парниковых газов» («Система мониторинга парниковых газов»).

Реализация проекта позволит внести существенный вклад в развитие региональной и национальной системы мониторинга (формируемой в рамках реализации ФНТП в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021-2030 годы) и прогнозирования выбросов парниковых газов, участвовать в создании новых рынков, связанных с реализацией проектов по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению их поглощения, подготовки востребованных специалистов в области углеродного регулирования.

Проект направлен на:

- создание инфраструктуры для непрерывного мониторинга парниковых газов в целях обеспечения достоверной оценки данных для расчета углеродного баланса региона и фиксацию отклика природных экосистем на климатические изменения;
- формирование базы данных о потоках парниковых газов и особенностях функционирования естественных и нарушенных экосистем для обеспечения принятия управленческих решений в целях обеспечения низкоуглеродного природопользования;
- обеспечение подготовки накопления экспертизы в области технологий снижения антропогенного воздействия и управления углеродным балансом в целях экспертно-аналитической поддержки организаций;
- развитие и реализацию актуальных образовательных программ подготовки высококвалифицированных кадров в области новейших методов экологического контроля, мониторинг углеродного баланса, декарбонизации экономики и перспективных технологий для низкоуглеродной индустрии, в том числе, через программы высшего и дополнительного образования.

Проектом предусматривается организация сети из пяти станций мониторинга парниковых газов: «Мухрино» (модернизация и дооснащение), «Нумто» (оснащение), «Кондинские озера» (оснащение), «Салым» (оснащение), «Самотлор» (оснащение).

Разворачиваемая сеть наземных пунктов мониторинга в типовых экосистемах, позволит получать достоверные данные о потоках парниковых газов, их поглощениях репрезентативными экосистемами, использовать их для расчёта углеродного баланса Югры и учитывать их в качестве фоновых значений для оценки «дополнительности» при реализации климатических проектов.

В целях интеграции результатов научных исследований и наилучших исследовательских практик в образовательное пространство в 2020 году Высшая экологическая школа Югорского государственного университета вошла в состав Научно-образовательного центра. Это позволило обеспечить включение в образовательный процесс ведущих научных сотрудников центра, актуальный дизайн образовательных программ и вовлеченность в научно-практическую деятельность обучающихся.

В целях подготовки высококвалифицированных кадров в области контроля, мониторинга углеродного баланса и декарбонизации экономики Высшая экологическая школа реализует новые образовательные программы:

- высшего образования по направлению 05.04.06 Экология и природопользование «Углеродное регулирование в условиях изменения климата». Программа ориентирована на подготовку

специалистов в области мониторинга парниковых газов, оценки углеродного баланса, корпоративного углеродного регулирования, реализации климатических проектов;

- дополнительного профессионального образования «Опыт организации работы и техническое оснащение карбонового полигона», по запросу компаний - «Углеродный менеджмент и отчетность компаний», «ESG трансформация компаний в условиях новых вызовов».

Востребованность кадров, прошедших подготовку по программам в области экоклиматического образования обусловлена принятием в России документов и программ, направленных на декарбонизацию экономики и зеленую трансформацию.

Учитывая формирующийся образовательный ландшафт в сфере экоклиматического образования, университет планирует реализацию актуальных программ дополнительного образования для детей и молодежи на базе детского карбонового полигона в п.Шапша:

- экоклиматическую школу педагогов в формате программы дополнительного образования – «КЛИМАТЛАБ» (в дистанционном формате) для повышения уровня методической подготовки и овладения форматами и механизмами проектирования образовательного контента учащихся в рамках глобальной климатической повестки.

- программу дополнительного образования «Детский карбоновый полигон» для обучающихся 8-10 классов школьных организаций Ханты-Мансийского автономного округа – Югры для формирования первичных теоретических и прикладных компетенций в области экоклиматического образования;

- программу дополнительного образования молодежи «Экоклиматические принципы трансформации городского пространства (экореконструкция)» (в дистанционном формате) - для формирования базовых прикладных компетенций в области экологического дизайн-мышления, технологического предпринимательства и креативных технологий, климатического проектирования городского пространства.

Перспективой коммерциализации научных результатов Проекта является использование данных для определения «базовой линии» для климатических проектов, консалтинг по разработке и в процессе реализации климатических проектов коммерческих, государственно-частных (муниципально-частных) и государственных предприятий и организаций регионов РФ с целью достижения углеродной нейтральности, снижения трансграничного углеродного налога предприятий-экспортеров продукции и последующего выхода на действующие и вновь создаваемые рынки международных и российских углеродных единиц, реализация дополнительных образовательных программ в области эко-климатического образования.

Основные заинтересованные стороны реализации совместного Проекта:

- органы власти, участвующие в процессах мониторинга парниковых газов.
- муниципальные и государственные службы, промышленные предприятия, деятельность которых приводит к существенной эмиссии парниковых газов;

- граждане и общественные организации, осуществляющие общественный контроль;

- контрольно-надзорные органы, заинтересованные в прозрачности процессов мониторинга парниковых газов, а также быстром получении информации для принятия обоснованных управленческих решений;

- оператор карбонового полигона, заинтересованный в организации бесперебойного функционирования системы мониторинга и сбора данных и обеспечивающий максимальное удовлетворение интересов всех заинтересованных сторон процесса мониторинга парниковых газов;

- научные организации, осуществляющие научно-исследовательскую деятельность в целях создания научных подходов к процессам мониторинга эмиссии и поглощения парниковых газов, а также готовящих предложения по совершенствованию «зеленых» технологий, применяемых на территории Российской Федерации в рамках задачи декарбонизации экономики.

Ключевые мероприятия начала полевого сезона 2023 года – это реализация программ дополнительного образования в формате курсов повышения квалификации для специалистов карбоновых полигонов «Опыт организации работы и техническое оснащение карбонового полигона» (сайт <https://vk.link/mukhrino>, страница «В контакте» - <https://vk.com/mukhrino>) и Летней школы

молодых исследователей (сайт https://vk.link/mukhrino_summer_school, страница «В контакте» - https://vk.com/mukhrino_summer_school) для обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

В течение нескольких дней ведущие эксперты познакомят слушателей с опытом мониторинга парниковых газов на полигоне, оборудованием и программами исследований. Кроме того, 5 июня, все участники смогут принять участие и поделиться личным опытом и информацией о собственных исследованиях на круглом столе «Карбоновые полигоны: решение исследовательских и прикладных задач».

Таким образом, синергетический эффект взаимодействия научного центра с высшей школой видится в обеспечении национального лидерства университета в научных исследованиях в области мониторинга парниковых газов, разработке и трансфере технологий природопользования на экосистемных принципах, опережающей подготовке кадров для решения задач низкоуглеродного развития в условиях климатических изменений.

*Поступила в редакцию: 05.05.23
Переработанный вариант: 13.06.23*